

CLIMATE CHANGE

20/2024

Abschlussbericht

Klimaorientierte Stadtentwicklung

Treibhausgasminderungspotenziale in synergetischen Handlungsfeldern

von:

Nikolai Jacobi, Andreas Jäger, Carsten Rothballer
ICLEI Europasekretariat, Freiburg im Breisgau

Fabian Reitemeyer, Jürgen Kropp
Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam

Wolfgang Lexer, Alexander Storch, David Fritz
Umweltbundesamt Österreich, Wien

León Díaz-Bone, David Corbett, Thibault Renoux
ICLEI Weltsekretariat, Bonn

Herausgeber:

Umweltbundesamt

CLIMATE CHANGE 20/2024

Ressortforschungsplan des Bundesministeriums für
Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und
Verbraucherschutz

Forschungskennzahl 3720 15 102 0

FB001336

Abschlussbericht

Klimaorientierte Stadtentwicklung

Treibhausgasreduzierungs­potenziale in synergetischen
Handlungsfeldern

von

Nikolai Jacobi, Andreas Jäger, Carsten Rothballer
ICLEI Europasekretariat, Freiburg im Breisgau

Fabian Reitemeyer, Jürgen Kropp
Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam

Wolfgang Lexer, Alexander Storch, David Fritz
Umweltbundesamt Österreich, Wien

León Díaz-Bone, David Corbett, Thibault Renoux
ICLEI Weltsekretariat, Bonn

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Durchführung der Studie:

ICLEI Europa Sekretariat gGmbH
Leopoldring 3
79098 Freiburg im Breisgau

Abschlussdatum:

September 2023

Redaktion:

Fachgebiet I 2.5 Nachhaltige Raumentwicklung, Umweltprüfungen
Dr. Daniel Reißmann

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, Mai 2024

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Klimaorientierte Stadtentwicklung – Treibhausgasminderungspotenzial in synergetischen Handlungsfeldern Klimaorientierte Stadtentwicklung

Das Forschungsvorhaben beschäftigt sich mit der Fragestellung, welches Treibhausgasminderungspotenzial in zentralen Handlungsfeldern einer klimaorientierten Stadtentwicklung besteht, wie sich dieses quantifizieren lässt und welche Synergien mit Klimaanpassungsstrategien gehoben werden können. Diese Handlungsfelder sind (a) Nachverdichtung/ Entwicklung verdichteter Bebauung in bestehenden städtischen Strukturen (b) nachhaltiges Bauen inklusive des Einsatzes nachhaltiger Bauprodukte, (c) Mobilität und urbane Transportinfrastrukturen im Zusammenspiel mit den Siedlungsstrukturen. Die Handlungsfelder werden auf einer strategisch-konzeptionellen Ebene einer integrierten Stadtentwicklung mit ihren Wechselwirkungen und auf den verschiedenen räumlichen Ebenen vom Gebäude, über das Quartier bis zur Gesamtstadt betrachtet.

In diesen Handlungsfeldern spielt auch die Beziehung von Städten zu ihrem Umland eine wichtige Rolle. Es wird daher untersucht, wie die systematische Integration von klimapolitischen Ansätzen in die Gestaltung von interregionalen Verflechtungen und funktionalen Raumbeziehungen zwischen Stadt und Umland in den Handlungsfeldern gefördert werden können. Dem systematischen Ansatz der Forschungsagenda ("Global Research and Action Agenda on Cities and Climate Change Science") folgend, werden zudem Synergien und Konflikte von Klimaschutz mit Anpassung an den Klimawandel und anderen städtischen Umweltproblemen mitbetrachtet.

Das Vorhaben identifiziert signifikante Minderung von Treibhausgasen in den drei Handlungsfeldern, unterlegt sie mit quantitativen Zahlen zur Treibhausgasminderung, unter anderem durch sechs Fallstudien aus Deutschland, Indien und den Philippinen, und erarbeitet Handlungsempfehlungen für die verschiedenen politischen Ebenen. Daneben leistet das Vorhaben begleitende Forschung und Unterstützung für die Internationale Klimaschutzinitiative (IKI) und ihre Aktivitäten im Themenfeld Stadtentwicklung und Klimaschutz.

Abstract: Climate-oriented urban development - greenhouse gas reduction potential in synergetic fields of action

The research project focuses on the question which greenhouse gas reduction potential exists in central fields of action of climate-oriented urban development, how this can be quantified and which synergies can be exploited together with the implementation of climate adaptation strategies. These fields of action are (a) re-densification / development of densely allocated buildings in existing urban structures (b) sustainable construction including the use of sustainable building products, (c) mobility and urban transport infrastructures in conjunction with existing settlement structures. It considers these fields of action on a strategic-conceptual level for an integrated urban development with their interactions as well as on the various spatial levels from the building, through the quarter to the entire city.

The relationship between cities and their surrounding areas also plays an important role in these fields of action. Therefore, the study investigates how the systematic integration of climate policy approaches in the design of interregional relationships and functional spatial relationships and conflicts between climate protection and adaptation to climate change and other urban environmental problems are considered. Following the systematic approach of the Global Research and Action Agenda on Cities and Climate Change Science, synergies and

conflicts between climate change mitigation, adaptation and other urban environmental issues are also considered.

The project identifies significant reductions in greenhouse gases in the three fields of action, underpins them with quantitative figures on greenhouse gas reductions, including six case studies from Germany, India and the Philippines, and develops recommendations for action for the various political levels. In addition, the project is intended to provide accompanying research and support for the International Climate Initiative of Germany and its activities in the field of urban development and climate protection.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	7
Abbildungsverzeichnis	12
Tabellenverzeichnis.....	13
Abkürzungsverzeichnis.....	18
Zusammenfassung	20
Summary	38
1 Einleitung	55
2 Bestandsaufnahme und Charakterisierung der Handlungsfelder	59
2.1 Beschreibung der Handlungsfelder und deren THG-Minderungspotential	59
2.1.1 Nachhaltiges Bauen	59
2.1.2 Urbanes Transportsystem	61
2.1.3 Nachverdichtung	62
2.2 Forschungsüberblick THG - Bilanzierungsmethoden.....	63
3 Quantifizierung der Treibhausgasminderungspotenziale in den Handlungsfeldern	65
3.1 Auswahl der Beispielstädte	65
3.2 Auswahl von urbanen Maßnahmen	66
3.3 Handlungsfeld 1 – Nachhaltiges Bauen	67
3.3.1 Quantifizierungsansatz	67
3.3.2 Ergebnisse.....	69
3.3.3 Diskussion der Ergebnisse	71
3.4 Handlungsfeld 2 – Urbanes Transportsystem	71
3.4.1 Quantifizierungsansatz	72
3.4.2 Ergebnisse.....	72
3.4.3 Treibhausgas-Reduktionspotential.....	73
3.4.4 Diskussion der Ergebnisse	74
3.5 Handlungsfeld 3 – Nachverdichtung	75
3.5.1 Quantifizierungsansatz	75
3.5.2 Ergebnisse.....	76
3.6 Schlussfolgerungen.....	78
4 Analyse der Stadt-Umland Beziehungen der Fallbeispiele	79
4.1 Entwicklung des Analyserahmens	79
4.1.1 Durchführung von Experteninterviews zur Verfeinerung des Analyserahmens	80
4.2 Anwendung des Rahmens auf die Fallstudienstädte	80

4.2.1	Ergebnisse und Handlungsempfehlungen.....	81
4.3	Schlussfolgerungen.....	83
5	Synergien und Konflikte zwischen Klimaschutz, Klimaanpassung und anderen städtischen Umweltzielen	85
5.1	Einleitung und Ziele	85
5.2	Umgang mit Synergien und Konflikten in nationalen und städtischen Klimapolitiken....	86
5.2.1	Berücksichtigung von Wechselwirkungen in nationalen Klimapolitiken.....	86
5.2.2	Berücksichtigung von Wechselwirkungen in städtischen Klimapolitiken	90
5.3	Konzepte, Methoden und Analyserahmen.....	94
5.3.1	Heuristik zur Entwicklung eines Analyse- und Bewertungsrahmens	94
5.3.2	Konzeptualisierung und Definition von Wechselwirkungen	97
5.3.3	Tool zur Erfassung, Analyse und Bewertung von Wirkungszusammenhängen	115
5.3.4	Untersuchungsrahmen und Voraussetzungen	118
5.3.5	Bewertungsschema	120
5.3.6	Durchführung von Analyse und Bewertung im Rahmen des Projekts	123
5.4	Bestandsaufnahme von Wechselwirkungen: Überblick über die Gesamtergebnisse....	124
5.5	Ergebnisse nach Handlungsfeldern einer klimaorientierten Stadtentwicklung.....	127
5.5.1	Nachhaltiges Bauen	127
5.5.2	Urbane Verdichtung	145
5.5.3	Urbane Verkehrssysteme	168
5.5.4	Energieinfrastrukturen	184
5.6	Strategien zur Konfliktminderung und Synergieschöpfung.....	198
5.6.1	Grundsätzliche Überlegungen.....	198
5.6.2	Berücksichtigung in Prozessen zur Politikgestaltung und städtischer Governancerahmen.....	200
5.6.3	Beispiel „Urbane Verdichtung“: Möglichkeiten zur Minderung von Konflikten mit der Klimaanpassung	200
5.6.4	Weitere Forschungs- und Entwicklungsbedarfe.....	202
6	Handlungsempfehlungen an Bund, Länder und Kommunen.....	203
6.1	Bauen: Narrativ einer klimaorientierten Stadtentwicklung	203
6.1.1	Bauen mit regenerativen Baustoffen ist unumgänglich für die Erreichung der Klimaziele.....	203
6.1.2	Regenerative Baustoffe vermehrt nutzen	204
6.1.3	Vermehrte Nutzung von regenerativen Materialien bringt Nettogewinne für die Klimaanpassung.....	205

6.1.4	Kommunale Hebel, um die Verwendung von regenerativen Materialien zu fördern	205
6.1.5	Ambitionierte Rahmensetzungen beim Bau und bei der Sanierung beeinflussen und befähigen	206
6.2	Mobilität: Narrativ einer klimaorientierten Stadtentwicklung	207
6.2.1	Kürzere Wege und lokale Angebote als Schlüssel zur Klimaneutralität im Verkehrssektor sowie für hohe Umwelt- und Lebensqualität in urbanen Räumen	207
6.2.2	Schaffung von lokalen Zentren zur Vermeidung und Verkürzung von Weglängen	208
6.2.3	Grüne Straßen/Achsen und kurze Wege tragen zur Klimaresilienz bei	208
6.2.4	Kommunale Stadtentwicklungskonzepte auf Nahversorgung und Transitorientierung ausrichten	209
6.2.5	Bund & Länder: klimaorientierte Stadtentwicklung aktiv einfordern und fördern	209
6.3	Städtebauliche Dichte: Narrativ einer klimaorientierten Stadtentwicklung	210
6.3.1	Polyzentrische Entwicklung mit „strategischer“ Verdichtung, kleinräumiger Funktionsmischung und Nutzungsvielfalt	211
6.3.2	Grüne & blaue Infrastruktur integriert und gleichwertig zur baulichen Entwicklung planen	212
6.3.3	Leerstandsaktivierung, Wiedernutzung von Brachflächen und Mobilisierung von zentrumsnahen Baulandreserven	213
6.4	Diskussion – integrierte Betrachtung der synergetischen Handlungsfelder im Spannungsfeld Klimaschutz/Klimaanpassung und Stadt-Umland Beziehungen	215
7	Quellenverzeichnis	218
A	Anhang: Governance and Financing of Urban Adaption – Final Report	228
A.1	Introduction	243
A.1.1	Problem setting	243
A.1.2	Objectives and research questions	245
A.1.3	Concepts and definitions	246
A.1.4	Remarks on the present report	250
A.2	Governance of urban adaptation	253
A.2.1	Overview: state of play and progress of urban adaptation	253
A.2.2	Governance of urban climate adaptation at city level	266
A.2.3	Multilevel governance of urban adaptation	285
A.2.4	Conclusions and lessons learned	296
A.2.5	Recommendations for enhancing the governance of urban adaptation	298

A.3	Financing urban adaptation.....	301
A.3.1	Overview of global adaptation finance flows.....	301
A.3.2	(Urban) Adaptation finance distribution	303
A.3.3	Main financial actors and sources	308
A.3.4	Financing instruments for adaptation measures	320
A.3.5	Data constraints, research gaps, methodological limitations	328
A.3.6	Lesson learnt: barriers and facilitating factors	330
A.3.7	Recommendations.....	338
A.4	Zooming in: Case Study Makati City, Philippines.....	347
A.4.1	Background.....	347
A.4.2	The example of Makati City.....	347
A.5	Cost and financing estimation tool for practical analysis.....	354
A.6	References	358
B	Anhang: Methode zur qualitativen Beschreibung von Stadt-Umland Beziehungen	363
B.1	Anwendungsleitfaden.....	363
B.2	Analytischer Rahmenansatz	366
C	Anhang: Urban-Rural Relations – Case Studies	367
C.1	Case study: City of Pasig, Philippines.....	367
C.1.1	City profile	367
C.1.2	Multi-level and horizontal governance structures	368
C.1.3	Densification (Interfaces: Green Infrastructures & Energy).....	369
C.1.4	Sustainable Transport (Interfaces: Transport Infrastructure & Governance)	371
C.1.5	Sustainable Construction (Interfaces: Sustainable Building Materials & Circular Waste System).....	374
C.1.6	Summary and list of recommended actions.....	376
C.1.7	References	377
C.2	Case study: City of Santa Rosa, Philippines	379
C.2.1	City profile	379
C.2.2	Multi-level and horizontal governance structures	379
C.2.3	Densification (Interfaces: Green Infrastructures & Energy).....	380
C.2.4	Sustainable Transport (Interfaces: Transport Infrastructure & Governance)	382
C.2.5	Sustainable Construction (Interfaces: Sustainable Building Materials & Circular Waste System).....	384
C.2.6	Summary and list of recommended actions.....	386

C.2.7	References.....	387
C.3	Case study: City of Rajkot, India	388
C.3.1	City profile	388
C.3.2	Multi-level and horizontal governance structures	388
C.3.3	Densification (interfaces: green infrastructures & energy).....	391
C.3.4	Sustainable transport (interfaces: transport infrastructure & governance)	394
C.3.5	Sustainable construction (interfaces: sustainable building materials & circular waste system).....	395
C.3.6	Summary and list of recommended actions.....	397
C.3.7	References	398
C.4	Case study: City of Nagpur, India.....	400
C.4.1	City profile	400
C.4.2	Multi-level and horizontal governance structures	400
C.4.3	Densification (interfaces: green infrastructures & energy).....	403
C.4.4	Sustainable transport (interfaces: transport infrastructure & governance)	406
C.4.5	Sustainable construction (interfaces: sustainable building materials & circular waste system).....	408
C.4.6	Summary and list of recommended actions.....	410
C.4.7	References	410
C.5	Case study: City of Essen, Germany.....	413
C.5.1	City profile	413
C.5.2	Multi-level and horizontal governance structures	414
C.5.3	Densification (interfaces: green infrastructures & energy).....	416
C.5.4	Sustainable transport (interfaces: transport infrastructure & governance)	417
C.5.5	Sustainable construction (interfaces: sustainable building materials & circular waste system).....	418
C.5.6	Summary and list of recommended actions.....	420
C.5.7	References	420
C.6	Case study: City of Leipzig, Germany.....	422
C.6.1	City profile	422
C.6.2	Multi-level and horizontal governance structures	423
C.6.3	Densification (interfaces: green infrastructures & energy).....	424
C.6.4	Sustainable transport (interfaces: transport infrastructure & governance)	425
C.6.5	Sustainable construction (interfaces: sustainable building materials & circular waste system).....	426

C.6.6	Summary and list of recommended actions.....	426
D	Anhang: Bestandsaufnahme, Kategorisierung und Beschreibung von Wechselwirkungen städtischer Maßnahmen zur Treibhausgasminde- rung	428
D.1	Handlungsfeld: Nachhaltiges Bauen	428
D.1.1	Co-Benefits und Trade-offs mit Klimaanpassung	428
D.1.2	Synergien und Konflikte mit Klimaanpassung	436
D.1.3	Co-Benefits und Trade-offs mit Umwelt- und Nachhaltigkeitszielen	442
D.2	Handlungsfeld: Urbane Verdichtung	446
D.2.1	Co-Benefits und Trade-offs mit Klimaanpassung	446
D.2.2	Synergien und Konflikte mit Klimaanpassung	453
D.2.3	Co-Benefits und Trade-offs mit Umwelt- und Nachhaltigkeitszielen	462
D.3	Handlungsfeld: Nachhaltige, klimagerechte urbane Verkehrssysteme	468
D.3.1	Co-Benefits und Trade-offs mit Klimaanpassung	468
D.3.2	Synergien und Konflikte mit Klimaanpassung	473
D.3.3	Co-Benefits und Trade-offs mit Umwelt- und Nachhaltigkeitszielen	478
D.4	Handlungsfeld: Nachhaltige, klimaneutrale Energieinfrastrukturen	484
D.4.1	Co-Benefits und Trade-offs mit Klimaanpassung	484
D.4.2	Synergien und Konflikte mit Klimaanpassung	490
D.4.3	Co-Benefits und Trade-offs mit Umwelt- und Nachhaltigkeitszielen	496
D.5	Für das Mapping von Wechselwirkungen ausgewertete Literaturquellen	501
E	Anhang: Empfehlungen an das IKI-Programm des BMWK	504
E.1	Einführung in das Projekt	505
E.2	Relevanz für das IKI-Programm	505
E.3	Empfehlungen.....	505
F	Anhang: Tool zur Erfassung, Analyse und Bewertung von Wirkungszusammenhängen (Klimaschutz, Klimaanpassung, Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele)	509

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Emissionsminderungspotential unter den beiden Szenarien für alle Städte im nachhaltigen Bauen [%]	23
Abbildung 2:	Minderungspotenziale für alle Städte im Verkehrssektor	25
Figure 3:	Emission reduction potential under the two scenarios for all cities in sustainable construction [%].....	41
Figure 4:	Reduction potentials for all cities in the transport sector	42
Abbildung 5:	Arbeitspakete und Unterarbeitspakete des Vorhabens, inklusive der Vorgehensweise.....	57

Abbildung 6:	Wie Gebäude als globale Kohlenstoffsinken fungieren können	60
Abbildung 7:	Die Beispielstädte im Überblick	65
Abbildung 8:	Emissionsminderungspotential unter den beiden Szenarien für alle Städte im nachhaltigen Bauen [%]	70
Abbildung 9:	Minderungspotenziale für alle Städte im Verkehrssektor	74
Abbildung 11:	Ausschnitt des entwickelten Analyserasters.....	366
Figure 12:	The location of Manila in the Philippines (left), the location of Pasig city in Manila (center), and Pasig City in full (right).....	367
Figure 13:	2015 Zoning map of the City of Pasig.....	368
Figure 14:	The geographic location of the City of Santa Rosa	379
Figure 15:	Map of Laguna de Bay in the Philippines, showing the location of Santa Rosa City.....	381
Figure 15:	Map showing the location of Gujarat and Rajkot in India	388
Figure 17:	Map of Maharashtra region in India	400
Figure 18:	Map “decoding the demographic transitions”	405
Figure 19:	The location of the City of Essen within Germany and subnational areas of administration and cooperation	413
Figure 20:	Map showing key urban characteristics of the City of Leipzig	422
Figure 21:	Photographic impressions of the City of Leipzig	423

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Ergebnisse der Quantifizierungsansatzes beim Handlungsfeld Nachverdichtung	27
Table 2:	Results of the quantification approach in the field of action re- densification.....	43
Tabelle 3:	Ausgewählte urbane Maßnahmen.....	66
Tabelle 4:	Ermittelte Parameter	76
Tabelle 5:	Ergebnisse Cobb-Douglas.....	77
Tabelle 6:	Überblick über Definitionen der Kategorien von Wirkungszusammenhängen mit dem Klimaschutz	102
Tabelle 7:	Klimaschutz: Handlungsfelder und strategische Maßnahmenbündel.....	107
Tabelle 8:	Klimaanpassung: Handlungsfelder (Klimafolgenbereiche, Anpassungsziele) und strategische Maßnahmenbündel	113
Tabelle 9:	Verfeinertes Portfolio von Maßnahmen für die Anpassungsstrategie „Grüne und blaue urbane Infrastruktur“	114
Tabelle 10:	Fokus und Grenzen des Untersuchungsrahmens	119

Tabelle 11:	Qualitativer Bewertungsrahmen zur Beurteilung von Co-Benefits (Klimaanpassung, Umweltziele).....	121
Tabelle 12:	Qualitativer Bewertungsrahmen zur Beurteilung von Konflikten (Klimaanpassung).....	122
Tabelle 13:	Handlungsstrategien der Treibhausgasreduzierung mit der höchsten Wechselwirkungs-Intensität.....	126
Tabelle 14:	Häufigkeit von Wirkungszusammenhängen mit der Klimaanpassung im Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“ nach Wirkungskategorien	129
Tabelle 15:	Häufigkeit der von Wirkungszusammenhängen betroffenen Klimafolgenbereiche im Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“ nach Wirkungskategorien	130
Tabelle 16:	Häufigkeit der an Synergien und Konflikten beteiligten Anpassungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“	130
Tabelle 17:	Häufigkeit von Wirkungszusammenhängen mit Umwelt- und Nachhaltigkeitszielen im Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“ nach Wirkungskategorien	132
Tabelle 18:	Häufigkeit der von Auswirkungen betroffenen Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele im Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“	132
Tabelle 19:	Wirkungszusammenhänge mit der stärksten Ausprägung im Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“ nach Wirkungskategorien	134
Tabelle 20:	Häufigkeit von Wirkungszusammenhängen mit der Klimaanpassung im Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“ nach Wirkungskategorien	147
Tabelle 21:	Häufigkeit der von Wirkungszusammenhängen betroffenen Klimafolgenbereiche im Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“ nach Wirkungskategorien	148
Tabelle 22:	Häufigkeit der an Synergien und Konflikten beteiligten Anpassungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“	148
Tabelle 23:	Häufigkeit von Wirkungszusammenhängen mit Umwelt- und Nachhaltigkeitszielen im Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“ nach Wirkungskategorien	149
Tabelle 24:	Häufigkeit der von Auswirkungen betroffenen Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele im Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“	150
Tabelle 25:	Wirkungszusammenhänge mit der stärksten Ausprägung im Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“ nach Wirkungskategorien	151

Tabelle 26:	Häufigkeit von Wirkungszusammenhängen mit der Klimaanpassung im Handlungsfeld „Urbane Verkehrssysteme“ nach Wirkungskategorien	170
Tabelle 27:	Häufigkeit der von Wirkungszusammenhängen betroffenen Klimafolgenbereiche im Handlungsfeld „Urbane Verkehrssysteme“ nach Wirkungskategorien.....	171
Tabelle 28:	Häufigkeit der an Synergien und Konflikten beteiligten Anpassungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Urbane Verkehrssysteme“	171
Tabelle 29:	Häufigkeit von Wirkungszusammenhängen mit Umwelt- und Nachhaltigkeitszielen im Handlungsfeld „Urbane Verkehrssysteme“ nach Wirkungskategorien.....	172
Tabelle 30:	Häufigkeit der von Auswirkungen betroffenen Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele im Handlungsfeld „Urbane Verkehrssysteme“	173
Tabelle 31:	Wirkungszusammenhänge mit der stärksten Ausprägung im Handlungsfeld „Urbane Verkehrssysteme“ nach Wirkungskategorien	174
Tabelle 32:	Häufigkeit von Wirkungszusammenhängen mit der Klimaanpassung im Handlungsfeld „Energieinfrastrukturen“ nach Wirkungskategorien	185
Tabelle 33:	Häufigkeit der von Wirkungszusammenhängen betroffenen Klimafolgenbereiche im Handlungsfeld „Energieinfrastrukturen“ nach Wirkungskategorien	186
Tabelle 34:	Häufigkeit der an Synergien und Konflikten beteiligten Anpassungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Energieinfrastrukturen“	186
Tabelle 35:	Häufigkeit von Wirkungszusammenhängen mit Umwelt- und Nachhaltigkeitszielen im Handlungsfeld „Energieinfrastrukturen“ nach Wirkungskategorien	188
Tabelle 36:	Häufigkeit der von Auswirkungen betroffenen Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele im Handlungsfeld „Energieinfrastrukturen“	188
Tabelle 37:	Wirkungszusammenhänge mit der stärksten Ausprägung im Handlungsfeld „Energieinfrastrukturen“ nach Wirkungskategorien	189
Table 38:	Overview of action fields and linked topics to investigate ...	363
Table 39:	Key definitions in the context of the project	364
Tabelle 40:	Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“: Co-Benefits von THG-Minderungsmaßnahmen für Ziele der Klimaanpassung	428
Tabelle 41:	Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“: Trade-offs von THG-Minderungsmaßnahmen für Ziele der Klimaanpassung	433

Tabelle 42:	Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“: Synergien von THG-Minderungsmaßnahmen mit Maßnahmen zur Klimaanpassung	436
Tabelle 43:	Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“: Konflikte von THG-Minderungsmaßnahmen mit Maßnahmen zur Klimaanpassung	441
Tabelle 44:	Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“: Co-Benefits von THG-Minderungsmaßnahmen für Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele	442
Tabelle 45:	Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“: Trade-offs von THG-Minderungsmaßnahmen für Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele	444
Tabelle 46:	Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“: Co-Benefits von THG-Minderungsmaßnahmen für Ziele der Klimaanpassung	446
Tabelle 47:	Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“: Trade-offs von THG-Minderungsmaßnahmen für Ziele der Klimaanpassung	450
Tabelle 48:	Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“: Synergien von THG-Minderungsmaßnahmen mit Maßnahmen zur Klimaanpassung	453
Tabelle 49:	Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“: Konflikte von THG-Minderungsmaßnahmen mit Maßnahmen zur Klimaanpassung	459
Tabelle 50:	Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“: Co-Benefits von THG-Minderungsmaßnahmen für Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele	462
Tabelle 51:	Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“: Trade-offs von THG-Minderungsmaßnahmen für Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele	465
Tabelle 52:	Handlungsfeld „Urbane Verkehrssysteme“: Co-Benefits von THG-Minderungsmaßnahmen für Ziele der Klimaanpassung	468
Tabelle 53:	Handlungsfeld „Urbane Verkehrssysteme“: Trade-offs von THG-Minderungsmaßnahmen für Ziele der Klimaanpassung	471
Tabelle 54:	Handlungsfeld „Urbane Verkehrssysteme“: Synergien von THG-Minderungsmaßnahmen mit Maßnahmen zur Klimaanpassung	473
Tabelle 55:	Handlungsfeld „Urbane Verkehrssysteme“: Co-Benefits von THG-Minderungsmaßnahmen für Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele	478
Tabelle 56:	Handlungsfeld „Urbane Verkehrssysteme“: Trade-offs von THG-Minderungsmaßnahmen für Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele	482

Tabelle 57:	Handlungsfeld „Energieinfrastrukturen“: Co-Benefits von THG-Minderungsmaßnahmen für Ziele der Klimaanpassung	484
Tabelle 58:	Handlungsfeld „Energieinfrastrukturen“: Trade-offs von THG-Minderungsmaßnahmen für Ziele der Klimaanpassung	488
Tabelle 59:	Handlungsfeld „Energieinfrastrukturen“: Synergien von THG-Minderungsmaßnahmen mit Maßnahmen zur Klimaanpassung	490
Tabelle 60:	Handlungsfeld „Energieinfrastrukturen“: Konflikte von THG-Minderungsmaßnahmen mit Maßnahmen zur Klimaanpassung	494
Tabelle 61:	Handlungsfeld „Energieinfrastrukturen“: Co-Benefits von THG-Minderungsmaßnahmen für Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele	496
Tabelle 62:	Handlungsfeld „Energieinfrastrukturen“: Trade-offs von THG-Minderungsmaßnahmen für Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele	498

Abkürzungsverzeichnis

Ad/Mit	Adaptation / Mitigation
AP	Arbeitspaket
APA	Aktionsplan zur Anpassung
ARL	Akademie für Raumentwicklung in der Leibniz-Gemeinschaft
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BISKO	Bilanzierungs-Systematik Kommunal
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
CDP	Carbon Disclosure Project
CIF	Community-wide infrastructure footprint
CLT	Cross-laminated timber / Kreuzlagenholz
CoM Europe	EU Covenant of Mayors
COP26	26. UN-Klimakonferenz
CRF	Common Reporting Format
C-Senkenwirkung	Kohlenstoff-Senkenwirkung
DMI	Domestic Material Input
EAESP	Escola de Administração de Empresas de São Paulo
EEA	Europäischen Umweltagentur
EFRE	Europäischen Fond für Regionale Entwicklung
EIO-Life Cycle Assessment	Ökonomische Input-Output-Lebenszyklusanalyse
EPBD	Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden
EPDs	Umweltproduktdeklarationen
F&E	Forschung und Entwicklung
FGV	Fundação Getulio Vargas
GCoM	Global Covenant of Mayors
GDP	Gross Domestic Product
GEMIS	Global Emission Model for Integrated Systems
GHG	Greenhouse gas
GIZ	Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
GPC	Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories
IGES	Institut für globale Umweltstrategien
IKI / ICI	Internationalen Klimaschutzinitiative / International Climate Initiative
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IRP	International Resource Panel
IRP	International Ressource Panel
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau

LCA	Life Cycle Assessment
LRGs	Lokalen und regionale Regierungen
MCA	Expertenbasierte multikriterielle Entscheidungsanalysen
MFA	Materialflussanalyse
NAZCA	Non-state Actor Zone for Climate Action (
NECPs	National Energy and Climate Plans (Nationale Energie- und Klimapläne)
NMT	Nicht motorisierter Verkehr
NOx	Stickstoffoxide
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
ÖROK	Österreichische Raumordnungskonferenz
PAS 2070	British Standard for the assessment of a city's greenhouse gas emissions
PKW	Personenkraftwagen
PV	Photovoltaik
SDGs	Sustainable Development Goals (die globalen Ziele für nachhaltige Entwicklung der Agenda 2030)
SECAPs	Sustainable Energy and Climate Action Plans
THG	Treibhausgas(e)
UGI	Urban Green Infrastructures
UHI-Effekt	"Urban Heat Island" Effekt
UKI	Urban Kaya Identität
UNEP	United Nations Environment Programme
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
USA	Vereinigten Staaten von Amerika
WFD	Abfallrahmenrichtlinie

Zusammenfassung

Bis zum Jahr 2050 wird ein Wachstum der globalen Bevölkerung um 2.2 Milliarden (gegenüber 2009) erwartet (He et al., 2015). **Weltweit werden dann 64 bis 69 Prozent der Menschen in Städten leben**, welche die Hauptquelle von Treibhausgasen ist und verstärkt sein wird. Rund 70 Prozent des weltweiten Energieverbrauchs können auf Städte zurückgeführt werden (UN-Habitat, 2020). Die Begrenzung der globalen Erwärmung auf 1,5 Grad Celsius (°C) erfordert daher eine deutliche Reduzierung der Treibhausgase in urbanen Räumen. Die rasante Urbanisierungsrate schlägt sich in einer ständig wachsenden Flächeninanspruchnahme nieder. Die Siedlungs- und Verkehrsfläche in Deutschland nimmt pro Tag um 55 ha (gleitender Vierjahresdurchschnitt von 2018 bis 2021) zu, oft zu Lasten von zuvor landwirtschaftlich genutzten Flächen, oder Grünflächen (Domhardt, 2021).

Der Gebäudesektor erweist sich auch global als eine der **Hauptquellen für Treibhausgasemissionen**. Nach Angaben des Umweltprogramms der Vereinten Nationen sind Gebäude und dazugehörige Bauprozesse jährlich für 36 Prozent des weltweiten Energieverbrauchs und 37 Prozent der energiebedingten Kohlendioxidemissionen verantwortlich (Abergel et al., 2021). Betrachtet man zusätzlich die damit einhergehenden Emissionen durch Pendler und den Transport von Gütern, sind die Emissionen noch deutlich höher. Im Jahr 2050 muss der **Gebäudesektor global 80-90 Prozent weniger THG emittieren** als noch im Jahre 2010, um mit dem 1,5 Grad-Ziel kompatibel zu bleiben (vgl. EU Calculator).

Daran anknüpfend beschäftigt sich das vorliegende Forschungsvorhaben mit der Fragestellung, welches **Treibhausgasminderungspotenzial** in zentralen Handlungsfeldern einer **klimaorientierten Stadtentwicklung** besteht, wie sich dieses quantifizieren lässt und welche Synergien mit Klimaanpassungsstrategien gehoben werden können. Diese Handlungsfelder sind (a) **Nachverdichtung/ Entwicklung verdichteter Bebauung** in bestehenden städtischen Strukturen (b) nachhaltiges Bauen inklusive des **Einsatzes nachhaltiger Baustoffe**, (c) **Mobilität und urbane Transportinfrastrukturen** im Zusammenspiel mit den Siedlungsstrukturen. Es betrachtet diese Handlungsfelder auf einer strategisch-konzeptionellen Ebene einer integrierten Stadtentwicklung mit ihren Wechselwirkungen und auf den verschiedenen räumlichen Ebenen vom Gebäude, über das Quartier bis zur Gesamtstadt.

In diesen Handlungsfeldern spielt auch die Beziehung von Städten zu ihrem **Umland** eine wichtige Rolle. Es wird untersucht, wie die systematische Integration von klimapolitischen Ansätzen in die Gestaltung von interregionalen Verflechtungen und **funktionalen Raumbeziehungen** zwischen Stadt und Umland in den angesprochenen Handlungsfeldern gefördert werden kann.

Dem systematischen Ansatz der Forschungsagenda ("Global Research and Action Agenda on Cities and Climate Change Science") folgend, werden zudem **Synergien und Konflikte von Klimaschutz mit Anpassung an den Klimawandel** und anderen städtischen Umweltproblemen mitbetrachtet. Die Forschungsagenda ist ein Ergebnis des 44. Treffens des Weltklimarates in Bangkok sowie der darauffolgenden Konferenz zur Rolle von Städten im weltweiten Klimaschutz in Edmonton, Kanada (2018). Die Agenda fasst den Stand der

Forschung zum Thema zusammen, zeigt weitere Bedarfe auf und stellt somit ein richtungsweisendes Rahmendokument zur städtebezogenen Klimaforschung dar.

Die Handlungsfelder werden zunächst qualitativ umrissen und eingegrenzt bzw. deren THG-Minderungspotenziale unterstrichen. Dabei liegt der Fokus auch auf der Beschreibung, wie Einsparungen in den jeweiligen Handlungsfeldern zustande kommen können (**Wirkungsmechanismen**). Dabei liegt der Schwerpunkt auf der Identifizierung von Maßnahmenpaketen für jedes Handlungsfeld, welche Teil der Annahmen zur Berechnung der THG-Minderungspotenziale in den Beispielstädten sind sowie auf der Beschreibung zugrunde liegender (klima-) strategischer Leitlinien, bzw. klimapolitischer exemplarischer Zielsetzungen. Die oben angedeuteten Wirkungsmechanismen sind ebenfalls zentral, sowohl für das Verständnis der Handlungsfelder und ihrer Reduktionspotentiale als auch für die Berechnungen in den Beispielstädten. Es wurden Maßnahmen ausgewählt, die eine direkte quantifizierbare Wirkung haben. So ist beispielsweise die Auswirkung der Maßnahme einer 10 Prozent Verlagerung des Verkehrsaufkommens auf den nicht-motorisierten Verkehr direkt quantifizierbar, im Gegensatz zu der Maßnahme eines allgemeinen, umfangreichen Stadtentwicklungskonzepts.

Bei der Betrachtung und **Charakterisierung der drei Handlungsfelder** wird klar, dass durch den Anstieg der Bevölkerung, verbunden mit der rapiden Urbanisierungsrate und den Folgen des Klimawandels, beim Klimaschutz ein besonderes Augenmerk auf der städtischen Infrastruktur liegen muss. Dazu gehört, weiter verstärkt durch die Verdopplung des Bedarfs an physischer Infrastruktur, die Bauweise der Gebäude, aber auch das Transportsystem und die Stadtstruktur im Allgemeinen. Damit das 1,5-Grad-Ziel überhaupt noch erreicht werden kann, sind sofortige urbane Interventionen nötig. Dazu gehört die erhöhte Nutzung von biogenen Materialien, wie u.a. Holz, Verbesserungen bei Verkehrstechnologien, Verhaltensänderungen wie die Verlagerung auf klimafreundliche Verkehrsträger oder polyzentrische Stadtformen. Im Vorhaben wurden diese **Maßnahmen mit Hinblick ihres Minderungspotentials quantifiziert**.

Mit Hinblick auf die Bestandsaufnahme zur Entwicklung eines Quantifizierungsansatzes zur Berechnung der THG-Minderungspotenziale in den drei Handlungsfelder wird im Bericht auch ein Überblick zu **grundlegenden Zugängen und Methoden der THG-Bilanzierung** geliefert (konsumbasierter Ansatz, territorialer Ansatz und Verursacherprinzip) sowie die Stärken und Schwächen dieser Zugänge für die Bilanzierung auf lokaler (Städte-) Ebene skizziert (siehe Kapitel 2). Zur Ableitung eines **Quantifizierungsansatzes** für die Berechnung von THG-Minderungspotenzialen in den Handlungsfeldern, wurde zunächst ein Ansatz zur Abschätzung der **Emissionsintensität in Städten** herangezogen. Die **Urban Kaya Identität (UKI)** legt dar, wie die gesamten Emissionen einer Stadt als Produkt von vier Faktoren dargestellt werden können: urbane Bevölkerung, pro Kopf Bruttoinlandsprodukt (BIP), Energieintensität und Kohlenstoffintensität (siehe Gudipudi et al. 2018). Daran anknüpfend wurde eine Indikatorenmatrix mit Proxy-Indikatoren entwickelt, welche die Erstellung einer **Typologie der (Beispiel-) Städte** (siehe unten) ermöglicht. Der Quantifizierungsansatz bedient sich sowohl konsumbasierter als auch territorialer Bilanzierungsansätze. Dabei wird ein graduelles Stufenverfahren zur konkreten Ausgestaltung der jeweils anzuwendenden Methoden eingesetzt, welches abhängig von der jeweiligen Datenverfügbarkeit in den Beispielstädten, angepasste Methoden vorsieht. In diesem Zusammenhang spielen Input-Output, MFA- und LCA-Daten

durchwegs eine wichtige Rolle, um die konsumbasierte Perspektive (etwa bei den Handlungsfeldern urbanes Transportsystem und nachhaltige Baustoffe) abzudecken.

Bei den **ausgewählten Städten** handelt es sich eher um **Beispiele**, in denen unterschiedliche Quantifizierungs-Ansätze verwendet wurden, und nicht um stadtspezifische Berechnungen, bei denen eine robuste Vergleichbarkeit im Vordergrund steht. Darunter sind Städte mit stabilem Bevölkerungswachstum und etablierter Verwaltung, wie z.B. die Städte **Leipzig und Essen** (Deutschland). **Nagpur und Rajkot** (Indien) sind Beispiele für sich rasch entwickelnde Städte mit infrastrukturellen Ungleichheiten und einem hohen Anteil an informellen Siedlungen. Die Städte **Santa Rosa und Pasig City** (Philippinen) hingegen sind Beispiele für wachstumsstarke Städte, die sich neu entwickeln.

Zur **Quantifizierung von Materialien im Gebäudebestand** (*Baseline*) wurden aufgrund der **divergierenden Datenverfügbarkeit, unterschiedlich methodische Ansätze** für die sechs Beispielstädte angewandt. **Für die deutschen Städte, Essen und Leipzig**, wurden Daten aus dem Gebäudekataster zu Baujahr und Nutzungsart (Mehr- oder Einfamilienhaus) herangezogen und modelliert. Darüber hinaus wurden Normen und Veröffentlichungen städtischer Ämter zur Abschätzung der Materialzusammensetzung der einzelnen Gebäudetypen herangezogen, wobei sich das Informationssystem *Gebaute Umwelt* des Leibniz-Instituts für ökologische Raumentwicklung als wichtige Quelle erwies. Die Gesamtmengen an Baumaterialien im Gebäudebestand der beiden Städte wurden berechnet, indem Informationen über die Bruttogeschossfläche [m²] aus dem Informationssystem verwendet wurden. Anschließend wurde die Gesamtbruttogeschossfläche je Baualterklasse anhand der Anzahl der Gebäude und der durchschnittlichen Bruttogeschossfläche ausgewertet. Auf Basis der Gesamtbruttogeschossfläche [m²] und des Materialeinsatzes [t/m²] wurde in einem letzten Schritt die Gesamtmenge [t] an Baumaterialien berechnet.

Für die indischen Städte Rajkot und Nagpur wurde anhand einer umfassenden Materialflussstudie für sechs asiatische Städte der Asiatischen Entwicklungsbank (2014) der **Domestic Material Input (DMI)** Indikator für Baumaterialien (Zement, Sand, Kies, Stahl, Holz, Kunststoffe) abgeleitet. Dividiert man den gesamten Baustoff-DMI durch das lokale BIP, kann die Baumaterialintensität des lokalen BIP berechnet werden.

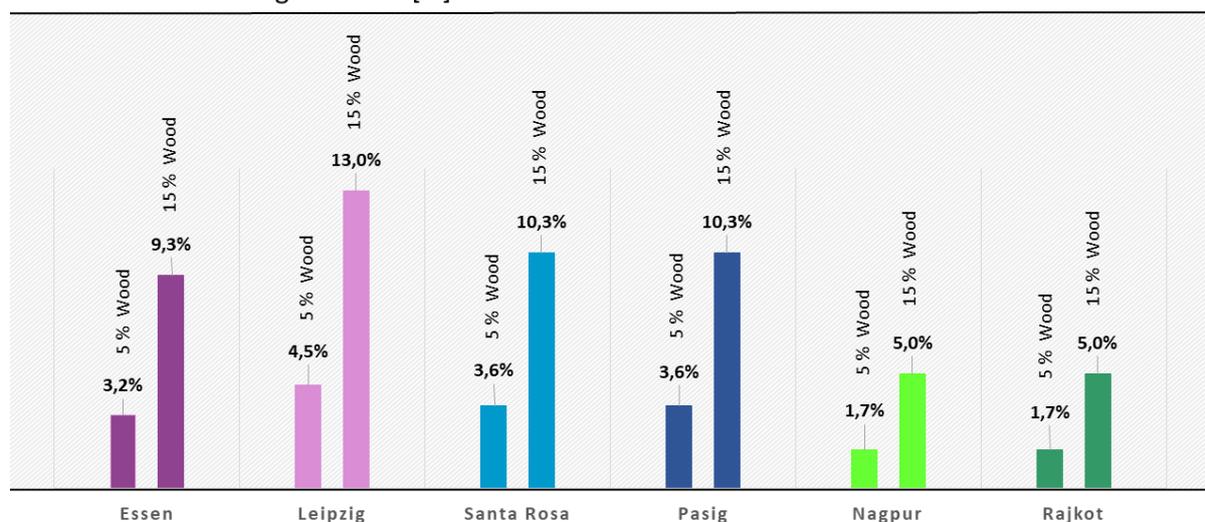
Für die philippinischen Städte Santa Rosa und Pasig City wurde die Gesamtmenge des im Bestand verbauten Materials berechnet, indem Annahmen zu Materialkomposition und Mengen in philippinischen Gebäuden mit der ermittelten Geschossfläche [m²] miteinander verschnitten wurden [Tonnen Material/m² Geschossfläche]. Schätzungen zu Materialien und deren Mengen wurden einer Publikation (Ong, Arcilla, & Oreta, 2017) über Lebenszyklusanalysen von Bausystemen auf den Philippinen entnommen.

Auf Basis des Status-Quo in den Beispielstädten, wurden **zwei Szenarien** berechnet, die die Reduktionspotenziale von Holz im Bauwesen verdeutlichen sollen: eine 5- und eine 15-prozentige **Substitution mineralischer und metallischer Baumaterialien durch den erhöhten Einsatz von Holz**. Bei einem Anstieg der Verwendung von Holz als Baumaterial um 5 Prozent liegt das Einsparpotenzial zwischen 1,6 und 3,2 Prozent. Bei einer Erhöhung der Substitution konventioneller Baumaterialien durch nachhaltig bewirtschaftetes Holz um 15 Prozent liegen die Treibhausgasreduktionen zwischen 5 und 9,5 Prozent.

¹ Dies ist die Gesamtfläche aller Grundrissebenen eines Gebäudes. Sie wird unterteilt in die Konstruktionsfläche und die Nettogrundfläche (DIN 277-1:2016-01).

Abbildung 1: Emissionsminderungspotential unter den beiden Szenarien für alle Städte im nachhaltigen Bauen [%]

Emissionsminderungspotential unter den beiden Szenarien für alle Städte im nachhaltigen Bauen [%]



*Die "What-if-Analyse" im Bereich des nachhaltigen Bauens umfasste die Berechnung von zwei Szenarien, eines 5%igen (linke Balken) und eines 15%igen (rechte Balken) für den Einsatz von Holz als Baumaterial.

Quelle: eigene Darstellung, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung und ICLEI Europasekretariat, 2022

Die **THG-Minderungspotenziale sind bei Baustoffen höher** als bei den Handlungsfeldern Mobilität und Nachverdichtung. Die Schwankungen bei den Ergebnissen sind einerseits auf die unterschiedliche Materialzusammensetzung im Bestand und andererseits auf unterschiedliche Bestandsgrößen zurückzuführen.

Die Relevanz des Bausektors für den Klimaschutz wurde auch von Guo et al. (2017) festgestellt, welche berechnet haben, dass der Energieverbrauch und die Kohlenstoffemissionen von Gebäuden aus *cross-laminated timber* (CLT) 10 bzw. 13 Prozent niedriger sind als die von Gebäuden mit konventionellen Materialien, basierend auf einer vollständigen Lebenszyklusanalyse (Guo et al., 2017). Im Bericht des International Resource Panel (IRP) (Swilling et al., 2018) wurde auch eine "What-if-Analyse" mit verschiedenen Maßnahmen für verschiedene Städte durchgeführt, die höchste Emissionseinsparung hatte ebenfalls die Substitution von Materialien auf Betonbasis durch biobasierte Materialien – hauptsächlich CLT. Mit der **vollständigen Substitution durch biobasierte Materialien könnten 64 Prozent der Treibhausgasemissionen eingespart werden.**

Insbesondere in Ländern des globalen Südens müssen auch andere **traditionelle, biobasierte Materialien**, z.B. Bambus, Stroh und Hanf bei der Transformation zu nachhaltigem Bauen berücksichtigt werden (Churkina et al., 2020). Studien haben gezeigt, dass der Ersatz von traditionellen Stahldächern durch kostengünstige, alternative Baumaterialien, wie z.B. Ziegel aus Flugasche, zu einer Energieeinsparung von mehr als 20 Prozent beim Materialeinsatz führen (Swilling et al., 2018, Kalra & Bonner, 2012). Die reine Verwendung von Holz als Ersatzmaterial könnte allerdings zu **Landnutzungs- und Zielkonflikten** führen, weshalb der zusätzliche Einsatz von alternativen nachhaltiger Materialien notwendig ist (Mishra et al., 2022). Daher sind **Strategien der Kreislaufwirtschaft**, wie beispielsweise Bauen mit recycelten Stoffen (Beton), Leichtbauweise (weniger Materialeinsatz), modulares Bauen, um

Reparierbarkeit und Wiederaufbereitung zu ermöglichen, unersetzlich um die erhofften Klimaschutz-Effekte im Gebäudesektor realisieren zu können.

Um die THG-Minderungspotenziale durch Substitutionseffekte im **Mobilitäts-Bereich** quantifizieren zu können, werden folgende relevante Verkehrsindikatoren identifiziert und entsprechende Basisdaten verwendet. *Modal-Split* in Prozent, sowie folgende Daten für die unterschiedlichen Verkehrsmittel: Streckenlänge (teilweise durch Annahmen); Emissionsfaktoren; spezifische Verbrauchsdaten und Besetzungsgrad. Aus diesen Eingangswerten können die durchschnittlichen Emissionen des Personenverkehrs für alle Beispielstädte berechnet werden.

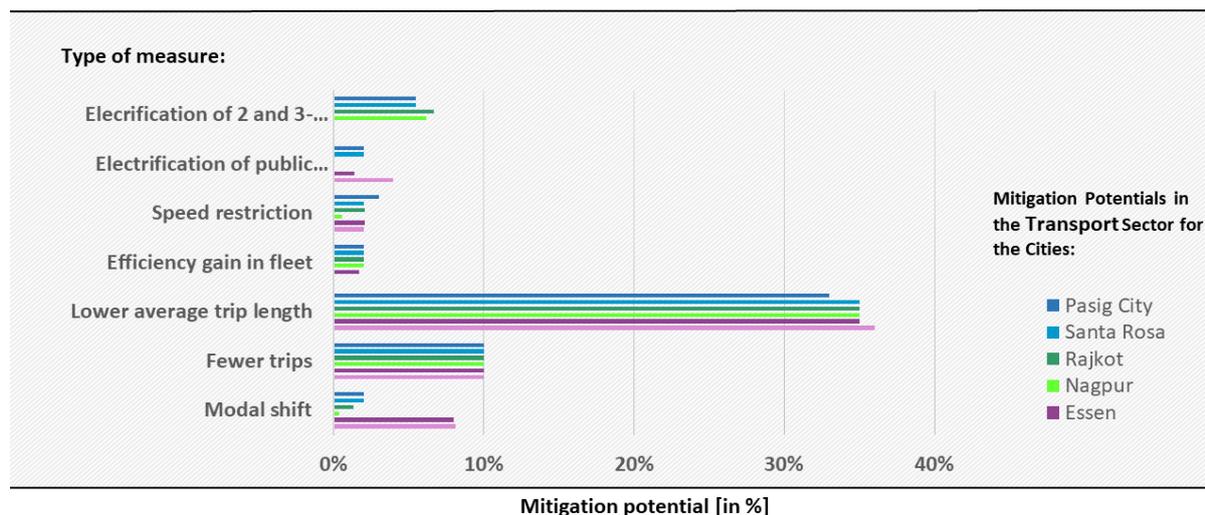
Die Berechnung für die deutschen und indischen Städte wurde nach dem oben beschriebenen Ansatz durchgeführt. Bei all jenen Städten wurden Haushaltsbefragungen und statistische Daten der Verkehrsämter verwendet. Für die philippinischen Städte Pasig City und Santa Rosa wurden die täglichen THG-Emissionen durch Multiplikation der Emissionsfaktoren jedes Verkehrsträgers ermittelt. Alle prozentualen Minderungspotenziale beziehen sich auf den Status quo der berechneten Verkehrsemissionen. Die Maßnahme der **geringeren durchschnittlichen Reiselänge birgt mit 33-36 Prozent das höchste Minderungspotenzial** (siehe Abbildung unten), wobei sich das Potenzial zwischen den Städten kaum unterscheidet. Es folgt die Maßnahme *Reduktion der Fahrten* mit 10 Prozent.

Bei einer *Verkehrsverlagerung vom Pkw auf den nicht motorisierten Verkehr* weisen die deutschen Städte Leipzig und Essen, aufgrund ihres hohen Pkw-Anteils, mit 8 Prozent ebenfalls die höchsten Minderungspotenziale auf. In Nagpur hat eine Verkehrsverlagerung nur ein Potenzial von 0,4 Prozent und in den philippinischen Städten liegen die Minderungspotenziale bei rund 2 Prozent.

Die *Elektrifizierung von Zwei- und Dreirädern* würde sich dagegen vor allem in den indischen und philippinischen Städten bemerkbar machen. Trotz eines Strommix mit geringem Anteil an erneuerbaren Energien haben die indischen Städte mit 6,7 Prozent (Rajkot) und 6,2 Prozent (Nagpur) das höchste Reduktionspotenzial. Der **hohe Emissionsfaktor des Stromnetzes in Indien führt zu einem Anstieg der Emissionen um 0,1 bis 0,3 Prozent, wenn die öffentliche Busflotte elektrifiziert wird**. Leipzig würde mit 4 Prozent die meisten Emissionen einsparen, gefolgt von den philippinischen Städten mit 2 und Essen mit 1,4 Prozent.

Abbildung 2: Minderungspotenziale für alle Städte im Verkehrssektor

Minderungspotenziale für alle Städte im Verkehrssektor



Quelle: eigene Darstellung, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung und ICLEI Europasekretariat, 2022

Die beiden deutschen Städte **Leipzig und Essen weisen einen hohen Anteil des Individualverkehrs mit dem Auto auf**, so dass eine *Verlagerung auf weniger Pkw-Fahrten* im Vergleich zu den anderen Städten zu einem höheren Minderungspotenzial führt. Im Gegensatz zu deutschen Städten, verändert sich der *Modal-Split* in schnell wachsenden Städten deutlich rascher zugunsten der individuellen Mobilität, hauptsächlich des Autos: Zum Beispiel ist die Anzahl der zugelassenen Autos in Nagpur zwischen 2014 und 2017 um 71 Prozent gestiegen, während die Bevölkerung nur um 10 Prozent zunahm. Für die indischen Städte wird dies aufgrund des hohen Anteils von 2- und 3-Rädern in Zukunft sogar noch zunehmen (Tiwari & Gulati, 2013). In Anbetracht dieses Trends besteht die Gefahr, dass sich die **Pfadabhängigkeit hin zu einer autogerechten Stadt** verstärkt (Hidayati et al., 2019). Es wird davon ausgegangen, dass die Umsetzung von verschiedenen Maßnahmenbündeln in den frühen Entwicklungsphasen der Transportinfrastruktur die Dominanz des Autos verhindern kann (Bongardt, 2010).

Das Minderungspotenzial der *Elektrifizierung des öffentlichen Verkehrs* hängt stark vom aktuellen Anteil des elektrifizierten öffentlichen Verkehrs und dem **Anteil der erneuerbaren Energien im Stromnetz** ab (Abdul-Manan et al., 2022). Der hohe Anteil von Kohle im indischen Stromnetz führt im Elektrifizierungsszenario sogar zu einem Anstieg der Emissionen. Angesichts des höheren Anteils an erneuerbaren Energien im Stromnetz haben die philippinischen und deutschen Städte höhere Minderungspotenziale. Vor allem im Verkehrssektor ist es jedoch effektiver, einen **Maßnahmenmix** anzustreben.

Um die **Auswirkungen der Flächennutzungsänderung** und insbesondere der **Nachverdichtung** auf die Emissionsentwicklung abzuschätzen, wird ein urbaner Skalierungsansatz für die Nachverdichtung angewandt. Studien zeigen, dass die städtischen **Emissionen in etwa proportional zur städtischen Bevölkerung oder Fläche sind** (Ribeiro, Rybski & Kropp, 2019), was die empirischen Skalierungsbeziehungen zwischen Fläche, Bevölkerung und Emissionen beschreibt. Für dieses Vorhaben wurde eine Erweiterung des

Skalierungsansatzes verwendet, die Cobb-Douglas Beziehung. Damit können die Auswirkungen verschiedener Populationen (P) oder Fläche (A) auf die Emissionen (C) analysiert werden, wobei beide durch die Dichte miteinander verbunden sind (Ribeiro, Rybski & Kropp, 2019).

Für alle Beispielstädte nehmen die THG-Emissionen in den Szenarien S1 (Zersiedlung) und S2 (Nachverdichtung) zu, wenngleich in S2 etwas langsamer. Die asiatischen Städte haben den höheren prozentualen Anstieg vom Status-Quo zu S1 aufgrund des höheren Bevölkerungswachstums in S1 im Vergleich zu den derzeitigen Emissionen. Wenn jedoch, wie in S2, P zunimmt und A konstant bleibt, nimmt die städtische Dichte zu und die Emissionen sinken im Vergleich zum gemeinsamen Anstieg von P und A in S1. Diese Erwartung wird durch die Ergebnisse bestätigt: Die Emissionseinsparungen von S2 zu S1 unterscheiden sich zwischen den deutschen und asiatischen Städten, liegen aber alle in einem ähnlichen Bereich von 0,39-0,68 Prozent, obwohl die Wachstumsraten von P und A in den asiatischen Städten deutlich höher sind (siehe Tabelle unten). Trotz des niedrigen Niveaus bei den Emissionen im Basisszenario, hatte Pasig City die höchsten Einsparungen in S2, auch aufgrund der höchsten Wachstumsraten. Im Verhältnis zu den Zunahmen bei P und A haben die deutschen Städte die höheren Einsparungen im Vergleich S2 zu S1, was mit dem niedrigen asiatischen βA -Parameter zusammenhängt.

Tabelle 1: Ergebnisse der Quantifizierungsansatzes beim Handlungsfeld Nachverdichtung

Stadt	Szenario	Bevölkerungswachstum [%]	Flächenzunahme [%]	Emissionen [tCO ₂]	THG-Veränderung verglichen mit Basis sowie S2 vs. S1 [%]
Leipzig	S1	7	5,6	4.214.307	6,21
	S2	7	0	4.191.539	-0,54
Essen	S1	5	4	4.007.563	4,52
	S2	5	0	3.991.966	-0,39
Nagpur	S1	24	19,2	3.164.981	18,20
	S2	24	0	3.154.808	-0,32
Rajkot	S1	36	28,8	1.961.681	24,96
	S2	36	0	1.952.602	-0,46
Pasig City	S1	56	44,8	1.291.097	34,00
	S2	56	0	1.282.336	-0,68
Santa Rosa	S1	41	32,8	484.292	27,45
	S2	41	0	481.780	-0,52

Ergebnisse der verschiedenen Cobb-Douglas-Funktionen je nach Stadt und Szenario: „Actual“ ist die Ausgangssituation, S1 steht für die Zersiedelung aufgrund der Erhöhung von P und A, S2 für eine Nachverdichtung, bei der P erhöht wurde und A konstant gehalten wurde.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse für die Nachverdichtung in bereits dicht besiedelten Städten einen geringen Einfluss der Fläche auf die Treibhausgasemissionen (β_A korreliert kaum mit C). Der Unterschied in der Emissionsminderung zwischen asiatischen und deutschen Städten ist hauptsächlich auf unterschiedliche Parameter zurückzuführen (β_P korreliert fast linear mit C). Im Vergleich zu den deutschen Städten ist β_A in den asiatischen Städten fünfmal niedriger. Dies bedeutet, dass sich Städte im Globalen Süden durch bereits hohe urbane Dichten und eine damit verbundene, effizientere Flächennutzung auszeichnen (WBGU, 2016). Die bereits hohe **städtische Dichte führt dann zu geringeren Treibhausgasemissionen** pro Kopf.

Zusammenfassend zeigt die Analyse der THG-Minderungspotenziale in allen drei Handlungsfeldern, dass **erfolgreiche städtische Interventionen** im Sinne einer klimagerechten Entwicklung, **ortsspezifisch, zeitgebunden und stark abhängig von dem Status-Quo** in Bezug auf den Einsatz von Baumaterialien, Verkehrsmitteln und dem Zustand der Stadtgestalt sind. Die Substitution konventioneller Baumaterialien durch Holz weist unter den untersuchten Handlungsfeldern das höchste Emissionseinsparungspotenzial über alle untersuchten Städte hinweg auf. Um jedoch **Zielkonflikte** zu vermeiden, z. B. verstärkte Flächennutzungskonkurrenz, müssen holzbasierte Baumaterialien hinsichtlich ihrer Materialeigenschaften verbessert (z.B. CLT) und durch andere biogene und lokale Materialien sowie durch **Strategien der Kreislaufwirtschaft** ergänzt werden.

Für die **städtische Form** ergab die Untersuchung einen **begrenzten Einfluss der Bevölkerungsdichte auf die Emissionen**, wenn man von einer wachsenden Bevölkerung ausgeht und ein maximiertes Reduktionspotenzial, das durch eine Verringerung der Landfläche bei gleichbleibender Bevölkerung erreicht wird. Unter Berücksichtigung von **trade-offs mit der**

Klimaanpassung (z.B. Vermeidung des Wärmeinseleffekts, Anfälligkeit für Überschwemmungen), deuten die Ergebnisse auch darauf hin, dass **vernetzte polyzentrische urbane Systeme** Vorteile und Synergien zwischen Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel erzielen können. Daraus folgend, muss der **Schwerpunkt einer klimaorientierten Stadtentwicklung** auf der Stadtform liegen, mit dem Ziel eine polyzentrischere Form zu generieren, die Effizienzgewinne durch eine höhere Stadtdichte mit sich bringt, die Effekte des daraus resultierenden geringeren Verkehrsbedarfs zu nutzen und gleichzeitig die Klima-Resilienz der Städte durch eine polyzentrische Struktur verbessert, welche Grün- und Bauflächen sowie den Erhalt von Ökosystemleistungen ermöglicht.

Zur **Analyse der Stadt-Umland Beziehungen** im Spannungsfeld Klimaschutz/Klimaanpassung sowie vor dem Hintergrund der berechneten THG-Minderungspotenziale, wurde ein analytischer Rahmenansatz zur Bewertung der Integration von Strategien und Planungsinstrumenten zwischen Stadt und Umland entwickelt. Dieser zielt darauf ab, **Schnittstellen zwischen Stadt und Umland** für die untersuchten Handlungsfelder in den sechs Beispielstädten zu identifizieren. Die Anwendung ergänzt die Ergebnisse des Quantifizierungsansatz durch die Einführung qualitativer Aspekte zur Bewertung von Stadt-Umland-Beziehungen. Dies hilft bei der Erstellung umfassender Strategien und Planungsinstrumente zur Eindämmung des Klimawandels an der Schnittstelle zwischen Stadt und Umland.

Die Expert*innen-Validierung zeigt, dass ein echter **Bedarf für eine vertiefende Untersuchung von Stadt-Umland-Beziehungen** besteht. So könnten unter anderem die Mechanismen der Bewertung der Einflüsse und Wirkungsstärken von verschiedenen Schnittstellen zwischen Stadt und Umland noch weiter ergänzt und verfeinert werden. Inhaltlich bestärken die qualitativen Analysebefunde die Berechnungen zu den THG-Minderungspotenzialen und liefern häufig weiteren Kontext und Erklärung für die quantitativen Ergebnisse. Die Befunde ermöglichen auch eine gewisse Vergleichbarkeit bei der Identifizierung von **gemeinsamen Herausforderungen der Städte im globalen Süden** (bsp. die Berücksichtigung von informellen Verkehrsmitteln in multimodalen Transportsystemen zur besseren Verknüpfung von Stadt und Umland). Trotzdem bleiben die Herausforderung der **mangelnden Datenverfügbarkeit für den globalen Süden**, sowie die üblichen Limitationen durch die gewählte Methode der Schreibtischrecherche vis-a-vis zusätzlichen Recherchen vor Ort und im Dialog mit lokalen Akteuren.

In der Untersuchung der **Synergien und Wechselwirkungen im Spannungsfeld zwischen Klimaschutz und Klimaanpassung** werden beide zunächst (gemäß IPCC) definiert. Ein Problemaufriss folgt, der die grundlegende Problematik skizziert und die Wechselwirkungen und Synergien in politischen Prozessen und Strategien in Deutschland und allgemein in Europa bzw. teilweise auch international aufzeigt. Dabei fällt besonders auf, dass auf strategisch-konzeptioneller Ebene in der Literatur oft auf Synergien zwischen Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen fokussiert wird, während auf der Umsetzungsebene stärker die Wechselwirkungen in den Vordergrund treten. Letzteres wird in der Literatur teilweise als Forschungslücke formuliert.

Daher wird ein **outcome-basierter Ansatz** für die Untersuchung herangezogen (im Gegensatz zu einem prozessorientierten Ansatz). Der **Fokus liegt dabei auf den Auswirkungen**

konkreter Maßnahmen, Projekte und Initiativen und nicht auf deren rahmengebenden Umständen, Prozessen und Akteuren. Damit kann nicht auf eine primäre, empirische Datenbasis zurückgegriffen, sondern es müssen sekundäre Daten benutzt werden. Das heißt, es wird untersucht, welche konkreten Ergebnisse, Auswirkungen und Erfahrungen in der Vergangenheit in anderen Fällen bereits gemacht wurden (Literatur) oder in Politikdokumenten (Strategien und Aktionspläne) explizit (aus einer ex-ante Perspektive) angesprochen werden, und beurteilt auf dieser Grundlage die hypothetischen Auswirkungen für zukünftige Fälle. Die Aussagekraft dieser

Strategien und Maßnahmen zum **städtischen Klimaschutz** sind auf vielfältige Weise mit **Klimawandelfolgen und Klimaanpassung** sowie mit anderen Zielen und Herausforderungen einer **umweltgerechten nachhaltigen Stadtentwicklung** verknüpft, stehen in komplexen Wechselbeziehungen und stellen systemische Herausforderungen dar. Daraus können **Konflikte, Synergien und unbeabsichtigte Nebenwirkungen** resultieren. Klimaschutz, Klimaanpassung und andere städtische Umweltpolitiken müssen daher **integriert geplant und umgesetzt** werden. Das Leitkonzept der „klimaresilienten Entwicklung“ des IPCC (AR6 WGII), als „Prozess der Umsetzung von Treibhausgasminderung und Anpassungsmaßnahmen, um nachhaltige Entwicklung für alle zu unterstützen“, verstärkt die Notwendigkeit, diese Wechselwirkungen gezielt zu berücksichtigen.

In der Untersuchung der **Synergien und Konflikte im Spannungsfeld zwischen Klimaschutz und Klimaanpassung** wird anhand einer literaturbasierten Zusammenschau zunächst der **Umgang mit Wechselwirkungen in nationalen und städtischen Klimapolitiken** charakterisiert. In nationalen Strategien und Prozessen zum Klimaschutz spielt die Berücksichtigung von Wechselwirkungen mit den Auswirkungen des Klimawandels und der Klimaanpassung eine vergleichsweise untergeordnete Rolle. Nationale Klimaschutzpolitiken (NEKPs) werden nach wie vor weitgehend entkoppelt von den nationalen Klimaanpassungsstrategien entwickelt und umgesetzt. Dahingegen zeigt sich im jüngeren Handlungsfeld der Klimaanpassung eine durchgängigere Tradition der Thematisierung von Synergien und Konflikten zum Klimaschutz. Das Anstreben simultaner Klimaschutzwirkungen ist in den nationalen Politikdokumenten oft prominent verankert, zum Beispiel auf der Ebene von Leitprinzipien der Klimaanpassung, als integraler Bestandteil des Verständnisses von „guter“ nachhaltiger Anpassungspraxis, als angestrebter Neben-, Zusatz- oder Mehrfachnutzen von Anpassungsmaßnahmen oder als Kriterium für die Auswahl und Priorisierung von Anpassungsoptionen. Die Vermeidung von Zielkonflikten mit der Treibhausgasminderung ist zudem eines der zentralen Ziele der Vermeidung von Fehlanpassung. Dabei fällt auf, dass auf politisch-strategischer Ebene Synergiepotenziale zwischen Anpassungs- und Klimaschutzmaßnahmen häufig überbetont werden, während Zielkonflikte primär auf der Umsetzungsebene stärker in den Vordergrund treten. Vorliegende empirische Befunde zeigen, dass **städtische Klimapolitiken** auf globaler Ebene überwiegend auf den Klimaschutz fokussieren. Im vergleichsweise geringen Anteil der Städte, die sowohl Klimaschutz als auch Klimaanpassung in ihren Agenden verankert haben, werden beide oft in getrennten Politiken verfolgt. Abgestimmte Planung von Vermeidung und Anpassung tritt selten auf, trotz internationaler Städtenetzwerke, die integrierte Klimaaktionspläne zu forcieren versuchen. Der Fortschritt von städtischer Planung zu einer Form der Umsetzung, die Synergien und Zusatznutzen von Klimaschutz, Anpassung und nachhaltiger Entwicklung identifiziert und gezielt verfolgt, findet nur langsam und ungleichmäßig statt. Ein Hauptgrund liegt in einem anhaltenden **Umsetzungsdefizit bei der urbanen Anpassung (policy-action gap)**, wodurch integrierte urbane Klimapolitiken mit einer gezielten Berücksichtigung von Konflikten und

Synergien zwischen Klimaschutz und Anpassung noch weitgehend fehlen. Die Literatur identifiziert zudem das Fehlen von operationalen Werkzeugen zur integrierten Bewertung von Maßnahmen als Forschungslücke.

Konzept, analytischer Rahmen und methodisches Verfahren, um Wirkungszusammenhänge zwischen Klimaschutz, Anpassung und ausgewählten anderen städtischen Umweltbereichen in den Handlungsfeldern einer klimaorientierten Stadtentwicklung identifizieren, analysieren und bewerten zu können, mussten daher erst entwickelt werden. Es wird ein **ergebnisbasierter, maßnahmenzentrierter Ansatz** auf sekundärer Datenbasis für die Untersuchung auf generalisierter Ebene herangezogen. Im Gegensatz zu einem prozessorientierten Ansatz liegt der Fokus dabei auf den erwarteten **Auswirkungen konkreter Maßnahmen, Projekte und Initiativen** und nicht auf deren rahmengebenden Umständen, Prozessen und Akteuren. Wesentlich für den entwickelten Analyserahmen ist die Unterscheidung zwischen zentralen analytischen Kategorien von positiven und negativen Wirkungszusammenhängen: i) **Co-Benefits und Trade-offs** sind vorteilhafte [nachteilige] Auswirkungen von THG-Minderungsmaßnahmen auf **Ziele der Klimaanpassung**, die entstehen, indem Folgen des Klimawandels (Hitze, Überflutungen, Trockenheit, sonstige Extremwetter- und Naturgefahrenereignisse) und resultierender Anpassungsbedarf abgeschwächt [verstärkt] werden; ii) **Synergien und Konflikte** sind Wechselwirkungen auf der **Ebene von Maßnahmen** und entstehen, wenn eine Klimaschutzmaßnahme die Wirksamkeit, Umsetzbarkeit oder Kosteneffizienz einer oder mehrerer konkreter Anpassungsmaßnahmen verbessert [verschlechtert]; iii) positive [negative] Einflüsse von THG-Minderungsmaßnahmen auf andere **städtische Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele** (Biodiversität, Boden, Wasser, Luftqualität, menschliche Gesundheit und soziale Aspekte) werden analog im Sinne von **Co-Benefits und Trade-offs** konzeptualisiert. Um eine ergebnisbasierte Analyse dieser Formen von Wirkungszusammenhängen durchführen zu können, wurden generalisierte **Kategoriensysteme** (hierarchisch strukturierte Maßnahmenkataloge) von **typischen Handlungsstrategien und Maßnahmenbündeln des städtischen Klimaschutzes und der Klimaanpassung** entwickelt. Das Handlungsfeld „Energieinfrastrukturen“ wurde dabei zusätzlich mitbetrachtet. Um eine strukturierte Bestandsaufnahme (Mapping) und Beschreibung von Wechselwirkungen durchführen zu können, wurden die genannten analytischen Kategorien in einem MS Excel-basierten **Analyse- und Bewertungstool** umgesetzt. Wesentlich für den Analyseansatz ist, dass die Untersuchung auf generischer Ebene, d.h. nicht auf konkrete Städte bezogen, stattfindet, und es sich bei den Wechselwirkungen um Potenziale und Risiken auf impliziter Basis, d.h. auf Grundlage plausibler wirkungslogischer Zusammenhänge, handelt. Zur Ermittlung der Relevanz von Wechselwirkungen für eine klimaorientierte Stadtentwicklung wurde ein **qualitatives Bewertungsschema** entwickelt, das die Einschätzung von Stärke, Intensität, Enge, Wahrscheinlichkeit und Plausibilität von Wirkungszusammenhängen und deren Effekten auf einer mehrstufigen qualitativen Skala ermöglicht. Die Bewertungen wurden im Projektkonsortium durchgeführt und resultieren aus **qualitativen Experteneinschätzungen** des gesamten Projektteams, arithmetischer Mittelwertbildung der Einzelbewertungen (n = 6) sowie Plausibilisierung in Workshops.

Die **Bestandsaufnahme von Wechselwirkungen** städtischer THG-Minderungsmaßnahmen i) mit der Klimaanpassung und mit ii) sozialökologischen Zielen einer nachhaltigen Stadtentwicklung wurde auf Basis einer umfangreichen Literaturlauswertung durchgeführt, ergänzt durch die kollektive Expertise des Projektkonsortiums. Insgesamt wurde eine beträchtliche Anzahl von beinahe **198 konkreten Wirkungszusammenhängen** identifiziert, wovon 121 Wirkungen die Klimaanpassung und 77 Wirkungen andere städtische Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele betreffen. **Positive Auswirkungen (Co-Benefits, Synergien)** von THG-

Minderungsmaßnahmen **überwiegen deutlich die negativen Wirkungen (Trade-offs, Konflikte)**. Im Vergleich der Handlungsfelder einer klimaorientierten Stadtentwicklung gehen vom Handlungsfeld „**Urbane Verdichtung**“ die meisten sowohl positiven als auch negativen Wirkungszusammenhänge aus. Insbesondere Maßnahmen des Clusters „Horizontale Verdichtung“ induzieren die häufigsten Wirkungen auf die Klimaanpassung. Weitere auffallend wechselwirkungsreiche Maßnahmencluster in anderen Handlungsfeldern sind „Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)“ (Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“) und „Transitorientierte Entwicklung“ (Handlungsfeld „Urbane Verkehrssysteme“). Die Substitution von konventionellen Baustoffen durch biobasierte Materialien, deren THG-Reduktionspotenzial am Beispiel von Holz im vorliegenden Projekt als vergleichsweise am höchsten quantifiziert wurde, scheint tendenziell eher geringe Auswirkungen auf Klimaanpassungsziele zu haben. Die am häufigsten von THG-Minderungsmaßnahmen beeinflussten Anpassungsziele (Klimafolgenbereiche) sind die Anpassung an Hitze und an Überflutungen (fluvial, pluvial, Küsten). An der Entstehung von potenziellen **Synergien und Konflikten** zwischen THG-Minderung und Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel ist grundsätzlich **ein großer Teil aller Anpassungsoptionen** des verwendeten Maßnahmenportfolios beteiligt. Zwei Maßnahmenbündel der Klimaanpassung sind am häufigsten von Synergien und Konflikten betroffen: „Grüne und blaue Infrastruktur“ (Anpassung an Hitze) und „Naturbasiertes dezentrales Regenwassermanagement“ (Anpassung an pluviale Überflutungen). Co-Benefits und Trade-offs für städtische **Umwelt(schutz)güter und Nachhaltigkeitsziele** entstehen durch THG-Minderungsmaßnahmen aller Handlungsfelder einer klimaorientierten Stadtentwicklung und betreffen am häufigsten den Zielbereich „**Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte**“. Angesprochen sind hierbei häufig Dimensionen der sozialen Verteilungsgerechtigkeit, Einflüsse auf vulnerable soziale Gruppen, die Leistbarkeit von Wohnraum und Energie sowie die Zugänglichkeit zu anderen Leistungen der Daseinsvorsorge.

Von besonderem Interesse für die Umsetzung einer integrierten klimaorientierten Stadtentwicklung sind wirkungsvolle Handlungsstrategien zur THG-Minderung, die wechselwirkungsintensiv sind und gleichzeitig sowohl positive als auch negative Wirkungen auf anderen Politiken generieren. Maßnahmen des Clusters „**Horizontale Verdichtung**“ die auf urbane Kompaktheit und flächeneffiziente Innentwicklung abzielen, weisen die **stärkste Ambivalenz der Wirkungszusammenhänge** in diesem Sinne auf. Dabei zeigt sich ein charakteristisches Wirkungsmuster, bei dem bedeutender und mehrfacher Zusatznutzen (Co-Benefits) und Synergien für die Anpassung vorwiegend im Stadtumland entstehen, weil durch die Freihaltung von Grün- und Freiräumen die Klimarisikoexposition reduziert, ökosystembasierte Anpassungsleistungen erhalten und Flächenpotenziale für aktive, z.B. technische Schutzmaßnahmen genutzt werden können. Demgegenüber stehen Trade-offs und Konflikte überwiegend innerhalb des bebauten Stadtgebietes. Eine überhöhte bauliche Verdichtung verstärkt den städtischen Wärmeinseleffekt, erhöht den Oberflächenabfluss bei Starkniederschlag und verringert das Flächenpotenzial für kühlende grüne und blaue Infrastruktur, Frischluftschneisen oder dezentrale, naturbasierte Regenwassermanagementlösungen.

Das Auftreten oder Nichtauftreten, die Ausprägung und Intensität von Wechselwirkungen sind letztlich situativ, konditional, stark von konkreten Kontextbedingungen und Skalenebenen abhängig. Hieraus folgt, dass auch Strategien, Maßnahmen und Vorkehrungen zur **Konfliktminderung und Synergieschöpfung** sehr stark von der konkreten Planung, Ausgestaltung und Umsetzung von Maßnahmen der Stadtentwicklung in spezifischen Kontexten abhängen, d.h. z.B. von konkreten architektonischen oder konstruktiven Lösungen bei

Sanierung oder Neuerrichtung von Gebäuden. Wesentlich ist das frühzeitige Erkennen, Abschätzen und Verstehen von Synergie- und Konfliktpotenzialen, weil diese nur dann gezielt und ex-ante in Prozessen zur Politikgestaltung sowie bei der Entwicklung, Bewertung, Auswahl und optimierten Planung von Maßnahmen berücksichtigt werden können. Integrierte urbane Klimapolitik bedeutet letztlich, dass Anstrengungen zur horizontalen und vertikalen Koordination und Kooperation intensiviert werden müssen. Dies erfordert einen unterstützenden Governance-Rahmen, das Überwinden abteilungscentrierter, sektoraler Strukturen („*policy silos*“) und den Ausbau von Governance-Kapazitäten.

Das Paris Agreement (UNFCCC, 2015) betont die Bedeutung von lokalen und regionalen Regierungen für die Klimaanpassung und hat wesentlich dazu beigetragen, Städte in das Zentrum der Debatte um **internationale Klimawandel-Governance** zu rücken. Gleichzeitig wurden in nachfolgenden Vertragsstaatenkonferenzen **Lücken der internationalen Klimafinanzierung für Anpassung** insbesondere im Globalen Süden zunehmend adressiert. Die Forschung zu lokaler Anpassung hat regelmäßig und übereinstimmend festgestellt, dass die meisten der Barrieren und unterstützenden Faktoren eng mit Fragen der **Governance** und der **Finanzierung** zusammenhängen. Um zu einem besseren Verständnis des Zusammenspiels beider Faktoren in einem internationalen Kontext beizutragen, wurden in einem eigenen Arbeitspaket unterschiedliche Dimensionen der Governance von urbaner Anpassung an den Klimawandel sowie die Rolle von städtischer, nationaler und internationaler Finanzierung von urbanen Anpassungsaktivitäten untersucht.

Für die Untersuchung beider Themenkomplexe wurden eine **umfangreiche Literatursauswertung** von rd. 150 Quellen (mit einem Schwerpunkt auf Meta-Studien, Review-Publikationen, vergleichenden Länderbewertungen und Fallstudien mit einer hohen Anzahl von Fällen), **Auswertungen von relevanten internationalen Datenbanken und Webportalen** sowie diesbezügliche **Sekundäranalysen** durchgeführt. Auswertungen von Daten internationaler Städtenetzwerke und –initiativen umfassen das *NAZCA Global Climate Action Portal (GCAP)*, die *CDP-ICLEI Unified Reporting Platform*, den *Global Covenant of Mayors (GCoM)*, die *Project Pipeline Database des Transformative Action Programme (TAP)* sowie – auf der erweiterten europäischen Ebene - den *Covenant of Mayors for Climate and Energy in Europe (CoM Europe)* und Studien der *Europäischen Umweltagentur (EEA)*. Die Ergebnisse werden sowohl für den Globalen Süden als auch für den Globalen Norden dargestellt, nicht zuletzt, um auch den bereits längeren Erfahrungshorizont und die reichhaltige Literatur zur Governance von städtischer Anpassung in Europa nutzen zu können.

Eine fragmentierte und heterogene globale Landschaft von Datenquellen und der Mangel an kohärenter Berichterstattung (UNFCCC, EU) zu urbaner Anpassung erschweren es, ein einheitliches Bild zum Stand der Klimaanpassung in Städten zu erlangen. Der Vergleich von Daten internationaler Städtenetzwerke, differenziert nach Phasen des Politikzyklus, ergibt dennoch den für den Globalen Süden und den Globalen Norden durchaus ähnlichen Befund eines **urbanen Anpassungsdefizits**, das sich mit Fortschreiten zu umsetzungsnahen Anpassungsphasen sukzessive vergrößert (*implementation gap*). **Klimaschutz hat weltweit in Städten die wesentlich höhere politische Priorität als Klimaanpassung**. Nur rund 17 % aller Städte, die eine Teilnahme am Global Covenant of Mayors (GCoM) unterzeichnet haben, verpflichten sich auch zur Klimaanpassung als komplementärem Ziel. Der Anteil von aktiven Mitgliederstädten des CoM Europe mit einer Anpassungsverpflichtung ist noch deutlich geringer (2 %) und stagniert seit vielen Jahren auf einem bescheidenen Niveau, wohingegen die Zahl der Städte mit einer Klimaschutz-Verpflichtung seit etwa 2008 stark zugenommen hat. Betrachtet man die **Phase der Politikformulierung**, so verfügen nur rund 4 % aller Vertragsstädte des GCoM über einen Aktionsplan zur Anpassung, und von den Städten mit einer

Anpassungsverpflichtung gibt nur ein relativ geringer Teil von 21 % an, Fortschritte von der Phase der Agendasetzung zur Erstellung von Anpassungsplänen gemacht zu haben. Ein Vergleich unterschiedlicher Datenbanken mit globaler (NAZCA GCAP, GCoM) und erweiterter europäischer Abdeckung (CoM Europe) ergibt, dass der Anteil der klimaaktiven Städte und Gemeinden mit vorhandenen Anpassungsplänen vergleichbar gering ist und in keinem der Städtenetzwerke 4 % der teilnehmenden Kommunen übersteigt. Ähnlich gering ist jeweils der Anteil der Städte, die bereits mit der **Umsetzung konkreter Anpassungsmaßnahmen** und –projekte befasst sind, womit **Fortschritte bei der Umsetzung und beim Mainstreaming von Anpassung bestenfalls lückenhaft sind und generell langsam von statten gehen**. Das Umsetzungsdefizit scheint für kleinere Kommunen (mit weniger als 20 000 Einwohnern) besonders ausgeprägt zu sein.

Der **Hauptakteur** für die urbane Anpassung ist überwiegend die **lokale öffentliche Verwaltung**. Die federführende Zuständigkeit beim Übergang von der Erstellung von Anpassungsplänen zur Umsetzung in der Praxis verschiebt sich dabei tendenziell von den Umweltautoren hin zu Stadtplanung, Architektur und Freiraumplanung. Die **Einbeziehung zivilgesellschaftlicher Stakeholder** in die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen stellt sich im Globalen Norden noch moderat dar und wird von weniger als einem Viertel der CoM Unterzeichnerstädte angegeben. Aus dem Globalen Süden wird hingegen eine weit verbreitete Beteiligung von Stakeholdern insbesondere an ökosystembasierten Anpassungsprojekten und im Kontext informeller Siedlungen berichtet. Die Mehrzahl der **berichteten Anpassungsmaßnahmen** in europäischen Städten sind „weich“, d.h. vorbereitende oder dem Mainstreaming dienende Maßnahmen. „Graue“, d.h. technische und infrastrukturelle Maßnahmen dominieren vor „grünen“ Maßnahmen, die weniger als 20 % insgesamt ausmachen. Während „weiche“ Maßnahmen auch im Globalen Süden stark repräsentiert sind, werden ökosystembasierte Anpassungsoptionen (Baumpflanzungen, Schaffung von Grünräumen, etc.) am häufigsten umgesetzt. Die am häufigsten **adressierten Sektoren** korrespondieren grob zwischen Globalem Norden und Süden: Wassermanagement, Landnutzungsplanung, und öffentliche Gesundheit. **Mainstreaming**, d.h. die **horizontale Integration von Anpassungszielen in Sektorpolitiken**, wird auch in europäischen Kommunen häufig durch einen Mangel an für intersektorale Kooperation verfügbaren Personalressourcen gehemmt und hängt stark von institutionalisierten zentralen Koordinationsfunktionen ab. Während regulative Mainstreaming-Ansätze (Gesetze, strategische Planung) global am häufigsten berichtet werden, wendet erfolgreiches Mainstreaming regelmäßig eine Kombination von Strategien (regulativ, intra- und inter-organisatorisch, etc.) an. Fallstudien aus dem Globalen Süden demonstrieren die hohe Bedeutung von **Wissens-Koproduktion und transdisziplinärer Zusammenarbeit**. **Transnationale Städtenetzwerke** haben bedeutendes Potenzial, zur Überwindung von Barrieren beizutragen, insbesondere durch Wissensaustausch, Kapazitätsaufbau und die Erleichterung des Zugangs zu öffentlicher Finanzierung.

Ein Mangel an **vertikaler Integration** zwischen Regierungs- und Verwaltungsebenen gilt als weit verbreiteter Hemmfaktor für Fortschritte bei der urbanen Anpassung. Vertikale Koordination zwischen der nationalen Ebene und Städten ist oft freiwillig, informell und nicht institutionalisiert. **Gesetzliche Verpflichtungen zur Klimaanpassung für die lokale Ebene** bestehen nur in einer Minderheit von europäischen Ländern, können **nicht-monetäre Unterstützung** durch die nationale Ebene in Form eines befähigenden Governancerahmens (Wissensbereitstellung, Beratung, etc.) aber auch nicht ersetzen. Vor allem kleinere Kommunen sind auf Hilfestellungen von höheren Ebenen angewiesen. In dieser Hinsicht kann auch die regionale Ebene eine entscheidende Mittlerrolle für lokales Anpassungshandeln einnehmen. Viele der am häufigsten identifizierten Hemmnisse für städtische Anpassung ergeben sich direkt

oder indirekt aus **inadäquaten Governance-Kapazitäten** und **mangelnder Verfügbarkeit bzw. Zugänglichkeit von finanziellen Ressourcen**. Die **Empfehlungen** für Prioritätensetzungen der internationalen Klimafinanzierung, die aus den Befunden abgeleitet werden, adressieren die identifizierten Barrieren und Hebelfaktoren.

Trotz zuletzt steigender Finanzierungszusagen seitens der entwickelten Länder **bleibt die globale Finanzierung von Klimaanpassung unzureichend**, um gegenwärtige und zukünftige Herausforderungen des Klimawandels bewältigen zu können. Zwischen 2019 und 2020 waren nur 7,4 % der erfassten globalen Klimafinanzierungsströme für Anpassung vorgesehen. Verglichen mit dem geschätzten Finanzierungsvolumen von 2017 wird eine Steigerung um das Zehnfache für erforderlich gehalten. Trotz ihrer hohen Vulnerabilität erhielten lokale und regionale Regierungen 2017-2018 nur rund 5 % der für Anpassung gewidmeten Finanzmittel. Die Kosten für die Klimaanpassung in Entwicklungsländern könnten noch signifikant höher sein, wenn der Investitionsbedarf für die frühen Phasen von Anpassungsprozessen, d.h. für die Schaffung der Wissensbasis, den Kapazitätsaufbau und Planungen, berücksichtigt wird. Der **größte Teil der urbanen Anpassungsfinanzierung** in der Periode 2017-2018 wurde für **Wasser- und Abfallmanagementprojekte** bereitgestellt, gefolgt von **Katastrophenmanagement**. Dabei weist der Trend in Richtung ganzheitlicherer Projekte, die mehrere Sektoren gleichzeitig adressieren.

Der Bericht analysiert weiters die **Rollen und Beiträge von finanziellen Akteuren und Finanzierungsquellen**. Die meisten Anpassungsaktivitäten werden global durch **öffentliche Quellen** finanziert. Sowohl in Europa als auch im Globalen Süden sind **eigene kommunale und regionale öffentliche Budgets** die wichtigste Quelle, oft kombiniert mit **Förderungen von nationaler oder subnationaler Ebene**. In Städten des Südens spielen weiters **multilaterale Institutionen zur Finanzierung von Entwicklung, bilaterale Entwicklungszusammenarbeit und Kooperationen zwischen Städten** eine größere Rolle. Internationale Finanzierungsinstitutionen und Entwicklungsbanken interagieren selten direkt mit Städten, sondern kanalisieren Finanzmittel über Nationalbanken, Kredite, spezifische Entwicklungsfonds oder öffentlich-private Partnerschaften. **Agenturen zur Projektvorbereitung**, die für gewöhnlich von den genannten Institutionen gemanagt werden, spielen eine zunehmend wichtiger werdende Rolle dabei, lokale Projekt in direktem Kontakt mit Städten bankfähig zu machen. Die **Beteiligung der Privatwirtschaft** wird von vielen Städten stark befürwortet, verbleibt aber bislang auf eher niedrigem Niveau. Im Globalen Süden ist dies häufig auf ungünstige und unsichere Rahmenbedingungen für Investitionen zurückzuführen. Da keine einzige Finanzierungsquelle allein ausreichend sein wird, um die Kosten des antizipierten Anpassungsbedarfs der städtischen Entwicklung zu decken, sind Städte auf die **Diversifizierung von Geldgebern** angewiesen.

Die primären Finanzierungsinstrumente für urbane Anpassung sind **Förderungen, Kredite und Anteilskapital**, oft kombiniert mit Risikoreduktionsmechanismen wie **Versicherungen und Garantien**. An internen Mechanismen stehen Instrumente (wie Steuern und Abgaben) zur Verfügung, um eigene Einnahmen zu generieren, die in Anpassungsprojekte investiert werden können. Öffentliche Zuschüsse und eigene städtische Budgets werden oft bevorzugt, weil diese Instrumente mit weniger bürokratischem Aufwand und regulativen Einschränkungen verbunden sind.

Kommunale und regionale Verwaltungen in Ländern des Globalen Südens sind oft mit **schwierigen Rahmenbedingungen für den Zugang zu internationaler Klimafinanzierung** konfrontiert. Dazu gehören schwache technische und fiskalische Kapazitäten, fehlende Expertise und mangelnde politische Unterstützung. Dies beschränkt die Möglichkeiten vieler Städte, den Zugang zu neuen Kapitalquellen zu erschließen. Die abgeleiteten Empfehlungen

schlagen unter anderem vor, dass Städte ihre Abhängigkeit von externer Finanzierung durch **interne, auch innovative Instrumente** reduzieren sollten. Neben Einnahmen aus **Steuern** und **Genehmigungen** sind Beispiele hierfür die **Abschöpfung von Bodenwertzuwächsen, CO₂-Bepreisung, revolvingende Fonds** und **städtische Anleihen**. Schlussfolgerungen und Empfehlungen adressieren auch **methodische Weiterentwicklungen des Monitorings von Anpassungskosten und Anpassungsfinanzierung**. Ein eigener Satz von Empfehlungen zielt darauf ab, **städtische Anpassung in der Internationalen Klimafinanzierungsinitiative (IKI) Deutschlands zu stärken**.

Ein wichtiger Bestandteil des Vorhabens ist die Ausarbeitung von **Handlungsempfehlungen an verschiedene Regierungsebenen**, um eine integrierte Stadtentwicklung zu befördern, die THG-Minderungspotenziale sowie Synergiepotenziale mit Klimaanpassung ausschöpft sowie Stadt-Umland Beziehungen reflektiert und synthetisiert. Übergeordnete Narrative wurden in einem ersten Schritt in Form von Diagrammen erstellt, um übergeordnete Zielvisionen mit Empfehlungen entlang der deutschen Verwaltungsgliederung einzuordnen und zu verknüpfen. Der Ansatz wurde in einer internen Arbeitsklausur weiterentwickelt und diente als Grundlage für die Verschriftlichung des Empfehlungspapiers. Schlussendlich wurden Empfehlungen im Rahmen eines Abschlussworkshops gemeinsam mit Expert*innen validiert und priorisiert. Überlegungen zur verbesserten programmatischen Aufstellung der Internationalen Klimaschutzinitiative (IKI) des BMWK sind dem Abschlussbericht als Anhang beigefügt (siehe Anhang E).

Eine integrierte Betrachtung der drei Handlungsfelder ist zentral, um das **synergetische Potenzial** zwischen diesen zu erkennen und strategisch zu nutzen sowie um Wechselwirkungen und Zielkonflikte zu minimieren. Darüber hinaus, ist ein Verständnis zu Synergien und Konflikten mit Klimaanpassung wesentlich für eine kluge, **klimaorientierte Stadtentwicklungspolitik**.

Die **klimaorientierte Stadt der Zukunft ist demnach überwiegend aus Holz und anderen regenerativen Materialien gebaut, besteht aus polzentrischen Strukturen, die vertikal verdichtet und transitorientiert vernetzt sind**. Die polyzentrische Struktur dient vor allem der Schaffung und Stärkung der Daseinsvorsorge vor Ort („**15 Minuten-Stadt**“) als wirkungsvollstem Hebel der Reduktion von Weglängen sowie der Bevorzugung aktiver, klimaneutraler Verkehrsmittel (Zu-Fuß-gehen und Fahrrad) und der Erhaltung möglichst großer Grünflächen zwischen den Zentren, welche bei der **Vermeidung des Wärmeinseleffekts** helfen können, sowie vor Überflutung und Trockenheit schützen. Um Effizienzgewinne durch Verdichtung und damit einem reduzierten pro-Kopf Energieverbrauch, etwa bei der Mobilität (z.B. ÖPNV), zu heben, sollte unter anderem und wo möglich, auf **vertikale Verdichtung** gesetzt werden, da hier die Zielkonflikte und Wechselwirkungen mit Zielen der Klimaanpassung am geringsten sind. Gegenüber einer horizontalen Verdichtung von städtischen Strukturen, bedeutet die „Verdichtung in die Höhe“ weniger Flächenversiegelung und damit weniger Hitzestress (auch durch Verschattung) und mehr Schutz vor Überflutung und Trockenheit. Vertikale Verdichtung reduziert somit innerstädtische Flächennutzungskonkurrenzen und -konflikte und erleichtert die Umsetzung von v.a. naturbasierten, grünen Maßnahmen zur Anpassung an Hitze und Überflutungen. Eine **transitorientierte Stadtentwicklung**, die grüne Straßen, grüne Achsen sowie grüne Bestands- und Neuquartiere forciert, verbindet die Reduktion von Verkehrsvolumina mit Synergien für die Klimaanpassung und mehrfachen, positiven Nebeneffekten (*Co-Benefits*) für die städtische

Umweltqualität, Biodiversität sowie Gesundheit und Lebensqualität. So tragen **begrünte und unversiegelte Straßenbegleitflächen** zur natürlichen Kühlung (Verdunstung, Verschattung), der Reduktion des urbanen Wärmeinseleffekts, der Frisch- und Kaltluftzufuhr und damit zum thermischen Komfort im umliegenden Stadtgebiet bei. Zudem verbessern grüne Verkehrskorridore die ökologische Konnektivität auf innerstädtischer Ebene und zwischen Stadt und Umland und erhöhen somit die Klimaresilienz der Biodiversität. Maßnahmen und **Programme zur "grünen" Erneuerung von Bestandsquartieren, der Neuentwicklung von Quartieren und der Nachverdichtung von Bebauungsstrukturen** sind im Sinne eines klimasensitiven, städtischen Designs gut geeignet, um Anpassungsoptionen wie Dach- und Fassadenbegrünung, Regenwassersammelsysteme, helle Oberflächen und Maßnahmen des passiven Gebäudedesigns (wie Lage, Höhe und Exposition von Baukörpern, Gebäudeausrichtung, Dach-, Fenster- und Fassadenorientierung, Glasanteil an Fassaden, etc.) zu integrieren.

Neben den beschriebenen Beiträgen zu einzelnen Maßnahmen (siehe auch Kapitel 6), gilt es auch die **Governance – und Prozesshaftigkeit einer solchen klimaorientierten Stadtentwicklung** zu betonen. Vor allem Länder und Kommunen sollten Strukturen schaffen, die es ermöglichen integriert, d.h. über Ämter hinweg, Klimapolitik zu gestalten und umzusetzen.

Neben dem erlangten Erkenntnisgewinn hat das Vorhaben auch gezeigt, dass es noch große Lücken in der wissenschaftlichen Untersuchung sowie praktischen Planbarkeit und Umsetzung einer klimaorientierten Stadtentwicklung gibt. So können eine Reihe weiterer Forschungsbedarfe skizziert werden – sowohl im Wissenschaftlichen als auch im Bereich praxisnaher Forschung, wenn es etwa um das Testen innovativer, integrierter Management- und Verwaltungspraktiken geht:

- ▶ Holistische Potenzialanalyse der Holzsubstitution im gesamten Lebenszyklus von der Veränderung der Kohlenstoffspeicherfähigkeit der Wälder bis hin zur CO₂-Speicherfunktion in Gebäuden.
- ▶ Organisation und Geometrie von Urbanität und Ruralität: Wie können urbane und ländliche Regionen räumlich und strukturell so organisiert werden, dass sie einer klimaorientierten Entwicklung entsprechen?
- ▶ Integrierte räumliche Analyse der Stadtdichte: vertiefende Analyse zu Wirkungszusammenhängen, Treibern und Akteuren im urbanen Raum.
- ▶ „*Settling the unsettled*“ – Untersuchung der Dynamiken in informellen Siedlungen (Globaler Süden) im Zusammenhang mit der urbanen Planung.
- ▶ Zirkularität und Stadtentwicklung in der digitalen Zukunft: Wie kann das Prinzip der Zirkularität oder der "zirkulären Stadt" in Konzepte zur klimaorientierten Stadtentwicklung miteinfließen? Welche funktionalen Ansätze zur Operationalisierung sind möglich?
- ▶ "Die Stadt als Kohlenstoffsенke": Entwicklung und Operationalisierung eines Geschäftsmodells (reflektierend auf CO₂-Bilanzierung, Zertifikate, off-setting, nachhaltig, nachwachsende Baustoffe etc.).

- ▶ Weiterentwicklung und Praxisanwendungen des Wechselwirkungs-Tools (zu Klimaschutz/Klimaanpassung) auf konkrete Städte mit lokalem Expert*innen-Team, z.B. eingebettet in den Prozess zur Entwicklung/Umsetzung integrierter, städtischer Klima- und Nachhaltigkeitsstrategien.
- ▶ Ableitung, Entwicklung und Praxistestung von Methoden zur integrierten Maßnahmenbewertung und –optimierung für spezifische Anwendungsbereiche.
- ▶ Entwicklung von Praxis- und Entscheidungshilfen zur Berücksichtigung von Konflikt- und Synergiepotenzialen in konkreten Projekten (Vergleich und Optimierung von Planungsvarianten und Maßnahmenoptionen).
- ▶ Entwicklung von Leitlinien, Planungs- und Entscheidungshilfen für „qualitätsvolle“, klimasensible (Nach)Verdichtung.
- ▶ Förderung der Rolle von kleinen und mittleren Städten zur Stärkung von Stadt-Umland-Beziehungen: Erforschung des Potenzials von kleineren und mittleren Städten im Umland von Großstädten als Knotenpunkt für lokale Wirtschaftsentwicklung sowie Dienstleistungs- und Umweltmanagement, insbesondere im Kontext von schnell wachsenden Städten und dem Klimawandel.
- ▶ Nutzungspotenzial von digitalen Technologien und Innovationen zur Stärkung von Stadt-Umland-Beziehungen und Resilienz: Erforschung der Auswirkung der digitalen Kluft zwischen Stadt und Umland, Informationszugang, e-Governance, Onlinehandel, digitalem Lernen und digitalen Gesundheitsdienstleistungen sowie der Chancen und Risiken der digitalen Transformation für Stadt-Umland-Beziehungen. Zusätzlich muss die Minderung von Datenlücken für eine evidenzbasierte Entscheidungsfindung zur integrierten Entwicklung von Stadt und Umland sowie zur Analyse der Stadt-Umland-Beziehungen angegangen werden.
- ▶ Integration von *Policymaking* und Kapazitätsaufbau zur Schaffung von Partnerschaften zwischen städtischen und ländlichen Akteuren durch einen systembasierten Multi-level Governance Ansatz: Koordination und Angleichung von Maßnahmen und Planungsdokumenten, unter anderem durch die Stärkung lokaler Akteure und den Aufbau von Governancekapazitäten sowie durch die Anerkennung der Verflechtungen und Wechselwirkungen zwischen Stadt und Umland und der Wichtigkeit von starken Partnerschaften zwischen urbanen und ländlichen Akteuren.

Summary

By 2050, the global population is expected to grow by 2.2 billion (compared to 2009) (He et al., 2015). **Globally, 64 to 69 per cent of people will then live in cities**, which is and will continue to be the main source of greenhouse gases. Around 70 per cent of global energy consumption can be attributed to cities (UN-Habitat, 2020). Limiting global warming to 1.5 degrees Celsius (°C) therefore requires a significant reduction of greenhouse gases in urban areas. The rapid rate of urbanisation is reflected in constantly growing land use. The settlement and transport area in Germany increases by 55 hectares per day (moving four-year average from 2018 to 2021), often at the expense of land previously used for agriculture or green spaces (Domhardt, 2021).

The building sector is also proving to be a **major source of greenhouse gas emissions** globally. According to the United Nations Environment Programme (UNEP), buildings and related construction processes account for 36 per cent of global energy consumption and 37 percent of energy-related carbon dioxide emissions annually (Abergel et al., 2021). If considering also the associated emissions from commuters and the transport of goods, the emissions are significantly higher still. In 2050, the **building sector must emit 80-90 per cent less GHG globally** than in 2010 in order to remain compatible with the 1.5 degree target (cf. EU Calculator).

Following this, the present research project is concerned with the question of what **greenhouse gas reduction potential** exists in central fields of action of **climate-oriented urban development**, how this can be quantified and what synergies can be raised with climate adaptation strategies. These fields of action are (a) **re-densification/development of dense development** in existing urban structures (b) **sustainable building including the use of sustainable building materials**, (c) **mobility and urban transport infrastructures in** interaction with settlement structures. It considers these fields of action on a strategic-conceptual level of integrated urban development with their interactions and on the various spatial levels from the building, to the neighbourhood, to the city as a whole.

In these fields of action, the relationship between cities and their **surrounding areas** also plays an important role. The study examines how the systematic integration of climate policy approaches into the design of interregional linkages and **functional spatial relationships** between cities and their surrounding areas can be promoted in the fields of action addressed.

Following the systematic approach of the Global Research and Action Agenda on Cities and Climate Change Science, **synergies and conflicts between climate change mitigation, adaptation and** other urban environmental issues are also considered.

The fields of action are first qualitatively outlined and delimited, and their GHG reduction potential is underlined. The focus is also on describing how savings can be achieved in the respective fields of action (**impact mechanisms**). The focus is on the identification of packages of measures for each field of action, which are part of the assumptions for the calculation of the GHG reduction potentials in the sample cities, as well as on the description of the underlying (climate) strategic guidelines or exemplary climate policy objectives. The above-mentioned impact mechanisms are also central, both for the understanding of the fields of action and their emission reduction potentials, as well as for the calculations in the sample cities. Measures were

selected that have a direct quantifiable impact. For example, the impact of the measure of a *10 per cent modal shift to non-motorised transport* is directly quantifiable, in contrast to the impact of a general, comprehensive urban development concept.

When considering and **characterising the three fields of action**, it becomes clear that due to the increase in population, combined with the rapid rate of urbanisation and the consequences of climate change, special attention must be paid to urban infrastructure in climate protection. This includes, further reinforced by the doubling of the demand for physical infrastructure, the construction of buildings, but also the transport system and the urban structure in general. For the 1.5 degree target to even be achieved, immediate urban interventions are needed. These include the increased use of biogenic materials such as wood, improvements in transport technologies, behavioural changes such as shifting to climate-friendly modes of transport or polycentric urban forms. In the project, these **measures were quantified with regard to their emission reduction potential**.

With regard to the inventory for the development of a quantification approach for the calculation of GHG mitigation potentials in the three fields of action, the report also provides an overview of **basic approaches and methods of GHG accounting** (consumption-based approach, territorial approach and polluter-pays principle) and outlines the strengths and weaknesses of these approaches for accounting at the local (city) level (see chapter 2). In order to derive a **quantification approach for the** calculation of GHG reduction potentials in the fields of action studied, an approach for estimating the **emission intensity in cities** was first used. The **Urban Kaya Identity (UKI)** sets out how the total emissions of a city can be represented as a product of four factors: urban population, per capita gross domestic product (GDP), energy intensity and carbon intensity (see Gudipudi et al. 2018). Following on from this, an indicator matrix with proxy indicators was created, which enables the creation of a **typology of (example) cities** (see below). The quantification approach uses both consumption-based and territorial accounting approaches. A gradual stepwise procedure is used for the concrete design of the methods to be applied in each case, which provides for adapted methods depending on the respective data availability in the sample cities. In this context, input-output, MFA and LCA data play an important role throughout in order to cover the consumption-based perspective (e.g. in the fields of action urban transport system and sustainable building materials).

The **selected cities** are **examples where** different quantification approaches have been used rather than city-specific calculations where robust comparability is the focus. Among them are cities with stable population growth and established administration, such as the cities of **Leipzig and Essen** (Germany). **Nagpur and Rajkot** (India) are examples of rapidly developing cities with infrastructural inequalities and a high proportion of informal settlements. The cities of **Santa Rosa and Pasig City** (Philippines), on the other hand, are examples of high-growth cities that are newly developing.

To **quantify materials in the building stock (baseline)**, **different methodological** approaches were used for the six sample cities due to the **diverging data availability**. **For the German cities, Essen and Leipzig**, data from the building cadastre on year of construction and type of use (multi-family or single-family house) were used and modelled. In addition, standards and publications from municipal offices were used to estimate the material composition of the individual building types, whereby the Information System *Built Environment* of the Leibniz

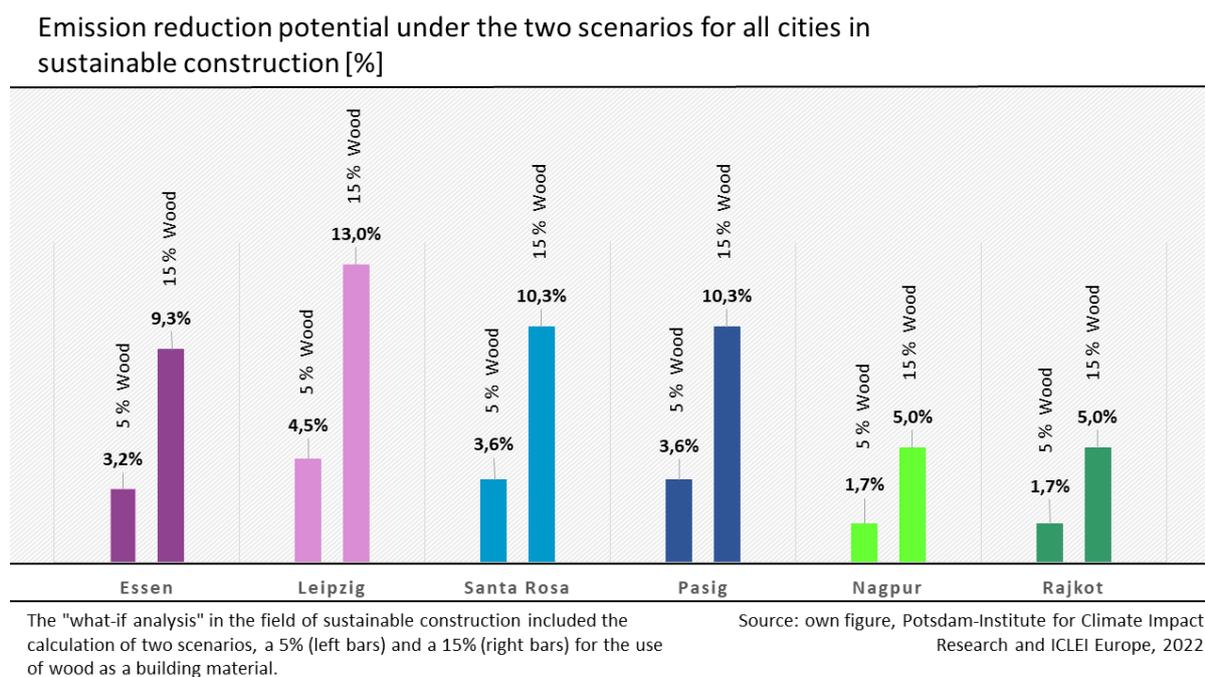
Institute for Ecological and Regional Development proved to be an important source. The total quantities of building materials in the building stock of the two cities were calculated by using information on the gross floor area³⁴ [m²] from the information system. Then, the total gross floor area per building age class was evaluated based on the number of buildings and the average gross floor area. Based on the total gross floor area [m²] and the material input [t/m²], the total quantity [t] of building materials was calculated in a final step.

For the Indian cities of Rajkot and Nagpur, the *Domestic Material Input (DMI)* indicator for building materials (cement, sand, gravel, steel, wood, plastics) was derived from a comprehensive material flow study for six Asian cities by the Asian Development Bank (2014). Dividing the total building material DMI by the local GDP, the building material intensity of the local GDP can be calculated.

For the Philippine cities of Santa Rosa and Pasig City, the total amount of material used in the existing stock was calculated by intersecting assumptions on material composition and quantities in Philippine buildings with the determined floor area [m²] [tonnes of material/m² floor area]. Estimates of materials and their quantities were taken from a publication (Ong, Arcilla, & Oreta, 2017) on life cycle analysis of building systems in the Philippines.

Based on the status quo in the sample cities, **two scenarios** are calculated to illustrate the reduction potential of wood in the building sector: a 5- and a 15-per cent **substitution of mineral and metallic building materials by the increased use of wood**. With a 5 per cent increase in the use of wood as a building material, the savings potential is between 1.6 and 3.2 per cent. With a 15 per cent increase in the substitution of conventional building materials with sustainably managed wood, the greenhouse gas reductions are between 5 and 9.5 per cent.

Figure 3: Emission reduction potential under the two scenarios for all cities in sustainable construction [%]



The **GHG reduction potentials are higher for building materials** than for the other fields of action under study. The fluctuations in the results are due on the one hand to the different material composition in the stock and on the other hand to different stock sizes.

The relevance of the building sector for climate change mitigation was also noted by Guo et al. (2017), who calculated that the energy consumption and carbon emissions of buildings made of cross-laminated timber (CLT) are 10 and 13 per cent lower, respectively, than those of buildings with conventional materials, based on a full life-cycle analysis (Guo et al., 2017). In the International Resource Panel (IRP) report (Swilling et al., 2018), a "what-if analysis" was also conducted with different measures for different cities, the highest emission saving also had the substitution of concrete-based materials with bio-based materials - mainly CLT. **Complete substitution with bio-based materials could save 64 per cent of greenhouse gas emissions.**

Especially in countries of the Global South, other **traditional bio-based materials**, e.g. bamboo, straw and hemp, also need to be considered in the transformation to sustainable construction (Churkina et al., 2020). Studies have shown that replacing traditional steel roofs with low-cost alternative building materials, such as tiles made from fly ash, result in energy savings of more than 20 per cent in material use (Swilling et al., 2018, Kalra & Bonner, 2012). However, the mere use of wood as a substitute material could lead to **land use and target conflicts**, which is why the additional use of alternative sustainable materials is necessary (Mishra et al., 2022). Therefore, **strategies of the circular economy**, such as building with recycled materials (concrete), lightweight construction (less use of materials), modular construction to enable reparability and reprocessing, are irreplaceable to realise the hoped-for climate protection effects in the building sector.

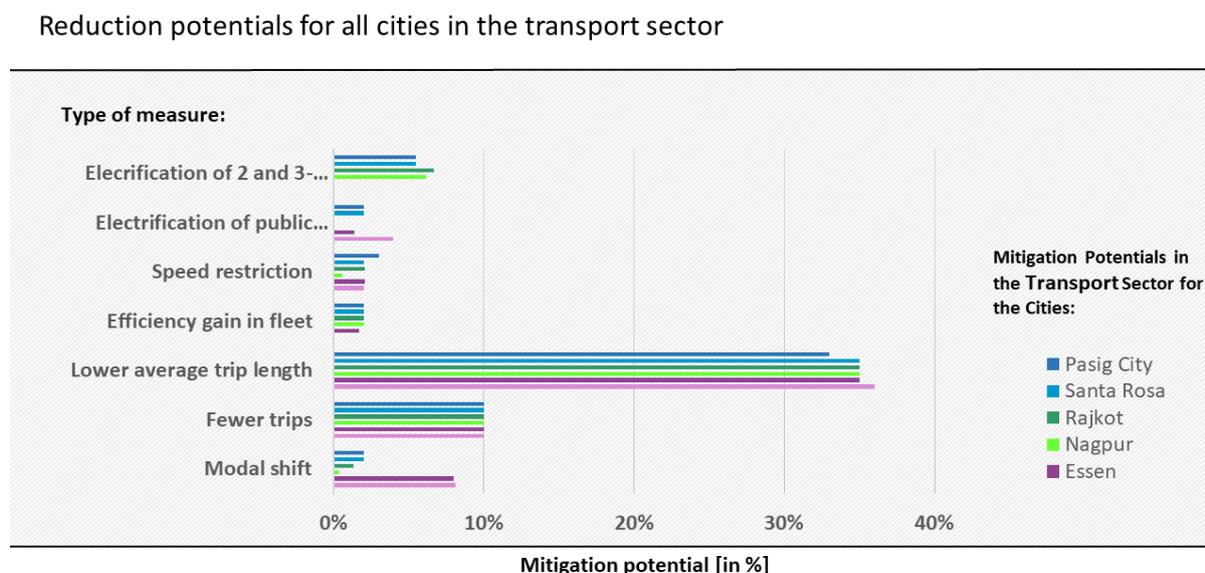
In order to be able to quantify the GHG reduction potentials through substitution effects in the **mobility sector**, the following relevant transport indicators are identified, and corresponding basic data are used. *Modal split* in per cent, as well as the following data for the different modes of transport: route length (partly by assumptions); emission factors; specific consumption data and occupancy rate. From these input values, the average emissions of passenger transport can be calculated for all sample cities.

The calculation for the German and Indian cities was carried out according to the approach described above. For all those cities, household surveys and statistical data from the transport offices were used. For the Philippine cities of Pasig City and Santa Rosa, daily GHG emissions were determined by multiplying the emission factors of each transport mode. All percentage reduction potentials refer to the status quo of the calculated transport emissions. The measure of **reduced average trip length has the highest reduction potential of 33-36 per cent** (see figure below), whereby the potential hardly differs between the cities. It is followed by the measure *reduction of trips with 10 per cent*.

In the case of a *modal shift from cars to non-motorised transport*, the German cities of Leipzig and Essen, due to their high share of cars, also have the highest reduction potentials with 8 per cent. In Nagpur, a modal shift has a potential of only 0.4 per cent and in the Philippine cities the reduction potentials are around 2 per cent.

The *electrification of two- and three-wheelers*, on the other hand, would be most noticeable in Indian and Philippine cities. Despite an electricity mix with a low share of renewables, Indian cities have the highest reduction potential with 6.7 (Rajkot) and 6.2 per cent (Nagpur). The **high emission factor of the power grid in India leads to an increase in emissions of 0.1 to 0.3 per cent if the public bus fleet is electrified**. Leipzig would save the most emissions with 4 per cent, followed by the Philippine cities with 2 and Essen with 1.4 per cent.

Figure 4: Reduction potentials for all cities in the transport sector



Source: own figure, Potsdam-Institute for Climate Impact Research and ICLEI Europe, 2022

The two German cities of **Leipzig and Essen** have a high share of individual transport by car, so that a *shift to fewer car trips* leads to a higher mitigation potential compared to the other

cities. In contrast to German cities, the *modal split* in fast-growing cities is changing much more rapidly in favour of individual mobility, mainly cars: for example, the number of registered cars in Nagpur increased by 71 per cent between 2014 and 2017, while the population increased by only 10 per cent. For Indian cities, this will even increase in the future due to the high share of 2- and 3-wheelers (Tiwari & Gulati, 2013). Given this trend, there is a risk of increasing **path dependency towards a car-friendly city** (Hidayati et al., 2019). It is assumed that the implementation of various bundles of measures in the early development phases of the transport infrastructure can prevent the dominance of the car (Bongardt, 2010).

The mitigation potential of electrification of *public transport* strongly depends on the current share of electrified public transport and the **share of renewable energy in the power grid** (Abdul- Manan et al., 2022). The high share of coal in the Indian power grid actually leads to an increase in emissions in the electrification scenario. Given the higher share of renewables in the power grid, the Philippine and German cities have higher mitigation potentials. However, especially in the transport sector, it is more effective to aim for a **mix of measures**.

In order to estimate the **impact of land use change**, and in particular **re-densification**, on emissions development, an urban scaling approach to re-densification is applied. Studies show that urban **emissions are roughly proportional to urban population or area** (Ribeiro, Rybski & Kropp, 2019), which describes the empirical scaling relationships between area, population and emissions. For this project, an extension of the scaling approach was used, the Cobb-Douglas relationship. This allows the effects of different populations (P) or area (A) on emissions (C) to be analysed, with the two linked by density (Ribeiro, Rybski & Kropp, 2019).

For all sample cities, GHG emissions increase in the S1 (sprawl) and S2 (re-densification) scenarios, although at a slightly slower rate in S2. The Asian cities have the higher percentage increase from status quo to S1 due to higher population growth in S1 compared to current emissions. However, as in S2, if P increases and A remains constant, urban density increases and emissions decrease compared to the joint increase in P and A in S1. This expectation is confirmed by the results: The emission savings from S2 to S1 differ between the German and Asian cities, but are all in a similar range of 0.39-0.68 per cent, although the growth rates of P and A are significantly higher in the Asian cities (see table below). Despite the low level of emissions in the baseline scenario, Pasig City had the highest savings in S2, also due to the highest growth rates. Relative to the increases in P and A, the German cities have the higher savings in comparison S2 to S1, which is related to the low Asian β_A parameter.

Table 2: Results of the quantification approach in the field of action re-densification

City	Scenario	Population growth [%]	Increase in area [%]	Emissions [tCO ₂]	GHG change compared to baseline and S2 vs. S1 [%].
Leipzig	S1	7	5,6	4.214.307	6,21
	S2	7	0	4.191.539	-0,54
Food	S1	5	4	4.007.563	4,52
	S2	5	0	3.991.966	-0,39
Nagpur	S1	24	19,2	3.164.981	18,20
	S2	24	0	3.154.808	-0,32

City	Scenario	Population growth [%]	Increase in area [%]	Emissions [tCO ₂]	GHG change compared to baseline and S2 vs. S1 [%].
Rajkot	S1	36	28,8	1.961.681	24,96
	S2	36	0	1.952.602	-0,46
Pasig City	S1	56	44,8	1.291.097	34,00
	S2	56	0	1.282.336	-0,68
Santa Rosa	S1	41	32,8	484.292	27,45
	S2	41	0	481.780	-0,52

Results of the different Cobb-Douglas functions depending on the city and scenario: Actual is the baseline situation, S1 stands for sprawl due to the increase of P and A, S2 for a re-densification where P was increased and A was kept constant.

Overall, the results for re-densification in already densely populated cities show a low influence of area on GHG emissions (β_A barely correlates with C). The difference in emission reduction between Asian and German cities is mainly due to different parameters (β_P correlates almost linearly with C). Compared to the German cities, β_A is five times lower in the Asian cities. This means that cities in the Global South are characterised by already high urban densities and an associated, more efficient use of land (WBGU, 2016). The already high **urban density then leads to lower greenhouse gas emissions** per capita.

In summary, the analysis of the GHG reduction potentials in all three fields of action shows that **successful urban interventions in terms of** climate-friendly urban development are site-specific, **time-bound and strongly dependent on the status quo** with regard to the use of building materials, means of transport and the condition of the urban landscape and form. The substitution of conventional building materials with wood has the highest emission reduction potential among the fields of action examined across all cities studied. However, in order to avoid **trade-offs and conflicting goals**, e.g. increased land use competition, wood-based building materials must be improved in terms of their material properties (e.g. CLT) and supplemented by other biogenic and local materials as well as by **circular economy strategies**.

For the **urban form**, the study found a **limited influence of population density on emissions when** assuming an increasing population and a maximised reduction potential achieved by reducing land area while maintaining the same population. Taking into account **trade-offs with climate adaptation** (e.g. avoiding the heat island effect, vulnerability to flooding), the results also suggest that **interconnected polycentric urban systems** can achieve benefits and synergies between climate mitigation and adaptation. Consequently, the **focus of climate-oriented urban development** must be on the urban form, with the aim of generating a more polycentric form that brings about efficiency gains through higher urban density, harnessing the effects of the resulting reduced need for transport, and at the same time improving the climate resilience of cities through a polycentric structure that allows for green and building space and the **preservation of ecosystem services**.

In order to **analyse the peri-urban relations** in the field of climate protection/climate adaptation and against the background of the calculated GHG reduction potentials, an analytical framework approach was developed to evaluate the integration of strategies and planning instruments between city and surrounding area. This aims to identify **interfaces between the city and the surrounding area** for the fields of action investigated in the six sample cities. The

application complements the results of the quantification approach by introducing qualitative aspects to assess peri-urban relationships. This helps to create comprehensive strategies and planning tools for mitigating climate change at the peri-urban interface.

The expert validation shows that there is a real **need for a more in-depth study of peri-urban relations**. Among other things, the mechanisms for assessing the influences and impact strengths of various interfaces between the city and the surrounding area could be further supplemented and refined. In terms of content, the qualitative analysis findings reinforce the GHG mitigation potential calculations and often provide further context and explanation for the quantitative results. The findings also allow for some comparability in identifying **common challenges faced by cities in the Global South** (e.g. the consideration of informal transport modes in multimodal transport systems to better link cities and surrounding areas). Nevertheless, the challenge of the **lack of data availability for the Global South** remains, as well as the usual limitations of the chosen method of desk research vis-à-vis additional research on the ground and in dialogue with local actors.

In the study of **synergies and interactions in the field of tension between climate protection and climate adaptation**, both are first defined (according to IPCC). This is followed by an outline of the problem, which outlines the fundamental issues and shows the interactions and synergies in political processes and strategies in Germany and generally in Europe and partly also internationally. It is particularly noticeable that at the strategic-conceptual level, the literature often focuses on synergies between climate protection and adaptation measures, while at the implementation level, the interactions come more to the fore. The latter is partly formulated as a research gap in the literature.

Therefore, an **outcome-based approach** is used for the study (as opposed to a process-oriented approach). The **focus is on the effects of concrete measures, projects and initiatives** and not on their framing circumstances, processes and actors. This means that it is not possible to fall back on a primary, empirical data basis, but secondary data must be used. This means that it examines which concrete results, impacts and experiences have already been made in other cases in the past (literature) or are explicitly addressed in policy documents (strategies and action plans) (from an ex-ante perspective) and assesses the hypothetical impacts for future cases on this basis. The validity of this analysis is plausibilised on the basis of case study cities.

The strategies and measures aimed at **urban climate protection** are intricately interconnected with **climate change impacts, climate adaptation**, and various other objectives and challenges associated with **environmentally sustainable urban development**. These intricate relationships give rise to complex systemic challenges that can manifest as **conflicts, synergies, and unintended consequences**. As a result, it becomes imperative to approach climate protection, climate adaptation, and other urban environmental policies through a lens of **integrated planning and implementation**. The concept of **climate resilient development**, as outlined by the IPCC (AR6 WGII), underscores this necessity, describing a process that involves the simultaneous implementation of measures to mitigate greenhouse gas emissions and adapt to climate change - all with the overarching goal of supporting sustainable development for all. It highlights the importance of deliberately considering these multifaceted interactions within urban planning and policy formulation.

To examine the **intricate interplay between climate mitigation and climate adaptation**, the analysis begins with a comprehensive review of existing literature. This initial step serves to illuminate the extent to which these interactions are addressed **within national and urban climate policies**. Within the realm of national climate protection strategies and processes, the consideration of interactions with the impacts of climate change and climate adaptation remains somewhat peripheral. Regrettably, there is still a notable disconnect between national climate change policies (NEKPs) and national climate adaptation strategies, with each often developing and progressing in relative isolation.

Conversely, the domain of **climate adaptation exhibits a more consistent tradition of addressing synergies and conflicts with climate protection**. Here, the pursuit of concurrent climate protection outcomes often finds prominence in national policy documents. This commitment manifests at various levels, such as within the guiding principles of climate adaptation, as an integral facet of the notion of "good" sustainable adaptation practices, as an anticipated supplementary or multiplicative benefit of adaptation measures, and as a critical criterion for the selection and prioritization of adaptation options. Additionally, the avoidance of conflicting objectives with greenhouse gas mitigation stands as a pivotal goal in averting maladaptation.

Nevertheless, it is notable that, at the strategic-political level, potential synergies between adaptation and climate protection measures are frequently accentuated, while conflicting objectives primarily surface during the implementation phase. Empirical data indicate a pronounced **inclination among global urban climate policies towards climate protection**. In the subset of cities that do incorporate both climate change mitigation and adaptation into their agendas, these efforts often unfold as separate policy tracks. Regrettably, the transition towards coordinated planning that identifies and capitalizes on synergies and co-benefits of mitigation, adaptation, and sustainable development remains a sluggish and uneven process.

A primary contributing factor to this disjointed progress is the **persistent implementation gap within urban adaptation** (policy-action gap). Consequently, integrated urban climate policies that systematically consider conflicts and synergies between climate mitigation and adaptation remain largely absent. The literature also highlights the scarcity of operational tools for comprehensive policy assessments as an important area requiring further research and development.

To establish a robust foundation for identifying, analyzing, and evaluating cause-and-effect relationships among climate protection, adaptation, and select urban environmental facets within the realm of climate-oriented urban development, **a conceptual framework and methodological approach** were developed. This methodology is designed to facilitate a comprehensive understanding of these relationships using a **result-focused, data-driven** approach at a generalized level. Unlike a process-centric perspective, the emphasis lies on assessing the anticipated impacts of specific **measures, projects, and initiatives**, rather than the contextual circumstances, procedural aspects, or the actors involved.

Central to the analytical framework is the differentiation between key analytical categories concerning positive and negative impact relationships: **i) Co-benefits and trade-offs**: These represent the advantageous [or disadvantageous] impacts of greenhouse gas (GHG) mitigation actions on climate adaptation objectives, which emerge from the mitigation [exacerbation] of

climate change impacts such as heatwaves, floods, droughts, and other extreme weather events, consequently influencing adaptation requirements. **ii) Synergies and conflicts:** These pertain to interactions occurring at the level of specific measures, where a climate change mitigation action enhances [or diminishes] the efficacy, feasibility, or cost-effectiveness of one or more specific adaptation measures. **iii) Positive [or negative] impacts** on other urban environmental and sustainability objectives: These impacts, spanning areas like biodiversity, soil quality, water resources, air quality, human health, and social well-being, are conceptualized in a similar vein concerning co-benefits and trade-offs.

To facilitate a structured analysis of these interdependencies, comprehensive **category systems** of typical action strategies and bundles of measures within urban climate protection and climate adaptation were developed. Additionally, the domain of "energy infrastructures" was considered. To systematize the mapping and description of interactions, the aforementioned analytical categories were integrated into an MS Excel-based **analysis and evaluation tool**.

The analysis approach operates on a generic level, detached from specific cities, with interactions being treated as potentials and risks, grounded in an understanding of plausible impacts. To assess the significance of these interactions within climate-oriented urban development, a **qualitative assessment scheme** was crafted. This scheme enables the evaluation of the strength, intensity, proximity, probability, and plausibility of impact interrelationships, quantified on a multi-level qualitative scale. These assessments represent a culmination of **expert insights** from the project consortium, averaging assessments from six individuals, and validating the plausibility in the context of workshops.

The **assessment of urban greenhouse gas (GHG) mitigation measures' interactions**, both with climate adaptation and with socio-ecological objectives of sustainable urban development, was conducted through an extensive literature review, supplemented by the collective expertise of the project consortium. In total, a substantial number of nearly **198 specific impact linkages** were identified, comprising 121 impacts pertaining to climate adaptation and 77 relating to other urban environmental and sustainability objectives.

It is evident that the **positive impacts (co-benefits and synergies) of GHG mitigation measures significantly outweigh the negative impacts (trade-offs and conflicts)**. When comparing the various realms of climate-oriented urban development, the domain of "**urban densification**" displays the highest number of both positive and negative impact correlations. In particular, measures within the "horizontal densification" cluster exhibit the most frequent effects on climate adaptation. Notable interactions were also observed across the areas of "sustainable, climate-friendly construction methods (architecture, construction, design)" and the field of "sustainable construction" as well as across the domains of "transit-oriented development" and "urban transport systems".

Interestingly, the substitution of conventional building materials with bio-based materials, exemplified by wood in this project due to its notable GHG reduction potential, appears to have a relatively limited impact on climate adaptation goals. The adaptation objectives most frequently influenced by GHG mitigation measures encompass adaptation to heat and flooding, encompassing fluvial, pluvial, and coastal scenarios.

The emergence of potential **synergies and conflicts** between GHG mitigation and climate change adaptation measures spans a **significant portion of the entire portfolio of adaptation**

options. Two clusters of climate adaptation measures are particularly prone to these interactions, namely: "green and blue infrastructure" in relation to the adaptation to heat and "nature-based decentralised stormwater management" in relation to pluvial flooding adaptation.

Co-benefits and trade-offs concerning **urban environmental protection and sustainability objectives** arise from GHG mitigation measures across all fields of climate-oriented urban development. These most frequently pertain to the target area of "**health, quality of life, social aspects.**" Within this context, considerations include social distributive justice, impacts on vulnerable social groups, housing affordability, energy accessibility, and access to other essential services.

Effective strategies for greenhouse gas (GHG) mitigation that exhibit rich interactions, generating both positive and negative effects across various policy domains are of particular significance in the pursuit of integrated climate-oriented urban development. Among these strategies, those within the "**horizontal densification**" cluster, aiming to foster urban compactness and land-efficient inner development, **exhibit the most pronounced ambivalence regarding these interactions.** A distinctive pattern of effects emerges, where substantial additional benefits (co-benefits) and synergies for adaptation predominantly manifest in the urban hinterland. This phenomenon stems from the preservation of green and open spaces, which, in turn, reduces climate risk exposure, safeguards ecosystem-based adaptation services, and optimizes land utilization for active protective measures, including technical solutions. In stark contrast, within the densely developed urban areas, trade-offs and conflicts prevail. High building density exacerbates the urban heat island effect, escalates surface runoff during heavy precipitation, and diminishes land availability for cooling green and blue infrastructure, as well as for fresh air corridors and decentralized, nature-based rainwater management solutions.

The occurrence, nature, and intensity of these interactions are fundamentally context-dependent, contingent on specific circumstances, and sensitive to scale levels. Consequently, strategies, measures, and precautions aimed at **mitigating conflicts** and **fostering synergies** are intricately tied to the concrete planning, design, and implementation of urban development initiatives within particular contexts, such as architectural or constructional decisions in building renovation or new construction. Recognizing, assessing, and comprehending the potential for synergy and conflict at an early stage is paramount, as it enables their deliberate consideration in policy-making processes and the development, evaluation, selection, and optimized planning of measures. In essence, integrated urban climate policy necessitates heightened horizontal and vertical coordination and collaboration, necessitating a supportive governance framework to transcend department-centric, sectoral structures commonly referred to as policy silos, while concurrently strengthening governance capacity.

The Paris Agreement (UNFCCC, 2015) has underscored the pivotal role of local and regional governments in climate adaptation, thrusting cities into the forefront of **international climate governance discussions.** Simultaneously, the **gaps in international climate finance for adaptation,** especially in the Global South, have been increasingly addressed during subsequent Conferences of the Parties. Extensive research on local adaptation consistently reveals that most barriers and supporting factors are intimately intertwined with **governance and financing** matters. To contribute to a deeper comprehension of the interplay between these factors in the

global context, a dedicated work package delved into various facets of urban climate change adaptation governance and explored the roles of urban, national, and international financing in supporting urban adaptation initiatives.

A **comprehensive literature review** underpinned the examination of both subjects, encompassing around 150 sources, with a focus on meta-studies, review publications, comparative country assessments, and case studies featuring a substantial number of cases. This review was complemented by evaluations of pertinent **international databases, web portals, and corresponding secondary analyses**. The assessments incorporated data from global city networks and initiatives, including the NAZCA Global Climate Action Portal (GCAP), the CDP-ICLEI Unified Reporting Platform, the Global Covenant of Mayors (GCoM), the Project Pipeline Database of the Transformative Action Programme (TAP), and, at the European level, the Covenant of Mayors for Climate and Energy in Europe (CoM Europe). Additionally, insights were drawn from studies conducted by the European Environment Agency (EEA). The results are presented for both the Global South and the Global North, with the aim of benefiting from the extensive experience and rich literature on urban adaptation governance in Europe.

The global landscape of data sources appears fragmented and diverse, with a lack of coherent reporting (as seen in the UNFCCC and EU) regarding urban adaptation, making it challenging to form a consistent overview of the state of climate adaptation in cities. Nevertheless, a comparison of data from international city networks, categorized by phases of the policy cycle, reveals a strikingly similar finding: there exists an **urban adaptation deficit** in both the Global South and the Global North, a deficit that progressively intensifies during the implementation-related adaptation phases (implementation gap). **Globally, climate protection enjoys significantly higher political priority in cities compared to climate adaptation.** Merely about 17% of all cities that have committed to the Global Covenant of Mayors (GCoM) also embrace climate adaptation as a complementary objective. The share of active CoM Europe member cities with an adaptation commitment is even lower (2%) and has remained modest for several years, in contrast to the significant increase in cities committing to climate change mitigation since around 2008.

When examining the **policy formulation stage**, it becomes evident that only about 4% of all GCoM contracting cities possess an adaptation action plan, and among those cities with an adaptation commitment, only a relatively small proportion (21%) have progressed from the agenda-setting stage to the preparation of adaptation plans. Across various databases with global (NACCA GCAP, GCoM) and extended European coverage (CoM Europe), the share of climate-active cities and municipalities equipped with existing adaptation plans remains relatively low, not exceeding 4% of participating municipalities within any of the city networks. Likewise, the proportion of cities actively engaged in **implementing concrete adaptation measures and projects** remains modest. This suggests that **progress in the implementation and mainstreaming of adaptation remains sporadic at best and generally sluggish.** Notably, the implementation deficit seems particularly pronounced among smaller municipalities, those with fewer than 20,000 inhabitants.

Urban adaptation primarily hinges on **local public administration as the main actor**. The shift from adaptation plan preparation to practical implementation often witnesses a transfer of lead responsibility, transitioning from environmental departments to urban planning, architecture, and open space planning units. In the Global North, **civil society stakeholders' involvement in**

adaptation measure implementation remains relatively modest, with less than a quarter of CoM signatory cities reporting such engagement. Conversely, the Global South reports a more widespread participation of stakeholders, particularly in ecosystem-based adaptation projects and within informal settlements. Within European cities, a majority of **reported adaptation** measures fall into the "soft" category, encompassing preparatory or mainstreaming initiatives. "Grey" measures, which are technical and infrastructural in nature, dominate over "green" measures, accounting for less than 20% of the overall share. A similar trend exists in the Global South, where ecosystem-based adaptation options, such as tree planting and green space creation, are more commonly implemented. The **sectors most frequently addressed** align broadly between the Global North and South and include water management, land use planning, and public health. **Mainstreaming, involving the horizontal integration of adaptation goals into sectoral policies**, often faces challenges in European municipalities, mainly due to a shortage of human resources available for intersectoral cooperation and reliance on institutionalized central coordination functions. While regulatory mainstreaming approaches, such as laws and strategic planning, are commonly reported globally, successful mainstreaming frequently employs a combination of strategies, encompassing regulatory, intra- and inter-organizational elements. Case studies from the Global South underscore the significant importance of **knowledge co-production and transdisciplinary cooperation via transnational city networks**, demonstrating their potential to surmount barriers, particularly through knowledge exchange, capacity building, and facilitating access to public funding.

A critical inhibiting factor for progress in urban adaptation often stems from inadequate **vertical integration** between government levels and administrations. Vertical coordination between the national level and cities tends to be voluntary, informal, and lacks institutionalization. **Legal obligations regarding climate adaptation at the local level** are present in only a minority of European countries and cannot fully substitute **non-monetary support** from the national level, such as providing an enabling governance framework through knowledge provision and advice. Smaller municipalities, in particular, rely heavily on assistance from higher levels, where the regional level can play a crucial mediating role in facilitating local adaptation efforts. Many of the commonly identified barriers to urban adaptation, whether direct or indirect, stem from **inadequate governance capacity and the lack of financial resources' availability and accessibility**. The **recommendations** derived from these findings prioritize international climate finance to address these identified barriers and leverage factors.

Despite recent increases in funding commitments from developed countries, **global financing for climate adaptation remains insufficient** to confront the present and future challenges of climate change. Between 2019 and 2020, a mere 7.4% of recorded global climate finance flows were designated for adaptation purposes. To adequately address climate challenges, a tenfold increase in funding compared to the estimated 2017 volume is considered necessary. Despite their heightened vulnerability, local and regional governments received only about 5% of adaptation funding in 2017-2018. When factoring in the investment needs for the initial stages of adaptation, including building the knowledge base, capacity building, and planning, the cost of climate adaptation in developing countries could be significantly higher. In 2017-2018, **the majority of urban adaptation funding was allocated to water and waste management projects, followed by disaster management** initiatives. There is a clear trend towards more comprehensive projects that simultaneously address multiple sectors.

The report also delves into the **roles and contributions of financial actors and funding sources** in the context of urban adaptation. Globally, most adaptation activities are funded through **public sources**. In both Europe and the Global South, **local and regional public budgets** take precedence as the primary source, often complemented by **funding from national or subnational levels**. In Southern cities, **multilateral institutions for development financing, bilateral development cooperation, and city-to-city cooperation** also assume more prominent roles. International financing institutions and development banks seldom engage directly with cities; instead, they channel funding through national banks, loans, specialized development funds, or public-private partnerships. **Project preparation agencies**, typically managed by these institutions, are increasingly instrumental in rendering local projects financially viable through direct engagement with cities. Despite the strong advocacy for **private sector involvement** by many cities, it remains relatively limited, especially in the Global South, often due to unfavourable and uncertain investment frameworks. Recognizing that no single funding source alone can fully cover the anticipated adaptation needs of urban development, cities prioritize **diversification of donors**.

The primary financial instruments for urban adaptation encompass **grants, loans, and equity**, frequently complemented by risk reduction mechanisms such as **insurance and guarantees**. Internal mechanisms, such as taxes and duties, offer opportunities for generating local revenue that can be invested in adaptation projects. Public subsidies and city budgets often garner preference due to their lower bureaucratic complexity and regulatory constraints.

Local and regional administrations in Global South countries frequently **encounter formidable challenges when accessing international climate finance**. These challenges encompass weak technical and fiscal capacities, a deficiency in expertise, and a lack of political support. These constraints curtail the capacity of many cities to tap into new sources of capital. The recommendations derived from these findings suggest, among other things, that cities should mitigate their reliance on external financing by embracing **internal instruments, including innovative ones**. These might encompass revenue streams from **taxes and permits**, innovative mechanisms like **capturing land value increases, implementing carbon pricing, establishing revolving funds, and issuing municipal bonds**. Additionally, the conclusions and recommendations address **methodological advancements in monitoring adaptation costs and adaptation financing**. A distinct set of recommendations seeks to **fortify urban adaptation within Germany's International Climate Finance Initiative (IKI)**.

An important component of the project is the elaboration of **recommendations for action at different levels of government** in order to promote integrated urban development that exploits GHG mitigation potentials and synergies with climate adaptation and reflects and synthesises urban-rural relationships. In a first step, overarching narratives were created in the form of diagrams in order to classify and link overarching target visions with recommendations along the German administrative structure. The approach was further developed in an internal working session and served as the basis for writing the recommendation paper. Finally, recommendations were validated and prioritised in a final workshop together with experts. Considerations for improving the programme structure of the International Climate Initiative (ICI) of the Federal Ministry of Economics and Labour are attached to the final report (see Annex E).

An integrated view of the three fields of action, building materials & construction, mobility and urban density, is essential to recognise and strategically use the **synergetic potential** between them and to minimise trade-offs and conflicts of objectives. Furthermore, an understanding of synergies and conflicts with climate adaptation is essential for smart, **climate-oriented urban development policy**.

Accordingly, the **climate-oriented city of the future is predominantly built of wood and other regenerative materials, consists of polycentric structures that are vertically condensed and networked in a transit-oriented manner**. The polycentric structure serves above all to create and strengthen local public services ("**15-minute city**") as the most effective lever for reducing travel distances and giving preference to active, climate-neutral means of transport (walking and cycling) and maintaining the largest possible green spaces between the centres, which can help to **avoid the heat island effect** and protect against flooding and drought. In order to achieve efficiency gains through densification and thus reduced per capita energy consumption, e.g. in mobility (e.g. public transport), **vertical densification** should be used, among other things and where possible, as trade-offs with climate adaptation objectives are lowest here. Compared to horizontal densification of urban structures, "densification upwards" means less land sealing and thus less heat stress (also due to shading) and more protection against flooding and drought. Vertical densification thus reduces inner-city land-use competition and conflicts and facilitates the implementation of nature-based, green measures to adapt to heat and flooding. **Transit-oriented urban development** that promotes green streets, green axes and green existing and new neighbourhoods combines the reduction of traffic volumes with synergies for climate adaptation and multiple, positive *co-benefits* for urban environmental quality, biodiversity, health and quality of life. **Green and unsealed roadside areas** contribute to natural cooling (evaporation, shading), the reduction of the urban heat island effect, the supply of fresh and cold air and thus to thermal comfort in the surrounding urban area. In addition, green transport corridors improve ecological connectivity at the inner-city level and between the city and the surrounding countryside, thus increasing the climate resilience of biodiversity. Measures and **programmes for the "green" renewal of existing neighbourhoods, the redevelopment of neighbourhoods and the re-densification of development structures** are well suited in terms of climate-sensitive urban design to integrate adaptation options such as green roofs and façades, rainwater collection systems, light-coloured surfaces and passive building design measures (such as location, height and exposure of structures, building orientation, roof, window and façade orientation, proportion of glass on façades, etc.).

In addition to the described contributions to individual measures (see also Chapter 6), it is also important to emphasise the **governance and process nature of such climate-oriented urban development**. Above all, federal states and municipalities should create structures that make it possible to shape and implement climate policy in an integrated manner, i.e. across offices.

Moreover, to the knowledge gained, the project has also shown that there are still large gaps in the scientific investigation and practical planning and implementation of climate-oriented urban development. Thus, several further research needs can be outlined - both in the scientific field and in the field of practice-oriented research when it comes to testing innovative integrated management and administrative practices:

- ▶ Holistic potential analysis of wood substitution in the entire life cycle from the change in the carbon storage capacity of forests to the CO₂ storage function in buildings.
- ▶ Organisation and geometry of urbanity and rurality: How can urban and rural regions be spatially and structurally organised in a way that corresponds to climate-oriented development?
- ▶ Integrated spatial analysis of urban density: in-depth analysis of cause-effect relationships, drivers and actors in urban space.
- ▶ "*Settling the unsettled*" - investigating dynamics in informal settlements (Global South) in relation to urban planning.
- ▶ Circularity and urban development in the digital future: How can the principle of circularity or the "circular city" be incorporated into concepts for climate-oriented urban development? What functional approaches to operationalisation are possible?
- ▶ "The city as a carbon sink": development and operationalisation of a business model (reflecting CO₂ accounting, certificates, off-setting, sustainable, renewable building materials etc.).
- ▶ Further development and practical application of the interaction tool (on climate protection/climate adaptation) to specific cities with a local team of experts, e.g. embedded in the process of developing/implementing integrated urban climate and sustainability strategies.
- ▶ Derive, develop and field test methods for integrated measure assessment and optimisation for specific application areas.
- ▶ Development of practical and decision-making aids for the consideration of conflict and synergy potentials in concrete projects (comparison and optimisation of planning variants and measure options).
- ▶ Development of guidelines, planning and decision-making aids for "quality", climate-oriented (re)densification.
- ▶ Promote the role of small and medium-sized cities in strengthening urban-rural relations: Exploring the potential of small and medium-sized cities in the hinterland of large cities as hubs for local economic development and service and environmental management, especially in the context of fast-growing cities and climate change.
- ▶ Potential use of digital technologies and innovations to strengthen urban-rural relationships and resilience: explore the impact of the digital divide between urban and rural areas, information access, e-governance, online commerce, digital learning and digital health services, as well as the opportunities and risks of digital transformation for urban-rural relationships. In addition, mitigating data gaps for evidence-based decision-making on integrated urban-rural development and analysis of urban-rural relationships needs to be addressed.
- ▶ Integrating policy making and capacity building to create partnerships between urban and rural actors through a systems-based multilevel governance approach: coordinating and aligning policies and planning documents, including through empowering local actors and building governance capacity, as well as recognising the interlinkages and interactions

between urban and peri-urban areas and the importance of strong partnerships between urban and rural actors.

1 Einleitung

Das Forschungsvorhaben beschäftigt sich mit der Fragestellung, welches Treibhausgasreduzierungs-potenzial in zentralen Handlungsfeldern einer klimaorientierten Stadtentwicklung besteht, wie sich dieses quantifizieren lässt und welche Synergien mit Klimaanpassungsstrategien gehoben werden können. Diese Handlungsfelder sind in drei Bereiche aufgeteilt: (a) Nachverdichtung sowie Entwicklung verdichteter Bebauung in bestehenden städtischen Strukturen, (b) nachhaltiges Bauen inklusive des Einsatzes nachhaltiger Bauprodukte, und (c) Mobilität inklusive der Entwicklung von Transportinfrastruktur im Zusammenspiel mit den Siedlungsstrukturen. Das Vorhaben betrachtet diese Handlungsfelder auf einer strategisch-konzeptionellen Ebene einer integrierten Stadtentwicklung mit ihren Wechselwirkungen und auf den verschiedenen räumlichen Ebenen vom Gebäude, über das Quartier bis zur Gesamtstadt.

In diesen Handlungsfeldern spielt auch die Beziehung von Städten zu ihrem Umland eine wichtige Rolle. Folglich wird untersucht, wie die systematische Integration von klimapolitischen Ansätzen in die Gestaltung von interregionalen Verflechtungen und funktionalen Raumbeziehungen zwischen Stadt und Umland in den angesprochenen Handlungsfeldern gefördert werden kann.

Dem systematischen Ansatz der Forschungsagenda *Global Research and Action Agenda on Cities and Climate Change Science* folgend, werden zudem Synergien und Konflikte von Klimaschutz mit Anpassung an den Klimawandel und anderen städtischen Umweltproblemen mitbetrachtet.

Das Vorhaben soll anknüpfend an bestehende Forschungsergebnisse zentrale Hebel für eine signifikante Minderung von Treibhausgasen in den genannten Handlungsfeldern einer klimasensiblen Stadtentwicklung identifizieren, mit quantitativen Zahlen zur Treibhausgasreduzierung unterlegen und Handlungsempfehlungen für die verschiedenen politischen Ebenen erarbeiten. Daneben soll das Vorhaben begleitende Forschung und Unterstützung für die Internationale Klimaschutzinitiative (IKI) und ihre Aktivitäten im Themenfeld Stadtentwicklung und Klimaschutz leisten.

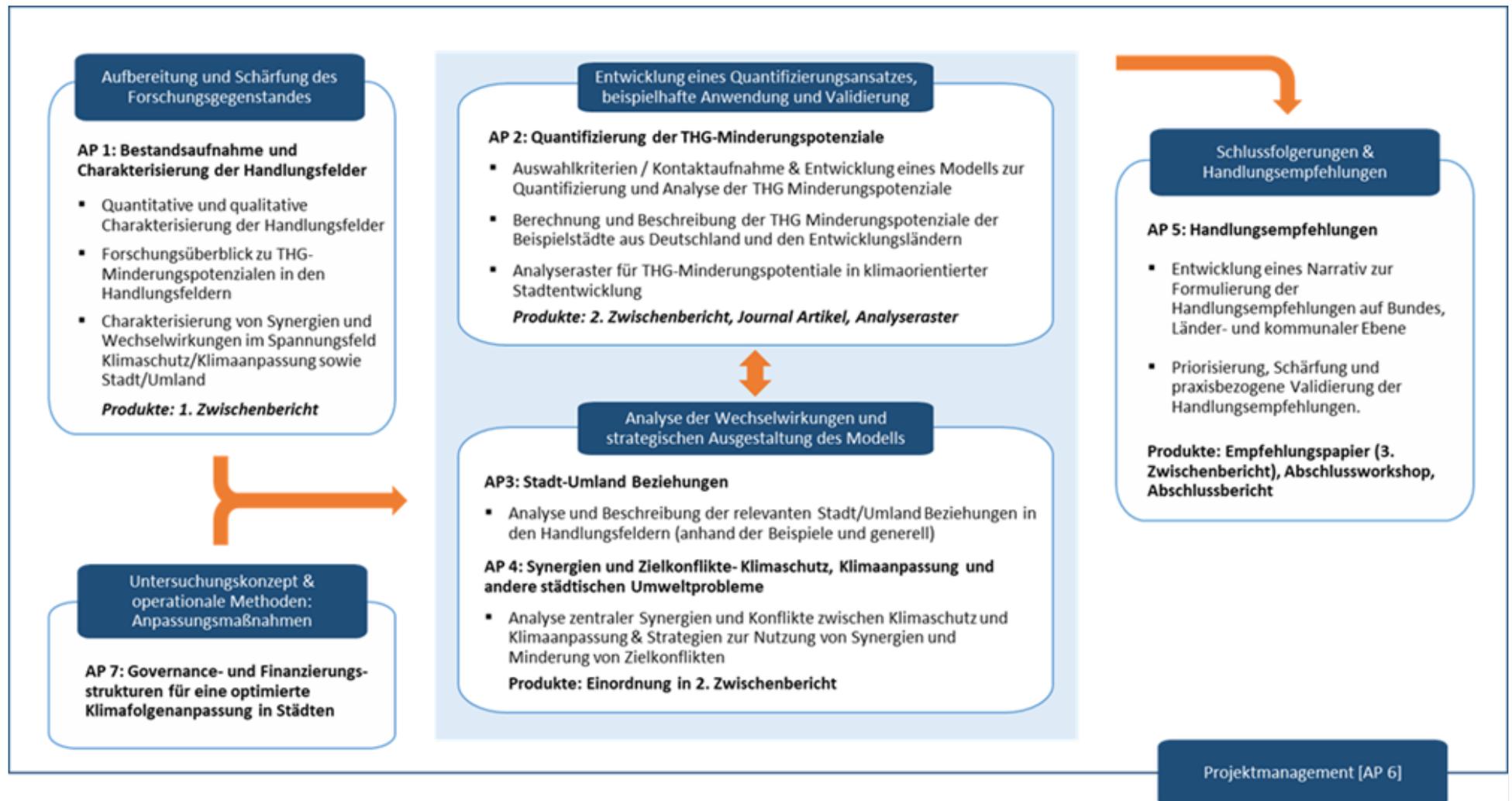
Zudem soll das Vorhaben Erkenntnisse über geeignete Governance- und Finanzierungsstrukturen in Bezug auf eine optimierte Klimafolgenanpassung in Städten leisten. Hierbei steht die Entwicklung von einem Untersuchungskonzept und operationalen Methoden zur Abschätzung des Anteiles, den Städte für notwendige Anpassungsmaßnahmen und damit zusammenhängenden Aufwendungen leisten müssen bzw. können im Vordergrund. Diese Fragestellung wurde nach Projektbeginn nachträglich als Zusatzaufgabe (Arbeitspaket 7) in das Projekt mit aufgenommen.

Das Vorhaben lässt sich insgesamt in sechs inhaltliche Arbeitspakete (AP) gliedern. Ein weiteres (AP6) ist dem Projektmanagement gewidmet. AP1/AP2 betrachten die Potentiale zur Emissionsminderung in relevanten Sektoren der Stadtentwicklung und die durch eine integrierte und klimaorientierte Stadtplanung möglichen Synergien (klimaorientierte Planungsprinzipien, klimafreundliche Allokation von Funktionen im jeweiligen Planungsgebiet).

AP3/AP4 analysieren die fördernden Wirkungen einer integrierten, klimaorientierten Stadtentwicklung im Lichte von Stadt-Umland-Beziehungen, Governance Prozessen und der Integration von Klimaschutz und Klimaresilienz, um die in AP1/AP2 identifizierten Potenziale zur Emissionsminderung ausschöpfen zu können.

AP5 leitet auf dieser Grundlage einen kohärenten Ansatz für eine klimaorientierte Stadtentwicklung und Empfehlungen für das klimapolitische Handeln auf der Ebene des Bundes, der Länder und der Gemeinden ab.

Abbildung 5: Arbeitspakete und Unterarbeitspakete des Vorhabens, inklusive der Vorgehensweise



Quelle: eigene Darstellung, ICLEI Europasekretariat, 2020

Der vorliegende Abschlussbericht ist als Gesamtbericht aller Projektergebnisse zu verstehen. Er umfasst die Bestandsaufnahme und Charakterisierung der Handlungsfelder (Kapitel 2), die Ableitung, Beschreibung und Anwendung des Quantifizierungsansatzes zur Berechnung der THG-Minderungspotenziale für die genannten Handlungsfeldern in den ausgewählten Beispielsädten (Kapitel 3), die Methode und Anwendung zur Untersuchung der Stadt-Umland-Beziehungen (Kapitel 4), die Methode und die Ergebnisse der Anwendung zur Untersuchung der Synergien und Wechselwirkungen Klimaschutz/Klimaanpassung (Kapitel 5) sowie Handlungsempfehlungen an Kommunen, Land und Bund hinsichtlich der Gestaltung von Rahmenbedingungen sowie Finanzierungsmechanismen zur Beförderung klimaorientierter Stadtentwicklung (Kapitel 6). Fallstudien der sechs ausgewählten Beispielstädte hinsichtlich der Governance von Stadt-Umland-Beziehungen im Spannungsfeld Klimaschutz/Klimaanpassung, sind dem Bericht als Anhang beigefügt (siehe Anhang C). Ebenfalls angehängt ist der Abschlussbericht des Arbeitspakets 7 zu Governance und Finanzierung von Klimaanpassung in Städten auf globaler Ebene (in Englischer Sprache). Weiteres ergänzendes Material befindet sich ebenfalls im Anhang.

2 Bestandsaufnahme und Charakterisierung der Handlungsfelder

Das folgende Kapitel zielt im Wesentlichen darauf ab, den aktuellen Forschungsstand zu den Handlungsfeldern sowie zu THG - Minderungspotenzialen zusammenzustellen, weitere Minderungspotentiale werden im Kapitel 3 bei der Interpretation der Analyseergebnisse diskutiert. Ferner soll das Kapitel die Grundlagen zu den nachfolgenden Analyseschritten erarbeiten.

2.1 Beschreibung der Handlungsfelder und deren THG-Minderungspotential

Die Städte stehen an der Spitze der europäischen und internationalen Klimaschutzmaßnahmen. 55 % der Weltbevölkerung leben in städtischen Gebieten, und auf die Städte entfallen schätzungsweise 60 % der weltweiten Materialverarbeitung oder des Materialverbrauchs und 70 % der Treibhausgasemissionen (UN-Habitat, 2020). Städte spielen eine wichtige Rolle bei der Verwirklichung der globalen Nachhaltigkeitsziele, wie zunehmend anerkannt wird auf europäischer Ebene und im Rahmen internationaler politischer Prozesse.

2.1.1 Nachhaltiges Bauen

In vielen Ländern übt die ständig wachsende städtische Bevölkerung Druck auf die Siedlungs- und Infrastrukturentwicklung in den Städten aus, was die Aufmerksamkeit auf Stadtplanung, Infrastruktur und Gebäuden - einschließlich der in ihnen enthaltenen und von ihnen ausgehenden Klimaauswirkungen erhöht.

Da sich der Bedarf an physischer Infrastruktur, insbesondere an Gebäuden, bis 2050 verdoppeln wird (WBG, 2019), entwickelt sich der Gebäudesektor zu einer der Hauptquellen von Treibhausgasemissionen: Dieser ist jährlich für 36 % des weltweiten Energieverbrauchs und für 37 % der energiebedingten Kohlendioxidemissionen verantwortlich (Abergel et al., 2021). Nach sauberem Wasser ist Beton (und dessen Bestandteile) die am stärksten verbrauchte Ressource (Fennel et al., 2022). Die Zahlen variieren stark. In Europa ist der Gebäudebestand für den Verbrauch von 33 % der Rohstoffe und 50 % des Stroms verantwortlich (Silva et al., 2013). Der Gebäudesektor in den Vereinigten Staaten ist für 40 % des Energieverbrauchs verantwortlich (Baldwin et al., 2015), während der Bausektor in China rund 18 % der gesamten nationalen Treibhausgasemissionen ausmacht (Huang et al., 2018). Es wird erwartet, dass Beton bis 2060 für 12 % der weltweiten Treibhausgasemissionen verantwortlich sein wird (Oberle et al., 2019).

Im Jahr 2050 muss der Gebäudesektor weltweit 80-90 Prozent weniger Treibhausgase ausstoßen als im Jahr 2010, um mit dem 1,5-Grad-Ziel vereinbar zu bleiben (de Coninck et al., 2019). Vor diesem Hintergrund wird die Verringerung des gebundenen Kohlenstoffs von Gebäuden global als eines der wichtigsten Handlungsfelder für urbane Interventionen anerkannt (Hamilton et al., 2020) und ist somit auch der Sektor, in dem europäische Städte die meisten Klimaschutzmaßnahmen planen (Palermo et al., 2020). Die Transformation der Bauindustrie in Richtung Nachhaltigkeit ist von zentraler Bedeutung für die Klimaneutralität in Städten.

Aus diesem Grund spielen neue Werkstoffe im Bausektor, wie z.B. Geopolymere oder auch Cross-Laminated Timber (CLT) eine zunehmende Rolle. Insbesondere die Nutzung von

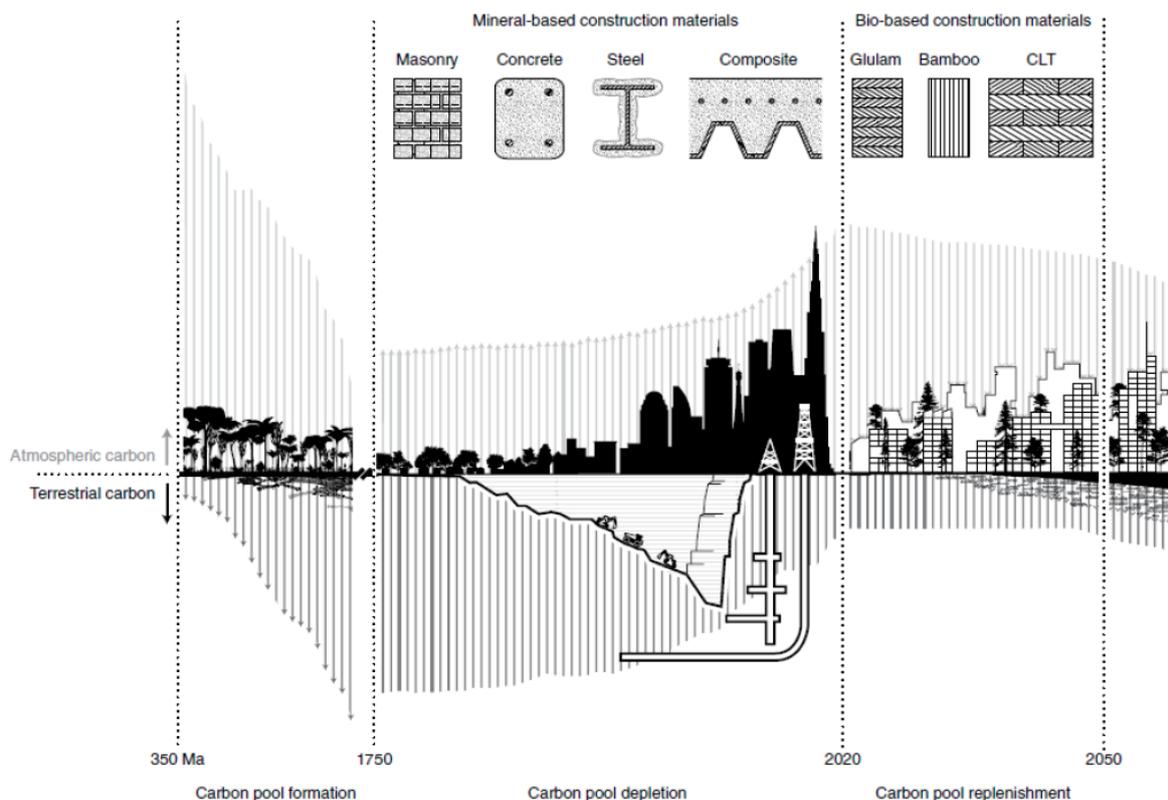
biogenen Materialien, wie u.a. Holz wird in diesem Vorhaben hinsichtlich seiner Nachhaltigkeitsdimensionen beispielhaft diskutiert.

Holz übernimmt bei der Transformation in Richtung Nachhaltigkeit eine wichtige Rolle, da es auf drei unterschiedliche Weisen Einfluss auf die Treibhausgasbilanz nimmt (Lackner et al., 2015):

1. Als Kohlenstoffsенke oder -quelle durch Zunahme oder Abnahme des Vorrats an Holzprodukten;
2. Als Kohlenstoffsенke oder -quelle durch abbauende Prozesse im urbanen Wald;
3. Vermiedene Emissionen bei der Verwendung oder Erzeugung durch Substitutionseffekte von emissionsintensiven Baustoffen.

Städtische Bäume und nachhaltig bewirtschaftete peri-urbane und ländliche Wälder können eine lokale Quelle für Baumaterialien darstellen und die Anpflanzung von Pflanzen wie Industriehanf kann in städtischen Gebieten erfolgen, die für pflanzliche Biokomposit-Baumaterialien unverzichtbar sind (Churkina et al., 2020). Neben Holz müssen auch andere traditionelle, biobasierte Materialien, z. B. Bambus (v.a. interessant in asiatischen Ländern), Stroh, Hanf und neue biobasierte Materialien mit hohem Kohlenstoffgehalt (~90 Prozent anstelle von ~50 Prozent bei Holz) bei der Transformation in Richtung nachhaltiges Bauen berücksichtigt werden (Churkina et al., 2020).

Abbildung 6: Wie Gebäude als globale Kohlenstoffsенken fungieren können



Quelle: Churkina, G. Organschi, A. Reyer, C.P.O. Ruff, A. Vinke, K. Liu, Z. Reck, B.K., Graedel, T. E. Schellnhuber, H.J. (2020): Buildings as a global carbon sink. Nature Sustainability.

Churkina et al. (2020) schlagen vor, nachhaltiges Holz für den Bau von Häusern zu verwenden, um CO₂ zu speichern und Städte klimaneutral zu machen. Bei einem theoretischen 50 Prozent-

Szenario an verwendetem Holz (50 Prozent der globalen Neubauten werden aus Holz gebaut) könnten laut Churkina et al. in einem Zeitraum von 30 Jahren bis zu elf Gigatonnen an CO₂ gespeichert werden. Ein fünfstöckiges Wohngebäude aus Brettschichtholz kann bis zu 180 Kilogramm Kohlenstoff pro Quadratmeter speichern. Das ist dreimal mehr als die oberirdische Biomasse natürlicher Wälder mit hoher Kohlenstoffdichte binden kann.

Himes und Busby zeigten, dass 9 % der globalen Emissionen jährlich reduziert werden können, um die Klimaziele für 2030 zu erreichen und die Erwärmung unter 1,5 Grad der Erwärmung zu erreichen, wenn die Hälfte der erwarteten neuen städtischen Bauwerke konventionelle Materialien durch Holz ersetzt (Himes & Busby, 2020).

2.1.2 Urbanes Transportsystem

Der Fokus in diesem Handlungsfeld liegt auf der Mobilität bzw. der Verkehrsinfrastruktur. Das Transportsystem hat eine hohe Relevanz in der Stadtplanung, insbesondere für eine nachhaltige Entwicklung des urbanen Raums sowie seines Umfeldes (Stadtregion). Die Emissionen im Verkehrssektor steigen schneller als in allen anderen Sektoren (Creutzig et al., 2015). Diese machen etwa ein Viertel der weltweiten Emissionen aus, wobei Prognosen eine Verdoppelung bis 2050 erwarten lassen (Sims et al., 2014). Der Anstieg des BIP hat zu einem Anstieg der Treibhausgasemissionen geführt, der auf die Korrelation mit den Verkehrsaktivitäten zurückzuführen ist (Finel & Tapio, 2012). Die langsameren Wachstumsraten oder der Rückgang der Nutzung des motorisierten Individualverkehrs in einigen Städten des globalen Nordens deuten wiederum auf eine Entkopplung dieser Korrelation hin (Sims et al., 2014). Insbesondere im globalen Süden werden die rasche Verstädterung und der steigende Autobesitz, vor allem in China und Südostasien, bis Mitte des Jahrhunderts zu einer Verdoppelung der Zahl der Leichtfahrzeuge führen (Sperlin & Gordon, 2010).

Es gibt verschiedene Hebel zur Verringerung der verkehrsbedingten Emissionen, darunter Verbesserungen bei Verkehrstechnologien wie Autos, Flugzeugen und Schiffen, wirtschaftliche Instrumente wie Kohlenstoffsteuern oder Kraftstoffpreise oder Verhaltensänderungen wie die Verlagerung auf klimafreundliche Verkehrsträger (Geels, 2012). Studien weisen darauf hin, wie wichtig die Entwicklung klimaorientierter Infrastrukturen in Ländern mit rapider Verstädterung ist, die für die künftige Emissionsintensität des Verkehrs entscheidend sein werden und Maßnahmen zur Flächennutzung erfordern, um einen Verkehrskollaps zu vermeiden (Geerlings & Stead, 2003, Lefèvre, 2009). Die räumliche Entfaltung von Stadtstrukturen, im Besonderen Straßenräume als erweitertes Wohnumfeld, ist eine effektive Stellgröße für die Ermöglichung klimafreundlicher Mobilitätslösungen. Des Weiteren, besteht dort eine große Wirksamkeit hinsichtlich Klimaschutz, Klimaresilienz und der Umsetzung der globalen Nachhaltigkeitsziele. Ferner kann ein nachhaltiges Transportsystem eine Leuchtturmfunktion in der Stadt sowie für die urbane Umgebung ausüben.

Bongardt (2010) zeigt, dass das Potential der Maßnahmen der Vermeidung in Ländern des globalen Südens größer als das in OECD-Staaten ist. Er konnte zeigen, dass die Beiträge jeder der drei Gruppen in Industrieländern im Jahr 2050 ähnlich sind, während Maßnahmen der Vermeidung im globalen Süden doppelt so effektiv sind als sie durch Verschiebungen oder Verbesserungen erreicht werden können. Es wird angenommen, dass die Umsetzung der Maßnahmengruppen in den frühen Entwicklungsphasen der Infrastruktur die Dominanz des Autos verhindern kann. Außerdem führen koordinierte Verkehrs- und Flächennutzungsmaßnahmen im globalen Süden, in denen eine dichte, gemischte Flächennutzung vorherrscht und die Autobesitzrate niedrig ist, zu größeren Vorteilen (Bongardt, 2010).

2.1.3 Nachverdichtung

Eine der meistgenannten Strategien zur Eindämmung des zusätzlichen Flächenverbrauchs durch die zunehmende Verstädterung im Rahmen der klimafreundlichen Stadtentwicklung ist der Ansatz der kompakten Stadt (Haaland & van Den Bosch, 2015). Dieses Stadtentwicklungsmodell geht davon aus, dass THG-Einsparungen durch die Verdichtung der städtischen Infrastruktur erzielt werden, was unter anderem eine kompaktere Entwicklung und kürzere Reiseentfernungen, neben anderen Vorteilen, mit sich bringen würde (Guiliano & Small, 1993).

Gudipudi et al. (2016) haben gezeigt, dass die Dichte von städtischen Siedlungen negativ linear mit den Emissionen korreliert ist. Im Prinzip bedeutet dies, dass eine weitere Verdichtung von Siedlungsgebieten anstelle von Expansion bei konstantem Bevölkerungs- und Bruttoinlandsprodukt (BIP)-Wachstum zu erheblichen Emissionseinsparungen, aufgrund der verbesserten Energienutzung von Mehrfamilienhäusern und kürzeren Fahrstrecken, führen würde. Eine kompaktere Stadtentwicklung kann jedoch Nachteile in Bezug auf Gesundheit, den städtischen Wärmeinseleffekt und die Lebensqualität der Einwohner nach sich ziehen (Westerink et al., 2013, Li et al., 2020).

Letztlich ist das Spannungsfeld zwischen Nachverdichtung und Vermeidung des Hitzeinseleffektes ein typisches Beispiel für sogenannte Zielkonflikte, welche sich nur durch intelligente Lösungen auflösen lassen (Li et al. 2021, Li et al. 2020). Hierbei zeigt sich, dass intelligent vernetzte und geplante polyzentrische Systeme beides garantieren können: eine Reduktion von Emissionen bei gleichzeitiger Steigerung von Lebensqualität und Minderung von Hitzeinseleffekten. Dies muss nicht zwingend mit einem zunehmenden Flächenverbrauch einhergehen.

Darüber hinaus ist anzumerken, dass die Betrachtung der Dichte der Infrastruktur allein die räumliche Struktur (z.B. Polyzentralität) nicht berücksichtigt, die für das THG - Minderungspotenzial über verschiedene Handlungsfelder hinweg entscheidend ist (Glaeser & Kahn, 2013). Vor diesem Hintergrund gewinnt die Idee der "15 Minuten-Stadt", die eine polyzentrische Stadtplanung favorisiert, weiter an Bedeutung (Allam et al., 2022).

Verschiedene Städte wie Curitiba (Brasilien) haben die Risiken eines unkontrollierten Wachstums, welches vor allem im globalen Süden an Relevanz steigt, erkannt und durch Integration von Flächennutzungs- und Verkehrspolitik versucht zu kontrollieren. Entlang von Hauptverkehrskorridoren entstanden gemischte Zonen mit hoher Dichte von Wirtschafts- und Siedlungsstrukturen (Parasram, 2003). Die Korridore sind alle miteinander durch Fahrrad-, Fuß- und Busnetze vernetzt (Rabinovitch, 1996). Mit der Entwicklung der Korridore wurde auch die Begrünung in Curitiba intensiviert (1970: 0,5 m² Grünfläche/Person; 1992: 50m² Grünfläche/Person) (Rabinovitch, 1996).

Eine weitere Methode ist die bereits bestehenden und ineffizient genutzten Flächen zu revitalisieren und die Zersiedlung einzugrenzen (ewta in Peking oder Greenwich, UK - Kim, 2005). Dies betrifft ehemals genutzte Industrieflächen, die heute zu Brachflächen verkommen sind. In Peking sind bereits mehr als 200 emissionsintensive Unternehmen vom Stadtgebiet in ländliche Regionen gezogen (Kang & Hua, 2007). Dies ermöglichte die Brachflächensanierung und den Aufbau von Zonen mit gemischter Nutzung, hoher Dichte und guter Anbindung an das Stadtzentrum.

Städtische Gebiete im Globalen Süden stehen vor der besonderen Herausforderung, die dramatischen Folgen des Klimawandels einzugrenzen, von denen sie überproportional stark betroffen sind und gleichzeitig hohe Bevölkerungswachstumsraten und die damit verbundene

rasche Verstädterung zu bewältigen (Bai et al., 2018). Es wird geschätzt, dass 90 % der 2,2 Milliarden zusätzlichen Einwohner, die bis zum Jahr 2050 zur Weltbevölkerung hinzukommen, in Afrika und Asien leben werden (He et al., 2015). Es wird daher von entscheidender Bedeutung sein sicherzustellen, dass die Städte des globalen Südens in die Lage versetzt werden, ihre THG - Minderungspotenziale optimal nutzen zu können, indem sie ihr Wachstum durch eine effektive Stadtplanung steuern und gleichzeitig mit den begrenzten finanziellen und personellen Ressourcen, den fehlenden technischen Kapazitäten sowie der Informalität umgehen (Burdett et al., 2018).

2.2 Forschungsüberblick THG - Bilanzierungsmethoden

Die Grundlage der Emissionsminderung stellt die Treibhausgasbilanzierung dar. Die meisten Städte orientieren sich mit ihrer Treibhausgasbilanz an Vorgaben des IPCC (Jokusch, Will, Lässig, & Michler, 2015). Städte nehmen trotz ihres hohen Anteils der Weltbevölkerung, nur rund 3 Prozent der Landmasse ein. Dies bedeutet, dass sie eine Vielzahl ihrer Emissionen außerhalb ihrer Grenzen verursachen (Grimm et al., 2008). Deshalb ist die quellenbasierte Methode des IPCC nicht ohne weiteres auf Städte übertragbar und ist in erster Linie für die nationale Bilanzierung gedacht.

Aus diesem Grund haben unter anderem Städte an Protokollen mitgewirkt, die sich auf die Nutzungsaktivitäten konzentrieren (konsumbasierte Methode), einschließlich des Stromverbrauchs, der von außen zugeführt wird. Deshalb sind verschiedene Perspektiven nötig, um die Herausforderung der Zuordnung von Emissionen auf der lokalen Ebene adäquat zu adressieren. Die konsumbasierte Methode wurde bis zur Veröffentlichung der PAS 2070 (Specification for the assessment of greenhouse gas emissions of a city – Direct plus supply chain and consumption-based methodology) im Jahr 2013 nicht vollständig in den Bilanzierungsprotokollen abgebildet. In der Publikation wurde sie jedoch erstmals detailliert im Rahmen des um die ökologische Dimension erweiterten ökonomischen Input-Output-Modells eingeführt. Wirksame Maßnahmen, die zu messbaren und langfristigen Minderungspotentialen führen können, müssen beide Dimensionen berücksichtigen.

Um einen Lösungsweg für die Bilanzierungszuordnung zu finden haben Ramaswani et al. 2008 erstmals die Emissionen transterritorialer Infrastruktur (z.B. Wasserversorgung, Strom) mit Hilfe der ökonomischen Input-Output-Lebenszyklusanalyse (EIO-Life Cycle Assessment) und der regionalen Materialflussanalyse (MFA) berechnet. Die territorialen Emissionen und die der transterritorialen Infrastruktur wurden zusammen in Chavez & Ramaswami als CIF (community- wide infrastructure footprint approach oder auch Hybrid-Ansatz) definiert. Diese Methode ist auch auf urbane Gebiete anwendbar, so z.B. für die Bilanzierung von acht US-Städten (Lombardi et al., 2017) oder auch von Xiamen in China (Hu et al., 2016).

Unterschiedliche Bilanzierungsmethoden spiegeln nicht nur das Ergebnis der Auswirkungen städtischer Aktivitäten aus unterschiedlichen Perspektiven wider, sondern liefern auch Informationen zur Stärkung verschiedener politischer Strategien, sei es für Städte, regionale Verwaltungsorgane oder übergeordnete Behörden (Mirabella & Allacker, 2021). Derzeit konzentrieren sich viele dieser Protokolle und Diskussionen darauf, wie das Inventar zu erstellen ist, während nicht klar umrissen wird, wie die Informationen mit politischen Maßnahmen verknüpft werden können (Chen et al., 2018).

Die in dieser Arbeit beschriebenen Quantifizierungsansätze wurden für verschiedene case - study cities im globalen Norden und Süden entwickelt und getestet, um der Vielfalt der verfügbaren Daten Rechnung zu tragen. Unter Berücksichtigung dieser Vielfalt bieten wir eine Reihe von gemischten Bottom-up- und Top-down-Ansätzen für den Umgang mit der

Datenheterogenität. Auf diese Weise erhalten die Städte anwendbare Methoden für den Umgang mit Datenheterogenität, mit denen sie ihre Klimaschutzmaßnahmen optimieren können.

Durch den Anstieg der Bevölkerung, verbunden mit der rapiden Urbanisierungsrate und den Folgen des Klimawandels, wird beim Klimaschutz ein besonderes Augenmerk auf der städtischen Infrastruktur liegen. Dazu gehört durch die Verdopplung des Bedarfs an physischer Infrastruktur die Bauweise der Gebäude, aber auch das Transportsystem und die Stadtstruktur im Allgemeinen. Damit man 2050 das 1,5-Grad-Ziel erreichen kann, sind sofortige urbane Interventionen nötig. Dazu gehört die erhöhte Nutzung von biogenen Materialien, wie u.a. Holz, Verbesserungen bei Verkehrstechnologien, Verhaltensänderungen wie die Verlagerung auf klimafreundliche Verkehrsträger oder polyzentrische Stadtformen. Im Vorhaben wurden diese Maßnahmen in Hinblick ihres Minderungspotentials quantifiziert. Dafür wurde sich an die vorhandenen Datenverfügbarkeiten angepasst und so versucht, Städten Berechnungsweisen aufzuzeigen.

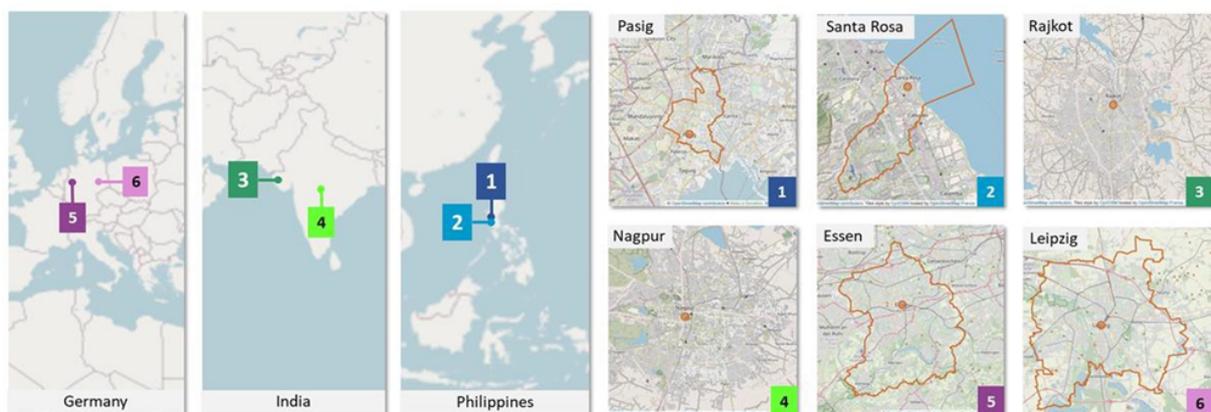
3 Quantifizierung der Treibhausgasminderungspotenziale in den Handlungsfeldern

Im folgenden Kapitel 3, sind die Entwicklung des Quantifizierungs-Ansatzes zur Berechnung der THG-Minderungspotenziale sowie deren Anwendung an zwei Beispielstädten in Deutschland, sowie an jeweils zwei Städten in Indien und auf den Philippinen dargestellt und beschrieben. Sowohl die Anwendung des Ansatzes in den Beispielstädten als auch die Entwicklung eines Analyserasters für THG-Minderungspotenziale für eine klimaorientierte Stadtentwicklung konnten erfolgreich abgeschlossen werden.

3.1 Auswahl der Beispielstädte

Eines der Hauptziele des Vorhabens ist die Validierung von ausgewählten Maßnahmen vor dem Hintergrund der Heterogenität der Daten und der sozioökonomischen Vielfalt. Um die Heterogenität der dynamischen Stadtentwicklung und der Datenverfügbarkeit zu erforschen, wurden daher sechs Städte mit unterschiedlichen charakteristischen Phasen der Stadtentwicklung und Wachstumsraten ausgewählt. Bei den ausgewählten Städten handelt es sich eher um Beispiele, in denen unterschiedliche Quantifizierungs-Ansätze verwendet wurden, und nicht um stadtspezifische Berechnungen, bei denen eine robuste Vergleichbarkeit im Vordergrund steht. Darunter sind Städte mit stabilem Bevölkerungswachstum und etablierter Verwaltung, wie z.B. die Städte Leipzig und Essen (Deutschland). Über Jahrzehnte hinweg hat sich eine zusammenhängende Infrastruktur entwickelt, wobei der Schwerpunkt auf der Erneuerung der alten Infrastruktur und der Steigerung der Ressourceneffizienz lag. Nagpur und Rajkot (Indien) sind Beispiele für sich rasch entwickelnde Städte mit infrastrukturellen Ungleichheiten und einem hohen Anteil an informellen Siedlungen. Die Städte Santa Rosa und Pasig City (Philippinen) hingegen sind Beispiele für wachstumsstarke Städte, die sich neu entwickeln.

Abbildung 7: Die Beispielstädte im Überblick



Source: <https://www.openstreetmap.org>

Quelle: eigene Darstellung, ICLEI Europasekretariat, 2022. Auf Basis von Kartenmaterial von © OpenStreetMap - [Open Data Commons Open Database License \(ODbL\)](https://www.openstreetmap.org)

3.2 Auswahl von urbanen Maßnahmen

Um einen möglichst realistischen Überblick über die Minderungspotenziale für die Fallstudien zu erhalten, wurde sich an die vorhandenen Datenheterogenität angepasst und Ansätze mit unterschiedlichen räumlichen Auflösungen pro Handlungsfeld ausgewählt. Ziel war es, in der Praxis häufig verwendete Maßnahmen den Berechnungen zugrunde zu legen. Für die Auswahl der Minderungsmaßnahmen wurden globale Datensätze des CDP-ICLEI Track verwendet². Der CDP-ICLEI Track enthält eine Vielzahl von urbanen Maßnahmen, die von den Städten zusammen mit ihren jeweiligen CO₂-Bilanzen berichtet werden. Diese Maßnahmen wurden dann den Handlungsfelder zugeordnet und nach Umsetzungs-Häufigkeit in Städten sowie nach Höhe der erwartbaren Emissionseinsparung sortiert.

Der Fokus liegt auf einer integrierten Emissionsminderung, da sich die Diskussionen auf multimodale Maßnahmen konzentrieren (Spickermann et al., 2014). Minderungspotenzial, welches auf bestimmte Verkehrsträger abzielt, wird in anderen Maßnahmen wie z. B. der Verlagerung vom Auto auf den nicht-motorisierten Verkehr berücksichtigt.

Es wurde versucht Maßnahmen auszuwählen, die eine direkte quantifizierbare Wirkung haben. So ist beispielsweise die Auswirkung der Maßnahme einer 10 % Verlagerung des Verkehrsaufkommens auf den nicht-motorisierten Verkehr direkt quantifizierbar, im Gegensatz zu der Maßnahme eines allgemeinen, umfangreichen Stadtentwicklungskonzepts (Tabelle 3).

Tabelle 3: Ausgewählte urbane Maßnahmen

Ausgewählte Maßnahmen pro Handlungsfeld und die Größe der durchschnittlichen Auswirkungen

Urbane Interventionen

Verkehrsverlagerung auf NMT (nicht motorisierter Verkehr): 10% vom Auto auf NMT

Weniger Fahrten: 10% weniger Fahrten im Durchschnitt

Geringere durchschnittliche Weglänge: 35% geringere durchschnittliche Weglänge

Effizienzsteigerung der Flotte: 2% weniger THG-Emissionsfaktor

Geschwindigkeitsbeschränkung: 25 % niedrigere Höchstgeschwindigkeit am Stadtrand, führt zu 2,5 % weniger Pkm

Elektrifizierung des öffentlichen Verkehrs: 50 % der öffentlichen Busflotte

50%ige Elektrifizierung von 2- und 3-Rad-Fahrzeugen

Substitution von Baumaterialien: Schwerpunkt auf Holz: 5 % und 15

Strategische Verdichtung

- ▶ Szenario 1: keine Veränderung der Bevölkerung und der Fläche
- ▶ Szenario 2: Zunahme der Bevölkerung und der Fläche

² <https://www.cdp.net/en/cities> (08.08.2023)

Urbane Interventionen

► Szenario 3: Zunahme der Bevölkerung und keine Veränderung der Fläche

Ziel war es, für jede Stadt die effektivsten Maßnahmen in Bezug auf die THG-Einsparungen in jedem der drei Handlungsfelder zu ermitteln. Anschließend wurden für jedes Handlungsfeld Modelle entwickelt, um die potenziellen Emissionseinsparungen zu quantifizieren. Die Modelle basierten auf der Verfügbarkeit von Daten in den Städten und wurden entsprechend flexibel gestaltet. Die THG-Einsparung pro Maßnahme wird immer in absoluten Zahlen und in % im Vergleich zum Ist-Zustand angegeben. Der Ansatz stellt eine "Was-wäre-wenn-Analyse" dar, die von einer vollständigen Umsetzung der der einzelnen ausgewählten Maßnahmen.

3.3 Handlungsfeld 1 – Nachhaltiges Bauen

Im nachfolgenden Abschnitt wird die Anwendung des kombinierten Methodenansatzes beschrieben, der für die Abschätzung von THG-Reduktionspotenzialen im Handlungsfeld nachhaltiges Bauen zur Anwendung kam. Der Ansatz, welcher in den sechs Beispielstädten angewandt wurde, erfasst die Substitutionseffekte eines verstärkten Einsatzes von biobasierten Materialien im Bausektor sowie die daraus resultierende verbesserte Funktion von Gebäuden als Kohlenstoffsenken. Die Methoden und Ergebnisse werden auch in Reitemeyer et al., 2023 beschrieben.

Der kombinierte Methodenansatz wurde ausgewählt, um eine Modellierungsdatenintensität zur Abschätzung von Baumaterialtypen und -Massen im Gebäudebestand für die sechs Beispielstädte zu ermöglichen, welche abhängig von der jeweiligen Datenverfügbarkeit variiert. Des Weiteren, erlaubt der kombinierte Ansatz den Vergleich und die Validierung von Ergebnissen und Methoden, wobei Emissionsfaktoren, Korrekturfaktoren sowie Annahmen (Maßnahmen) für die Substitution allen Ansätzen und Beispielstädten gleichermaßen unterliegen.

3.3.1 Quantifizierungsansatz

Zur Quantifizierung von Materialien im Gebäudebestand wurden für die deutschen Städte, Essen und Leipzig, Daten aus dem Gebäudekataster zu Baujahr und Nutzungsart (Mehr- oder Einfamilienhaus) herangezogen und modelliert. Eine weitere Einordnung erfolgte über Daten betreffend die Anzahl der errichteten Gebäude nach Jahrzehnten, von 1918 bis 2011. Darüber hinaus wurden Normen und Veröffentlichungen städtischer Ämter zur Abschätzung der Materialzusammensetzung der einzelnen Gebäudetypen herangezogen, wobei sich das Informationssystem Gebaute Umwelt des Leibniz- Instituts für ökologische Raumentwicklung als wichtige Quelle erwies. Analysiert wurden vor allem Wohngebäude, also Gebäude, die gemessen an ihrer Gesamtnutzfläche mindestens zur Hälfte Wohnzwecken dienen (Destatis, 2015). Das Informationssystem unterscheidet zwischen Mehrfamilienhäusern in West- und Ostdeutschland von 1949-1990. Im Falle von Leipzig, wurden Angaben zur ostdeutschen Bauweise verwendet, während Bestandserfassung in Essen auf den westdeutschen Daten basiert. Die Erfassung der Daten zeigt, dass in Ostdeutschland (Leipzig) ein hoher Anteil an Plattenbauten mit unterschiedlichen Materialien und mit mehrstöckigen Geschossflächen vorliegt, während Essen eine größere Diversität bei Gebäudetypologien aufweist.

Die im Informationssystem ausgewiesenen Materialverbräuche beziehen sich auf baualtersklassenspezifische Gebäudetypologien, welche auf Stadtebene aggregiert werden (Gruhler & Böhm, 2011). Der Datensatz umfasst Informationen zu Fläche/Volumen sowie Materialparameter (Beton, Ziegel, sonstige mineralische Baustoffe, Schnittholz/verarbeitetes

Holz, sonstige nachwachsende Rohstoffe, Kunststoffe, Eisenmetalle und Bitumen) (Gruhler et al., 2002). Die Gesamtmengen an Baumaterialien im Gebäudebestand der beiden Städte wurden berechnet, indem Informationen über die Bruttogeschossfläche³ [m²] aus dem Informationssystem verwendet wurden. Anschließend wurde die Gesamtbruttogeschossfläche je Baualtersklasse anhand der Anzahl der Gebäude und der durchschnittlichen Bruttogeschossfläche ausgewertet. Auf Basis der Gesamtbruttogeschossfläche [m²] und des Materialeinsatzes [t/m²] wurde in einem letzten Schritt die Gesamtmenge [t] an Baumaterialien berechnet.

Für die philippinischen Städte Santa Rosa und Pasig City wurde die Gesamtmenge des im Bestand verbauten Materials berechnet, indem Annahmen zu Materialkomposition und Mengen in philippinischen Gebäuden mit der ermittelten Geschossfläche [m²] miteinander verschnitten wurden [Tonnen Material/m² Geschossfläche]. Schätzungen zu Materialien und deren Mengen wurden einer Publikation (Ong, Arcilla, & Oreta, 2017) über Lebenszyklusanalysen von Bausystemen auf den Philippinen entnommen. Die verwendete Materialliste, auf die sich die im Vorhaben durchgeführte Quantifizierung stützt, umfasst unter anderem Zement, Sand, Kies und Stahl. Die Mengen der einzelnen Materialien sind für vier Gebäudetypen mit unterschiedlichen Konstruktionen angegeben. Für die Anwendung des Modells wurde der Durchschnitt der vier Gebäudetypen für eine durchschnittliche Wohneinheit [60 m²] auf den Philippinen berechnet und dann in den entsprechenden Wert pro Quadratmeter [m²] umgerechnet. Basierend auf dem daraus abgeleiteten Status-Quo zur Materialkomposition wurde mittels Emissionsfaktoren die Kohlenstoffintensität des Gebäudebestands ermittelt. Darauf aufbauend konnten die THG-Minderungspotenziale der verwendeten Substitutions- Szenarien errechnet werden (siehe dazu Absatz unten).

Anhand einer umfassenden Materialflussstudie für sechs asiatische Städte der Asiatischen Entwicklungsbank (ADB, 2014) wurde für die Stadt Bangalore der Domestic Material Input (DMI) Indikator für Baumaterialien (Zement, Sand, Kies, Stahl, Holz, Kunststoffe) abgeleitet. Dividiert man den gesamten Baustoff-DMI durch das lokale BIP, kann die Baumaterialintensität des lokalen BIP berechnet werden. Des Weiteren, wurde unter Verwendung der gleichen Emissionsfaktoren wie in den anderen Beispielstädten, die Kohlenstoffintensität von Baumaterialien abgeleitet. Um die Robustheit des Ansatzes zu gewährleisten, wurde außerdem ein weiterer MFA-Datensatz für die Stadt Mumbai von Reddy (2013) verwendet. Wie für Bangalore werden Indikatoren zur Kohlenstoffintensität von Baumaterialien und zur Materialintensität des lokalen BIP abgeleitet. Für beide Städte werden beide Substitutionsszenarien angewendet, wobei nichtmetallische Baumaterialien durch 5 Prozent bzw. 15 Prozent Holz und Holzprodukte ersetzt werden, um das Emissionsminderungspotenzial für die Baseline zu erhalten. Von den Autoren entwickelte Korrekturfaktoren wurden angewendet, um die Substitution von nichtmetallischen Mineralien und Stahl durch Holz nicht zu überschätzen.

Um die THG-Minderungspotenziale aus den beiden Szenarien in den Städten Nagpur und Rajkot zu berechnen, wurde zunächst aus den beiden Werten aus Bangalore und Mumbai eine mittlere Kohlenstoffintensität von Baumaterialien ermittelt. Darüber hinaus wurde das lokale BIP für 2020 für beide Städte berechnet, indem lokale BIP-Werte für Nagpur und Rajkot aus den Jahren 2014 bzw. 2017 verwendet und über die nationale durchschnittliche Wachstumsrate extrapoliert wurden. Schließlich konnte durch Multiplizieren der BIP-Werte von 2020 für Nagpur und Rajkot mit der Materialintensität des BIP die Gesamtmenge an Baumaterialien geschätzt werden. Multipliziert man diese mit den mittleren Kohlenstoffintensitäten der

³ Dies ist die Gesamtfläche aller Grundrissebenen eines Gebäudes. Sie wird unterteilt in die Konstruktionsfläche und die Nettogrundfläche (DIN 277-1:2016-01).

Baustoffe, lassen sich die THG-Emissionswerte für jedes Szenario (inkl. Baseline) ableiten – und damit das Minderungspotenzial des Substitutionsszenarios bestimmen.

Auf der Grundlage des Materialbestands in Tonnen wurden die THG-Emissionen pro Beispielstadt mit geeigneten THG-Emissionsfaktoren berechnet. Emissionsfaktoren für alle Materialien im Gebäudesektor sowie für den Mobilitätssektor wurden aus der ecoinvent-Datenbank und der GEMIS- Software verwendet. Soweit verfügbar, wurden regionalspezifische Daten verwendet. Das GEMIS- Modell (Global Emission Model for Integrated Systems) ist ein computerbasiertes Tool, dass auf einfache, präzise und vor allem umfassende Weise die Klimaauswirkungen verschiedener Systeme und Prozesse berechnet und diese miteinander in Beziehung setzt. Diese Emissionsfaktoren umfassen sowohl die direkten Emissionen als auch die indirekten Emissionen, die Lebenszyklus- Emissionsfaktoren.

Auf der Grundlage des Materialbestands in Tonnen wurden die THG-Emissionen pro Beispielstadt mit geeigneten THG-Emissionsfaktoren berechnet. Anschließend wurde anhand von Szenarien das THG- Minderungspotenzial durch den Einsatz von biogenen Baustoffen berechnet. Die Ersatzrate für den Einsatz abiotischer Materialien beträgt 5 % bzw. 15 %. Darüber hinaus wurden Korrekturfaktoren angewandt, um eine technisch realistische Substitution durch Holz abzubilden.

3.3.2 Ergebnisse

Zusammensetzung der Baumaterialien

Bei der Materialsubstitution in Essen und Leipzig konnte zwischen Einfamilien- und Mehrfamilienhäusern unterschieden werden, wobei sich die Bauweise bei den Mehrfamilienhäusern in Leipzig zwischen 1949-1990 erheblich von der in Essen unterscheidet. Bei den Einfamilienhäusern in Essen wurden durchschnittlich 309 t Bausubstanz eingesetzt. Der größte Teil davon entfällt auf Beton, sonstige mineralische Baustoffe und Ziegel. Der Verbrauch von Beton weist dabei eine positive Korrelation im Verlauf von älteren zu jüngeren Baualtersklassen auf. Bei den sonstigen mineralischen Baustoffen und den Ziegelsteinen war der umgekehrte Trend zu beobachten. Schnittholz hatte nur einen geringen Anteil, der in den jüngeren Baualtersklassen weiter leicht abnahm.

Bei Mehrfamilienhäusern wurden durchschnittlich 1272 t für ein Gebäude verwendet. Die für die Einfamilienhäuser beschriebenen Materialtrends galten auch für die Mehrfamilienhäuser, nur waren sie stärker ausgeprägt. Der Betonverbrauch stieg bis 1990 stark an und nahm dann in den jüngeren Altersklassen wieder ab.

Leipzig unterschied sich von Essen vor allem in der Altersklasse 1979-1990. Hier war der Betonverbrauch um 30 % höher. Bei Mehrfamilienhäusern wurden in dieser Altersklasse durchschnittlich 1566t Materialien verwendet. Beton dominiert hier den Materialverbrauch und macht 81% des gesamten Materialverbrauchs in dieser Altersklasse aus. In Essen sind es hingegen nur 53%. Auch Holz hatte in Leipzig einen geringen Anteil am Gesamtverbrauch, geringer als der in Essen.

Eine Unterscheidung zwischen Ein- und Mehrfamilienhäusern konnte für die indischen und philippinischen Städte aus methodischen Gründen nicht vorgenommen werden (siehe Quantifizierungsansatz). Für die indischen Städte wurde ein Top-Down-Ansatz verwendet, weshalb für Rajkot und Nagpur keine spezifischen Materialverbrauchsdaten verfügbar waren. Für den Materialverbrauch lagen Daten aus Mumbai und Bangalore vor, die weiterverarbeitet

wurden. Insbesondere in Bangalore dominiert Stein als Baumaterial, gefolgt von Stahl und Eisenmetallen sowie Holz. Holz hatte dort einen deutlich höheren Anteil am gesamten Baumaterialverbrauch.

Der Ansatz für die philippinischen Städte Santa Rosa und Pasig City enthält Elemente der Ansätze, welche für die deutschen und indischen Städte angewandt wurde (siehe Quantifizierungsansatz). Hier konnte zwar auf Gebäudeebene analysiert werden, aber es waren keine differenzierten Materialverteilungen möglich. Für den Bau eines Gebäudes mit durchschnittlich 60 m² Wohnfläche (siehe Quantifizierungsansatz) werden 23,2 t Baustoffe verbraucht. Das ist deutlich weniger als z.B. in Essen. In beiden Städten dominierte eindeutig der Verbrauch von Sand und Kies, wobei, wie bereits in den Methoden beschrieben, keine differenzierte Materialverteilung möglich war und im Status-Quo nur Zement, Sand und Kies sowie Stahl unterschieden werden konnten (siehe Quantifizierungsansatz).

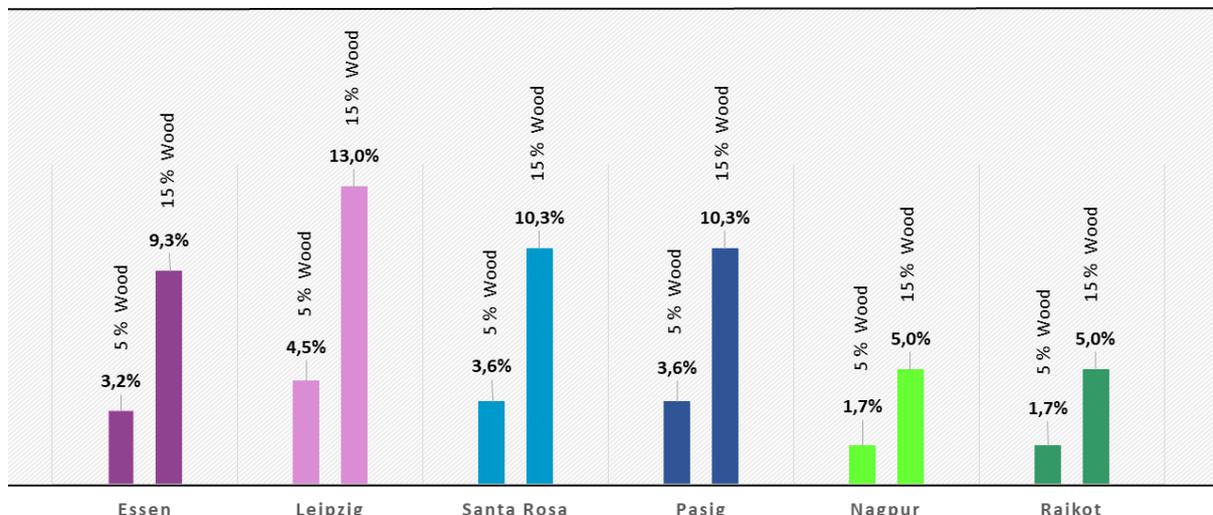
Treibhausgas-Minderungspotential

Nach der Modellierung des Status-Quo zu den Materialverbräuchen in den sechs Beispielstädten, wurde eine Was-wäre-wenn-Analyse durchgeführt. Es wurden zwei Szenarien berechnet, die die Reduktionspotenziale von Holz im Bauwesen verdeutlichen sollen: eine 5- und eine 15-prozentige Erhöhung des Einsatzes von Holz als Baumaterial.

Bei einem Anstieg der Verwendung von Holz als Baumaterial um 5 % liegt das Einsparpotenzial zwischen 1,6 und 3,2 %. Die geringsten Reduktionen werden in den philippinischen Städten erzielt, mit nur geringen Unterschieden zwischen ihnen. Indische Städte haben nur ein geringfügig höheres Potenzial (1.6%). Essen hat mit 3,1 % ein ähnliches Minderungspotenzial wie Leipzig mit 3,2 %, das auch der höchste Wert im ersten Szenario ist.

Abbildung 8: Emissionsminderungspotential unter den beiden Szenarien für alle Städte im nachhaltigen Bauen [%]

Emissionsminderungspotential unter den beiden Szenarien für alle Städte im nachhaltigen Bauen [%]



*Die "What-if-Analyse" im Bereich des nachhaltigen Bauens umfasste die Berechnung von zwei Szenarien, eines 5%igen (linke Balken) und eines 15%igen (rechte Balken) für den Einsatz von Holz als Baumaterial.

Quelle: eigene Darstellung, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung und ICLEI Europasekretariat, 2022

Bei einer Erhöhung der Substitution konventioneller Baumaterialien durch nachhaltig bewirtschaftetes Holz um 15 % liegen die Treibhausgasreduktionen zwischen 5 und 9,5 %. Die

beiden indischen Städte haben die Treibhausgasreduktion mit 5 % erhöht, wobei die beiden Städte die geringsten Einsparpotenziale der sechs Städte haben. Die philippinischen Städte haben jeweils 8,6 % Emissionsreduktionen. Essen, hat mit 9,3 % wiederum etwas geringere Reduktionen als Leipzig mit 9,5 %.

3.3.3 Diskussion der Ergebnisse

Angesichts des zu erwartenden Ausbaus der Infrastruktur muss darauf geachtet werden, wie neue Gebäudeinfrastruktur errichtet wird. Die Analyse zeigt, dass bei einer Substitution von konventionellen Baumaterialien durch Holz das höchste THG-Minderungspotenzial zu erreichen ist. Dieses hängt von der Materialverteilung im Basisszenario ab. Der Anteil von Stahl und Eisenmetallen ist in indischen Städten mit 18% höher als in deutschen (4%) oder philippinischen Städten (5%). Die Anwendung des Korrekturfaktors (4 Tonnen Holz ersetzen 1 Tonne Stahl) führt

zu einem Anstieg des Materialverbrauchs in den indischen Städten, aber zu einem Rückgang in den anderen Städten. Daher ist das Minderungspotenzial für Indien im Durchschnitt geringer. Als Teil der 100 klimaneutralen und intelligenten Städte bis 2030, muss die Stadt Leipzig ambitionierte Maßnahmen umsetzen. Die äußerst anspruchsvolle Substitution von 15 % des gesamten Gebäudebestands durch Holz, würde die Gesamtemissionen in Leipzig halbieren und dem Ziel der Klimaneutralität einen großen Schritt näherkommen.

Die Relevanz des Bausektors für den Klimaschutz wurde auch von Guo et al. (2017) festgestellt, welche berechnet haben, dass der Energieverbrauch und die Kohlenstoffemissionen von Gebäuden aus cross-laminated timber (CLT) 10 % bzw. 13 % niedriger sind als die von Gebäuden mit konventionellen Materialien, basierend auf einer vollständigen Lebenszyklusanalyse (Guo et al., 2017). Im Bericht des International Resource Panel (IRP) (Swilling et al, 2018) wurde auch eine "What-if-Analyse" mit verschiedenen Maßnahmen für verschiedene Städte durchgeführt, die höchste Emissionseinsparung hatte ebenfalls die Substitution von Materialien auf Betonbasis durch biobasierte Materialien – hauptsächlich CLT. Mit der vollständigen Substitution durch biobasierte Materialien könnten 64 % der Treibhausgasemissionen eingespart werden.

Insbesondere in Ländern des globalen Südens müssen auch andere traditionelle, biobasierte Materialien, z.B. Bambus, Stroh und Hanf bei der Transformation zu nachhaltigem Bauen berücksichtigt werden (Churkina et al., 2020). Studien haben gezeigt, dass der Ersatz von traditionellen Stahldächern durch kostengünstige, alternative Baumaterialien, wie z.B. Ziegel aus Flugasche, zu einer Energieeinsparung von mehr als 20 % beim Materialeinsatz führen (Swilling et al., 2018, Kalra & Bonner, 2012). Die reine Verwendung von Holz als Ersatzmaterial könnte zu Landnutzungs- und Zielkonflikten führen, weshalb der zusätzliche Einsatz von alternativen nachhaltiger Materialien notwendig ist (Mishra et al., 2022).

3.4 Handlungsfeld 2 – Urbanes Transportsystem

Ähnlich wie im Handlungsfeld Nachhaltiges Bauen, erfolgt die Analyse der Reduktionspotenziale über eine Betrachtung von Substitutionseffekten. Multiplikatoreffekte durch soziale Parameter sowie verstärkende Wechselwirkungen durch lokale Projekte und Initiativen, können mangels Daten nicht beleuchtet werden. Im folgenden Abschnitt wird die Berechnung von direkten Substitutionseffekten durch die Anwendung unterschiedlicher Maßnahmenpakete dargestellt.

3.4.1 Quantifizierungsansatz

Um THG-Minderungspotenziale durch Substitutionseffekte quantifizieren zu können, wurden folgende relevante Verkehrsindikatoren identifiziert und entsprechende Basisdaten verwendet. Modal Split in Prozent, sowie folgende Daten für die unterschiedlichen Verkehrsmittel:

- ▶ Streckenlänge (teilweise durch Annahmen)
- ▶ Emissionsfaktoren
- ▶ Spezifische Verbrauchsdaten
- ▶ Besetzungsgrad

Aus diesen Eingangswerten konnten die durchschnittlichen Emissionen des Personenverkehrs für alle Städte berechnet werden. Dazu wurde die Modal-Split-Verteilung mit den entsprechenden Weglängen und dem Emissionsfaktor des jeweiligen Verkehrsmittels multipliziert und summiert. Anschließend mit der Gesamtzahl der täglichen Fahrten multipliziert und auf ein ganzes Jahr extrapoliert. Daraus ergeben sich die jährlichen Treibhausgasemissionen des Personenverkehrs.

Um die prozentuale Veränderung der gesamten THG-Emissionen zu berechnen, wurden die jeweiligen Maßnahmen in die Berechnungsmethode eingesetzt. Wenn eine Maßnahme z.B. die Anzahl der Fahrten in % reduzierte, führt dies auch zu einer Verringerung der THG-Emissionen um diesen Prozentsatz.

Die Berechnung für die deutschen und indischen Städte wurde nach dem oben beschriebenen Ansatz durchgeführt. Bei all jenen Städten wurden Haushaltsbefragungen und statistische Daten der Verkehrsämter verwendet.

Für die philippinischen Städte Pasig City und Santa Rosa wurden die täglichen THG-Emissionen (siehe Gleichung 1) durch Multiplikation der Emissionsfaktoren jedes Verkehrsträgers mit i) dem Anteil jedes Verkehrsträgers, ii) der Entfernung jeder Fahrt - für die die meisten Daten nicht verfügbar waren und daher von der Modellstadt übernommen wurden - und iii) mit der Anzahl der täglichen Fahrten, wie sie in Statistiken für Metro Manila und die umliegenden Gebiete gefunden wurden, nachdem sie mit den Bevölkerungsdaten der Stadt heruntergerechnet wurden. Ein Referenzwert für tägliche Fahrten für Pasig City wurde in einem Studienentwurf (Solutions Plus, 2021) gefunden und zur Validierung der Schätzungen verwendet.

$$CO_{2modal} = Verkehrsanteil_{modal} \times Dis_{tan} \times z_{Fahrt,modal} \times Anzahl\ Fahrten_{modal} \quad (1)$$

3.4.2 Ergebnisse

Die durchschnittliche Weglänge und der Modal Split sind wichtige Indikatoren für die Verkehrsaktivität. In Leipzig hatte der Pkw mit 36,5 % den höchsten Anteil am Verkehrsaufkommen. Der aktive Verkehr, bestehend aus Gehen und Radfahren, hatte mit 46 % ebenfalls einen hohen Anteil. Der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) hatte einen ähnlichen Verkehrsanteil von 17,5 % wie das Fahrrad mit 18,7 %. Im Durchschnitt wurden 3,6 Fahrten pro Person und Tag mit einer durchschnittlichen Länge von 6,4 km unternommen.

Mit 54% wies der Pkw in Essen einen noch höheren Verkehrsanteil als in Leipzig auf. Der Anteil des aktiven Verkehrs war mit 25 % geringer als in Leipzig. Der Anteil des ÖPNV unterschied sich mit 19 % jedoch nicht wesentlich von den Leipziger Werten. Mit 3,6 Fahrten/Person/Tag wurden genauso viele Fahrten unternommen wie in Leipzig, aber mit 8,7 km/Fahrt waren sie deutlich länger.

Der Pkw hatte nur einen geringen Anteil von 5,7 % am Verkehrssystem in Nagpur. Zweiräder hatten mit 42,6 % den größten Anteil. Auch Auto-Rikschas hatten mit 19,8 % einen erheblichen Einfluss auf das Verkehrssystem. Der aktive Verkehr (zu Fuß gehen, Radfahren, Fahrradriskhas) war mit 15,9 % weniger stark ausgeprägt als in deutschen Städten. Der öffentliche Verkehr bestand hauptsächlich aus verschiedenen Bus Typen: Schulbus, Minibus, Linienbus, Charterbus und prägte mit 15,5% ebenfalls das Stadtbild. Im Durchschnitt legte die Bevölkerung in Nagpur 1,3 Fahrten/Person/Tag mit einer durchschnittlichen Länge von 9,3 km zurück.

In der weniger bevölkerungsreichen und kleineren Stadt Rajkot hatten Zweiräder ebenfalls einen hohen Anteil am Verkehrsaufkommen (35 %). Zu Fuß gehen war jedoch mit 38 % die am häufigsten genutzte Form der Mobilität. Das Auto (2 %) und der Bus (3 %) hatten keinen großen Anteil am Verkehrsaufkommen. Mit 1,4 Fahrten/Person/Tag hatten sie einen ähnlichen Wert wie in Nagpur, allerdings waren sie mit 5,5 km deutlich kürzer.

In Santa Rosa konnten keine differenzierten Bottom-up-Daten zur Verkehrsaktivität analysiert werden. Annahmen wurden von Daten aus Metro Manila abgeleitet und ähnelten daher denen aus Pasig City (siehe Quantifizierungsansatz). Wie in Rajkot war auch in der philippinischen Stadt Pasig City das Zu-Fuß-Gehen die am häufigsten genutzte Form der Mobilität (30,7 %), gefolgt von Jeepneys (19,1 %) und Dreirädern (16 %). Autos hatten, wie in indischen Städten, mit 8 % einen verhältnismäßig geringeren Anteil am Verkehrssystem. Auf Bus und Bahn entfielen zusammen 10 % der Fahrten. Die durchschnittliche Anzahl der Fahrten betrug 1,8 Fahrten/Person/Tag mit einer durchschnittlichen Länge von 4,6 km.

3.4.3 Treibhausgas-Reduktionspotential

Alle prozentualen Minderungspotenziale beziehen sich auf den Status quo der berechneten Verkehrsemissionen. Die Maßnahme der geringeren durchschnittlichen Reiselänge hatte mit 33-36% das höchste Minderungspotenzial (siehe Abbildung 9), wobei sich das Potenzial zwischen den Städten kaum unterschied. Es folgte die Maßnahme Reduktion der Fahrten mit 10%, wobei sich die Städte relativ gesehen nicht unterschieden.

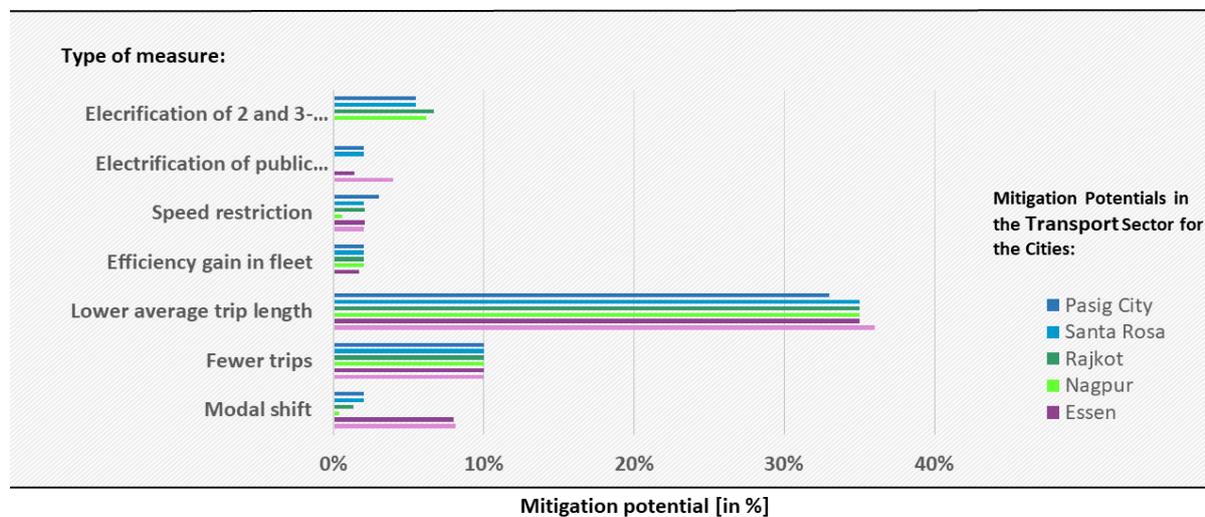
Bei einer Verkehrsverlagerung vom Pkw auf den nicht motorisierten Verkehr wiesen die deutschen Städte Leipzig und Essen, aufgrund ihres hohen Pkw-Anteils, mit 8 % ebenfalls die höchsten Minderungspotenziale auf (siehe Abbildung 9). In Nagpur hatte eine Verkehrsverlagerung nur ein Potenzial von 0,4 % und in den philippinischen Städten wurden Minderungspotenziale von 2 % ermittelt.

Die Elektrifizierung von Zwei- und Dreirädern würde sich dagegen vor allem in den indischen und philippinischen Städten bemerkbar machen. Trotz eines Strommix mit geringem Anteil an erneuerbaren Energien hatten die indischen Städte mit 6,7% (Rajkot) und 6,2% (Nagpur) das höchste Reduktionspotenzial (siehe Abbildung 9). Der hohe Emissionsfaktor des Stromnetzes in Indien führte zu einem Anstieg der Emissionen um 0,1 bis 0,3 %, wenn die öffentliche Busflotte

elektrifiziert wird. Leipzig würde mit 4 % die meisten Emissionen einsparen, gefolgt von den philippinischen Städten mit 2 % und Essen mit 1,4 %.

Abbildung 9: Minderungspotenziale für alle Städte im Verkehrssektor

Minderungspotenziale für alle Städte im Verkehrssektor



Quelle: eigene Darstellung, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung und ICLEI Europasekretariat, 2022

3.4.4 Diskussion der Ergebnisse

Die multimodalen Verkehrsmaßnahmen hatten unterschiedliche Auswirkungen auf die Treibhausgasemissionen. Die beiden deutschen Städte Leipzig und Essen weisen einen hohen Anteil des Individualverkehrs mit dem Auto auf, so dass eine Verlagerung auf weniger PKW-Fahrten im Vergleich zu den anderen Städten zu einem höheren Minderungspotenzial führt. Creutzig et al. 2012 zeigen ebenfalls signifikante THG-Einsparungen durch eine Verlagerung vom PKW auf weniger emissionsintensive Verkehrsmittel. Im Gegensatz zu deutschen Städten, verändert sich der Modal Split in schnell wachsenden Städten deutlich rascher zugunsten der individuellen Mobilität, hauptsächlich des Autos: Zum Beispiel ist die Anzahl der zugelassenen Autos in Nagpur zwischen 2014 und 2017 um 71 % gestiegen, während die Bevölkerung nur um 10 % zunahm. Für die indischen Städte wird dies aufgrund des hohen Anteils von 2- und 3-Rädern in Zukunft sogar noch zunehmen (Tiwari & Gulati, 2013). In Anbetracht dieses Trends besteht die Gefahr, dass sich die Pfadabhängigkeit hin zu einer autogerechten Stadt verstärkt (Hidayati et al., 2019). Es wird davon ausgegangen, dass die Umsetzung von verschiedenen Maßnahmenbündeln in den frühen Entwicklungsphasen der Infrastruktur die Dominanz des Autos verhindern kann (Bongardt, 2010), was die Notwendigkeit unterstreicht, die städtische Dynamik in Planungsprozessen zu berücksichtigen.

Das Minderungspotenzial der Elektrifizierung des öffentlichen Verkehrs hängt stark vom aktuellen Anteil des elektrifizierten öffentlichen Verkehrs und dem Anteil der erneuerbaren Energien im Stromnetz ab (Abdul-Manan et al., 2022). Der hohe Anteil von Kohle im indischen Stromnetz führt im Elektrifizierungsszenario sogar zu einem Anstieg der Emissionen. Angesichts des höheren Anteils an erneuerbaren Energien im Stromnetz haben die philippinischen und deutschen Städte höhere Minderungspotenziale. Vor allem im Verkehrssektor ist es jedoch effektiver, einen Mix von Maßnahmen anzustreben: wie z.B.

Verkehrsverlagerung, Vermeidung von Fahrten, Elektrifizierung und auch Verdichtungsmaßnahmen, anstatt sich auf eine einzelne Maßnahme zu konzentrieren.

3.5 Handlungsfeld 3 – Nachverdichtung

Um die Auswirkungen der Flächennutzungsänderung und insbesondere der Nachverdichtung auf die Emissionsentwicklung abzuschätzen, haben wir einen urbanen Skalierungsansatz für die Nachverdichtung angewandt. Studien zeigen, dass die städtischen Emissionen in etwa proportional zur städtischen Bevölkerung oder Fläche sind (Ribeiro, Rybski & Kropp, 2019), was die empirischen Skalierungsbeziehungen zwischen Fläche, Bevölkerung und Emissionen beschreibt.

3.5.1 Quantifizierungsansatz

Für dieses Vorhaben wurde eine Erweiterung des Skalierungsansatzes verwendet, die Cobb-Douglas Beziehung, die eine der bekanntesten Produktionsfunktionen ist. Sie kann verwendet werden, um die Auswirkungen verschiedener Populationen (P) oder Fläche (A) auf die Emissionen (C) zu analysieren, wobei beide durch die Dichte miteinander verbunden sind (Ribeiro, Rybski & Kropp, 2019): β_P , β_A , und c_1 ergeben sich dabei aus der Anpassung an die Daten mit Hilfe multilinearer Regressionsmodelle.

$$C = c_1 P^{\beta_P} A^{\beta_A},$$

Für die Beispielstädte im Globalen Süden wurden Daten von 68 Städten zu Fläche, Emissionen und Bevölkerung verwendet. Für die Analyse wurden THG-Daten mit einer einheitlichen Berechnungsmethode benötigt, die einem ICLEI-Bericht (ICLEI, 2009) entnommen wurden, der alle erforderlichen Daten für das Jahr 2009 für die Städte in Indien enthält. Darüber hinaus wurden Daten aus dem Carbon Disclosure Project (CDP) für die philippinischen Städte analysiert. Beide Quellen verwenden eine sehr ähnliche Methodik der Kohlenstoffbilanzierung, die auf dem Greenhouse Gas Protocol basiert. Die Analyse einer so großen Kohorte von Städten diente der Kalibrierung des Modells zur Berechnung der Parameter.

Um die Analyse für Essen und Leipzig durchzuführen, wurden Daten aus dem Jahr 2018 von 47 deutschen Städten aus dem Klimaschutz-Planer (klimaschutz-planer.de), einer internetbasierten Software zur Bilanzierung von Treibhausgasen, entnommen. Diese basiert auf der Bilanzierungs-Systematik Kommunal (BISKO), das am weitesten verbreitete Bilanzierungstool auf kommunaler Ebene in Deutschland.

Nach der Bestimmung der Parameter wurden zwei verschiedene Szenarien mit der Cobb-Douglas-Funktion analysiert, in denen die Fläche und die Bevölkerung verändert wurden. Daher wurde Gl. (X) geändert (siehe Gl X).

$$C = \log c_1 + \beta_P(\log x_P + \log P) + \beta_A(\log x_A + \log A),$$

Ziel war es herauszufinden, welchen Einfluss eine erhöhte städtische Dichte auf C hat, wobei A kleiner als P ist. Um die Entwicklungsdynamik einzelner Städte genau zu berücksichtigen, wurden stadtspezifische Szenarien definiert.

Nach der Allometrie von P und A unterscheidet sich der Anstieg von A und P um einen Faktor von 0,8 (Batty & Longley, 1994). In Anbetracht der Korrelation von Bevölkerungswachstum und Siedlungsflächenausdehnung (x_A) (Allometrie von P und A) berücksichtigt das erste Szenario

(S1) das geschätzte stadtspezifische prozentuale Bevölkerungswachstum (xP) bis zum Jahr 2030, indem P um diesen Wert in der Funktion erhöht wird. Dieses Szenario soll die Zersiedelung der Landschaft aufgrund des Anstiegs von P und A darstellen.

Das zweite Szenario (S2) stellt eine Nachverdichtung dar, bei der P um denselben Wert in der Funktion erhöht wurde, wie im 1. Szenario, während A nicht ansteigt, um die Auswirkungen des Bevölkerungswachstums ohne Stadterweiterung zu untersuchen. Das Basisszenario stellte den Status quo dar und beinhaltet somit keine Änderung von P und A . Die deutschen Städte haben das geringste Bevölkerungswachstum, gefolgt von den indischen Städten und den philippinischen Städten mit dem höchsten Bevölkerungswachstum. Anschließend konnten die Emissionen (C) der Cobb-Douglas-Funktion miteinander verglichen werden miteinander verglichen und die zusätzlichen Treibhausgaseinsparungen des dritten Szenarios im Vergleich zum zweiten Szenario untersucht werden.

3.5.2 Ergebnisse

Die Parameter der Gleichung X unterscheiden sich erheblich zwischen den deutschen und den asiatischen Datensätzen (Tab.4). β_A ist in den deutschen Städten um den Faktor 10 höher als in den indischen Städten.

Tabelle 4: Ermittelte Parameter

Parameter	Schätzung	Parameter	Schätzung
β_{Pasia}	0,9189	$\beta_{Adeutsch}$	0,0994
$\beta_{Pdeutsch}$	0,8675	$C1_{Pasia}$	1,1542
β_{Aasia}	0,0183	$C1_{deutsch}$	3,1081

Die Parameter werden durch Anpassung an die Daten mit Hilfe von multi-linearen Regressionsmodellen ermittelt

Da β_A in den asiatischen Städten nahe bei 0 liegt, ist der Unterschied zur konventionellen Stadtskalierung gering und hat nur geringe Auswirkung auf die Treibhausgasemissionen. Außerdem ist β_P in indischen Städten nahe Null und daher linear mit den THG-Emissionen.

Für alle Städte nehmen die Emissionen in den Szenarien S1 und S2 zu, wenngleich in S2 etwas langsamer. Asiatische Städte haben den höheren prozentualen Anstieg vom Status quo zu S1 aufgrund des höheren Bevölkerungswachstums in S1 im Vergleich zu den derzeitigen Emissionen. Wenn die Bevölkerung zunimmt (S1), steigen die Treibhausgasemissionen der Stadt (Tabelle 5). Wenn jedoch, wie in S2, P zunimmt und A konstant bleibt, nimmt die städtische Dichte zu und die Emissionen sinken im Vergleich zum gemeinsamen Anstieg von P und A in S1 (was die Zersiedelung der Landschaft spiegelt). Diese Erwartung wird durch die Ergebnisse bestätigt: Die Emissionseinsparungen von S2 zu S1 unterscheiden sich zwischen den deutschen und asiatischen Städten, liegen aber alle in einem ähnlichen Bereich von 0,39-0,68%, obwohl die Wachstumsraten von P und A in den asiatischen Städten deutlich höher sind (Tabelle 5). Trotz des niedrigen Niveaus bei den Emissionen im Basisszenario, hatte Pasig City die höchsten Einsparungen in S2, auch aufgrund der höchsten Wachstumsraten. Im Verhältnis zu den Zunahmen bei P und A haben die deutschen Städte die höheren Einsparungen im Vergleich S2 zu S1, was mit dem niedrigen asiatischen β_A -Parameter zusammenhängt.

Tabelle 5: Ergebnisse Cobb-Douglas

Stadt	Szenario	Bevölkerungswachstum [%]	Flächenzunahme [%]	Emissionen [tCO ₂]	THG-Veränderung verglichen mit Basis sowie S2 vs. S1 [%]
Leipzig	S1	7	5,6	4.214.307	6,21
	S2	7	0	4.191.539	-0,54
Essen	S1	5	4	4.007.563	4,52
	S2	5	0	3.991.966	-0,39
Nagpur	S1	24	19,2	3.164.981	18,20
	S2	24	0	3.154.808	-0,32
Rajkot	S1	36	28,8	1.961.681	24,96
	S2	36	0	1.952.602	-0,46
Pasig City	S1	56	44,8	1.291.097	34,00
	S2	56	0	1.282.336	-0,68
Santa Rosa	S1	41	32,8	484.292	27,45
	S2	41	0	481.780	-0,52

Ergebnisse der verschiedenen Cobb-Douglas-Funktionen je nach Stadt und Szenario: Actual ist die Ausgangssituation, S1 steht für die Zersiedelung aufgrund der Erhöhung von P und A, S2 für eine Nachverdichtung, bei der P erhöht wurde und A konstant gehalten wurde

Die Ergebnisse für die Nachverdichtung in bereits dicht besiedelten Städten zeigen einen geringen Einfluss der Fläche auf die Treibhausgasemissionen (β_A korreliert kaum mit C). Der Unterschied in den Emissionsreduktionen zwischen asiatischen und deutschen Städten ist hauptsächlich auf unterschiedliche Parameter zurückzuführen (β_P korreliert fast linear mit C). Im Vergleich zu den deutschen Städten ist β_A in den asiatischen Städten fünfmal niedriger. Dies bedeutet, dass sich Städte im Globalen Süden durch bereits hohe urbane Dichten und eine damit verbundene, effizientere Flächennutzung auszeichnen (WBGU, 2016). Die bereits hohe städtische Dichte führt dann zu geringeren Treibhausgasemissionen pro Kopf. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit ähnlichen Analysen für US-Städte: Städte in den USA haben eine geringe Dichte und das Konzept der autogerechten Stadt ist dort weit verbreitet (Newman&Kenworthy,1989). Die Analyse für diese Städte ergab deutlich höhere Werte für β_A im Vergleich zu unseren Parametern (Ribeiro, Rybski & Kropp, 2019).

Nur wenige Studien haben ähnliche quantitative Skalierungsanalysen für die städtische Dichte durchgeführt. Ramaswani et al. (2012) untersuchen, wenn auch ohne Skalierungsansatz, die Auswirkungen einer Verdopplung der Dichte im Zentrum von Minneapolis, welche 3,7 % der Gesamtbevölkerung betraf. Eine Verdoppelung führte zu einer Reduktion von Fahrzeugkilometern um 1 %. In der vorliegenden Studie wurde die Treibhausgasminderung direkt berechnet. Im vorliegenden Szenario einer direkten Erhöhung der städtischen Dichte, müssen neben den daraus resultierenden Minderungspotentialen auch Auswirkungen auf andere Sektoren/Netzwerke berücksichtigt werden.

3.6 Schlussfolgerungen

Die Analyse zeigt, dass erfolgreiche städtische Interventionen im Sinne einer klimagerechten Entwicklung, ortsspezifisch, zeitgebunden und stark abhängig von dem Status quo in Bezug auf den Einsatz von Baumaterialien, Verkehrsmitteln und dem Zustand der Stadtgestalt sind. Die Substitution konventioneller Baumaterialien durch Holz weist unter den untersuchten Handlungsfeldern das höchste Emissionseinsparungspotenzial über alle untersuchten Städte hinweg auf. Um jedoch Zielkonflikte zu vermeiden, z. B. verstärkte Flächennutzungskonkurrenz, müssen holzbasierte Baumaterialien hinsichtlich ihrer Materialeigenschaften verbessert (z.B. CLT) und durch andere biogene und lokale Materialien ergänzt werden.

Für die städtische Form ergab die Untersuchung einen begrenzten Einfluss der Bevölkerungsdichte auf die Emissionen, wenn man von einer wachsenden Bevölkerung ausgeht und ein maximiertes Reduktionspotenzial, das durch eine Verringerung der Landfläche bei gleichbleibender Bevölkerung erreicht wird. Unter Berücksichtigung von trade-offs mit der Klimaanpassung (z.B. Vermeidung des Wärmeinseleffekts, Anfälligkeit für Überschwemmungen), deuten die Ergebnisse auch darauf hin, dass vernetzte polyzentrische urbane Systeme Vorteile und Synergien zwischen Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel erzielen können. Daraus folgend, muss der Schwerpunkt einer klimaorientierten Stadtentwicklung auf der Stadtform liegen, mit dem Ziel eine polyzentrischere Form zu ermöglichen, die Effizienzgewinne durch höhere Stadtdichte mit sich bringt, die Effekte des daraus resultierenden geringeren Verkehrsbedarfs zu nutzen und so die Klima-Resilienz der Städte zu verbessern.

4 Analyse der Stadt-Umland Beziehungen der Fallbeispiele

4.1 Entwicklung des Analyserahmens

Das Projektteam entwickelte einen analytischen Rahmenansatz zur Bewertung der Integration von Strategien und Planungsinstrumenten entlang des Stadt-Umland-Kontinuums. Der Rahmen zielt darauf ab, Schnittstellen für die Analyse und Planung von Entwicklungsstrategien die solche Beziehungen berücksichtigen für die in Arbeitspaket 2 untersuchten Handlungsfelder in den sechs Fallstudienstädten zu identifizieren. Die Anwendung ergänzt die Ergebnisse des Quantifizierungsansatz durch die Einführung qualitativer Aspekte zur Bewertung von Stadt-Umland-Beziehungen. Dies hilft bei der Erstellung umfassender Strategien und Planungsinstrumente zur Eindämmung des Klimawandels an der Schnittstelle zwischen Stadt und Umland.

Der analytische Rahmen wurde zunächst auf der Grundlage der folgenden 10, von UN-Habitat (UN-Habitat, 2019) definierten Leitprinzipien für die Verknüpfung von Stadt und Umland entwickelt.⁴

- ▶ **Lokale Interventionen:** Übertragung der globalen und nationalen (Klima-)Agenden auf die lokale Ebene.
- ▶ **Integrierte Governance:** Einbeziehung des Nexus zwischen Stadt und Umland in sektorübergreifende, Mehrebenen- und Multi-Stakeholder-Ansätzen.
- ▶ **Funktionale und Raumsystem-basierte Ansätze:** Förderung von integrierten und systembasierten Ansätzen in der Stadt- und Raumpolitik und -planung.
- ▶ **Finanzielle Inklusion:** Sicherstellung und Priorisierung nachhaltiger öffentlicher und privater Investitionen zur Stärkung der Beziehungen zwischen Stadt und Umland, und für Klimaschutz und Klimaanpassung.
- ▶ **Ausgewogene Partnerschaft:** Förderung von Partnerschaften, Allianzen und Netzwerken, die städtische und ländliche Akteure und Sektoren miteinander verbinden.
- ▶ **Menschenrechtsbasierte Ansätze:** Verankerung menschenrechtlicher Ansätze in allen politischen Instrumenten und Maßnahmen im Stadt-Umland-Kontinuum.
- ▶ **Keinen Schaden anrichten und sozialen Schutz bieten:** Aufbau von Beziehungen zwischen Stadt und Umland, um kulturelle Unterschiede anzuerkennen und Konflikte und Ungleichheiten bei der Bereitstellung von Sozial- und Gesundheitsdiensten zu überwinden.
- ▶ **Umweltsensibles Handeln:** Schutz, Erhaltung und Erweiterung von Gebieten, die für die biologische Vielfalt und die Ökosystemleistungen beim Übergang zu widerstandsfähigen, ressourceneffizienten Gesellschaften wichtig sind.
- ▶ **Partizipatives Engagement:** Schaffung von Räumen und Mechanismen, die eine sinnvolle Beteiligung von Menschen, lokalen Institutionen und Gemeinschaften gewährleisten.
- ▶ **Datengestützt und evidenzbasiert:** Aufbau oder Verbesserung von Wissenssystemen und Schließung von Datenlücken, um das Stadt-Umland-Kontinuum und den territorialen

⁴ <https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/03/url-gp-1.pdf>

Zusammenhalt anhand von alters- und geschlechtsspezifisch und räumlich aufgeschlüsselten Daten anzugehen.

4.1.1 Durchführung von Experteninterviews zur Verfeinerung des Analyserahmens

Nach der Fertigstellung der ersten Iteration des analytische Rahmenansatzes wurden internationale Expert*innen ausgewählt, die diesen überprüften und Feedback in schriftlicher Form und durch ein semistrukturiertes, ausführliches und virtuelles Interview gaben. Dabei wurde Wert auf eine Mischung von Perspektiven aus verschiedenen Kontexten gelegt, um eine globale Anwendbarkeit zu gewährleisten.

Es wurden Interviews mit den folgenden Expert*innen durchgeführt:

- ▶ Thomas Forster, Leiter von Practice2Policy und Dozent für Ernährungspolitik, -governance und geschichte an der New School for Public Engagement, USA, und ehemaliger Leiter des Expertenteams für territoriale Ansätze zur nachhaltigen Entwicklung bei der Deutschen Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)
- ▶ José Antônio Puppim de Oliveira, Professor, Fundação Getulio Vargas (FGV), São Paulo School of Management (EAESP), Brasilien
- ▶ Shiraz Wajih, Vorsitzender der Gorakhpur Environmental Action Group und Associate Professor an der Universität Gorakhpur, Indien
- ▶ M'Lisa Colbert, Wissenschaftsbeauftragte bei Future Earth, Kanada
- ▶ Andre Mader, Programmdirektor Biodiversität und Wälder, Institut für globale Umweltstrategien (IGES), Japan
- ▶ Laura Valente de Macedo, Postdoktorandin, Fundação Getulio Vargas (FGV), São Paulo School of Management (EAESP), Brasilien

Die zusammengefassten Erkenntnisse der Experten flossen anschließend in eine Verfeinerung des Analyserahmenansatzes und des begleitenden Anwendungsleitfadens, und legten die Grundlage für eine Vorlageschablone für die verschiedenen Fallstudien. Im Besonderen zielten viele Verbesserungsvorschläge der Expert*innen darauf ab, die Anwendbarkeit des analytischen Rahmenansatzes durch eine Gruppierung verschiedener Indikatoren zu erhöhen.

Der Analyserahmen ist in Anhang B einsehbar.

4.2 Anwendung des Rahmens auf die Fallstudienstädte

Zur Fokussierung der Analyse wurden nach Bewertung der Ergebnisse aus AP2 und in Absprache mit dem Auftraggeber die folgenden Schnittstellen (2 pro Handlungsfeld) begutachtet:

- ▶ Verdichtung: Energie und Grüne Infrastruktur
- ▶ Verkehr: Verkehrsinfrastruktur und -governance
- ▶ Nachhaltiges Bauwesen: Nachhaltige Baumaterialien und Kreislaufabfallsysteme

Der analytische Rahmenansatz wurde als Leitfaden verwendet, um relevante Daten zu finden und zu strukturieren, und eine erste Analyse der Stadt-Umland-Beziehungen für jede Fallstudienstadt durchzuführen.

Die im Rahmen der Studie gesammelten Daten dienen als Grundlage für die Entwicklung einer detaillierteren Analyse für jede Stadt. Die Vorlage fasste die wichtigsten Erkenntnisse aus der Desktop-Forschung entsprechend den Hauptthemen der Studie zusammen und untersuchte, wie sie die quantitativen Projektergebnisse untermauern oder ihnen widersprechen. Am Ende jeder Fallstudie wurden kontextspezifische Empfehlungen erarbeitet, wie die Stadt-Umland-Beziehungen in Zukunft gestärkt und verbessert werden könnten.

4.2.1 Ergebnisse und Handlungsempfehlungen

Die sechs Fallstudien samt stadtspezifischer Handlungsempfehlungen wurden zwecks vereinfachter Verbreitung und Nutzen für die Städte im globalen Süden auf Englisch erstellt und liegen in den Anhängen C1 bis C6 vor.

Anschließend wurden die kontextspezifischen Empfehlungen aus den Fallstudien zu allgemeinen Empfehlungen konsolidiert, wie Stadt-Umland-Beziehungen generell gestärkt und potenzielle zukünftige Umsetzungsprojekte entwickelt werden können (ausführlicherer Überblick auf Englisch in Anhang E):

1. Ermöglichung einer **partizipativen Teilhabe verschiedener Interessengruppen** sowohl aus Stadt als auch aus Umland zur Förderung einer ausgewogenen regionalen Entwicklung. Die aktive Einbindung von Akteuren aus städtischen, stadtnahen und ländlichen Gemeinden fördert und stärkt die *Multi-Level-Governance*, erkennt die Bedeutung der lokalen Kultur an und kann Informationen für künftige Strategien und Interventionen liefern.
2. Umsetzung von **Mechanismen für eine ausgewogene Vorteilsverteilung** zur Stärkung der Verflechtungen zwischen Stadt und Umland. Integrierte Flächenentwicklung und Investitionen entlang des Stadt-Umland-Kontinuums erfordern einen integrierten Ansatz zum Landschaftsschutz, der Primärproduzenten und Kleinbauern bei der Pflege von Ökosystemleistungen unterstützt und eine nachhaltige Flächennutzung für diese erschwinglich macht. Finanzierungsmechanismen für die Bezahlung von Umweltleistungen helfen, natürliche Ressourcen und die biologische Vielfalt zu schützen, zu erhalten und zu erweitern.
3. Förderung eines nachhaltigen Wirtschaftswachstums in städtischen und ländlichen Gebieten durch die Förderung **nachhaltiger wirtschaftlicher Entwicklungspraktiken**. Die Stärkung der regionalen Wirtschaftsentwicklung würde die erhebliche Kluft in Bezug auf Chancen und Lebensqualität zwischen städtischen Gebieten und ihrem Umland verringern und eine nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung ermöglichen.
4. Förderung **nachhaltiger Baupraktiken** durch die Schaffung von rechtlichen Rahmenbedingungen und Anreizen. Schaffung von Anreizen für Unternehmen zur Verwendung nachhaltiger Materialien im Bausektor und Schaffung eines Rechtsrahmens zur Gewährleistung der Umsetzung. Funktionale und räumliche systembasierte Ansätze und integrierte Governance ermöglichen die Entwicklung integrierter sektoraler Aktionspläne zwischen dem öffentlichen und dem privaten Sektor. Sie ermöglichen es auch, die Verwendung nachhaltiger Materialien sowohl in städtischen als auch in ländlichen Gebieten zu etablieren und zu überwachen.
5. Entwicklung/Stärkung von **Multi-Level-Governance-Prozessen** zwischen lokalen Regierungen und den umliegenden lokalen, sowie regionalen und nationalen

- Regierungsakteuren. Entwicklung von Instrumenten zur Förderung der sektorübergreifenden Planung auf nationaler und subnationaler Ebene in einem Multi-Stakeholder-Kontext unter Berücksichtigung der wichtigen Rolle der lokalen Regierungen.
6. **Ausbau und Investitionen in den Aufbau von Kapazitäten über Verwaltungen und Regierungsebenen hinweg:** Kommunalverwaltungen verfügen häufig nicht über die notwendigen Fachkenntnisse für eine integrierten Planung von Stadt und Umland. Sie sollten ihre derzeitigen und zukünftigen Bedarfe an Fachwissen ermitteln, und die erforderlichen Aktivitäten im Zusammenhang mit dem Personalmanagement wie Aus- und Weiterbildung, Leistungsmanagement usw. zwischen Verwaltungen und über Regierungsebenen hinweg integrieren, um Kapazitäten zu erweitern, Synergien zu schaffen, und letztlich die Qualität der Leistungserbringung zu verbessern.
 7. Konsolidierung und Unterstützung der **Versorgungskette für die lokale Lebensmittelproduktion** und den Verbrauch. Mögliche Maßnahmen hierzu sind:
 - die Förderung der Nutzung lokaler Versorgungsketten und des Verbrauchs von lokal erzeugten Produkten durch finanzielle Anreize.
 - die Kartierung des Netzes lokaler Unternehmen und Erzeuger in Stadt und Umland, um die Nachfrage besser mit dem Angebot zu verbinden.
 - die Nutzung der Systeme für Landwirtschaft, Lebensmittel-, Wasser-, Energie- und Gesundheitssicherheit und der zugrunde liegenden Ökosystemfunktionen als verbindenden Rahmen zur Stärkung der Synergien zwischen Stadt und Umland.
 8. Förderung der Zusammenarbeit zwischen den Kommunalverwaltungen zur **Umsetzung proaktiver Strategien für das Ressourcenmanagement**. Koordinierung mit den umliegenden Gemeinden und Regierungsinstitutionen, um relevante Dienstleistungen und Ressourcen abzustimmen und gemeinsam zu nutzen, mit Schwerpunkt auf der Kreislaufwirtschaft. Die Anwendung von Systemansätzen und Kreislaufwirtschaftskonzepten trägt zum Schutz von Ökosystemfunktionen und natürlichen Ressourcen bei und ermöglicht einen wirksamen Übergang zu nachhaltigem Verbrauch und nachhaltiger Produktion.
 9. Entwicklung umfassender, multimodaler und **integrierter Verkehrsnetze**, die ländliche und städtische Gebiete wirksam miteinander verbinden. Die Entwicklung integrierter und multimodaler Verkehrsnetze könnte durch die Einrichtung von Partnerschaften zwischen Regierungsebenen und zwischen Kommunalverwaltungen, öffentlichen Verkehrsanbietern und anderen Akteuren sowohl in städtischen als auch in ländlichen Gebieten erreicht werden. Die Kommunalverwaltungen sollten eine Reihe von Mechanismen zum Aufbau von Verkehrspartnerschaften in Erwägung ziehen, wie z. B. bilaterale Vereinbarungen, kommunale Verkehrsverbände oder andere Formen der Zusammenarbeit, die Akteure aus verschiedenen Kommunen zusammenbringen.
 10. Förderung von **öffentlich-privaten Partnerschaften** zur Stärkung der lokalen nachhaltigen Entwicklung. Ermittlung von Möglichkeiten der Zusammenarbeit zwischen dem öffentlichen und dem privaten Sektor, um privates Kapital zu nutzen, institutionelle, personelle und finanzielle Ressourcen zu bündeln und Entscheidungsprozesse zu verbessern.
 11. Verstärkter **Einsatz von Civic Technology** zur Sammlung von Informationen und zur Regulierung der Stadterweiterung. Nutzung und gemeinsame Nutzung von Raumdaten, um Informationen über informelle Siedlungen zu sammeln und eine integrierte Planung insbesondere der bestehenden informellen Siedlungen zu fördern. Die Konzentration der Ressourcen auf die koordinierte Entwicklung kleiner und mittelgroßer Städte würde die

Schaffung von Knotenpunkten gewährleisten, die den Druck auf städtische Gebiete verringern und gleichzeitig als Vermittler von Dienstleistungen fungieren, wodurch auch Beschäftigungsmöglichkeiten geschaffen werden

4.3 Schlussfolgerungen

Aus der Betrachtung der Stadt-Umland-Beziehungen als zusätzlichem Analyserahmen zu den in AP2 vorgestellten Quantifizierungsansätzen lassen sich die folgenden Schlussfolgerungen ziehen:

Entwicklung des Analyserahmens

Die interviewten internationalen ExpertInnen stimmen darin überein, dass ein echter Bedarf für einen Analyserahmen für die detaillierte Untersuchung von Stadt-Umland-Beziehungen besteht. Das als Teil des Projektes entwickelte Tool ist ein geeigneter Startpunkt, aber es gibt darüber hinaus Bedarf, im Rahmen eines größeren, eigenständigen Projektes einen noch tiefergehenden und detaillierten Ansatz zu entwickeln. So könnten unter anderem die Mechanismen der Bewertung der Einflüsse und Wirkungsstärken von verschiedenen Strömen und Schnittstellen zwischen Stadt und Umland noch weiter ergänzt und verfeinert werden.

Anwendung des Analyserahmens auf die Fallstädte

Der entwickelte Analyserahmen ist ein sinnvolles Werkzeug, um die Schreibtischrecherche effizient zu strukturieren und an die quantitativen Ergebnisse anzugleichen.

Inhaltlich bestärkten die qualitativen Analysebefunde die Kalkulationen aus AP2, und lieferten häufig weiteren Kontext und Erklärung für die quantitativen Ergebnisse. Die Befunde ermöglichen auch eine gewisse Vergleichbarkeit bei der Identifizierung von gemeinsamen Herausforderungen der Städte im globalen Süden (bsp. Die Berücksichtigung von informellen Verkehrsmitteln in multimodalen Transportsystemen zur besseren Verknüpfung von Stadt und Umland).

Trotzdem bleiben die Herausforderung der mangelnden Datenverfügbarkeit für den globalen Süden, sowie die üblichen Limitationen durch die gewählte Methode der Schreibtischrecherche vis-a-vis zusätzlichen Recherchen vor Ort und im Dialog mit lokalen Akteuren.

Weitere Forschungsbedarfe

Neben den detaillierteren Handlungsempfehlungen und konkreten Bedarfen in der Matrix (Anhang B und E) ergeben sich die folgenden übergeordneten Forschungsbedarfe:

- ▶ **Förderung der Rolle von kleinen und mittleren Städten in der Stärkung von Stadt-Umland-Beziehungen:** Erforschung des Potenzials von kleineren und mittleren Städten im Umland von Großstädten als Knotenpunkt für lokale Wirtschaftsentwicklung sowie Dienstleistungs- und Umweltmanagement, insbesondere im Kontext von schnell wachsenden Städten und dem Klimawandel
- ▶ **Nutzungspotenzial von digitalen Technologien und Innovationen zur Stärkung von Stadt-Umland-Beziehungen und Resilienz:** Erforschung der Auswirkung der digitalen Kluft zwischen Stadt und Umland, Informationszugang, e-Governance, Onlinehandel, digitalem Lernen und digitalen Gesundheitsdienstleistungen sowie der Chancen und Risiken der digitalen Transformation für Stadt-Umland-Beziehungen. Zusätzlich muss die Minderung von Datenlücken für eine evidenzbasierte Entscheidungsfindung zur integrierten Entwicklung von Stadt und Umland sowie zur Analyse der Stadt-Umland-Beziehungen angegangen werden.

- ▶ Integration von Policymaking und Kapazitätsaufbau zur Schaffung von Partnerschaften zwischen städtischen und ländlichen Akteuren durch einen systembasierten Multilevel Governance Ansatz: Koordination und Angleichung von Maßnahmen und Planungsdokumenten, unter anderem durch die Stärkung lokaler Akteure und den Aufbau von Governancekapazitäten, sowie durch die Anerkennung der Verflechtungen und Wechselwirkungen zwischen Stadt und Umland und der Wichtigkeit von starken Partnerschaften zwischen urbanen und ländlichen Akteuren.

5 Synergien und Konflikte zwischen Klimaschutz, Klimaanpassung und anderen städtischen Umweltzielen

5.1 Einleitung und Ziele

Strategien und Maßnahmen zur Treibhausgasminderung und zur Klimaanpassung betreffen potenziell eine Vielzahl von Bereichen komplexer städtischer Mensch-Umwelt-Systeme, ebenso wie der Klimawandel Auswirkungen auf nahezu alle Bereiche der städtischen Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt hat. Klimaschutz, Klimawandelfolgen und Klimaanpassung sind daher auf vielfältige Weise miteinander sowie mit anderen Themen einer umweltgerechten nachhaltigen Stadtentwicklung verknüpft, stehen in komplexen Wechselbeziehungen und stellen systemische Herausforderungen dar (Clarke et al., 2014; EEA, 2016, 2020a; World Climate Research Programme, 2019; Klein et al., 2007). Aus Interaktionen und Interdependenzen zwischen unterschiedlichen Stadtpolitiken, deren Zielen und Maßnahmen können vielfach Synergie- und Konfliktpotenziale und unbeabsichtigte Nebenwirkungen resultieren, die gerade in komplexen und dynamischen urbanen Systemen auch unvorhergesehene Kaskaden- und Rückkopplungseffekte auf gänzlich andere stadtpolitische Handlungsbereiche sowie spillover-Effekte auf das städtische Umland haben können.

Dem systematischen Ansatz der Forschungsagenda ("Global Research and Action Agenda on Cities and Climate Change Science") (World Climate Research Programme, 2019) folgend, werden deshalb in der vorliegenden Studie Synergien und Konflikte von Klimaschutz mit der Anpassung an den Klimawandel und anderen städtischen Umweltproblemen untersucht.

Das vom IPCC in seinem Sechsten Sachstandsbericht (IPCC 2022a; Begum et al., 2022; Schipper et al., 2022) in das Zentrum gerückte Leitkonzept der klimaresilienten Entwicklung (*climate-resilient development*) verstärkt die Notwendigkeit, Wechselwirkungen, Synergien und Konflikte zwischen Treibhausgasminderung, Klimaanpassung und einer nachhaltigen Entwicklung gezielt zu berücksichtigen. „Klimaresiliente Entwicklung“ ist das globale Paradigma für eine koordinierte Umsetzung von Klimaschutz- und Anpassungslösungen, die gleichzeitig die Ziele einer nachhaltigen Entwicklung (im Sinne der SDGs) und sozialer Gerechtigkeit verfolgt, um ein gutes Leben für alle innerhalb planetarer Grenzen zu ermöglichen. Das IPCC definiert „klimaresiliente Entwicklung“ als „einen Prozess der Umsetzung von Treibhausgasminderung und Anpassungsmaßnahmen, um nachhaltige Entwicklung für alle zu unterstützen“ (IPCC 2022b). Die gleichzeitige Umsetzung von Klimaschutz und Klimaanpassung als integraler Bestandteil von nachhaltiger Entwicklung soll die Wirksamkeit aller drei Handlungsstrategien erhöhen („*triple-win solutions*“). Hierzu ist es notwendig, Synergien zu nutzen, negative Wechselwirkungen zu reduzieren und Konflikte abzuschwächen oder zu vermeiden (Begum et al., 2022).

Vor diesem Hintergrund verfolgte dieser Projektteil die folgenden wesentlichen Ziele:

- ▶ Schaffung eines Überblicks über den Wissensstand zum Umgang mit Wechselwirkungen, Synergien und Konflikten in nationalen und städtischen Klimapolitiken (Kapitel 5.2).
- ▶ Entwicklung eines Analyse- und Bewertungsrahmens und methodischer Verfahren zur Untersuchung von Wirkungszusammenhängen (Kapitel 5.3).
- ▶ Bestandsaufnahme, strukturierte Beschreibung, qualitative Analyse und Bewertung von Synergie- und Konfliktpotenzialen von städtischen THG-Minderungsmaßnahmen mit der Klimaanpassung sowie anderen Umwelt- und Nachhaltigkeitszielen der Stadtentwicklung (Kapitel 5.4, Kapitel 5.5 und Anhang D).

- Ableitung von Strategien und Ansätzen zur Konfliktminderung und Synergieschöpfung im Rahmen einer integrierten klimaorientierten Stadtentwicklung (Kapitel 5.6, Kapitel 6).

5.2 Umgang mit Synergien und Konflikten in nationalen und städtischen Klimapolitiken

5.2.1 Berücksichtigung von Wechselwirkungen in nationalen Klimapolitiken

In nationalen Strategien und Plänen zum Klimaschutz spielte die Berücksichtigung von Wechselwirkungen mit den Auswirkungen des Klimawandels und der Klimaanpassung lange Zeit kaum eine Rolle. Dies erklärt sich daraus, dass Klimaschutz in historischer Sicht das ältere Politikfeld darstellt und teils bereits Jahrzehnte vor der Entwicklung von Anpassung als eigenständigem Handlungsfeld auf staatlichen politischen Agenden etabliert war.

Seit 2019 besteht in der Europäischen Union die Verpflichtung für Mitgliedstaaten, nationale Energie- und Klimapläne (*national energy and climate plans - NECPs*) zu erstellen. Die NECPs wurden mit der Verordnung über das Governance-System für die Energieunion und für den Klimaschutz (*Regulation on the governance of the energy union and climate action*) (Regulation (EU) 2018/1999) eingeführt und 2019 als Teil des *Clean energy for all Europeans package* (EC 2019) beschlossen. Die Governance Regulation sieht vor, dass jeder EU Mitgliedstaat in seinem NECP auch andere relevante Ziele und Politiken adressiert, welche die fünf Dimensionen der Energieunion (Dekarbonisierung; Energieeffizienz; Energiesicherheit; internationaler Energiemarkt; Forschung, Innovation und Wettbewerbsfähigkeit) betreffen und die Erfüllung von THG-Reduktionsverpflichtungen der Europäischen Union beeinflussen können; dies schließt explizit Ziele der Klimaanpassung mit ein. Im Rahmen der von der Governance Regulation festgelegten Berichtspflichten berichteten die Mitgliedstaaten Anfang 2023 erstmals ihre Fortschritte zur Umsetzung der NECPs. Gemäß Artikel 17 der Governance Regulation sollen diese Länderberichte auch Informationen zu Anpassungszielen beinhalten.

Nach einer Analyse der Berichtsinhalte im Auftrag der Europäischen Umweltagentur (Leitner et al., 2023) geben 15 Mitgliedsstaaten an, dass ihre NECPs Anpassungsziele beinhalten, während dies in neun Ländern nicht der Fall ist (drei Länder hatten zum Zeitpunkt der Analyse noch keine Berichte vorgelegt). 14 Länder geben an, dass ihr nächster NECP Ziele zur Klimaanpassung beinhalten wird, wohingegen vier Länder dies explizit ausschlossen (restliche Länder: Frage nicht beantwortet oder nicht fristgerecht berichtet). Die Länder waren auch aufgefordert, zu konkreten Klimaanpassungszielen zu berichten, die für die Dimensionen der Energieunion relevant sind; die Mehrzahl der Länder bezog sich dabei auf übergeordnete oder sektorspezifische Anpassungsziele, die in ihren nationalen Strategien und Aktionsplänen zur Anpassung an den Klimawandel festgelegt sind. Aus den berichteten Informationen geht hervor, dass die nationalen Politikdokumente zur Klimaanpassung überwiegend keinen oder kaum Bezug zu den Dimensionen der Energieunion aufweisen (Leitner et al., 2023). Dies kann dahingehend interpretiert werden, dass gegenwärtige und zukünftige Klimavulnerabilitäten von Maßnahmen zu Klimaschutzzielen, wie Dekarbonisierung, Energieeffizienz oder Energiesicherheit, diesbezügliche Klimarisiken und resultierender Anpassungsbedarf in den nationalen Klimaanpassungsstrategien nicht oder nur in geringem Ausmaß berücksichtigt werden. Ebenso legt die Auswertung der Länderberichte nahe, dass Konflikt- und Synergiepotenziale von staatlichen Plänen zum Klimaschutz und zur Klimaanpassung nicht oder kaum gezielt thematisiert werden. Davon unabhängig geben viele Mitgliedsstaaten an, dass Klimawandelfolgen bereits gegenwärtig auf direkte Weise viele Aspekte der Energieproduktion,

Energieübertragung und -versorgung sowie des Energiebedarfs betreffen, etwa in Folge von Extremwetterereignissen, Überflutungen, Hitzewellen oder Trockenheit. Einige Länder hoben das Anstreben von Synergien zwischen Vermeidung und Anpassung sowie die Vermeidung von Fehlanpassung explizit als Grundsätze für die Klimaanpassung hervor (Leitner et al., 2023). Insgesamt ergibt sich somit aus den erstmals erstatteten Länderberichten das Bild, dass - trotz vorhandenen Problemdrucks (Betroffenheit des Energiesektors von Klimafolgen) und auftretender Wechselwirkungen zwischen Zielen der THG-Minderung und der Anpassung - die nationalen Politiken zum Klimaschutz und zur Klimaanpassung in den EU-Ländern nach wie vor weitgehend voneinander entkoppelt entwickelt und umgesetzt werden.

Im Vergleich zur Klimaschutzpolitik ist die Klimaanpassung das jüngere Handlungsfeld in der klimapolitischen Arena, das auf bereits etablierte Programme und Strukturen zur THG-Minderung traf und mit diesen auch in Konkurrenz um politische und öffentliche Aufmerksamkeit sowie Finanzmittel stand. Bei der Entwicklung von Strategien und Aktionsplänen zur Anpassung an den Klimawandel waren Synergien und Konflikte daher von Beginn an ein vergleichsweise bedeutenderes Thema.

Die Nutzung von Synergien und die Vermeidung von Konflikten mit Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen bildet ein explizites Leitprinzip in vielen nationalen Anpassungsstrategien. So wird z.B. in der 2008 beschlossenen Deutschen Anpassungsstrategie (Deutsche Bundesregierung, 2008) als Leitbild formuliert, dass „bei der Ausarbeitung von Konzepten und der Auswahl von Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel darauf geachtet werden sollte, dass sie den Anstrengungen zum Klimaschutz möglichst nicht entgegenwirken. Im Zweifel sollten solche Alternativen den Vorzug erhalten, die auch zur Minderung der Treibhausgasemissionen beitragen und vice versa“. Analog wird auf mögliche Konflikte hingewiesen: „Allerdings lassen sich Minderungs- und Anpassungsmaßnahmen nicht immer sinnvoll miteinander verbinden: auch Zielkonflikte sind möglich und sollten durch intensive Abstimmung und ggfs. flankierende Maßnahmen möglichst abgeschwächt werden (integrale Ansätze)“. Dementsprechend ist es in der nationalen Politikformulierung zur Klimawandelanpassung weithin etablierte Praxis, dass die Berücksichtigung von Synergien und Konflikten mit Klimaschutz und anderen Politikfeldern explizit als Bestandteil von Leitbildern einer „guten Anpassung“ angesprochen wird und in Form von Kriterien zur Bewertung, Auswahl und Priorisierung von Anpassungsoptionen in Aktionsplänen verwendet wird. Analoges gilt für entscheidungsunterstützende Instrumente, wie webbasierte Werkzeuge, Leitfäden und Handbücher zur Entwicklung von Anpassungsplänen auf subnationalen und stadtkommunalen Ebenen. Als stellvertretendes Beispiel sei auf das *Adaptation Support Tool* und das *Urban Adaptation Support Tool* des europäischen Klimaanpassungsportals *Climate-ADAPT* der Europäischen Umweltagentur (EEA) verwiesen (EEA 2022b, 2022c).

Aus der Perspektive der Anpassung werden positive Wechselwirkungen mit Klimaschutz und anderen Politiken dabei regelmäßig unter ergebnisbasierten Konzeptionalisierungen wie „Neben- oder Zusatznutzen“ (*co-benefits*), „Mehrfachnutzen“ (*multiple benefits*) sowie mit einer „no-regret“, „low-regret“ oder „win-win“-Charakteristik von robusten Anpassungsmaßnahmen adressiert (Adger et al., 2005; Prutsch et al., 2010). Das heißt, Maßnahmen sollten neben der Anpassungswirkung möglichst weitere, positive Effekte auf Umwelt, sozioökonomische Bereiche und nachhaltige Entwicklung erbringen sowie unabhängig von der tatsächlichen Ausprägung von Klimaveränderungen Vorteile generieren bzw. keine Nachteile verursachen. Konkret definiert diesbezüglich z.B. die nationale Anpassungsstrategie Österreichs (BMNT, 2017a) für die Priorisierung von Anpassungsoptionen die Kriterien: i) Robustheit und „no-regret“-Lösungen (Nutzen unabhängig vom Ausmaß der Klimaveränderung), ii) Zusatznutzen und Synergien (wobei hierunter auch die Kohärenz mit anderen politischen Zielen subsummiert

wird) sowie iii) simultane Klimaschutzwirkung. Im Prozess der Entwicklung und Überarbeitung des deutschen Aktionsplans zur Anpassung (APA) wurden Kriterien zur Auswahl und Priorisierung von Instrumenten und Maßnahmen entwickelt (u.a.: Vetter & Schauser, 2013; Kind et al., 2013; Hetz et al., 2020) und im Rahmen von expertenbasierten multikriteriellen Entscheidungsanalysen (MCA) angewendet, die in allen bisherigen Phasen des Politikzyklus (APA I – III) das Kriterium „Synergien und Konflikte mit anderen Politikfeldern“ beinhalten. Mit diesem Kriterium sollen Nebenwirkungen, Zusatznutzen, Synergiepotenziale und politische Kohärenz erfasst und bewertet werden, insbesondere in der Wechselwirkung mit Klimaschutz und Nachhaltigkeit.

Mögliche negative Auswirkungen und Konfliktpotenziale von Anpassungsmaßnahmen werden in der Anpassungsforschung häufig im Kontext von Fehlanpassung thematisiert. Ausgehend von den frühesten Verwendungen des Begriffs Fehlanpassung im Kontext des Klimawandels durch Smithers & Smit (1997: 131) und Burton (1997: 185ff) lautet eine vielzitierte Definition von Barnett & O’Neill (2010). *“An action taken ostensibly to avoid or reduce vulnerability to climate change that impacts adversely on, or increases the vulnerability of other systems, sectors or social groups”*. Die aktuelle Definition des IPCC (2022b) erweitert das Verständnis von Fehlanpassung explizit um nachteilige Auswirkungen auf den Klimaschutz und soziale Gerechtigkeit: *“Maladaptive actions (maladaptation): actions that may lead to increased risk of adverse climate-related outcomes, including via increased greenhouse gas emissions, increased or shifted vulnerability to climate change, more inequitable outcomes, or diminished welfare, now or in the future”* (IPCC, 2022b).

Neben der unintendierten Zunahme von Vulnerabilitäten gegenüber dem Klimawandel und der Vulnerabilitätsverschiebung zu anderen Systemen, Gruppen oder Orten umfasst das Konzept von Fehlanpassung damit auch Anpassungsmaßnahmen, die zu Zielkonflikten und negativen Wirkungen auf den Klimaschutz, die ökologische Nachhaltigkeit (negative externe Effekte auf Umweltgüter bzw. natürliche Ressourcen) sowie die soziale Nachhaltigkeit (negative soziale Verteilungswirkungen) führen (Lexer et al., 2016; Magnan et al., 2016). Betreffend Zielkonflikte mit der Minderung von Treibhausgasemissionen sind Anpassungsmaßnahmen als maladaptiv anzusehen, wenn sie i) zu einer (Netto-)Zunahme von Emissionen führen oder ii) die Durchführung bzw. Wirksamkeit von Klimaschutzmaßnahmen erschweren bzw. verringern. Als einige bekannte nationale Anpassungsstrategie gibt die Österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel (BMNT, 2017a) eine Liste von Kriterien vor, die bei der Vermeidung von Fehlanpassung – und damit von Konflikten - unterstützen soll.

In den neuen Leitlinien der EU Kommission zur Entwicklung von nationalen Anpassungsstrategien und –plänen (European Commission, 2023) wird die Vermeidung von Fehlanpassung als einer der neuen Themenbereiche der Anpassungspolitik eingeführt. Die zitierten fünf Formen der Fehlanpassung nach Barnett & O’Neill (2010) beinhalten die „Erhöhung von Treibhausgasemissionen“ (z.B. technische Kühlung von Gebäuden oder andere energieintensive Technologien zur Anpassung), aber auch „Pfadabhängigkeiten“ und „überproportionale Belastungen von vulnerablen Gruppen“.

Kriterien zur Berücksichtigung von Nebenwirkungen, Synergien und Konflikten sind etablierter Bestandteil von Ansätzen zur (ex-ante) Bewertung von Anpassungsmaßnahmen. Sie werden in den Politikdokumenten sowie in Leitfäden und unterstützenden Entscheidungswerkzeugen (vgl. z.B. auch den Kriterienset des Projekts BASE zur *bottom-up* Entwicklung von Anpassungsstrategien: BASE, 2015) für die Entwicklung von Anpassungsstrategien auf subnationalen Ebenen und durch unterschiedliche Akteure empfohlen, aber im Regelfall nicht

weiter konkretisiert bzw. werden keine operationalen Anleitungen zu ihrer Anwendung gegeben.

In Anpassungsstrategien und –aktionsplänen – auf nationaler, subnationaler und städtischer Ebene – ebenso wie in Datenbanken und Sammlungen von Anpassungsoptionen finden sich unterschiedliche Ansätze, inwieweit und wie positive und negative Wechselwirkungen identifiziert und beschrieben werden. Das Kenntlichmachen von Synergien und Konflikten ist dabei keinesfalls die Regel, sondern wird nur teilweise vorgenommen. Die positiven Wirkungen und Neben- bzw. Zusatznutzen (im Sinne von Synergiepotenzialen) für Klimaschutz, Umwelt und andere Nachhaltigkeitsbereiche werden häufig qualitativ umrissen oder zumindest cursorisch angedeutet. Dies erfolgt beispielsweise unter deskriptiven Kategorien wie „Nutzen“ oder „Erfolgsfaktoren“ (*Climate-ADAPT: Adaptation Options and Case Studies*), „Zusatznutzen“ (*RESIN Adaptation Library*), „Erfolg und Nutzen“ (*Tatenbank UBA-KomPass*) oder „Synergien“ (*BBSR Stadtklimalotse*). Deutlich seltener werden Konfliktpotenziale kenntlich gemacht; bereits Mickwitz et al. (2009) stellten in ihrer Analyse nationaler Anpassungsstrategien fest, dass eine Tendenz besteht, Synergien zu überbetonen und Konflikte zu maskieren. Im Österreichischen Nationalen Aktionsplan zur Anpassung an den Klimawandel (BMNT 2017b) werden für jede Handlungsempfehlung kurz mögliche Konfliktpotenziale - qualitativ und indikativ – beschrieben. Die *RESIN Adaptation Library* (RESIN, 2021) listet je Maßnahme kurz negative Wirkungen, während andere Datenbanken, wie *Climate-ADAPT* (EEA, 2022a, 2022d) Konfliktpotenziale eher unsystematisch und indirekt unter „limitierende Faktoren“ im Sinne von Umsetzungsbarrieren ansprechen. Eine Ausnahme bildet der *Stadtklimalotse* des BBSR (2021), der für jede städtische Maßnahme nicht nur Synergie-, sondern auch Konfliktfelder angibt. Das Ausflagen und mehr oder minder stichwortartige Charakterisieren von positiven und negativen Wechselwirkungen kann ex ante natürlich nur indikativ, grob qualitativ-deskriptiv und gestützt auf Einschätzungen von Experten und Stakeholdern erfolgen, weil das Auftreten oder Nichtauftreten, die Ausprägung und Intensität von Wechselwirkungen letztlich situativ, konditional und stark kontextabhängig sind und von der Planung und Umsetzung von konkreten Maßnahmen abhängen. Derartige Informationen sind als Hinweise zur Berücksichtigung für Entscheidungstragende und andere Akteure im Anpassungsprozess wertvoll, tragen zur Entwicklung eines Analyserahmens zur Untersuchung von Wechselwirkungen im Rahmen der vorliegenden Studie aber nicht unmittelbar bei.

Ein gemeinsames Merkmal nationaler Anpassungsstrategien ist die Dominanz „grüner“ und „weicher/planerischer“ Anpassungsmaßnahmen gegenüber „grauen“, d.h. technischen oder baulichen Maßnahmen (EEA, 2020b). Dies scheint nicht zuletzt eine Folge der weiten Verbreitung der oben diskutierten Auswahl- und Priorisierungskriterien zu sein. Neben anderen komparativen Vorteilen, wie Kostengünstigkeit und Potenzialen für Mehrfachnutzen, sind „grüne“ und „weiche“ Anpassungsmaßnahmen in der Regel emissionsarm und zeichnen sich durch CO₂-Neutralität und teilweise positive Klimaschutzeffekte (z.B. CO₂-Bindung durch Vegetation) aus. Der österreichische Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14) stellt auf Basis eines qualitativen *Screenings* aller 136 Handlungsempfehlungen der österreichischen Anpassungsstrategie fest, dass lediglich zwei Maßnahmen zusätzliche Emissionen erzeugen, während 34 Maßnahmen Emissionen dauerhaft reduzieren und die restlichen 96 Maßnahmen weitgehend emissionsneutral sind (APCC, 2014). Der Sachstandsbericht folgert daraus, dass die Zielkonflikte zwischen Klimaschutz und Anpassung, die sich aus der nationalen Anpassungsstrategie ergeben, sehr gering sein werden. Er hält jedoch auch fest, dass i) quantitative Analysen im Sinn einer umfassenden THG-Bilanz von Anpassungsstrategien noch ausstehen, und dass ii) Zielkonflikte sich primär aus der konkreten Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen auf niedriger, d.h. regionaler, lokaler oder flächenbezogener

Skalenebene ergeben können. Als wesentlicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf wird festgestellt, dass operationale, praxistaugliche Werkzeuge zur Bewertung der Wechselwirkungen von Anpassungsmaßnahmen auf diesen Ebenen noch weitgehend fehlen: „Wenn Fehlanpassung im Sinne von Zielkonflikten mit dem Klimaschutz vermieden werden soll, so müssen Instrumente geschaffen werden, die vor Ort eine möglichst rasche Beurteilung von Maßnahmen hinsichtlich ihrer CO₂-Intensität, ihrer sozialen und Umweltwirkungen ermöglichen“ (APCC, S. 745). Dies bestätigt, dass die vorliegende Studie mit der Entwicklung eines entsprechenden Analyserahmens eine Wissenslücke adressiert.

5.2.2 Berücksichtigung von Wechselwirkungen in städtischen Klimapolitiken

Vorliegende empirische Befunde zeigen, dass städtische Klimapolitiken auf globaler Ebene überwiegend auf den Klimaschutz fokussieren und eigenständige Maßnahmenpläne und Umsetzungsaktivitäten zur Klimaanpassung noch deutlich weniger verbreitet sind oder diesbezügliche Bemühungen oft nur geringe Fortschritte aufweisen. Im vergleichsweise geringen Anteil der Städte, die sowohl Klimaschutz als auch Klimaanpassung auf ihre Agenden gesetzt haben, werden beide oft voneinander entkoppelt und in getrennten Politiken verfolgt (EEA 2016). Auch in Europa tritt „abgestimmte Planung von Vermeidung und Anpassung selten auf“ (EEA, 2020a), trotz internationaler Städtenetzwerke, die integrierte Klimaaktionspläne zu forcieren versuchen.

Aguiar et al. (2018) stellen in einer Analyse von 147 lokalen Anpassungsstrategien fest, dass in europäischen Städten und Gemeinden ein Mangel an operationalen Ansätzen zu sektorübergreifender Planung von Anpassung besteht. Nur ein Viertel der Städte, die Anpassungs- und Minderungsziele in ihren Aktionsplänen gemeinsam ansprechen, berücksichtigen explizit die Synergien zwischen beiden Politiken. Eine Auswertung von Anpassungsmaßnahmen in 106 Städten von 24 EEA-Mitgliedsländern, die an das *Carbon Disclosure Project* (CDP) berichten, hat ergeben, dass deutlich weniger als ein Viertel aller Maßnahmen (52 von 220) einen positiven Klimaschutzeffekt aufweisen, indem sie zur Reduktion von THG-Emissionen beitragen (EEA 2020a). In einer Untersuchung der lokalen Klimapolitiken von 885 Stadtgebieten (Urban Audit Cities) der EU-28 fanden Reckien et al. (2018), dass integrierte Strategien zu Klimaschutz und Anpassung nur in 17 Prozent aller Städte vorliegen, 33 Prozent über keinerlei eigenständige Pläne zum Umgang mit dem Klimawandel verfügen, und reine Klimaschutzpläne beinahe dreimal häufiger sind als Anpassungspläne. Nahezu alle städtischen Aktionspläne, die Vermeidung und Anpassung in integrierter Weise im selben Politikdokument ansprechen, wurden in Frankreich und United Kingdom festgestellt, beides Länder, in denen lokale Klimaaktionspläne verpflichtend vorgeschrieben sind (Reckien et al., 2018).

Integrierte Klimaschutz- und Anpassungsstrategien auf städtischer Ebene wurden erst in den letzten Jahren häufiger entwickelt und werden z.B. im Rahmen der Nachhaltigen Energie- und Klimaaktionspläne (*Sustainable Energy and Climate Action Plans - SECAPs*) des Europäischen Konvents der Bürgermeister (*EU Covenant of Mayors – CoM Europe*) verfolgt. Eine Auswertung von CoM-Daten mit Stand Juni 2019 ergab, dass Fortschritte bei der Umsetzung von abgestimmten Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen jedoch bislang bestenfalls lückenhaft sind (EEA 2020a): Weniger als 10 Prozent der Unterzeichnerstädte des CoM berichten einen Umsetzungsfortschritt von 75-100 Prozent und rd. 20 Prozent einen Fortschritt von 50-75 Prozent; rd. 50 Prozent der Städte geben ihren Status hingegen mit nur 0-25 Prozent an.

Integrierte Planung von städtischem Klimaschutz und Anpassung in hochentwickelten europäischen Industrieländern ist somit eher die Ausnahme als die Regel. Auswertungen von Datenbanken internationaler Städtenetzwerke legen nahe, dass dieses Defizit in Ländern des

globalen Südens ähnlich ausgeprägt ist. Im Jahr 2022 durchgeführte Auswertungen von Daten der internationalen Webportale NAZCA Global Climate Action Portal (NAZCA GCAP), CDP-ICLEI Unified Reporting Platform und des Global Covenant of Mayors (GCoM) zum globalen Stand und Fortschritt von urbaner Klimaanpassung zeigen, dass Klimaschutz nach wie vor wesentlich höhere politische Priorität besitzt als Klimaanpassung.

Nur rund 17 % aller Städte, die eine Teilnahme am Global Covenant of Mayors (GCoM) unterzeichnet haben, verpflichten sich auch zur Klimaanpassung als komplementärem Ziel (GCoM 2022). Im Vergleich hierzu ist der Anteil von aktiven Mitgliederstädten des CoM Europe mit einer Anpassungsverpflichtung allerdings noch deutlich geringer (2 %) und stagniert seit vielen Jahren auf einem bescheidenen Niveau, wohingegen die Zahl der Städte mit einer Klimaschutz-Verpflichtung seit etwa 2008 steil zugenommen hat (CoM 2022).

Betrachtet man die Phase der Politikformulierung, so verfügen nur rund 4 % aller Vertragsstädte des GCoM über einen Aktionsplan zur Anpassung, und von den Städten mit einer Anpassungsverpflichtung gibt nur ein relativ geringer Teil von 21 % an, Fortschritte von der Phase der Agendasetzung zur Erstellung von Anpassungsplänen gemacht zu haben (GCoM 2022). Im Umkehrschluss erscheint die Interpretation zulässig, dass 79 % der Vertragsstädte mit einem politischen Grundsatzbeschluss zur Anpassung sich noch nicht aktiv mit der Anpassungsplanung und mit der Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen befassen. Unter den lokalen und regionalen Regierungen (LRGs), die an den CDP berichten, haben 43 % noch keinen Klimamaßnahmenplan entwickelt (CDP 2021). Ein Vergleich unterschiedlicher Datenbanken mit globaler (NAZCA GCAP, GCoM) und erweiterter europäischer Abdeckung (CoM Europe) ergibt, dass der Anteil der klimaaktiven Städte und Gemeinden mit vorhandenen Anpassungsplänen vergleichbar gering ist und in keinem der Städtenetzwerke 4 % der teilnehmenden Kommunen übersteigt.

Der Sechste Sachstandsbericht des IPCC (2022a) thematisiert Synergien und Konflikte zwischen Klimaschutz und Anpassung wesentlich stärker und durchgängiger als in seinen vorangegangenen Berichten. In vielen Abschnitten wird hervorgehoben, dass die Koppelung von Klimaschutz und Anpassung zahlreiche und vielfache Synergiepotenziale bietet. Vorhandene wissenschaftliche Evidenz zu Co-Benefits/Synergien und Trade-offs/Konflikten von Klimaschutz mit Anpassung sowie den Sustainable Development Goals werden zu den meisten Sektoren und Systemen sowie aus den meisten Weltregionen berichtet. Gleichzeitig hält das IPCC in Bezug auf Städte und Siedlungen fest, dass der Fortschritt von städtischer Planung zu einer Form der Umsetzung, die Synergien und Zusatznutzen von Klimaschutz, Anpassung und nachhaltiger Entwicklung identifiziert und gezielt verfolgt, nur langsam und ungleichmäßig erfolgt (Pörtner et al., 2022; Dodman et al., 2022). Als einen Hauptgrund hierfür stellt das IPCC ein anhaltendes Umsetzungsdefizit bei der urbanen Anpassung fest: *„Zahlreiche weitere Städte haben seit dem AR5 Anpassungspläne entwickelt, aber nur ein begrenzter Anteil dieser Pläne wurden umgesetzt“* (Pörtner et al., 2022; Dodman et al., 2022: p. 4). Viele städtischen Anpassungspläne weisen zudem einen engen Fokus auf Klimarisikoreduktion und spezifische klimainduzierte Risiken auf, wodurch Chancen zur Erzielung von Co-Benefits und Synergien mit dem Klimaschutz nicht genutzt werden können (Pörtner et al., 2022; Dodman et al., 2022). Die fehlende Berücksichtigung von Wechselwirkungen zwischen Klimaschutz und Anpassung bereits in der Politikformulierungs- und Planungsphase bewirkt, dass der „policy-action gap“ bei integrierten Maßnahmen zum Klimawandel in der Stadtentwicklung besonders stark ausgeprägt ist. Die Dringlichkeit von stärker integrierten, koordinierten Ansätzen wird dadurch unterstrichen, dass die Konkurrenz, Trade-offs und Konflikte zwischen Klimaschutz- und Anpassungsprioritäten mit zunehmenden Auswirkungen des Klimawandels zunehmen werden (Pörtner et al., 2022).

Die empirischen Daten und der Überblick über relevante wissenschaftliche Literatur bestätigen, dass städtische Klimaanpassungspolitiken sich insgesamt sowohl auf globaler als auch europäischer Ebene überwiegend noch in vergleichsweise frühen Phasen des Politikzyklus befinden. Es bestehen erhebliche Lücken beim Übergang von politischen Verpflichtungen zur Entwicklung von Anpassungsplänen (*policy gap*), sowie in noch größerem Ausmaß von der Anpassungsplanung zur Umsetzung von Maßnahmen in der Praxis (*implementation gap*). Wenn einerseits der Fokus städtischer Klimapolitiken überwiegend auf der Vermeidung des Klimawandels liegt, und andererseits die deutliche Mehrzahl der Städte sich noch nicht aktiv mit Klimaanpassung befasst und weder entsprechende Politikdokumente entwickelt noch mit der Umsetzung von Maßnahmen begonnen hat, dann ergibt sich daraus die Schlussfolgerung, dass es an einer gezielten Berücksichtigung von Konflikten und Synergien zwischen Klimaschutz und Anpassung mangelt und integrierte urbane Klimapolitiken weitgehend fehlen.

Die Gründe für die mangelnde integrative Planung und Umsetzung von Klimaschutz und Anpassung in Städten sind vielfältig. Häufig genannt werden folgende Barrieren (vgl. z.B. EEA 2020a; Runhaar et al. 2017; Klein et al. 2007; Kern et al. 2001; Tews 2005; Landauer et al. 2019):

- ▶ fehlende nationale Verpflichtungen;
- ▶ bereits vorhandene Klimaschutzpläne aufgrund der früher erfolgten Agendasetzung bei der THG-Reduktion;
- ▶ erhöhte Kosten, Verwaltungsaufwände und bürokratische Komplexität integrierter Programmierungen;
- ▶ historisch gewachsene und durch unterschiedliche Strukturen von Problemen und Problemlösungen bedingte Akteurgemeinschaften in Forschung, Verwaltung und Praxis;
- ▶ organisatorisch getrennte Zuständigkeitsbereiche; Mangel an Kooperation und Koordination zwischen städtischen Verwaltungsabteilungen und Sektorpolitiken;
- ▶ persistente, gegenüber Veränderungen träge organisatorische Strukturen, Routinen und Praktiken;
- ▶ Mangel an finanziellen, personellen und wissensbezogenen Kapazitäten; Konkurrenz um knappe finanzielle Ressourcen;
- ▶ Fehlen von klaren politischen Mandaten.

Einige der genannten Barrieren für integrierte städtische Klimapolitiken haben ihre Wurzel in der sektoralen Kompartimentierung von (städtischen) Organisationen, die zur Entstehung von „Abteilungsdenken“ (*policy silos*) und fragmentierten institutionellen Zuständigkeiten geführt haben (He, 2013; Lebel et al., 2011; Oulo, 2011).

Darüber hinaus stellen Landauer et al. (2015) in einer Literaturstudie (354 Publikationen, davon 74 städtische Studien) zu Wechselbeziehungen zwischen Vermeidung und Anpassung fest, dass ein hoher Anteil der Treiber von Konflikten und Synergien eng mit Unterschieden betreffend Skalenebenen (auf politischer, organisatorischer und praktischer Ebene) zusammenhängt. Damit wird unter anderem auch das Auseinanderfallen der Maßstabebenen, auf denen sich Probleme manifestieren und Problemlösungen erforderlich sind, mit den Ebenen, auf denen Zuständigkeiten und Entscheidungskompetenzen angesiedelt sind, angesprochen, was wiederum auf bestehende Dysfunktionalitäten von multi-level Governance-Systemen verweist.

Dieser Liste von Barrieren kann die (Über-)Komplexität der Erfassung und Steuerung von Wechselwirkungen hinzugefügt werden, welche durch das Zusammenwirken von für sich genommen herausfordernden transformativen Handlungsfeldern wie Klimaschutz und

Anpassung in hochkomplexen städtischen Systemen entstehen, sowie das weitgehende Fehlen von Werkzeugen und Arbeitshilfen zum Umgang mit der Komplexität von Wechselwirkungen.

Einer aktuellen Studie von Landauer et al. (2019) zufolge, stehen Vermeidung von und Anpassung an den Klimawandel in nordeuropäischen Städten noch weitgehend im Konflikt miteinander: „*Nordic cities still follow the rules and regulations of national governments, which to some extent limit realization of integrated solutions*“ (ebd.: 758). Dies ist maßgeblich Folge einer nationalen politischen Priorisierung von Klimaschutz und führt zu einer zunehmenden Trennung von Zuständigkeiten, statt zu integrierten Ansätzen. Darüber hinaus stellen Landauer et al. (2019) fest, dass Ansätze zur integrierten Bewertung von Maßnahmen diese Tendenz entschärfen könnten: „*operating rules for evaluation of measures would be needed to be able to integrate adaptation with mitigation*“ (ebd.). Der im vorliegenden Projekt unternommene Versuch einer Bewertung von Wechselwirkungen kann demnach auch für europäische Städte hilfreich sein.

Eine weitere, in der Studie von Landauer et al. (2019) festgestellte Tendenz ist der Überhang an Synergien, die auf der Ebene „weicher“ Politikinstrumente wie Stadtentwicklungspläne, Energieeffizienz-Richtlinien oder Hochwasserschutzvorgaben ausgewiesen werden. Sobald es jedoch um konkrete Maßnahmen geht, stehen die Konflikte im Vordergrund, und lokale Behörden favorisieren in solchen Fällen eher Klimaschutz- als Anpassungsmaßnahmen (ebd.: 758). Dementsprechend wird von Landauer et al. (2019) als wichtige Forschungslücke identifiziert: „*attention needs to be paid to [...] find integrative frameworks to support their [adaptation and mitigation] joint implementation in cities*“ (ebd.: 760).

Solche integrierten Bewertungsansätze fehlen derzeit noch weitgehend. Grafakos et al. (2019) adressieren diese Forschungslücke (ebd.: 91), fokussieren dabei jedoch auf eine binäre ja/nein Bewertung von Maßnahmen in den Strategien von weltweit neun Metropolen und können damit nur einen sehr groben ersten Überblick über Synergien und Konflikte geben (ebd.: 95). Eine differenziertere Herangehensweise und Vertiefung des Ansatzes wird von den Autoren selbst eingefordert: „*there is some evidence that interactions of Ad/Mit [adaptation/mitigation] actions in cities occur and cut across specific sectors, but more studies are needed to shed light on that issue*“ (ebd.: 102).

Analytische Werkzeuge und Methoden zur Erfassung, Analyse und Bewertung von Wechselwirkungen, die für das gegenständliche Forschungsvorhaben einsetzbar wären, fehlen demnach noch weitgehend. In der Entwicklung solcher Methoden und Werkzeuge für integrierte Maßnahmenbewertungen sehen viele Autoren eine zentrale Lücke und Herausforderung, um Anpassung und Vermeidung koordiniert im Tandem umsetzen zu können (Landauer et al. 2015, 2019; Grafakos et al. 2019; APCC 2014).

Daher mussten ein analytischer Rahmen und ein methodisches Verfahren, um Konflikte und Synergien zwischen Klimaschutz, Anpassung und ausgewählten anderen städtischen Umweltbereichen in den Handlungsfeldern einer klimaorientierten Stadtentwicklung screenen, identifizieren, analysieren und bewerten zu können, erst im Rahmen dieses Projekts entwickelt werden. Analyserahmen und Methoden werden im nachfolgenden Kapitel 5.3 erläutert.

5.3 Konzepte, Methoden und Analyserahmen

5.3.1 Heuristik zur Entwicklung eines Analyse- und Bewertungsrahmens

Klimaschutz, Klimaanpassung und eine umweltgerechte nachhaltige Entwicklung sind sektor-, ebenen- und akteursübergreifende Politikfelder. Interventionen sowohl zur Treibhausgasreduzierung als auch zur Klimaanpassung betreffen potenziell eine Vielzahl von Bereichen komplexer Mensch-Umwelt-Systeme, ebenso wie der Klimawandel Auswirkungen auf nahezu alle Bereiche von Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt hat. Klimaschutz, Klimawandelfolgen und Klimaanpassung sind daher auf vielfältige Weise miteinander sowie mit anderen städtischen Entwicklungsthemen verknüpft, stehen in komplexen Wechselbeziehungen und stellen systemische Herausforderungen dar (Clarke et al., 2014; EEA, 2016, 2020a; World Climate Research Programme, 2019; Klein et al., 2007). Wechselwirkungen und Interdependenzen zwischen unterschiedlichen Stadtpolitiken und deren Maßnahmen interagieren wiederum mit sozioökonomischen und sozialökologischen Faktoren und Veränderungstrends und können gerade in komplexen und dynamischen urbanen Systemen auch unvorhergesehene Kaskaden- und Rückkopplungseffekte auf gänzlich andere stadtpolitische Handlungsbereiche sowie spillover-Effekte auf das städtische Umland haben.

Die Mehrebenen-Untersuchung (von der Gebäudeebene bis zur Stadt-Umland-Ebene) von Wechselwirkungen im Spannungsfeld zwischen urbanem Klimaschutz, Klimaanpassung und anderen städtischen Umweltpolitiken ist daher eine äußerst komplexe Aufgabe (Landauer et al., 2019, Walsh et al., 2011) und methodisch herausfordernd (vgl. Siabatto et al., 2017). Neben der notwendigen Komplexitätsreduktion erfordert diese deshalb sowohl konzeptuelle Offenheit als auch einen gewissen Pragmatismus in der analytischen Herangehensweise (siehe z.B. Vogel & Henstra, 2015). Um auf der Grundlage unvollständiger Informationen bzw. begrenzten Wissens und knapper Zeit dennoch praktikable Lösungen, insb. für komplexe Probleme, zu entdecken, bieten sich heuristische Verfahren an. Heuristische Vorgehensweisen wurden im Kontext der (Weiter-)Entwicklung der Deutschen Anpassungsstrategie und der Aktionspläne zur Anpassung bereits mehrfach eingesetzt, insbesondere zur Bewertung von Anpassungsoptionen (Instrumenten und Maßnahmen), z.B. von Beck et al. (2011) und Hetz et al. (2020). Beck et al. (2011) verstehen unter einer Heuristik „ein Instrument zur Entscheidungsvorbereitung und –unterstützung, das angewendet wird, wenn weder auf etablierte oder erprobte wissenschaftliche Ansätze zurückgegriffen werden kann noch eindeutige [...] Ziele und Maßnahmen definiert sind“ (S. 29ff.). Heuristiken beruhen immer auf Annahmen und können als vorrangig qualitativ orientierte Verfahrensweisen verstanden werden (Hetz et al., 2020). Im Folgenden wird eine Heuristik skizziert, die die Grundlagen für den analytischen Ansatz zusammenfasst und den Rahmen absteckt, innerhalb dessen die Operationalisierung des Analyse- und Bewertungsmodells (siehe Kapitel 5.3.2 – 5.3.6) erfolgt.

Zunächst ist festzuhalten, dass in Ermangelung konkreter, messbarer Zielwerte für die Klimaanpassung (ausgenommen von spezifischen Zielen und Maßnahmen, wie zur Absenkung des Wärmeinseleffekts, die an konkreten Orten objektiv messbar ist) sowie weitgehend fehlender Möglichkeiten zur Quantifizierung von Wechselwirkungen die Analyse ausschließlich bzw. vorrangig qualitativ erfolgt. Dabei ist unvermeidlich, dass mit dieser Wahl spezifische methodische Begrenzungen einhergehen (Adger et al., 2005). Um zu vermeiden, dass normative Einschätzungen arbiträr werden, sind Transparenz, Nachvollziehbarkeit und die weitest mögliche Abstützung von Bewertungen durch Befunde der wissenschaftlichen Literatur von entscheidender Bedeutung.

Um positive (synergistische) und negative (konfligierende) Effekte von von THG-Minderungsmaßnahmen identifizieren zu können, ist es notwendig, auf die Ebene konkreter Maßnahmen (physische Umsetzungen, Projekte, Initiativen) zum Klimaschutz und zur Klimaanpassung sowie deren Ergebnisse zu fokussieren, nicht primär auf den Prozess ihrer Entwicklung und Umsetzung. Es soll damit eine ergebnisbasierte (*outcome-based*) Analyse durchgeführt werden, im Gegensatz zu einer prozessbasierten Analyse. Da die Aufgabe in der vorausschauenden Abschätzung möglicher Wechselwirkungen liegt, stehen hypothetische, d.h. auf plausiblen Wirkungslogiken basierende angenommene oder erwartete zukünftige Ergebnisse und Auswirkungen von Maßnahmen im Zentrum der Betrachtung. Dabei kann nicht oder nur in den seltensten Fällen auf eine primäre empirische Datenbasis zurückgegriffen werden, sondern es müssen sekundäre Daten benutzt werden. Das heißt, es soll untersucht werden, welche konkreten Ergebnisse und Auswirkungen bereits in der Vergangenheit in anderen Fällen festgestellt wurden (wissenschaftliche Literatur) oder in Politikdokumenten (Strategien und Aktionspläne) explizit (aus einer ex-ante Perspektive) angesprochen werden; auf dieser Grundlage gilt es, die hypothetischen Auswirkungen für zukünftige Fälle zu beurteilen.

In einer früheren Studie zu Synergien und Konflikten von Strategien und Maßnahmen zur Klimaanpassung entscheiden sich Beck et al. (2011) für einen vorrangig prozessorientierten Analyserahmen, um Bewertungsergebnisse in den inkrementellen Politikgestaltungsprozess einfließen lassen und erkannte Konfliktpotenziale konstruktiv zur Verbesserung, z.B. im Rahmen von Aushandlungsprozessen, nutzen zu können. Die betreffende Untersuchung wurde jedoch mit dem spezifischen Ziel durchgeführt, die laufende Entwicklung des deutschen Aktionsplans zur Anpassung zu unterstützen und die Auswahl und Ausgestaltung von Anpassungsoptionen zu optimieren. Die Überlegungen von Beck et al. (2011) verbleiben auf einem relativ abstrakten Niveau, das für ein Screening und die Untersuchung von Wechselwirkungen im gegenständlichen Projekt nicht geeignet erscheint. Die konstruktive Rolle von Konflikten, die Prozessdimension der Entwicklung von Politiken und Maßnahmen sowie damit zusammenhängende Fragen der Governance von städtischer Klimaanpassung werden im Rahmen der vorliegenden Studie in eigenen Arbeitspaketen (siehe Kapitel 4 und Anhang A) behandelt und fließen in die Entwicklung von Handlungsempfehlungen (siehe Kapitel 6) für eine integrierte klimaorientierte Stadtentwicklung ein. Bei der Bestandsaufnahme und Untersuchung von Wechselwirkungen werden infolge der vorrangig ergebnisbasierten Perspektive stärker prozessorientierte Dimensionen bewusst ausgeblendet, wie z.B. i) der Grad der Politikintegration (horizontal, vertikal, transversal), ii) der Grad der Einbindung nicht-staatlicher Akteure (Partizipation), iii) der Grad der Einbindung/Generierung von neuem Wissen, oder iv) die Art der Umsetzung (wie flexibel, systematisch, ressourcenintensiv) (vgl. Clar & Steurer 2017).

Um eine praktikable Reduktion der quasi unbegrenzten empirischen Komplexität unseres Analysegegenstandes zu erreichen, beschränkt sich die Beurteilung der Wechselwirkungen auf qualitative Einschätzungen (hoch/mäßig/gering) der Potenziale bzw. Risiken von positiven und negativen Auswirkungen anhand der Enge, Plausibilität und Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Wirkungszusammenhängen. Es handelt sich dabei um begründete Annahmen auf impliziter Basis, d.h. auf Grundlage von plausiblen wirkungslogischen Zusammenhängen. Ob bzw. wie stark sich ein Wirkungszusammenhang in der Praxis tatsächlich manifestiert, hängt sehr stark von den jeweiligen (lokalen) Kontextbedingungen und der konkreten Ausgestaltung von Maßnahmen ab. Die Untersuchung und Bewertung können dabei im Rahmen des vorliegenden Projekts nur auf einer generalisierten Ebene, d.h. losgelöst von einer konkreten Stadt an einem spezifischen Ort, erfolgen.

Eine weitere Vereinfachung unserer Analyse ist die schematische Gegenüberstellung von Synergien und Konflikten. Entgegen einer solchen dualistischen Vorstellung findet die Ausprägung von positiven und negativen Wechselwirkungen in der Realität jedoch entlang eines Kontinuum statt. Die Bewertung von Synergien und Konflikten ist zudem auch von Standpunkt und Perspektive abhängig (Beck et al. 2011: 27). Durch die Einbindung der interdisziplinären Expertise des gesamten Projektkonsortiums sowie die umfassende Auswertung von Literatur soll versucht werden, hier zu möglichst „objektivierte“, und zumindest transparenten und nachvollziehbaren, Einschätzungen auf einer generischen Ebene zu gelangen, die für verschiedene Fallkontexte möglichst übertragbar sind.

Ein ergebnisbasierter Analyseansatz ist im Kern eine maßnahmenzentrierte Analyse. Dies gilt insbesondere für die Untersuchung von Synergien und Konflikten, zum Teil aber auch für jene von positiven und negativen Neben- und Zusatzeffekten (Co-Benefits, Trade-offs) (siehe Kapitel 5.3.2.2). Eine Voraussetzung hierfür ist das Vorliegen ausreichend konkreter Handlungsoptionen und Maßnahmen sowohl auf der Klimaschutzseite als auch auf der Klimaanpassungsseite (siehe Entwicklung eines Kategoriensystems von Maßnahmen in Kapitel 5.3.2.3). Die vorgeschlagene ergebnisbasierte Analyseverfahren entwickelt daher eine stark technisch-planerische Perspektive auf Wechselwirkungen, weshalb politisch-administrative, soziokulturelle oder ökonomische Rahmenbedingungen nur am Rande berücksichtigt werden können.

Anforderungen an den Analyse- und Bewertungsrahmen

Die vorgenommenen Festlegungen für die Entwicklung eines operationalen Analyse- und Bewertungsrahmens können wie folgt stichwortartig zusammengefasst werden:

- ▶ Komplexitätsreduktion, Vereinfachung
- ▶ Konzeptionelle Offenheit, Pragmatismus
- ▶ Qualitative Analyse und Bewertung
- ▶ Verwendung sekundärer Datenbasis (Literatur, Politikdokumente)
- ▶ Ergebnisbasierte Analyse (*outcome-based*): maßnahmenzentriert, Fokus auf erwartete Wirkungen konkreter Maßnahmen
- ▶ Technisch-planerische Perspektive: weitgehende Ausblendung von politisch-administrativen, soziokulturellen und sozioökonomischen Dimensionen
- ▶ Beurteilungen auf impliziter Basis: auf plausiblen Wirkungslogiken beruhende Annahmen, Aussagen primär zu Potenzialen und Risiken
- ▶ Bewertung der Relevanz von Wechselwirkungen nach Enge, Wahrscheinlichkeit und Plausibilität von Wirkungszusammenhängen
- ▶ Untersuchung auf generalisierter, generischer Ebene (nicht auf konkrete reale Stadt bezogen)
- ▶ Gruppenbasierte Experteneinschätzungen zum Ausgleich möglicher *Biases* (Intersubjektivität)

5.3.2 Konzeptualisierung und Definition von Wechselwirkungen

5.3.2.1 Konflikte und Synergien in der klimabezogenen wissenschaftlichen Literatur

Wechselwirkungen zwischen unterschiedlichen Politiken und Maßnahmen resultieren grundsätzlich aus Zielbeziehungen, die synergetisch (komplementär, positiv verstärkend), konfliktär (antagonistisch, konkurrierend) oder auch zueinander indifferent (neutral) sein können. In Bezug auf die klimaorientierte Stadtentwicklung ergeben sich Konflikte und Synergien aus Wechselwirkungen und Schnittmengen der beiden klimapolitischen Handlungsbereiche des Klimaschutzes und der Klimaanpassung. Unterschiedliche Ausprägungen von Wechselwirkungen und Interdependenzen werden in der klima(politik)-wissenschaftlichen Literatur bis zum Sechsten Sachstandsbericht des IPCC unterschiedlich definiert und konzeptualisiert. Klein et al. (2007) unterscheiden im Vierten Sachstandsbericht des IPCC in sehr allgemeiner Weise vier Typen von Wechselwirkungen zwischen Klimaschutz und Anpassung: i) Anpassungsmaßnahmen, die Auswirkungen auf den Klimaschutz haben; ii) Klimaschutzmaßnahmen, die Auswirkungen auf die Anpassung an den Klimawandel haben; iii) Entscheidungen, die „*Trade-offs*“ oder Synergien zwischen Klimaschutz und Anpassung beinhalten; und iv) Prozesse, die Auswirkungen auf beide Handlungsfelder haben. Nach dem Ergebnis können Wechselwirkungen neutral (indifferent), positiv oder negativ sein. Zur Bezeichnung positiver und negativer Wirkungen werden in der Literatur teils unterschiedliche begriffliche Konzeptualisierungen und Definitionen verwendet (Landauer et al., 2015).

Der Begriff der „**Synergien**“ wird am häufigsten verwendet, um Wechselbeziehungen mit positiven Auswirkungen zu bezeichnen (Landauer et al., 2015). Nach Klein et al. (2007) sind Synergien Interaktionen zwischen Maßnahmen, deren kombinierte Wirkungen größer sind als die Summe der Effekte von einzeln durchgeführten Maßnahmen. Andere Autoren verwenden auch Begriffe wie „*Balancing*“ (Hamin & Guran, 2009) oder „Harmonisierung“ (Moser, 2012) für Komplementärbeziehungen, wenn Anpassungsstrategien Strategien zum Klimaschutz unterstützen, oder vice versa. Vielfach wird auch von „Neben- oder Zusatznutzen“ (*Co-Benefits*) gesprochen, um synergetische Beziehungen zu charakterisieren, was mit der Definition von Klein et al. (2007) nicht deckungsgleich ist. Nach Landauer et al. (2019) entstehen Synergien, wenn Strategien oder Maßnahmen einen zusätzlichen Mehrwert für Städte im Klimawandel darstellen, weil ihre Umsetzung integriert erfolgt, also im Einklang zwischen den Zielen der Vermeidung und Anpassung an den Klimawandel. Darüber hinaus kennzeichnen sich Synergien dadurch, dass sie „‘mehrere Fliegen mit einer Klappe [...] schlagen‘ und bei geringen Kosten einen mehrfachen Nutzen [...] erzielen“ (Beck et al. 2011: 5). Synergien zwischen Vermeidung und Anpassung bedeuten also, dass deren Maßnahmen kohärent sein müssen mit den bestehenden Zielen, Strategien und Maßnahmen der betroffenen Sektoren. Dadurch sollen die Akzeptanz und Umsetzbarkeit der Maßnahmen gestärkt werden.

„**Konflikte**“ bezeichnen negative Wechselbeziehungen zwischen Klimaschutz und Anpassung. Stärker operationale Definitionen sind dem Mainstream der Literatur vor dem Sechsten Sachstandsbericht des IPCC (2022a, 2022c) selten zu entnehmen, was darauf zurückgeführt werden kann, dass sich viele Autoren auf Synergien konzentrieren und Konflikte einfach implizit als das Gegenteil davon verstehen. Landauer et al. (2015, 2019) greifen auf allgemeine Wörterbuchdefinitionen zurück und verstehen Konflikte als „Unvereinbarkeit zwischen verschiedenen Meinungen, Prinzipien oder Interessen“. Das Konzept der „*Trade-offs*“ wird im Zusammenhang mit Konflikten ebenfalls häufiger verwendet. Manche Autoren konnotieren den Begriff negativ oder setzen ihn sogar synonym zu Konflikten, während die Mehrzahl der von Landauer et al. (2015) erfassten Studien „*trade-offs*“ neutral im Sinne von Kompromiss, Ausgleich oder Abgleich verstehen. So auch Klein et al. (2007), die „*trade-offs*“ als ein

Ausbalancieren von Vermeidung und Anpassung definieren, wenn es nicht möglich ist, beide Aktivitäten zur selben Zeit (bzw. am selben Ort) vollständig umzusetzen (z.B. aufgrund Konkurrenz um dieselbe Fläche oder wegen finanzieller Einschränkungen). In Situationen, wo Kompromisse zwischen Vermeidung und Anpassung vorgenommen werden müssen, besteht somit ein erhöhtes Risiko, dass Konflikte resultieren. Das bedeutet, dass Konflikte dann auftreten, wenn der Versuch integrierter Lösungen zwischen Vermeidung und Anpassung entweder scheitert oder Maßnahmen streng getrennt voneinander („in Silos“) umgesetzt werden (vgl. Landauer et al. 2019: 742).

5.3.2.2 Analytische Kategorien für die Untersuchung von Wirkungszusammenhängen

Um ausreichend operationale Konzeptualisierungen, Definitionen und analytische Kategorien zu entwickeln, die für das Mapping und die qualitative Analyse von positiven und negativen Wirkungsbeziehungen zwischen dem städtischen Klimaschutz, der Klimaanpassung und weiteren Umweltgütern bzw. sozialökologischen Nachhaltigkeitszielen von Stadtpolitiken eingesetzt werden können, wurden neben der in Kapitel 5.3.2.1 diskutierten Literatur insbesondere der Sechste Sachstandsbericht des IPCC und die darin zitierten wesentlichsten, thematisch relevanten wissenschaftlichen Quellen herangezogen (Lwasa et al., 2022; Dodman et al., 2022; Schipper et al., 2022; Landauer et al., 2015, 2019; Sharifi, 2020, 2021; Berry et al., 2015; Xu et al., 2019; Pierer & Creutzig, 2019; Grafakos et al., 2019; Jänicke & Helgenberger, 2016; Klein et al., 2007).

Von zentraler Bedeutung für den entwickelten Analyserahmen ist die Unterscheidung zwischen Co-Benefits und Trade-offs, auf der einen Seite, und Synergien und Konflikten, auf der anderen Seite. Beide Gruppen von analytischen Kategorien beziehen sich auf unterschiedliche Sachverhalte mit unterschiedlichen Entstehungs- und Wirkungsmechanismen.

5.3.2.2.1 Co-Benefits und Trade-offs für die Klimaanpassung

Die Definitionen von “Co-Benefits” und “Trade-offs” im Sechsten Sachstandsbericht des IPCC lauten wie folgt:

- ▶ **Co-Benefit:** „ein positiver Effekt, den eine Politik oder Maßnahme mit einem bestimmten Ziel auf ein anderes Ziel hat, wodurch sich der Gesamtnutzen für die Gesellschaft oder die Umwelt erhöht. Co-Benefits werden auch als Neben- oder Zusatznutzen bezeichnet“ (IPCC 2022b, 2022d).
- ▶ **Trade-off:** „Konkurrenz zwischen unterschiedlichen Zielen in einer Entscheidungssituation, wobei das Verfolgen eines Ziels die Erreichung eines anderen Ziels (bzw. anderer Ziele) beeinträchtigt. Ein Trade-off besteht, wenn eine Politik oder Maßnahme mit einem bestimmten Ziel (z.B. die Reduktion von Treibhausgasemissionen) die Wirkungen (Ergebnisse) für ein anderes Ziel (bzw. andere Ziele, z.B. Erhaltung der Biodiversität, Energiesicherheit) durch nachteilige Nebeneffekte vermindert (beeinträchtigt), wodurch sich der Nettonutzen für die Gesellschaft oder die Umwelt potenziell reduziert“ (IPCC 2022b, 2022d).

Wesentlich für das Konzept von Co-Benefits und Trade-offs ist, dass es um Wechselwirkungen auf der Ebene von Zielen geht. Wechselwirkungen zwischen konkreten Maßnahmen, z.B. von THG-Minderungsmaßnahmen mit Anpassungsmaßnahmen, werden hierbei nicht betrachtet. Co-Benefits von Strategien zur Vermeidung und Minderung des Klimawandels ergeben sich für

die Klimaanpassung, wenn eine Maßnahme zur THG-Minderung gleichzeitig positive (vorheilhafte) Wirkungen auf generelle Ziele und Anliegen der Anpassung hat und für diese einen (mehrfachen) Zusatz- oder Nebennutzen (*co-adaptation effect, adaptation side effect, adaptation co-benefit*) erbringt (Sharifi, 2021; Grafakos et al., 2019; Berry et al., 2015). Analog hierzu entstehen Trade-offs, wenn eine gegebene THG-Minderungsmaßnahme negative (nachteilige) Auswirkungen auf Ziele der Anpassung hat (Sharifi, 2020; Berry et al., 2015).

Das IPCC definiert Anpassung an den Klimawandel in menschlichen Systemen wie folgt: „Klimaanpassung: der Prozess der Anpassung an das gegenwärtige oder erwartete Klima und dessen Auswirkungen, um Schaden zu verringern oder zu vermeiden und mögliche Vorteile zu nutzen“ (IPCC 2022b).

Anpassung dient der Vermeidung oder Minderung von Klimarisiken und der Erhöhung der Klimaresilienz. Anpassungsmaßnahmen können dabei an unterschiedlichen Dimensionen der von klimatischen Änderungen betroffenen Mensch-Umwelt-Systeme ansetzen: Verringerung der Sensitivität gegenüber veränderten klimatischen Stimuli (*climate hazards*); Minderung von Auswirkungen des Klimawandels (*climate impacts*) auf betroffene Systeme, Sektoren und soziale Gruppen; Verringerung der Vulnerabilität (Verletzlichkeit, Anfälligkeit) der von veränderten klimatischen Stimuli und deren Auswirkungen betroffenen Systemelemente (*vulnerability to climate change*); und Erhöhung der Anpassungskapazität (*adaptive capacity*), d.h. der Fähigkeit, nachteilige Klimawandelfolgen zu bewältigen und Anpassungsmaßnahmen umzusetzen.

Co-Benefits und Trade-offs können somit dadurch entstehen, dass THG-Minderungsmaßnahmen die unterschiedlichen Komponenten von Klimawandelfolgen und –risiken sowie den resultierenden Anpassungsbedarf beeinflussen, d.h. verstärken oder verringern. Entsprechende Effekte können sich vor allem ergeben, indem Klimaschutzmaßnahmen auf folgende Faktoren einwirken:

- ▶ Stadtklima und klimatische Stressoren
 - Beispiel: Verstärkung des UHI-Effekts durch höhere Bebauungsdichten (Trade-off)
- ▶ Exposition gegenüber Klimarisiken
 - Beispiel: Verminderung der Exposition gegenüber Hochwasserrisiken im Umland durch Begrenzung der räumlichen Außen-Expansion von Städten (*Co-Benefit*)
- ▶ Auswirkungen klimatischer Veränderungen (Klimawandelfolgen)
 - Beispiel: grüne und blaue Infrastruktur im Stadtraum, die z.B. als Teil transitorientierter Stadtentwicklungskonzepte und zur Bindung von CO₂ eingesetzt wird, reduziert durch Kühlung die Auswirkungen von Hitzestress auf die menschliche Gesundheit (*Co-Benefit*)
- ▶ Vulnerabilitäten
 - Beispiel: auf Gebäudeflächen installierte dezentrale PV-/Solaranlagen erhöhen potenziell die Schadensanfälligkeit von Gebäudehüllen und Anbauten gegen Extremwettereinflüsse (*Trade-off*)
- ▶ Anpassungskapazitäten und (generische) Klimaresilienz
 - Beispiel: dezentrale erneuerbare Energieversorgungssysteme erhöhen durch kleinteilige und redundante Energieinfrastrukturen die Störungs- und Ausfallsicherheit des Energiesystems, einschließlich gegenüber Extremwetterereignissen und Hitze (*Co-Benefit*)

5.3.2.2.2 Synergien und Konflikte mit Maßnahmen zur Klimaanpassung

Synergien und Konflikte sind konzeptionell und analytisch von Co-Benefits und Trade-offs zu unterscheiden und stellen spezifische Typen von Interaktionen dar. Synergien und Konflikte treten auf der Ebene von Maßnahmen auf, d.h. sie entfalten sich stets zwischen zwei oder mehreren Maßnahmen.

Synergien entstehen, wenn die gleichzeitige Umsetzung von zwei oder mehreren Maßnahmen gemeinsam größeren Nutzen erzeugt, als es die Summe der individuellen Maßnahmen tun würde (Sharifi, 2021; Grafakos et al.; 2019; Klein et al., 2007). **Konflikte** liegen vor, wenn zwei oder mehrere Maßnahmen einander negativ beeinflussen und in ihrer Wirkung beeinträchtigen, sodass der Nettonutzen einer oder mehrerer Maßnahmen reduziert wird, bzw. wenn die Umsetzung von Maßnahmen sich gegenseitig ausschließt (Sharifi, 2020; Landauer et al., 2015), z.B. aufgrund von Inkompatibilität infolge von direkten Flächennutzungskonkurrenzen. In dieser Studie liegt der Fokus auf sektorübergreifenden Wechselwirkungen zwischen städtischen Maßnahmen zum Klimaschutz und zur Klimaanpassung, die Synergie- oder Konfliktpotenziale generieren können. Intrasektorale Wechselwirkungen zwischen unterschiedlichen THG-Minderungsmaßnahmen sind außerhalb des gegenständlichen Untersuchungsrahmens.

Zur Beurteilung, ob eine gegebene Maßnahme zur THG-Minderung Synergien oder Konflikte mit Maßnahmen der Klimaanpassung verursacht, werden insbesondere die folgenden **Kriterien** herangezogen:

- ▶ Verstärkung / Verringerung der **Wirksamkeit** einer oder mehrerer Anpassungsmaßnahmen;
- ▶ Unterstützung / Erschwerung der **Umsetzbarkeit** einer oder mehrerer Anpassungsmaßnahmen;
- ▶ Verbesserung / Verschlechterung der **Kosteneffizienz** einer oder mehrerer Anpassungsmaßnahmen.

Ein **Beispiel für Synergien**, die von Handlungsstrategien zur Reduktion verkehrsbedingter THG-Emissionen ausgehen, sind „Grüne Achsen oder Straßen“ als wesentlicher Bestandteil von transitorientierten städtischen Entwicklungsstrategien. Diese zielen darauf ab, Verkehrsemissionen durch Einschränkung des motorisierten Individualverkehrs, Forcierung von öffentlicher und bewegungsaktiver Mobilität und Stärkung des Umweltverbands zu verringern und die Kohlenstoffbindung durch städtische Vegetationselemente zu erhöhen. Gleichzeitig sind mehrfache synergistische Effekte mit Anpassungsmaßnahmen möglich: Transitorientierte Entwicklung begünstigt die Anlage von urbaner grüner Infrastruktur, die durch Kühlung zur Abminderung von städtischer Überhitzung beiträgt; begleitende Grünflächen bzw. -korridore lassen sich gut zur Errichtung dezentraler naturbasierter Systeme zur Starkregenentwässerung nutzen; bei entsprechender, stadtklimatisch optimierter Planung können grüne Verkehrsachsen als Ventilations- und Kaltluftkorridore fungieren; zudem verbessert funktional vernetzte städtische grüne Infrastruktur die ökologische Konnektivität und stärkt die Klimaresilienz der städtischen Biodiversität (Sharifi, 2021; AMIA, 2021).

Ein häufig genanntes **Beispiel für einen Konflikt** ist die deutlich erschwerte Anpassung an Hitze durch Innenverdichtung. Städtebauliche Maßnahmen, die auf kompakte Innenentwicklung mit Erhöhung der baulichen Dichte abzielen, verringern gleichzeitig die Flächenverfügbarkeit für grüne und blaue Infrastruktur sowie für versickerungsfähige, unversiegelte Flächen. Hierdurch kann die Schaffung und Erhaltung von Grünflächen zur Hitzeminderung sowie von

naturbasierten Lösungen zum dezentralen Regenwassermanagement erschwert oder verhindert werden (Sharifi, 2020; Lwasa et al., 2022; Dodman et al., 2022; Schipper et al., 2022).

5.3.2.2.3 Co-Benefits und Trade-offs für weitere städtische Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele

Ein Ziel des Arbeitspakets war es auch, mögliche und plausible Einflüsse und Auswirkungen von urbanen Klimaschutzmaßnahmen mit weiteren **umwelt- und nachhaltigkeitsbezogenen städtischen Handlungsfeldern** zu untersuchen. Im Fokus des Interesses stehen dabei positive und negative Wirkungszusammenhänge, die von THG-Minderungsmaßnahmen auf städtische Umwelt(schutz)güter, ein nachhaltiges Management natürlicher Ressourcen sowie auf soziale Nachhaltigkeitsziele ausgehen. Die Aufgabenstellung wird als Analyse von Wechselwirkungen mit den übergeordneten Zielen städtischer Umwelt- und Nachhaltigkeitspolitiken verstanden. Die betreffenden Wirkungszusammenhänge werden daher analog zu den Auswirkungen von THG-Minderung auf die Klimaanpassung konzeptualisiert und in diesem Sinne (vgl. Kapitel 5.3.2.2.1) als Co-Benefits und Trade-offs für ökologische und soziale Nachhaltigkeitsziele einer integrierten Stadtentwicklung definiert. Positive und negative Auswirkungen auf Umweltschutzgüter und soziale Ziele können direkt aus THG-Minderungsmaßnahmen resultieren, sie können sich aber auch aus indirekten oder systemischen Wechselwirkungen zwischen Klimaschutz und Anpassung bzw. entsprechenden Wirkungsketten ergeben.

Zusätzlich zu essenziellen **Umwelt(schutz)gütern** (Luft, Boden, Wasser, Biodiversität) wurde aus mehreren Gründen ein **gesundheitsbezogener und sozialer Zielbereich** mit aufgenommen: um in Übereinstimmung mit dem Leitkonzept der „klimaresilienten Entwicklung“ des Sechsten Sachstandsbericht des IPCC (IPCC 2022a; Begum et al., 2022; Schipper et al., 2022) der gesteigerten Bedeutung von Zielen wie sozialer Gerechtigkeit von Klimapolitiken und Stadtentwicklung Rechnung zu tragen, um die umfassenden sozialen Dimensionen der Sustainable Development Goals (SDGs) mit zu adressieren, sowie in Reaktion auf die Literaturlauswertung zu Wechselwirkungen, die eine hohe Bedeutung von Einflüssen klimapolitischer Maßnahmen auf soziale Aspekte ergeben hat. Diese betreffen unter anderem häufig Fragen der sozialen Verteilungsgerechtigkeit, Grundversorgung, die oft ungleiche Verteilung von Auswirkungen von Klimaschutzmaßnahmen auf vulnerable soziale Gruppen, die Leistbarkeit von Wohnraum und Energie sowie die Zugänglichkeit zu zentralen Leistungen der Daseinsvorsorge.

Die folgenden umwelt- und nachhaltigkeitsbezogenen Handlungsfelder einer nachhaltigen Stadtentwicklung wurden systematisch auf Wirkungszusammenhänge mit der THG-Minderung geprüft:

- a) **Biodiversität und Naturräume**
(inkl. Ökosysteme und Ökosystemleistungen)
- b) **Boden**
(mit Fokus auf Flächeninanspruchnahme, Versiegelung, Bodenqualität und -funktion)
- c) **Luft**
(Luftqualität)
- d) **Wasser**
(Oberflächengewässer, Grundwasser; Wasserqualität und -menge; Trinkwasser)
- e) **Gesundheit, Lebensqualität und soziale Aspekte**
(inkl. Angebot, Zugang und Leistbarkeit von Gütern und Leistungen der Daseinsvorsorge;

Ernährungssicherheit; sozialräumliche Qualitäten; soziale Gerechtigkeit; vulnerable Gruppen]

5.3.2.2.4 Kategorien von Wirkungszusammenhängen: Überblick über die verwendeten Definitionen

In Tabelle 6 werden die Definitionen und Erläuterungen zu den Kategorien von Wirkungszusammenhängen, wie sie im Projekt angewendet wurden, vergleichend zusammengefasst.

Tabelle 6: Überblick über Definitionen der Kategorien von Wirkungszusammenhängen mit dem Klimaschutz

Kategorie	Definition und Erläuterung
Co-Benefits / Trade-offs Klimaanpassung	Co-Benefits [Trade-offs] sind vorteilhafte [nachteilige] Auswirkungen von Maßnahmen innerhalb eines Handlungsfelds auf generelle Ziele und Anliegen anderer Handlungsfelder (intersektorale Perspektive). Im vorliegenden Anwendungsfall geht es um positive [negative] Auswirkungen von städtischen THG-Minderungsmaßnahmen auf Ziele der Klimawandelanpassung. Co-Benefits für die Anpassung entstehen, wenn eine Klimaschutzmaßnahme gleichzeitig Zusatz-, Neben- oder Mehrfachnutzen für die Anpassung schafft (adaptation co-benefits, co-adaptation effects); Trade-offs sind vice versa negative Effekte auf die Anpassung. Interaktionen mit konkreten Anpassungsmaßnahmen sind in dieser Kategorie nicht Gegenstand der Betrachtung. Co-Benefits [Trade-offs] bewirken eine Abschwächung [Verstärkung] von Auswirkungen des Klimawandels (Klimarisiken) und des Anpassungsbedarfs. Entsprechende Effekte können entstehen, indem THG-Minderungsmaßnahmen Einflüsse ausüben auf: i) klimatische Stressoren (<i>climate hazards</i>), ii) Exposition gegenüber Klimarisiken (<i>climate risk exposure</i>), iii) Klimawandelfolgen (<i>climate impacts</i>), iv) Vulnerabilitäten (<i>climate vulnerabilities</i>), und/oder v) die Anpassungskapazität (<i>adaptive capacity, climate resilience</i>).
Synergien / Konflikte Klimaanpassung	Synergien [Konflikte] resultieren aus Wechselwirkungen zwischen zwei oder mehreren Maßnahmen. Im vorliegenden Anwendungsfall liegen Synergien [Konflikte] vor, wenn eine THG-Minderungsmaßnahme eine oder mehrere Maßnahmen zur Klimaanpassung positiv [negativ] beeinflusst (intersektorale Perspektive). Synergien entstehen, wenn die gleichzeitige Umsetzung von Maßnahmen zum Klimaschutz und zur Anpassung sich gegenseitig unterstützt und gemeinsam größeren Nutzen erzeugen, als es die Summe der individuellen Maßnahmen tun würde. Umgekehrt entstehen Konflikte, wenn Maßnahmen zum Klimaschutz und zur Anpassung sich gegenseitig ausschließen, in Konkurrenz stehen oder sich nachteilig beeinflussen. Von einer Klimaschutzmaßnahme ausgehende Synergien [Konflikte] können dadurch entstehen, dass die Wirksamkeit, Umsetzbarkeit oder Kosteneffizienz einer Anpassungsmaßnahme verbessert [verschlechtert] wird.

Kategorie	Definition und Erläuterung
Co-Benefits / Trade-offs Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele	Co-Benefits [Trade-offs] sind vorteilhafte (positive) und nachteilige (negative) Auswirkungen von Klimaschutzmaßnahmen auf Ziele anderer städtischer umwelt- und nachhaltigkeitsbezogener Handlungsfelder. Die Konzeptualisierung von "Co-Benefits" und "Trade-offs" folgt den Definitionen für die Klimaanpassung. Co-Benefits [Trade-offs] entstehen, wenn durch positive [negative] Effekte von THG-Minderungsmaßnahmen sich der Gesamtnutzen für den betreffenden Umweltbereich oder sozialen Bereich erhöht [sich der Nettotonnen für Umwelt oder Gesellschaft verringert]. Die Betrachtung fokussiert auf Auswirkungen von THG-Minderungsmaßnahmen auf die übergeordneten Ziele und Interessen von städtischem Umweltschutz und nachhaltigem Ressourcenmanagement in Bezug auf die Schutzgüter Biodiversität, Boden, Luftqualität und Wasser sowie auf menschliche Gesundheit, Lebensqualität und weitere soziale Nachhaltigkeitsaspekte.

Definitionen der Kategorien von Wirkungszusammenhängen mit dem Klimaschutz und Erläuterungen, wie sie für die Erfassung, qualitative Analyse und Bewertung von Wechselwirkungen angewendet wurden.

5.3.2.3 Kategorisierung von städtischen Klimamaßnahmen

5.3.2.3.1 Entwicklung des Kategoriensystems für Klimaschutz und Klimaanpassung

Um Wirkungszusammenhänge von städtischem Klimaschutz mit der Klimaanpassung sowie mit anderen Zielen einer nachhaltigen Stadtentwicklung identifizieren, qualitativ analysieren, beschreiben und nach ihrer Relevanz für städtische Klimaschutzpolitik abschätzen zu können, war es erforderlich, von abgrenzbaren Handlungsstrategien und Maßnahmenbündeln städtischen Klimahandelns auszugehen, die als Quelle oder Rezeptor von Wechselwirkungen fungieren. Hierzu mussten generalisierte Kategoriensysteme von Maßnahmen im Sinne hierarchisch strukturierter Maßnahmenkataloge (Portfolios, Typologie, Taxonomie) entwickelt werden. Dies hat mehrfache Gründe: i) ein ergebnisbasierter Analyseansatz ist gleichzeitig ein maßnahmenzentrierter Ansatz, der auf plausiblen Annahmen zu Wirkungslogiken von unterschiedlichen Klimamaßnahmen beruht (vgl. Kapitel 5.3.1 und Kapitel 5.3.4); ii) die angewendete Definition von Co-Benefits und Trade-offs sowie von Synergien und Konflikten geht von Maßnahmen zur THG-Minderung aus (vgl. Kapitel 5.3.2.2); iii) die Definition von Synergien und Konflikten bezieht sich auf Wechselwirkungen mit konkreten Anpassungsmaßnahmen (vgl. Kapitel 5.3.2.2); iv) die Maßnahmenkategorien dienen als Eingangsgrößen und analytische Kategorien im verwendeten Analyse- und Bewertungstool (vgl. Kap. 5.3.3 und Anhang F).

Die Entwicklung der Maßnahmenkataloge ging von den vorgegebenen Handlungsfeldern einer klimaorientierten Stadtentwicklung des Projekts sowie von den wesentlichen stadtrelevanten Klimafolgenbereichen aus. Die Konstruktion des Kategoriensystems erfolgte auf Basis von typischen Maßnahmenportfolios in klimapolitischen Strategien und Aktionsplänen auf nationaler, regionaler und insbesondere städtischer Ebene. Hierzu wurden neben exemplarischen Politikdokumenten (ausgewählte nationale und städtische Aktionspläne zur Anpassung) auch vergleichende metaanalytische Studien (z.B. EEA 2020a; EEA 2021; EU-Projekte BASE, RAMSES, RESIN; Kallaos et al, 2015), Leitfäden und Handbücher für die Entwicklung städtischer Aktionspläne und Maßnahmenprogramme (z.B. Prutsch et al. 2014; C40 Cities 2020a, 2020b) sowie Online-Datenbanken von Maßnahmen für die städtische Klimawandelanpassung (z.B. BBSR Stadtklimalotse, Future Cities Adaptation Compass, Climate-ADAPT, RESIN Adaptation Library) herangezogen.

Bei der Bildung der Kategorien wurde sowohl induktiv (von kompletten Portfolios konkreter Maßnahmen nach „oben“ aggregierend) als auch deduktiv (von übergeordneten Kategorien ausgehend nach „unten“) vorgegangen und im Gegenstromprinzip abgeglichen. Im Zuge der Literaturlauswertung und Durchführung des Mappings wurden einzelne Kategorien angepasst, nachgeschärft und ergänzt.

Das Kategoriensystem zum Klimaschutz ist nach den vorrangigen Handlungsfeldern des Projekts gegliedert. Es ist jedoch umfassender, weil es im vorliegenden Arbeitspaket AP4 für ein Screening und eine Bestandsaufnahme von relevanten Wechselwirkungen eingesetzt werden sollte, während die in Arbeitspaket AP2 definierten Maßnahmen je Handlungsfeld zu dem Zweck ausgewählt wurden, das jeweilige THG-Reduktionspotenzial quantitativ zu untersuchen. Unabhängig davon sind die im Projekt quantifizierten THG-Minderungsansätze vollständig in das nachstehende Kategoriensystem integriert. Als zusätzliches Handlungsfeld wurden städtische Energieinfrastrukturen mit aufgenommen, weil die Dekarbonisierung des Energiesektors für die Entwicklung klimaneutraler Städte entscheidend sein wird und vielfältige Wechselwirkungen mit der Anpassung möglich und belegt sind.

Im Sinne der Klassifikation von Anpassungsmaßnahmen des IPCC liegt der Fokus gezielt auf „grauen“ (baulich, technisch, strukturell, technologisch), „grünen/blauen“ (naturbasiert, ökosystembasiert) und „hybriden“ Maßnahmen. Der Schwerpunkt liegt somit auf materiellen, physischen, biophysikalisch wirksamen und letztlich konkret in einer Stadt zu verortenden Maßnahmen, einschließlich – wo relevant - deren unmittelbaren planerischen Voraussetzungen. „Weiche“ Maßnahmen, die in den meisten klimapolitischen Strategien und Aktionsplänen einen deutlich überwiegenden Anteil einnehmen, wurden weitestgehend ausgeklammert. Damit wurden ausschließlich regulative, informationelle, bewusstseinsbildende, verhaltensbezogene, governance- und prozessorientierte, auf Anreizen beruhende oder ökonomische (z.B. versicherungswirtschaftliche) Instrumente und Maßnahmen nicht explizit in das Kategoriensystem aufgenommen. Gründe hierfür sind unter anderem: i) bewusste Abgrenzung des Untersuchungsrahmens zwischen Maßnahmen einerseits und (politischen, regulativen) Instrumenten andererseits; ii) „weiche“, befähigende oder ermöglichende Maßnahmen, die auf die Erhöhung der Reaktionsfähigkeit (*response capacity*) ausgerichtet sind, sind emissionsfrei und stehen somit diesbezüglich in keinem unmittelbaren Zielkonflikt mit dem Klimaschutz; iii) der Potenzialcharakter von Wechselwirkungen „weicher“ Maßnahmen ist um ein Vielfaches größer und hypothetischer als im Falle von physischen Maßnahmen; iv) eine ergebnisbasierte Analyse von Wechselwirkungen erfordert möglichst konkrete Maßnahmen, deren Wirkungen ex-ante eingeschätzt werden können, während die Untersuchung von Konflikten und Synergien weicher Maßnahmen andere – z.B. prozessbasierte, politikwissenschaftliche, etc. - methodische Ansätze erfordern würde.

Bei der Anpassung wurde der Eingangspfad über die relevantesten städtischen Klimafolgenbereiche gewählt, d.h. Hitze, Trockenheit, Überflutungen (fluviatil, pluvial, Küsten), und (andere) Extremwetter- und Naturgefahrenereignisse. Es sind andere Einstiegspunkte in die Kategorisierung denkbar, aber der Zugang über *Climate Impacts* folgt der vorherrschenden Denklogik der Anpassungs-Community und der Struktur der meisten Anpassungspläne.

In den nachfolgenden Kapiteln 5.3.2.3.2 und 5.3.2.3.3 werden die entwickelten und angewendeten Kategoriensysteme von urbanen Klimamaßnahmen dargestellt.

5.3.2.3.2 Portfolio von Handlungsfeldern, Strategien und Maßnahmen des städtischen Klimaschutzes

Die hierarchische Gliederung des Maßnahmenportfolios für den Klimaschutz umfasst die folgenden Gliederungsebenen: i) Handlungsfelder, ii) Handlungsstrategien, iii) Maßnahmencluster und iv) konkrete exemplarische Maßnahmen.

1. Nachhaltiges Bauen (Sanieren, Neubau)

1.1. Nachhaltige, klimagerechte Baustoffe

- Biobasierte Materialien (nachwachsende Rohstoffe)
- Regionale mineralische bzw. geogene Rohstoffe

1.2. Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)

- Nachhaltige Sanierung (Modernisierung, Retrofitting) von Gebäuden
 - Passives Gebäudedesign
 - Aktives Gebäudedesign
 - Gebäudebegrünung (Gründächer, Fassadenbegrünung)
 - Wärmedämmung
 - Roof Ponds
 - Cool Roofs (kühle Dächer)
 - Kühlende Materialien und Oberflächen (Gebäude, Oberflächenbeläge)
 - Trombewände (Kombination aus Kollektor- und Speicherwand zur passiven Nutzung von Sonnenenergie)
- Nachhaltiger Neubau von Gebäuden
 - *Maßnahmen wie bei Sanierung*

1.3. Kreislaufwirtschaftliches Bauen

- Errichtung von Gebäuden, Baustellenbetrieb und -organisation, Instandhaltung, Sanierung, Abbruch und Recycling

2. Urbane Verdichtung (Bauliche Verdichtung und Nachverdichtung in bestehenden städtischen Strukturen)

Horizontale Verdichtung

- Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung
- Schließen von Baulücken
- Baulandreservenmanagement (aktive Bodenpolitik, Widmungsbefristung, Baulandmobilisierung, Rückwidmung, Baulandumlegung)
- Brachflächenrecycling (Flächenkreislaufwirtschaft)
- Leerstandsaktivierung
- Erhöhung der Nutzungsdichte im Gebäudebestand (Mehrfachnutzung, Nutzungen mit reduziertem Raumbedarf, Aktivierung von Teil-Leerständen)

2.2. Vertikale Verdichtung

- Neubau und Sanierung mit größeren Gebäudehöhen
- Aufstockung
- Dachbodenausbau, Kellernutzung

2.3. Qualitätsvoll verdichtete, energieoptimierte, klimafreundliche Quartiers- und Bebauungsstrukturen

- Sanierung, Umbau, Neuentwicklung von Quartieren
 - Großvolumige (offene) Blockbebauung
 - Blockrandbebauung
 - Gekoppelte Bauweisen
 - Dichte, mehrgeschossige Mehrfamilienhäuser
- Polyzentrische, funktionsgemischte Strukturen mit kurzen Wegen

3. Nachhaltige, klimagerechte urbane Verkehrssysteme

Transitorientierte Entwicklung (an öffentlichem Nahverkehr, fußläufigen Erreichbarkeiten, Nutzungsmischung, Einschränkung des motorisierten Individualverkehrs und qualitativ hochwertigen, öffentlichen Grün- und Freiflächen ausgerichtete Stadtentwicklung)

- Quartiersumbau zu „grünen“, transitorientierten Bestandsquartieren (z.B. Superblock, Green District)
- „Grüne“, transitorientierte Neuquartiere
- „Grüne“, fußgängerfreundliche Straßen und Achsen

3.2. Klimaaoptimierte Multi-Modalität

- Ausbau und Attraktivierung der öffentlichen Verkehrsinfrastruktur und Mobilität
- Ausbau und Attraktivierung der Infrastruktur für bewegungsaktive Mobilität (Radverkehr, Fußgänger)
- Preisgestaltung für öffentliches Verkehrssystem
- Regulative und fiskalische Einschränkung für motorisierten Individualverkehr (z.B. Verbot älterer Fahrzeugmodelle, Besteuerung von Kraftfahrzeugen und Treibstoffen)

4. Nachhaltige, klimaneutrale Energieinfrastrukturen

4.1. Zentrale Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen

- Substitution fossiler Energieträger
- Fernwärme- und Fernkühlenetze
- Elektrifizierung urbaner Energiesysteme mit erneuerbaren Energiequellen

4.2. Dezentrale erneuerbare Energieversorgungssysteme

- Lokale, nicht-fossile Energieerzeugung, -einspeisung und -versorgung
 - PV-/ Solaranlagen (auf Gebäuden, Baukörpern, Parkplätzen, städtischen Brachflächen)
 - Geothermie, Tiefenwärmepumpen
 - Nutzung von Abwasserwärmepotenzialen
- Sicherung und Nutzung von Flächenpotenzialen für erneuerbare Energieerzeugung
- Elektrifizierung urbaner Energiesysteme mit erneuerbaren Energiequellen

4.3. Senkung von Energieverbrauch und Lastspitzen und Erhöhung der Energieeffizienz

- Gebäudebegrünung (Dächer, Fassaden)

- Energieoptimiertes Gebäudedesign und städtisches Design
 - Senkung des Energieverbrauchs und Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden
 - Verbesserung der Energieeffizienz der Wasserversorgung
 - Verbesserung der Energieeffizienz von Kühlsystemen
- 4.4. Erhöhung der Versorgungssicherheit und Energieflexibilität
- Diversifizierung erneuerbarer Energiequellen
 - Energiespeicherung (zentral, dezentral)
 - Klimaresilienter Ausbau erneuerbarer Energieinfrastrukturen (Standort- und Trassensicherheit)

Der Maßnahmenkatalog in der oben vorgestellten mehrstufigen Gliederungstiefe diene in erster Linie als Hilfswerkzeug und kognitive Stütze bei der Durchführung des Screenings von Wechselwirkungen. Im Excel-Tool, das für Mapping, Analyse und Bewertung der Wirkungszusammenhänge entwickelt wurde (siehe Kapitel 5.3.3 und Anhang F), wurden aus praktischen Gründen in erster Linie die Kategorien der obersten zwei Hierarchieebenen aufgenommen. Diese konnten jedoch durch das Bearbeiterteam bei Bedarf weiter konkretisiert und verfeinert werden. Nachstehende Tabelle 7 zeigt die zur Strukturierung des Tools verwendeten Kategorien.

Tabelle 7: Klimaschutz: Handlungsfelder und strategische Maßnahmenbündel

Code	Handlungsfelder, strategische Maßnahmenbündel
1	Nachhaltiges Bauen (Sanieren, Neubau)
1.1	Nachhaltige, klimagerechte Baustoffe
1.2	Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)
1.3	Kreislaufwirtschaftliches Bauen
2	Urbane Verdichtung
2.1	Horizontale Verdichtung
2.2	Vertikale Verdichtung
2.3	Qualitätsvoll verdichtete, energieoptimierte, klimafreundliche Quartiers- und Bebauungsstrukturen
3	Nachhaltige, klimagerechte urbane Verkehrssysteme
3.1	Transitorientierte Entwicklung
3.2	Klimaoptimierte Multi-Modalität
4	Nachhaltige, klimaneutrale Energieinfrastrukturen
4.1	Zentrale Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen
4.2	Dezentrale erneuerbare Energieversorgungssysteme
4.3	Senkung von Energieverbrauch und Erhöhung der Energieeffizienz

Code	Handlungsfelder, strategische Maßnahmenbündel
4.4	Erhöhung der Versorgungssicherheit und Energieflexibilität

Hierarchisch organisierte Handlungsfelder und Handlungsstrategien (Maßnahmencluster) des urbanen Klimaschutzes, die zur Strukturierung und als Eingangsgrößen in das Analyse- und Bewertungstool dienen.

5.3.2.3.3 Portfolio von Anpassungszielen, Handlungsstrategien und Maßnahmenbündeln der städtischen Klimaanpassung

Auf der obersten Ebene wurde das städtische Politikfeld der Klimawandelanpassung in thematische Klimafolgenbereiche nach den gemäß der internationalen Literatur relevantesten *Climate Impacts/Hazards* auf urbane Systeme untergliedert (Dodman et al. 2022; EEA 2020a). Die Klimafolgenbereiche korrespondieren mit übergeordneten Anpassungszielen (z.B. Anpassung an Hitze). Die Anpassungsbereiche entsprechen denjenigen, die als Eingangspfad auf Seiten der Anpassung im Analyse- und Bewertungstool verwendet wurden. Erfassung und Analyse der Co-Benefits und Trade-offs für die Klimaanpassung erfolgen primär nach den Kategorien der Klimafolgenbereiche bzw. Anpassungsziele.

Klimafolgenbereiche bzw. Anpassungsziele:

- i. **Hitze**
(Urbane Überhitzung, Urban Heat Island – UHI-Effekt, abnehmende nächtliche Abkühlung, steigende Durchschnittstemperaturen, unmittelbar erwärmungs- und hitzegetriebene Auswirkungen, wie Verbreitung mancher invasiver Neobiota und Krankheitserreger)
- ii. **Hochwasser, Starkniederschläge, Überflutungen an Küsten**
(Überflutung – fluvial, pluvial, an Küsten; Starkniederschlag, urban flash floods, Oberflächenabfluss und Hangwasser; Meeresspiegelanstieg, Sturmfluten, Küstenerosion)
- iii. **Trockenheit, Wasserknappheit**
(Wasserangebot, Wasserverbrauch)
- iv. **Sonstige Extremwetter- und Naturgefahrenereignisse**
[Sturm, Hagel, Gewitter/Blitz, Schnee- und Eislast, gravitative Naturgefahren – Hangrutschungen, Muren, Bergsturz; Waldbrand]
- v. **Übergreifend, übergeordnet**
(mehrere Klimafolgenbereiche gleichzeitig betreffend; die generische Anpassungskapazität oder Resilienz betreffend)

Die nachstehende Liste zeigt das Maßnahmenportfolio für die städtische Klimaanpassung in dreistufiger hierarchischer Gliederung: i) Klimafolgenbereiche / Anpassungsziele, ii) Handlungsstrategien und iii) Maßnahmenbündel:

A) Anpassung an Hitze

- A1) Grüne und blaue urbane Infrastruktur (flächenhaft, linear)
 - Städtische Grünräume und Vegetationselemente: Sicherung und Aufwertung bestehender Vegetationsflächen; Erhöhung des städtischen Durchgrünungsgrads, Grünflächenanteils und –volumens
 - Erhöhung des Anteils an Wasserflächen

- Frischluftschneisen und -korridore, Luftleitbahnen, Grünzüge
 - Erhaltung und Schaffung klimaaktiver, unversiegelter Flächen im Stadtraum (inkl. Entsiegelung)
 - Anpassung des urbanen Grünraummanagements
- A2) Begrünung von Gebäuden (Dächer, Fassaden)
- Dachbegrünung, Dachgärten
 - Fassadenbegrünung, grüne Wände
 - Begrünung von sonstigen Gebäudeteilen und Baukörpern (Balkone/Terrassen, Car-Ports, Mauern, Zäune, Lauben an versiegelten Verkehrsflächen)
- A3) Kühlende Materialien und Oberflächen (erhöhte Albedo, verringerte Wärmespeicherung, erhöhte Wärmeabstrahlung)
- Aufhellen von Oberflächen an Gebäuden (Dächer, Fassaden), „weiße Stadt“
 - Entsiegelung und Aufhellen von Oberflächenbelägen von Gehsteigen, Straßen, Plätzen
 - Sommertaugliche Gebäudedämmung (Materialien mit geringer Wärmespeicherung, geringen solaren Wärmeeinträgen ins Gebäude und reduzierter Wärmeabgabe bei guter Wärmeabstrahlung nach außen)
 - Reduktion des Glasanteils (ohne außenliegende Verschattung) an Fassaden
- A4) Verschattung von Gebäuden und städtischen Außenräumen (passiv, aktiv)
- Aktive Verschattung durch technische Sonnenschutzvorrichtungen mit reflektierenden Oberflächen (wohnungs-, gebäude- und flächenbezogen)
 - Passive Verschattung durch Baum- und Strauchbepflanzung
 - Nutzung von PV-Anlagen auf Gebäuden und städtischen Flächen (Fahrzeug-Abstellflächen, Wartezonen, Gehwege, Plätze) zur Beschattung
 - Anordnung der Bebauung (Gebäudehöhen, Gebäudeausrichtung) zur Optimierung der Schattenwirkung
- A5) Klimatisch optimierte Konfiguration der Bebauung (passives Design)
- Lage und Exposition von Baukörpern, Gebäudeausrichtung, Dach-, Fenster- und Fassadenorientierung
 - Maßvolle horizontale bauliche Verdichtung, Reduktion der Bebauungsdichte, vertikale Verdichtung, Gebäudehöhen/Bauklassen
 - Orientierung von Straßenzügen
 - Anpassung Baufluchtlinien und Breite der Aufschließungsstraßen
- A6) Passive Kühlung und alternative (energieeffiziente und klimaneutrale) aktive Kühlung von Gebäuden (thermischer Innenkomfort)
- Reduktion von inneren Wärmelasten (effiziente Geräte und deren Betrieb)
 - Reduktion von außeninduzierten Wärmelasten (verstärkte Verschattung der Fassade und besonders der transparenten Flächen der Gebäudehülle, Reduktion der gebäudenahen mikroklimatischen Umgebungstemperatur, kein Abwärme-

Kurzschluss z.B. von Klimageräten oder der Gebäude-Abluft, Reduktion externer Wärmequellen)

- Natürliche Lüftungssysteme mit freier Konvektion bzw. Komfortlüftungen mit passiver Kühlung mit Außenluft (z.B. Nachtkühlung), kühler Fortluft oder Vorkühlung der Zuluft durch Wärmesenken im Gebäude (Fundamente, Keller, nordseitige Räume/Anbauten)
- Nutzung von externen Wärmesenken (Erdreich via „Luftbrunnen“, Erdkeller/Stollen, geothermische Kühlung, Grundwasser, Oberflächengewässer)
- Alternative aktive Kühltechnologien: nachhaltig bereitgestellte Fernkälte, Einsatz von Kältespeichern, solar oder mit anderen erneuerbaren Energieträgern betriebene Kältemaschinen
- Thermische Bauteilaktivierung von Gebäudemassen in Verbindung mit passiver Kühlung und alternativen aktiven Kühltechnologien

A7) Maßnahmen zur Hitzeresilienz des Verkehrssystems

- Sicherstellung des thermischen Komforts öffentlicher Verkehrsmittel und -anlagen, z.B. durch passive und klimaneutrale aktive Kühlung von Verkehrsmitteln und Fahrgastanlagen (z.B. kühle Wartezonen und Verkehrsflächen für Fußwege)
- Anpassung der technischen Verkehrsinfrastruktur (Materialien, Oberflächenbeläge) an höhere thermische Belastungen und Temperaturschwankungen

A8) Maßnahmen zur Hitzeresilienz der sonstigen technischen und baulichen Infrastruktur

B) Anpassung an Hochwasser und Überflutungen (fluvial, pluvial, Meeresküsten)

B1) Schutzinfrastruktur: technischer (aktiver) Hochwasser- und Küstenschutz

- Schutzinfrastruktur zum Schutz gegen Flusshochwasser: Technische/strukturelle/bauliche Schutzmaßnahmen (Herstellung, Instandhaltung, Ertüchtigung)
- Schutzinfrastruktur zum Schutz gegen Meeresspiegelanstieg, Sturmfluten, Küstenerosion: Technische/strukturelle/bauliche Schutz- und Abwehrmaßnahmen (Herstellung, Instandhaltung, Ertüchtigung)

B2) Hochwasserangepasste Bauweisen und technischer Objektschutz

- Objektschutz: Technische und bauliche Sicherungsmaßnahmen zum Schutz von Gebäuden, Liegenschaften, technischen Infrastruktureinrichtungen
- Hochwasserangepasste Bauweisen: Aufständigung von Gebäuden, amphibische Häuser, schwimmende Gebäude
- Differenzierung der räumlichen Zuordnung von baulichen Nutzungen in risikoexponierten Zonen und Restrisikobereichen nach dem Schadensrisiko (risikobasierte Flächenwidmung und Bebauungsplanung)

B3) Passiver Hochwasser- und Küstenschutz durch planerische und naturbasierte Maßnahmen

- Freihalten überflutungsgefährdeter Lagen von baulicher Entwicklung: präventive (regionale und örtliche) Raumplanung und Landnutzungsplanung, Beschränkung und Lenkung von Stadterweiterung und -wachstum

- Naturbasierter Hochwasser- und Küstenschutz: Freihaltung natürlicher Hochwasserabfluss- und Rückhalteräume (auch im Rahmen interkommunaler Kooperation), Renaturierung von Flussräumen, Ermöglichen natürlicher flussdynamischer Prozesse, Erhaltung und Wiederherstellung natürlicher Küstenökosysteme (Marschen, Feuchtgebiete, Mangrovenwälder, Dünengebiete, etc.), Sandanreicherung (*beach nourishment*), Absiedelung (Verlegung stark gefährdeter und hochwertiger Nutzungen)
 - Angepasstes Landnutzungsmanagement in Einzugsgebieten und an Flussoberläufen
- B4) Naturbasiertes dezentrales städtisches Regenwassermanagement („Sustainable urban drainage systems“) zum Schutz vor pluvialen Überflutungen
- Naturnahe Versickerungs-, Rückhalte- und Entwässerungsflächen
 - Freihalten von Abflussbahnen für Oberflächen- und Hangwasser
 - Entsiegelung, Teilentsiegelung, Erhaltung und Schaffung versickerungsfähiger städtischer Oberflächen
 - „Schwammstadt“ bzw. Bodenverbesserung hinsichtlich Wasserspeicherkapazität
 - Gründächer und Dachgärten, Fassadenbegrünung
- B5) Anpassung der städtischen Wasserentsorgungsinfrastruktur
- Entkoppelung der städtischen Abwasserinfrastruktur von der Niederschlagsentwässerung
 - Erhöhung der Kapazität (Redimensionierung, Ertüchtigung) von Abwasserinfrastruktur, Kanalisationssystemen und Kläranlagen
 - Anlagen zur Sammlung und Speicherung von Regenwasser

C) Anpassung an Trockenheit und Wasserknappheit

- C1) Angebotsseitiges Management von Wasserressourcen
- Schutz von Grundwasservorkommen und Förderung der Grundwasserneubildung (Wasserschutzgebiete, regulative Schutzregime, versickerungsfähige innerstädtische Flächen)
 - Erschließung neuer Wasservorkommen und alternativer Wassergewinnungsgebiete, Redundanzen bei Rohwasserquellen zur Resilienzerhöhung
 - (Temporäre) Erhöhung der Frischwasserproduktion durch verstärkte Entnahme, Wasseraufbereitung und Entsalzung von Meerwasser
 - Einrichtung von regionalen Wasserverbundsystemen (interkommunale Streuung und Reduktion von Wasserversorgungsrisiken, Ausgleich von lokalen Versorgungsengpässen)
- C2) Steigerung der Effizienz von städtischen Wassernutzungen
- Reduktion von Leitungsverlusten (Monitoring von Wasserströmen, Leckagenmanagement, Instandhaltung und Sanierung des Leitungssystems)

- Technologien zur sparsamen Wassernutzung (individuelle Messgeräte, technische Effizienzsteigerung bei Haushaltsgeräten, industriellen Prozessen, betrieblichen Nutzungen, etc.)
- Aufbereitung und Wiedernutzung von Grauwasser (auf Haushalts-, Quartiers- oder städtischer Ebene)
- Dezentrale Bereitstellungsalternativen (Notbrunnen)
- Optimierung und Versorgungspläne für Großverbraucher (Landwirtschaft, Industrie, Kraftwerke)
- Anpassung des städtischen Grünraum- und Bewässerungsmanagements
- Anlegen und Erhöhung von Speicherkapazitäten (Vorsorge für Versorgungsengpässe, Brandbekämpfung, etc.)
- Frühwarnsysteme für Wasserknappheit, gekoppelt mit Verbrauchseinschränkungen

C3) Regenwassermanagement und Regenwassernutzung

- Sammlung von Regenwasser („Rainwater Harvesting“) für Brauchwassernutzung
- Naturbasierte dezentrale Regenwassermanagementsysteme
- Unterstützung von Versickerung und Grundwasserneubildung
- Erhöhung der unterirdischen Wasserspeicherkapazität („Schwammstadt-Prinzip“): Erweiterung des Wurzelraums von Stadtbäumen und Einbringen von speicherfähigem Bodensubstrat

D) Anpassung an Extremwettereinflüsse und klimabedingte Extrem- und Naturgefahrenereignisse

D1) Bauliche Maßnahmen zur Erhöhung der Resistenz von Gebäuden und Infrastrukturanlagen gegen Extremwetterereignisse (Sturm, Hagel, Blitz, Schnee- und Eislast, gravitative Naturgefahrenprozesse)

- Anpassung von Bauausführung, Bauteilen (insb. der Gebäudehülle), Anbauten (wie PV- und Solaranlagen, Verschattungseinrichtungen) und Baumaterialien an erhöhte physikalische Beanspruchungen (wie Windlasten, Hagel)
- Verstärkte Prüfung und Ertüchtigung der Standortsicherheit von Gebäuden und Infrastrukturanlagen gegenüber gravitativen Naturgefahrenprozessen (Rutschungen, Setzungen, Steinschlag, Felssturz)

D2) Erhöhung der Resilienz der Energie- und Verkehrsinfrastruktur

- Störungstolerantes Design von Infrastrukturnetzen, z.B. durch Redundanzen, kleinteilige, dezentrale Strukturen, Erdverkabelung von Stromleitungen
- Klimafolgenprüfung bei Standort- und Trassenfindung für Infrastruktur
- Standortsicherung und technische Ertüchtigung von Infrastruktureinrichtungen und -anlagen
- Verstärkung von Kapazitäten und Anpassung von Routinen zur Überwachung, Instandhaltung und Instandsetzung von Verkehrswegen und Einrichtungen der Energieinfrastruktur

D3) Management des Risikos von Wald- und Flächenbränden

- Entwicklung kompakter, gut nach außen abgegrenzter Siedlungsstrukturen mit geringer Verzahnung von Siedlungen mit dem Umland (Wildlife-Urban-Interface)
- Anpassung des städtischen Vegetationsmanagements, von Überwachung und Einsatzplanungen an erhöhtes Brandrisiko während Trockenperioden
- Maßnahmen zur Verringerung der Brandlast im Stadtumland durch Anpassung land- und forstwirtschaftlicher Praktiken
- Brandschutzschneisen
- Ausbau von Einsatz- und Reaktionskapazitäten zur Bekämpfung von Bränden, wie Wasserspeicher, Infrastruktur für Löschwasser, angepasste Personal – und Einsatzplanung

Auch im Fall der Klimaanpassung wurde im Excel-basierten Tool (siehe Kapitel 5.3.3 und Anhang F) primär mit den höherrangigen Kategorien bis zur zweiten Hierarchieebene der Handlungsstrategien (strategische Maßnahmenbündel) gearbeitet.

Tabelle 8: Klimaanpassung: Handlungsfelder (Klimafolgenbereiche, Anpassungsziele) und strategische Maßnahmenbündel

Code	Handlungsfelder, strategische Maßnahmenbündel
A	Anpassung an Hitze: Reduktion des urbanen Wärmeinseleffekts und von Hitzestress, Verbesserung des thermischen Komforts
A1	Grüne und blaue urbane Infrastruktur (flächenhaft, linear)
A2	Begrünung von Gebäuden (Dächer, Fassaden)
A3	Kühlende Materialien und Oberflächen
A4	Verschattung von Gebäuden und städtischen Außenräumen (passiv, aktiv)
A5	Klimatisch optimierte Konfiguration der Bebauung (passives urbanes Design)
A6	Passive Kühlung und alternative (energieeffiziente und klimaneutrale) aktive Kühlung von Gebäuden (thermischer Innenkomfort)
A7	Maßnahmen zur Hitzeresilienz des Verkehrssystems
A8	Maßnahmen zur Hitzeresilienz der sonstigen technischen und baulichen Infrastruktur
B	Anpassung an Hochwasser und Überflutungen (fluvial, pluvial, Meeresküsten)
B1	Schutzinfrastruktur: technischer Hochwasser- und Küstenschutz (aktiv)
B2	Hochwasserangepasste Bauweisen und technischer Objektschutz
B3	Hochwasser- und Küstenschutz durch planerische und naturbasierte Maßnahmen (passiv)
B4	Naturbasiertes dezentrales städtisches Regenwassermanagement
B5	Anpassung der städtischen Wasserentsorgungsinfrastruktur
C	Anpassung an Trockenheit und Wasserknappheit
C1	Angebotsseitiges Management von Wasserressourcen
C2	Steigerung der Effizienz von städtischen Wassernutzungen

Code	Handlungsfelder, strategische Maßnahmenbündel
C3	Regenwassermanagement und Regenwassernutzung
D	Anpassung an Extremwettereinflüsse und klimabedingte Extrem- und Naturgefahrenereignisse
D1	Bauliche Maßnahmen zur Erhöhung der Resistenz von Gebäuden und Infrastrukturanlagen gegen Extremwetterereignisse (Sturm, Hagel, Blitz, Schnee- und Eislast, gravitative Naturgefahren)
D2	Erhöhung der Resilienz der Energie- und Verkehrsinfrastruktur
D3	Management des Risikos von Wald- und Flächenbränden

Hierarchisch organisierte Handlungsfelder und Handlungsstrategien (Maßnahmencluster), die im Rahmen des Analyse- und Bewertungstools zur Identifizierung und Bewertung von Konflikt- und Synergiepotenzialen mit Handlungsoptionen der Klimaanpassung verwendet wurden.

Darüber hinaus wurden verfeinerte taxative Listen konkreter Maßnahmen als weitere Arbeitshilfe bei der Durchführung von Mapping und Analyse sowie im Rahmen von Workshops innerhalb des Konsortiums verwendet (siehe Kapitel 5.3.6). Tabelle 9 zeigt beispielhaft das verfeinerte Maßnahmenportfolio für den Anpassungs-Maßnahmencluster „Grüne und blaue Infrastruktur“.

Tabelle 9: Verfeinertes Portfolio von Maßnahmen für die Anpassungsstrategie „Grüne und blaue urbane Infrastruktur“

Code	Maßnahmenbündel und Maßnahmenoptionen für die Handlungsstrategie „Grüne und blaue urbane Infrastruktur“ (Anpassung an Hitze)
A1	Grüne und blaue urbane Infrastruktur (flächenhaft, linear) zur urbanen Anpassung an Hitze
A1.1	Städtische Grünräume und Vegetationselemente: Sicherung und Aufwertung bestehender Vegetationsflächen; Erhöhung des städtischen Durchgrünungsgrads, Grünflächenanteils und -volumens
	Sicherung und Aufwertung von Grünflächen im Bauland
	Neuanlage von Parks und anderen Grünflächen
	Straßenbegleitgrün (Alleen, Einzelbäume, Strauchreihen, Rasenflächen)
	Bauliche Maßnahmen zur Erhöhung des Wurzelraumes und der unterirdischen Wasserspeicherkapazität („Schwammstadtprinzip“)
	Zulassen und Fördern von Spontanbegrünung
	(Temporäre) Begrünung von städtebaulichen Brachflächen
	Umwidmung von ungenutztem Bauland in Grünland (Bodenbilanz)
	Mobile Grünelemente im öffentlichen Raum
A1.2	Erhöhung des Anteils an Wasserflächen
	Erhaltung und Aufwertung bestehender offener Wasserkörper und -flächen
	Anlage von Wasser-, Versickerungs- und Verdunstungsflächen
	Freilegen verrohrter Gewässer
	Schaffung von Wasserinstallationen (Springbrunnen, Wasserspender, ...)

Code	Maßnahmenbündel und Maßnahmenoptionen für die Handlungsstrategie „Grüne und blaue urbane Infrastruktur“ (Anpassung an Hitze)
A1.3	Wasserversprühung, Befeuchtung von Oberflächen und Außenräumen
	Kaltluftproduktionsräume, Frischluftkorridore, Kaltluftleitbahnen, Grünzüge
	Gewässerbegleitende Grünräume
	Grün- und Freiraumvernetzung zur Frischluftzufuhr
	Freihaltung von Hängen von hangparalleler Riegelbebauung
A1.4	Funktionale Anbindung der Stadt an Kaltluftproduktionsräume und Frischluftentstehungsgebiete im Stadtumland
	Erhaltung und Erweiterung von Kaltluftentstehungsgebieten im Stadtumland (Wälder, Wiesen, Felder, Gärten, etc.)
	Erhaltung und Schaffung klimaaktiver, unversiegelter Flächen im Stadtraum
	Freihalten unbefestigter und versickerungsfähiger Flächen (Partielle) Entsiegelung von Flächen

Hierarchisch organisierte Handlungsfelder und Handlungsstrategien (Maßnahmencluster), die im Rahmen des Analyse- und Bewertungstools die Identifizierung und Bewertung von Konflikt- und Synergiepotenzialen mit Handlungsoptionen der Klimaanpassung unterstützen.

5.3.3 Tool zur Erfassung, Analyse und Bewertung von Wirkungszusammenhängen

Um Wirkungszusammenhänge zwischen Klimaschutz, Klimaanpassung und weiteren Umwelt- und Nachhaltigkeitszielen innerhalb der Handlungsfelder einer klimaorientierten Stadtentwicklung auf strukturierte Weise erfassen, qualitativ analysieren, beschreiben und nach ihrer Relevanz einschätzen zu können, wurde eine MS Excel-basierte Matrix entwickelt. Diese wendet zum einen die Konzeptualisierungen und Definitionen der Kategorien von Wechselwirkungen (Co-Benefits, Trade-offs; Synergien, Konflikte) an, wie sie in Kapitel 5.3.2.2 hergeleitet und beschrieben werden. Zum anderen werden die relevanten städtischen Klimafolgenbereiche (siehe Kapitel 5.3.2.3.3), umwelt- und nachhaltigkeitsbezogenen städtischen Handlungsfelder (siehe Kap. 5.2.2.2.3) sowie die im Projekt entwickelten Kategoriensysteme von Maßnahmen zum Klimaschutz und zur Klimaanpassung verwendet, die in Kap. 5.3.2.3 dargestellt sind.

Das Analyse- und Bewertungstool ermöglicht es, Befunde aus der wissenschaftlichen Literatur systematisch zu erfassen und mit dem gebündelten Expertenwissen des Konsortiums und dessen expertenbasierten Einschätzungen zu verknüpfen.

Die Anwendung des Tools dient folgenden wesentlichen Ziele und Aufgaben:

- Screening, Identifizierung und Bestandsaufnahme (Mapping) von Wechselwirkungen städtischer Klimaschutzmaßnahmen mit Zielen und Maßnahmen der Anpassung sowie anderer städtischer Umwelt- und Nachhaltigkeitsbereiche
- Arbeitshilfe zur Strukturierung und Unterstützung der qualitativen Analyse von Wirkungszusammenhängen

- Qualitative Bewertung von positiven (Co-Benefits) und negativen (Trade-offs) Auswirkungen von Klimaschutzmaßnahmen sowie von Synergien und Konflikten zwischen Maßnahmen zum Klimaschutz und zur Anpassung
- Identifikation der wichtigsten (d.h. häufigsten, stärksten, am besten mit Literatur belegten) positiven und negativen Auswirkungen sowie von Synergie- und Konfliktpotenzialen für jedes der Handlungsfelder einer klimaorientierten nachhaltigen Stadtentwicklung, um Ansatzpunkte und Inputs für die Entwicklung von Empfehlungen für eine integrierte klimaorientierte Stadtentwicklung ableiten zu können (siehe Kapitel 6 und Anhang E).

Das im Projekt entwickelte und eingesetzte Mapping-, Analyse- und Bewertungstool adressiert einen in der Literatur häufig festgestellten Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Der erarbeitete Analyserahmen, das Bewertungsschema und die vorliegenden Ergebnisse tragen dazu bei, Wissenslücken betreffend operationale, praxistaugliche Werkzeuge zur integrierten Bewertung der Aus- und Wechselwirkungen von Klimamaßnahmen zu schließen. Das Austrian Panel on Climate Change (APCC) hält dazu im österreichischen Sachstandsbericht Klimawandel fest: „Wenn Fehlanpassung im Sinne von Zielkonflikten mit dem Klimaschutz vermieden werden soll, so müssen Instrumente geschaffen werden, die vor Ort eine möglichst rasche Beurteilung von Maßnahmen hinsichtlich ihrer CO₂-Intensität, ihrer sozialen und Umweltwirkungen ermöglichen“ (APCC, S. 745). Der Bedarf nach Ansätzen zur integrierten Bewertung von Maßnahmen wird auch von Landauer et al. (2019) festgestellt: *„Attention needs to be paid to [...] find integrative frameworks to support the joint implementation [of mitigation and adaptation measures] in cities“* (ebd.: 760) und *„operating rules for evaluation of measures would be needed to be able to integrate adaptation with mitigation“* (ebd.: 758).

Das Tool mit Arbeitsanleitungen und Hinweisen zur Nutzung wird daher zur Weiterentwicklung und für Praxisanwendungen auf konkrete Städte und für konkrete Entscheidungssituationen in Anhang F zur Verfügung gestellt.

Das Mapping- und Analysetool ist in horizontaler Richtung nach den Handlungsfeldern einer klimaorientierten Stadtentwicklung und den zugehörigen Maßnahmenkategorien zum städtischen Klimaschutz in dreistufiger Hierarchie strukturiert. Die Klimaschutz-Maßnahmenportfolios bilden den Ausgangs- und Einstiegspunkt für die Analyse von Wirkungszusammenhängen und fungieren als oberstes Ordnungsprinzip der Matrix. Jeder unterscheidbare Wirkungszusammenhang ist einer bestimmten Klimaschutz-Maßnahme zuzuordnen. Falls notwendig und sinnvoll, können dieselben Klimaschutzmaßnahmen mittels Dropdown-Menü dupliziert oder weitere Maßnahmen durch Freitexteingabe ergänzt werden.

Rechts an die Handlungsfelder und Maßnahmencluster zum Klimaschutz schließen die Eingabebereiche der Matrix an.

Entsprechend den Projektanforderungen umfasst die Matrix drei Arbeitsbereiche für die drei unterschiedlichen Gruppen von Wechselwirkungskategorien, wobei jeder Arbeitsbereich aus zwei Arbeitsblättern mit jeweils positiven (Co-Benefits, Synergien) und negativen (Trade-offs, Konflikte) Wirkungszusammenhängen besteht und zur Beantwortung unterschiedlicher Fragestellungen dient:

1. Co-Benefits und Trade-offs von THG-Minderungsmaßnahmen mit Zielen der Klimaanpassung (Auswirkungen des Klimawandels, Anpassungsbedarf)

Sind die betrachteten städtischen Klimaschutzmaßnahmen mit dem Potenzial von Neben-/ Zusatznutzen (Co-Benefits) oder mit dem Risiko von nachteiligen Auswirkungen (Trade-offs) für die Anpassung an den Klimawandel verbunden?

Welche Co-Benefits und Trade-offs sind zu erwarten bzw. in der Literatur belegt? Wie und in welchen Klimafolgenbereichen werden Auswirkungen des Klimawandels und entsprechender Anpassungsbedarf potenziell verstärkt oder gemindert?

Wie werden die Stärke, Intensität, Häufigkeit und – daraus abgeleitet – die Relevanz dieser Wechselwirkungen von ExpertInnen und in der Literatur eingeschätzt?

2. Synergien und Konflikte von THG-Minderungsmaßnahmen mit Maßnahmen der Klimaanpassung

Zwischen welchen städtischen Maßnahmen zum Klimaschutz und zur Anpassung sind Synergien oder Konflikte möglich bzw. wahrscheinlich?

Welche Synergien und Konflikte sind zu erwarten bzw. in der Literatur dokumentiert? In welchen Handlungsfeldern der Anpassung treten sie auf, und wie sind sie charakterisiert?

Wie werden die Stärke, Intensität, Häufigkeit und – daraus abgeleitet – die Relevanz der identifizierten Konflikte und Synergien von ExpertInnen und in der Literatur eingeschätzt?

3. Co-Benefits und Trade-offs von THG-Minderungsmaßnahmen mit umweltbezogenen und sozialen Nachhaltigkeitszielen der Stadtentwicklung (Umweltschutzgüter, soziale Dimensionen)

Welche positiven und negativen Folge- und Wechselwirkungen (Co-Benefits und Trade-offs) können von städtischen Klimaschutzmaßnahmen auf städtische Umweltschutzgüter (Biodiversität, Boden, Luftqualität, Wasser), diesbezügliche Umweltziele sowie soziale Nachhaltigkeitsdimensionen (Gesundheit, Lebensqualität, soziale Gerechtigkeit) ausgehen?

Wie werden die Stärke, Intensität und – daraus abgeleitet – die Relevanz der identifizierten Wechselwirkungen von ExpertInnen und in der Literatur eingeschätzt?

Im ersten Arbeitsbereich (1) sind potenzielle Auswirkungen von THG-Minderungsmaßnahmen den unterschiedlichen Klimafolgenbereichen (Hitze, Überflutungen, etc.) zuzuordnen; die Auswahl erfolgt in der betreffenden Spalte erfolgt über dropdown-Menüs. Die Leitfrage hierbei lautet: Welcher thematische Klimafolgenbereich (Hitze, Überflutungen, etc.) bzw. welches Anpassungsziel (Anpassung an urbane Überhitzung, etc.) wird potenziell von der Klimaschutz-Maßnahme beeinflusst? In welchem Bereich wird Anpassungsbedarf verstärkt oder gemindert?

Im dritten Arbeitsbereich (3) erfolgt die Zuordnung stattdessen nach demselben Prinzip zu den städtischen Umwelt- und Nachhaltigkeitsthemen (Biodiversität, Luftqualität, etc.), um die Fragestellung zu beantworten: Welche anderen städtischen Umwelt-/Nachhaltigkeitsziele werden potenziell von der Klimaschutz-Maßnahme positiv oder negativ beeinflusst?

Im zweiten Arbeitsbereich (2) sind von einer bestimmten THG-Minderungsmaßnahme ausgehende Synergien oder Konflikte über zwei Spalten sowohl den Klimafolgenbereichen als auch korrespondierenden Maßnahmenclustern der Klimaanpassung zuzuordnen. Die Auswahl erfolgt in beiden Spalten ebenfalls über vordefinierte dropdown-Listen, wobei weitere betroffene Anpassungsmaßnahmen händisch ergänzt werden können. Als Arbeitshilfe für das Screening stehen verfeinerte Maßnahmenportfolios für die vier betrachteten Klimafolgen-bzw. Anpassungsbereiche zur Verfügung (siehe Kapitel 5.3.2.3.3). Die Leitfrage hierzu lautet: In Bezug auf welche Maßnahmenpakete der städtischen Klimaanpassung sind Synergien oder Konflikte mit konkreten Anpassungsmaßnahmen zu erwarten?

Jedes Arbeitsblatt enthält einen zentralen Eingabebereich zur qualitativ-deskriptiven Charakterisierung von konkreten Wirkungszusammenhängen. Hier sollen die Co-Benefits / Trade-offs und Synergien / Konflikte in einigen kompakten, prägnanten Sätzen möglichst

aussagekräftig und nachvollziehbar beschrieben werden. Die Formulierung sollte dabei möglichst Hinweise auf die Wirkungslogik, Wirkungsmechanismen, erwartete Effekte und, soweit möglich, betroffene Skalenebenen (Gebäude, Quartier, Gesamtstadt, Stadt-Umland) enthalten. Die Beschreibung soll die Fragestellung beantworten: Um welche Co-Benefits / Trade-offs bzw. Konflikte / Synergien handelt es sich? Warum und wie können sie entstehen (Wirkungslogik)? Wie und mit welchem möglichen Ergebnis werden Anpassungsziele bzw. Anpassungsmaßnahmen positiv oder negativ beeinflusst?

Eine Anmerkungsspalte ermöglicht zudem das Festhalten von optionalen Zusatzinformationen, die sich zum Beispiel auf relevante Kontextabhängigkeiten, Rahmenbedingungen, Einschränkungen oder Spezifizierungen beziehen können. Hier können auch empirische Befunde aus konkreten städtischen Fallbeispielen und Hinweise auf weitergehende Wirkungsketten oder Rückwirkungen auf den Klimaschutz erfasst werden.

Um Literaturquellen, Internetquellen und konkrete Fundstellen (Seitenangaben) zu dokumentieren, stehen weitere Eingabespalten zur Verfügung.

Falls das Tool im Rahmen der Entwicklung von Aktionsplänen oder Maßnahmen eingesetzt wird, sind Strategien und Ansätze zur Vermeidung oder Abschwächung von Trade-offs und Konflikten sowie zur Generierung von Co-Benefits und Synergien von besonderem Interesse. Um solche Lösungs- und Optimierungsstrategien festhalten zu können, steht eine weitere Spalte zur Verfügung. Die Leitfrage zur Befüllung dieses Eingabebereichs lautet: Welche Optionen (bestehende, erprobte, empfohlene) gibt es, um positive Auswirkungen von Klimaschutzmaßnahmen zu verstärken und negative Auswirkungen zu minimieren?

5.3.4 Untersuchungsrahmen und Voraussetzungen

Für die Einordnung und Interpretation der Ergebnisse (siehe Kapitel 5.4 und Kapitel 5.5) ist es hilfreich, die Abgrenzung des Untersuchungsrahmens sowie Einschränkungen und Voraussetzungen der durchgeführten Untersuchung von Wechselwirkungen zu verdeutlichen.

- Das Auftreten und die Ausprägung von Co-Benefits / Synergien und Trade-offs / Konflikten variieren innerhalb einer großen Bandbreite und sind sehr stark von Kontextbedingungen und Skalenebenen abhängig (Patak et al., 2022). Die Untersuchung von Wechselwirkungen erfolgt daher auf generalisierter, generischer Ebene, d.h. losgelöst und abstrahiert von konkreten Städten oder strukturellen Stadttypen und spezifischen regionalen Bezügen. Spezifische Kontextbedingungen (stadtstrukturell, wirtschaftlich, geographisch, klimatisch, etc.) und Skalenabhängigkeiten können nicht oder nur sehr eingeschränkt berücksichtigt werden. Dies ist bei einem Mapping, dass Ergebnisse gleichermaßen für Städte des globalen Südens (mit wiederum sehr unterschiedlichen Voraussetzungen) und deutsche Städte erbringen soll, auch unvermeidlich.
- Der räumliche Bezugsrahmen sind mittlere und große Städte und ihr funktionales Umland auf globaler Ebene, d.h. sowohl im globalen Norden als auch in Schwellen- und Entwicklungsländern des globalen Südens.
- Die Betrachtung von Wirkungszusammenhängen folgt einem outcome-(ergebnis-)basiertem Ansatz. Das heißt, es wird von lokal bzw. stadtreional verortbaren Handlungsstrategien und Maßnahmen physischer (baulicher, struktureller) Natur (place-based measures; graue, grüne oder hybride Maßnahmen) mit Ortsbezug sowie deren anzunehmenden Auswirkungen ausgegangen. Primär oder ausschließlich "weiche" Maßnahmen des Klimaschutzes und der Klimaanpassung - aus Kategorien wie Information,

Bewusstseinsbildung, Governance oder Politikgestaltungsprozessen - sind nicht direkt Gegenstand der Untersuchung.

- Bei den untersuchten Wechselwirkungen handelt es sich primär um Potenziale und Risiken, d.h. um mögliche positive und negative Wirkungen auf Basis begründeter Annahmen ("sekundäre Datenbasis"). Es ist davon auszugehen, dass Wirkungszusammenhänge und deren Effekte teilweise nur auf impliziter Basis identifiziert und bewertet werden können. Das heißt, auf Grundlage von hypothetischen, potenziellen sowie plausiblen wirkungslogischen Zusammenhängen. Auch die in der Literatur berichtete Evidenz ist zu einem beträchtlichen Teil implizit. Soweit explizite, empirische Befunde aus der Literatur vorliegen, sollten diese in der Beschreibung oder in der Anmerkungsspalte mit Vorrang festgehalten werden.
- Ausgangspunkt der Untersuchung von Wirkungszusammenhängen sind die projektrelevanten Handlungsfelder, Strategien und Maßnahmen zum städtischen Klimaschutz. Die Betrachtungsweise ist primär unidirektional, d.h. der Fokus liegt auf Wirkungspfaden, die vom Klimaschutz ausgehend zur Anpassung und zu anderen Umweltbereichen verlaufen. Eine systematische Analyse in umgekehrter Richtung ist im vorliegenden Projekt nicht vorgesehen. Jedoch bietet die in jedem Arbeitsblatt enthaltene Spalte zu "Anmerkungen" die Möglichkeit, optional auch Hinweise auf weitergehende Wirkungsketten oder Rückkopplungen auf den Klimaschutz festzuhalten.
- Der Untersuchungsfokus liegt auf intersektoralen Wechselwirkungen zwischen dem Klimaschutz einerseits und der Klimaanpassung bzw. anderen umweltbezogenen Sektoren andererseits. Intrasektorale Wirkungen von Klimaschutzmaßnahmen auf THG-Emissionen und andere Maßnahmen des Klimaschutzes sind kein vorrangiger Teil des Untersuchungsrahmens. In den Anmerkungsspalten jedes Arbeitsblatts können potenzielle mitigation trade-offs / co-benefits aber optional festgehalten werden, ebenso wie synergistische / konfliktäre Rückwirkungen von der Anpassung auf den Klimaschutz.

Der Fokus des Untersuchungsrahmens sowie Sachverhalte, die im vorliegenden Projekt außerhalb des Untersuchungsrahmens liegen oder nur sehr eingeschränkt bearbeitet werden konnten, werden in Tabelle 10 zusammengefasst.

Tabelle 10: Fokus und Grenzen des Untersuchungsrahmens

Fokus	Außerhalb
Lokale und stadregionale Klimaschutz-Maßnahmen, die zur Umsetzung eines konkreten Ortes bzw. Raumes bedürfen (<i>place-based measures</i>).	Primär „weiche“ Maßnahmen, z.B. auf den Ebenen von Information, Bewusstseinsbildung, Governance, ökonomischen Anreizen oder Politikgestaltungsprozessen.
Intersektorale Wechselwirkungen zwischen Klimaschutz und Anpassung sowie zwischen Klimaschutz und umweltbezogenen Sektoren.	Intrasektorale Wechselwirkungen zwischen Klimaschutzmaßnahmen untereinander.
Ausgangspunkt der Wechselwirkungsanalysen sind die im Projekt näher untersuchten Strategien und Maßnahmen zur THG-Minderung.	Ein systematisches Screening in umgekehrter Richtung, d.h. ausgehend von Maßnahmen zur Anpassung, ist im Projekt nicht vorgesehen.
Identifikation und Bewertung von Wechselwirkungen finden meistens auf impliziter Basis statt, d.h. es handelt sich überwiegend um	Explizite, empirische Befunde zum tatsächlichen Auftreten und der Stärke von Co-Benefits/Synergien und Trade-offs/Konflikten können nur punktuell

Fokus	Außerhalb
hypothetische, potenzielle und auf plausiblen wirkungslogischen Zusammenhängen beruhende Aussagen.	berücksichtigt werden, weil diesbezüglich noch ausgeprägte Forschungslücken bestehen; auch die in der Literatur berichtete Evidenz ist überwiegend implizit.

Fokus des Untersuchungsrahmens und Einschränkungen in der Anwendung der vorliegenden Studie.

5.3.5 Bewertungsschema

Um die Relevanz von Wirkungszusammenhängen für eine klimaorientierte, integrierte nachhaltige Stadtentwicklung einschätzen zu können, wurde im Projekt ein differenzierter Bewertungsrahmen entwickelt, der qualitative, individuelle und gruppenbasierte Experteneinschätzungen unterstützt. Gegenstand der Bewertung war die Einschätzung von Stärke, Intensität, Enge, Wahrscheinlichkeit und Plausibilität von Wirkungszusammenhängen und deren Effekten auf einer mehrstufigen qualitativen Skala.

Die Bewertungsskala sieht die Klassen 0 (kein Einfluss/neutral), 1 (geringer Einfluss) 2 (mittlerer Einfluss) und 3 (hoher Einfluss) vor. Durch eine mehrstufige Differenzierung soll auch dem in der Literatur festgestellten Mangel, dass es in bisherigen Publikationen häufig bei einfachen binären Ja/Nein-Bewertungen bleibt, entgegengewirkt werden.

Der Bewertungsrahmen ist in den nachstehenden Tabellen 11 und 12 am Beispiel von Co-Benefits (positiver Wirkungszusammenhang) und von Konflikten (negativer Wirkungszusammenhang) dargestellt. Die Bewertung von Trade-offs und Synergien erfolgt nach jeweils analogem Schema.

Tabelle 11: Qualitativer Bewertungsrahmen zur Beurteilung von Co-Benefits (Klimaanpassung, Umweltziele)

Wertungs-skala	Einstufung von Wirkungszusammenhang und -intensität	Anwendungshilfen zur Einstufung
0	neutral, kein Wirkungszusammenhang, keine Aussage möglich	Neutrale oder indifferente Beziehung; kein positiver Wirkungszusammenhang zu Klimarisiken und Anpassungsbedarf bzw. zu Umweltzielen feststellbar; Wechselwirkung nicht bekannt oder nicht beurteilbar.
1	gering, schwach, lose, eher unwahrscheinlich	Geringe Abschwächung von Klimarisiken und Anpassungsbedarf bzw. schwach positiver Einfluss auf Umweltziele; loser oder indirekter positiver Wirkungszusammenhang; schwache positive Wirkungsintensität; Auftreten gering wahrscheinlich oder unsicher; im besten Fall vereinzelter oder sporadischer Zusatznutzen; kann durch Begleitmaßnahmen nur wenig oder schwer verstärkt werden.
2	mäßig, mittel	Mäßige Abschwächung von Klimarisiken und Anpassungsbedarf bzw. mittlerer positiver Einfluss auf Umweltziele; Plausibler, aber mäßig eng ausgeprägter Wirkungszusammenhang; mittlere positive Wirkungsintensität; Auftreten mäßig wahrscheinlich, aber nicht sicher; positive Wirkung betrifft zumindest einen Klimafolgenbereich bzw. Umweltbereich; kann durch Begleitmaßnahmen mit vertretbarem Kosten-Nutzen-Verhältnis durchaus signifikant verstärkt werden
3	hoch, stark, eng, sehr wahrscheinlich, mehrfacher Nutzen	Starke Abschwächung von Klimarisiken und Anpassungsbedarf bzw. stark positiver Einfluss auf Umweltziele; sehr enger bzw. unmittelbarer Wirkungszusammenhang; hohe positive Wirkungsintensität; Auftreten sehr wahrscheinlich oder unvermeidbar; mehrfache positive Wirkungen (für mehrere Klimafolgenbereiche oder Umweltbereiche); kann durch Begleitmaßnahmen sehr gut, relativ leicht und substantiell verstärkt werden

Qualitatives Bewertungsmodell mit Anleitungen zur Anwendung am Beispiel von Co-Benefits für Klimaanpassung bzw. Umwelt- und Nachhaltigkeitsthemen.

Tabelle 12: Qualitativer Bewertungsrahmen zur Beurteilung von Konflikten (Klimaanpassung)

Wertungs-skala	Einstufung von Wirkungszusammenhang und -intensität	Anwendungshilfen zur Einstufung
0	neutral, kein Wirkungszusammenhang, keine Aussage möglich	Neutrale oder indifferente Beziehung; kein negativer Wirkungszusammenhang zu einer Anpassungsmaßnahme feststellbar; Wechselwirkung nicht bekannt oder nicht beurteilbar.
1	gering, schwach, lose, eher unwahrscheinlich	Geringe Beeinträchtigung der Wirksamkeit und/oder der Umsetzbarkeit und/oder der Kosteneffizienz von Anpassungsmaßnahmen; loser oder indirekter negativer Wirkungszusammenhang; schwach negative Wirkungsintensität; Auftreten gering wahrscheinlich oder unsicher; negative Auswirkung auf Anpassung bezieht sich auf nur einen Anpassungs-Maßnahmencluster; kann durch Begleitmaßnahmen gut und relativ leicht vermieden oder substanziell abgeschwächt werden.
2	mäßig, mittel	Mäßige Beeinträchtigung der Wirksamkeit und/oder der Umsetzbarkeit und/oder der Kosteneffizienz von Anpassungsmaßnahmen; plausibler, aber mäßig eng ausgeprägter Wirkungszusammenhang; mittlere negative Wirkungsintensität; Auftreten mäßig wahrscheinlich, aber nicht sicher; negative Auswirkung auf Anpassung betrifft mehr als einen Klimafolgenbereich; kann durch Begleitmaßnahmen mit vertretbarem Kosten-Nutzen-Verhältnis nicht völlig vermieden, aber durchaus signifikant abgeschwächt werden.
3	hoch, stark, eng, nicht vermeidbar, betrifft mehrere Anpassungsbereiche bzw. -maßnahmen	Unvereinbarkeit mit Anpassungsmaßnahme; starke Beeinträchtigung der Wirksamkeit und/oder der Umsetzbarkeit und/oder der Kosteneffizienz von Anpassungsmaßnahmen; sehr enger bzw. unmittelbarer Wirkungszusammenhang; hohe negative Wirkungsintensität; Auftreten sehr wahrscheinlich oder unvermeidbar; negative Auswirkungen auf Anpassung betreffen mehrere Klimafolgenbereiche oder Anpassungs-Maßnahmencluster; können durch Begleitmaßnahmen nicht vermieden und nur wenig oder schwer abgeschwächt werden.

Qualitatives Bewertungsmodell mit Anleitungen zur Anwendung am Beispiel von Konflikten mit Maßnahmen der Klimaanpassung.

Das entwickelte Analysetool und das Bewertungsschema als solches enthalten die Möglichkeit, Gewichtungen nach Handlungsfeldern (Klimaschutz), Sub-Handlungsfeldern oder Wirkungsbereichen (Klimafolgenbereiche, Umweltschutzgüter) einzuführen. Dies kann bei einer Anwendung auf spezifische Städte oder Aufgabenstellungen sinnvoll sein, z.B. weil bestimmte Klimawandelfolgen in einem bestimmten klimageographischen Raum oder angesichts vorliegender Klimaszenarien größere oder geringere Bedeutung haben können. Ebenso können die gewichteten Bewertungen auf der Ebene von (Sub-)Handlungsfeldern und Wirkungsbereichen aggregiert dargestellt werden, was auch statistische Auswertungen (Mittelwert, Streuung, Signifikanz) und die Darstellung in unterschiedlichen Grafiken ermöglicht. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden jedoch keine Gewichtungen vorgenommen, weil dies in erster Linie bei der Analyse und Bewertung konkreter Städte (oder repräsentativer Stadtstrukturtypen) sinnvoll möglich ist. Das Team, welches die Bewertung

durchführt, müsste dementsprechend über gutes Detail- und Überblickswissen betreffend die jeweilige Stadt und deren Klimabedingungen verfügen.

Grundsätzlich setzt jede Form der Bewertung innerhalb eines Bewertungsteams ein gutes gemeinsames Verständnis sowie Expertise betreffend insbesondere die folgenden Aspekte voraus:

- Systemgrenzen und Skalenebenen (z.B. Stadtquartier, Gesamtstadt, Stadt-Umland-Region, global),
- Handlungsfelder und Maßnahmen einer klimaorientierten nachhaltigen Stadtentwicklung,
- Handlungsfelder und Maßnahmen der urbanen Klimawandelanpassung,
- Umweltbezogene Ziele einer nachhaltigen Stadtentwicklung,
- Mechanismen von Wechselwirkungen und wirkungslogische Zusammenhänge.

5.3.6 Durchführung von Analyse und Bewertung im Rahmen des Projekts

Zur Anwendung der entwickelten Methoden und des Tools im Rahmen des Projekts wurden folgende wesentliche Arbeitsschritte durchgeführt:

- Durchführung einer Literaturscreening und zur literaturbasierten Erfassung von Wirkungszusammenhängen: Insgesamt wurden mehr als 25 wissenschaftliche Quellen systematisch ausgewertet wobei ein Fokus auf metaanalytische Studien, Reviewartikel und vergleichende Fallbeispielanalysen mit jeweils möglichst globalem Untersuchungsrahmen (globaler Süden und globaler Norden) gelegt wurde. Die für die Untersuchung von Wechselwirkungen verwendete Literatur ist in Anhang D.5 zusammengestellt. Es konnten rund 90% aller identifizierten Wirkungszusammenhänge mit teils mehreren Literaturquellen belegt werden.
- Ergänzung und Nachschärfung der literaturbasierten Befunde durch die Expertise aller Projektpartner sowie durch Einblicke in die untersuchten Fallbeispielstädte.
- Expertenbasierte qualitative Einschätzung der Relevanz und Stärke aller identifizierten Wirkungszusammenhänge durch Einzelbewertungen (n = 6) der Mitglieder des Projektteams.
- Gruppenbasierte Diskussion, Plausibilisierung und Konsolidierung der Bewertungen im Rahmen einer Projektklausur.
- Zusammenführung aller Einzelbewertungen, arithmetische Mittelwertbildung für jeden Wirkungszusammenhang und Erstellen von Rankings, um besonders relevante Wirkungen je Handlungsfeld bzw. Wechselwirkungskategorie zu ermitteln.
- Auswertung und Darstellung der Ergebnisse nach Häufigkeiten, Bewertungen und unterschiedlichen analytischen Kategorien (siehe Kapitel 5.4 und Kapitel 5.5).

5.4 Bestandsaufnahme von Wechselwirkungen: Überblick über die Gesamtergebnisse

Die literatur- und expertenbasierte Bestandsaufnahme von Wechselwirkungen städtischer THG-Minderungsmaßnahmen i) mit der Klimaanpassung und mit ii) sozialökologischen Zielen einer nachhaltigen Stadtentwicklung hat für alle Handlungsfelder insgesamt eine beachtliche Anzahl von **198 konkret unterscheidbaren Wirkungszusammenhängen** ergeben. Hiervon beziehen sich **121 Wirkungen auf Ziele und Maßnahmen der Klimaanpassung**, während **77 Wirkungen andere städtische Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele** betreffen.

Im Vergleich der vier untersuchten Handlungsfelder einer nachhaltigen Stadtentwicklung erweist sich das Handlungsfeld „**Urbane Verdichtung**“ innerhalb bestehender städtischer Strukturen als dasjenige mit der **größten Zahl und Dichte potenzieller und plausibler Wechselwirkungen** (n = 58). Die anderen drei Handlungsfelder weisen geringere, aber zueinander ähnliche Häufigkeiten auf („Urbane Verkehrssysteme“ und „Energieinfrastrukturen“: jeweils 47 Wirkungszusammenhänge; „Nachhaltiges Bauen“: 46 Wirkungszusammenhänge).

Wenn man nur die Interdependenzen mit der **Klimaanpassung** betrachtet, nimmt „Urbane Verdichtung“ mit insgesamt 35 identifizierten Wirkungszusammenhängen ebenfalls den ersten Rang unter allen Handlungsfeldern ein, gefolgt von „Nachhaltigem Bauen“ (n = 34), „Energieinfrastrukturen“ (n = 30) und „Urbanen Verkehrssystemen“ (n = 22).

Gemessen an der Häufigkeit von Wirkungszusammenhängen nach positiven (vorteilhaften) und negativen (nachteiligen) Wirkungskategorien ist ein wesentlicher Befund, dass **positive Auswirkungen (Co-Benefits, Synergien)** von THG-Minderungsmaßnahmen **die negativen Wirkungen (Trade-offs, Konflikte) sehr deutlich überwiegen**. Insgesamt wurden 131 Wirkungszusammenhänge mit vorteilhaften Effekten festgestellt, wobei sich hiervon der Großteil (n = 85) auf die Klimaanpassung und der kleinere Anteil (n = 46) auf die städtische Umweltqualität und soziale Nachhaltigkeitsziele beziehen. Die **meisten Co-Benefits und Synergien** insgesamt gehen vom Handlungsfeld „**Urbane Verdichtung**“ aus, gefolgt von „Urbanen Verkehrssystemen“ und „Energieinfrastrukturen“. In Bezug auf die Klimaanpassung generieren Maßnahmen der Handlungsfelder „Urbane Verdichtung“ und „Energieinfrastrukturen“ die meisten positiven Wirkungen, während Maßnahmen des Bereichs „Urbane Verkehrssysteme“ die häufigsten Zusatz- und Nebennutzen (Co-Benefits) für Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele induzieren.

Die meisten **nachteiligen Auswirkungen** (21 Trade-offs und Konflikte) entstehen ebenfalls durch Instrumente und Maßnahmen, die auf „Urbane Verdichtung“ abzielen, unmittelbar gefolgt von „Nachhaltigem Bauen“ (n = 19). Von beiden Handlungsfeldern gehen zudem auch deutlich mehr negative Effekte auf die Klimaanpassung als von den beiden anderen Bereichen. Für das Handlungsfeld „Urbane Verkehrssysteme“ wurden zwar einige Trade-offs mit Anpassungszielen erhoben, aber es wurde kein relevantes Konfliktpotenzial mit Maßnahmen der Anpassung identifiziert.

Positive und negative Wirkungszusammenhänge mit der Klimaanpassung betreffen grundsätzlich alle städtischen **Klimafolgenbereiche**, wobei ein und dieselbe THG-Minderungsmaßnahme über ähnlich geartete Wirkungsmechanismen oft auch mehrere Klimafolgenbereiche gleichzeitig beeinflussen kann. Quer über alle Handlungsfelder beeinflussen Klimaschutzmaßnahmen am häufigsten die Anpassung an **Hitze** sowie an **Überflutungen** (fluvial, pluvial, an Küsten).

Über alle Handlungsfelder hinweg betrachtet, sind an der Entstehung von potenziellen **Synergien und Konflikten** zwischen THG-Minderung und Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel nahezu alle Anpassungsoptionen des verwendeten Maßnahmenportfolios beteiligt.

Die **meisten Synergien** treten mit den folgenden **Maßnahmenbündeln der Klimaanpassung** auf (Auflistung in absteigender Rangfolge):

- ▶ A1: Grüne und blaue Infrastruktur (flächhaft, linear)
- ▶ B4: Naturbasiertes dezentrales städtisches Regenwassermanagement
- ▶ A3: Kühlende Materialien und Oberflächen
- ▶ A6: Passive Kühlung und alternative (energieeffiziente und klimaneutrale) aktive Kühlung von Gebäuden (thermischer Innenkomfort)
- ▶ A4: Verschattung von Gebäuden und städtischen Außenräumen
- ▶ C3: Regenwassermanagement und Regenwassernutzung

Die **häufigsten Konfliktpotenziale**, wenngleich mit geringeren Häufigkeiten, wurden in Bezug auf die nachstehenden **Maßnahmenbündel der Klimaanpassung** festgestellt (Auflistung in absteigender Rangfolge):

- ▶ A1: Grüne und blaue Infrastruktur (flächhaft, linear)
- ▶ B4: Naturbasiertes dezentrales städtisches Regenwassermanagement
- ▶ C3: Regenwassermanagement und Regenwassernutzung
- ▶ D1: Bauliche Maßnahmen zur Erhöhung der Resistenz von Gebäuden und Infrastrukturanlagen gegen Extremwetterereignisse (Sturm, Hagel, Blitz, Schnee- und Eislast, gravitative Naturgefahren)

Anhand der Überlappungen (Maßnahmenbündel A1, B4, C3) ist deutlich zu erkennen, dass Klimaschutz-Maßnahmen dieselben Typen von Anpassungsmaßnahmen in ihrer Wirksamkeit und Umsetzbarkeit sowohl verstärken und unterstützen als auch abschwächen und erschweren können. Konflikte und Synergien mit Anpassungsmaßnahmen können dabei entweder – in Abhängigkeit vom spezifischen lokalen Kontext - durch dieselben Maßnahmenkategorien der TGH-Minderung oder auch durch unterschiedliche Klimaschutz-Optionen entstehen.

Die einzige Anpassungsmaßnahme, für die keinerlei Wirkungszusammenhänge ermittelt wurden, ist die „Steigerung der Effizienz von städtischen Wassernutzungen (C2) zur Anpassung an Trockenheit. Für die nachstehenden acht weiteren Anpassungsoptionen wurden zwar Synergien, aber **keine relevanten Konfliktpotenziale** erhoben:

- ▶ A2: Begrünung von Gebäuden (Dächer, Fassaden)
- ▶ A4: Verschattung von Gebäuden und städtischen Außenräumen
- ▶ A7: Maßnahmen zur Hitzeresilienz des Verkehrssystems
- ▶ A8: Maßnahmen zur Hitzeresilienz der sonstigen technischen und baulichen Infrastruktur
- ▶ B2: Hochwasserangepasste Bauweisen und technischer Objektschutz

- ▶ B5: Anpassung der städtischen Wasserentsorgungsinfrastruktur
- ▶ D2: Erhöhung der (Extremwetter- und Katastrophen-)Resilienz der Energie- und Verkehrsinfrastruktur
- ▶ D3: Management des Risikos von Wald- und Flächenbränden

Positive und negative Wirkungen auf **Umwelt(schutz)güter und Nachhaltigkeitsziele** einer nachhaltigen Stadtentwicklung betreffen insgesamt mit großem Abstand am häufigsten den Zielbereich „**Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte**“. Die diesbezüglichen Co-Benefits und Trade-offs mit städtischen Umwelt- und Nachhaltigkeitspolitiken beziehen sich u.a. auch häufig auf Aspekte der sozialen Verteilungsgerechtigkeit, Verstärkung oder Abschwächung von Auswirkungen auf vulnerable soziale Gruppen, die Leistbarkeit von Wohnraum und Energie sowie die Zugänglichkeit zu anderen Leistungen der Daseinsvorsorge. Effekte auf soziale Aspekte sind die häufigsten Co-Benefits und/oder Trade-offs mit Umwelt und Nachhaltigkeit in allen Handlungsfeldern des städtischen Klimaschutzes, und sie sind in allen positiven und negativen Wirkungskategorien stark repräsentiert. Mit deutlich geringerer Häufigkeit treten aber in allen Handlungsfeldern auch Wirkungszusammenhänge mit den Umweltgütern Biodiversität und Naturraum, Boden, Luftqualität sowie Wasser auf.

Die **meisten Wirkungszusammenhänge** auf der Ebene von Handlungsstrategien der Treibhausgas-Minderung gehen von den folgenden **drei Maßnahmenclustern** aus (Tabelle 13). Wie auch bei den meisten anderen Handlungsstrategien überwiegt bei allen drei wechselwirkungintensiven Klimaschutz-Maßnahmenclustern die Häufigkeit der positiven Wirkungen (Co-Benefits, Synergien) deutlich über die negativen.

Tabelle 13: Handlungsstrategien der Treibhausgas-minderung mit der höchsten Wechselwirkungs-Intensität

Handlungsstrategie (Maßnahmencluster)	Handlungsfeld
1.2 Nachhaltige klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	1 Nachhaltiges Bauen
2.1 Horizontale Verdichtung	2 Urbane Verdichtung
3.1 Transitorientierte Entwicklung	3 Urbane Verkehrssysteme

Maßnahmencluster des städtischen Klimaschutzes, für welche die meisten Wirkungszusammenhänge identifiziert wurden, mit der Zuordnung zu Handlungsfeldern einer klimaorientierten Stadtentwicklung.

Maßnahmen des Clusters „**Horizontale Verdichtung (2.1)**“ weisen die **stärkste Ambivalenz der Wirkungszusammenhänge** auf. Das heißt, es ist diejenige THG-Minderungsstrategie, die gleichzeitig die meisten - sowie die häufigsten als „stark“ bewerteten - Synergie- und Konfliktpotenziale verursacht. Dabei zeigt sich ein charakteristisches Wirkungsmuster, bei dem bedeutender Mehrfachnutzen für die Anpassung vorwiegend im Stadtumland der Verstärkung von UHI-Effekten und pluvialen Überflutungsrisiken sowie Flächenkonkurrenzen mit grüner und blauer Infrastruktur innerhalb des Stadtgebiets gegenübersteht. Zusatz-/Mehrfachnutzen und Synergien von Verdichtungsstrategien im Umland von Städten resultieren aus dem Freihalten von Grün- und Freiräumen von baulicher Entwicklung, wodurch multiple ökosystembasierte Anpassungsleistungen sowie Flächenpotenziale für aktive, z.B. technische Schutzmaßnahmen erhalten und gestärkt werden können sowie die Umsetzung von passiven und aktiven Anpassungsmaßnahmen unterstützt wird. Dahingegen treten Trade-offs und Zielkonflikte überwiegend innerhalb des bebauten Stadtgebietes auf, wo bauliche Verdichtung

tendenziell zur Verstärkung des urbanen Wärmeinseleffekts und von (pluvialen) Hochwasserrisiken führt und die Flächenverfügbarkeit für Anpassungsmaßnahmen wie grüne und blaue Infrastruktur oder dezentrale, naturbasierte Regenwassermanagementsysteme reduziert.

Alle Ergebnisse der Erfassung, Analyse und Bewertung von Wirkungszusammenhängen sind in Anhang D vollständig für jedes Handlungsfeld und jede Wirkungskategorie dokumentiert.

Im folgenden Kapitel 5.5 werden die Analyseergebnisse nach Handlungsfeldern einer klimaorientierten Stadtentwicklung dargestellt sowie nach Häufigkeiten und deren Verteilung auf die angewendeten analytischen Kategorien ausgewertet. Zudem werden die jeweils am stärksten bewerteten Wirkungszusammenhänge nach einem einheitlichen Schema kurz qualitativ beschrieben.

5.5 Ergebnisse nach Handlungsfeldern einer klimaorientierten Stadtentwicklung

Nachfolgend werden wesentliche Analyseergebnisse getrennt für jede der sechs definierten Kategorien von Wirkungszusammenhängen dargestellt. Am Beginn jedes Unterabschnitts werden alle Einzelergebnisse der Bestandsaufnahme im Überblick zusammengefasst und nach der Verteilung ihrer Häufigkeiten charakterisiert; die vollständige Dokumentation findet sich in Anhang D. Anschließend werden die am stärksten bewerteten Wirkungszusammenhänge qualitativ beschrieben und charakterisiert. Die Auswahl der vorgestellten positiven und negativen Wirkungen beschränkt sich hierbei auf diejenigen, die im Rahmen der Experteneinschätzungen des Bearbeiterteams auf einer dreistufigen qualitativen Skala mit einem arithmetisch gemittelten Wert zwischen 2,0 (mittlere, mäßige Wirkungsstärke) und 3,0 (hohe Wirkungsstärke) bewertet wurden.

Die Handlungsfelder des städtischen Klimaschutzes beinhalten die im Rahmen der gegenständlichen Studie hinsichtlich ihres THG-Minderungspotenzials quantifizierten Maßnahmen (siehe Kapitel 3). Die jeweiligen Maßnahmenportfolios sind aber wesentlich breiter gefasst, um Wechselwirkung mit der Klimaanpassung sowie Umwelt- und Nachhaltigkeitszielen möglichst umfassend prüfen und identifizieren zu können. Als zusätzliches Handlungsfeld wurden urbane „Energieinfrastrukturen“ mit aufgenommen, weil die Dekarbonisierung der Energieversorgung, die Senkung des Energieverbrauchs, die Steigerung der Energieeffizienz (Übertragung, Nutzung) und die Gewährleistung der Energieversorgungssicherheit für die Ausschöpfung von THG-Minderungspotenzialen von zentraler Bedeutung sind.

5.5.1 Nachhaltiges Bauen

Das Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“ umfasst Maßnahmen zur Treibhausgasminderung auf der Ebene von Gebäuden bzw. Bebauungsstrukturen, die sowohl bei der Sanierung und Modernisierung des Gebäudebestands als auch beim Neubau zum Einsatz kommen können. Für das Screening und die Analyse von Einflüssen auf die Klimaanpassung sowie Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele wurde das Handlungsfeld in folgende Handlungsstrategien (Sub-Handlungsfelder), Maßnahmenbündel (Cluster) und typische, exemplarische Maßnahmen gegliedert:

4. Nachhaltiges Bauen (Sanieren, Neubau)

1.1. Nachhaltige, klimagerechte Baustoffe

- Biobasierte Materialien (nachwachsende Rohstoffe)

- Regionale mineralische bzw. geogene Rohstoffe
- 1.2. Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)
- Nachhaltige Sanierung (Retrofitting, Modernisierung) von Gebäuden
 - Passives Gebäudedesign
 - Aktives Gebäudedesign
 - Gebäudebegrünung (Gründächer, Fassadenbegrünung)
 - Wärmedämmung
 - Roof Ponds
 - Cool Roofs (kühle Dächer)
 - Kühlende Materialien und Oberflächen (Gebäude, Oberflächenbeläge)
 - Trombewände (Kombination aus Kollektor- und Speicherwand zur passiven Nutzung von Sonnenenergie)
 - Nachhaltiger Neubau von Gebäuden
 - *Maßnahmen wie bei Sanierung*
- 1.3. Kreislaufwirtschaftliches Bauen
- Errichtung von Gebäuden, Baustellenbetrieb und -organisation, Instandhaltung, Sanierung, Abbruch und Recycling

5.5.1.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Insgesamt wurden 46 konkrete Wirkungszusammenhänge festgestellt, womit „Nachhaltiges Bauen“ im Vergleich ähnliche viele Wechselwirkungen aufweist wie die Handlungsfelder „Urbane Verkehrssysteme“ und „Energieinfrastrukturen“, aber deutlich weniger als „Urbane Verdichtung“.

Hiervon beziehen sich 34 Wirkungen auf die Klimaanpassung, was betreffend die Häufigkeit von Wirkungszusammenhängen den zweiten Rang unter allen Handlungsfeldern ergibt. Nahezu zwei Drittel (n = 22) aller identifizierten Einflüsse auf Ziele der Klimaanpassung wirken sich positiv aus und erzeugen Zusatznutzen (Co-Benefits) oder Synergien mit Anpassungsmaßnahmen. Aus Tabelle 14 ist die Verteilung der positiven und negativen Wirkungszusammenhänge auf die drei definierten Handlungsstrategien des Klimaschutzes zu entnehmen. Der Maßnahmencluster „1.2 Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)“ interagiert mit Abstand am häufigsten (n = 29) mit der Klimaanpassung, wobei es sich hier um unterschiedliche aktive und passive Maßnahmen zur Energieverbrauchsminderung und Effizienzsteigerung im Rahmen von Sanierung und Neubau von Gebäuden handelt und die positiven Einflüsse deutlich überwiegen, gefolgt von „1.1 Nachhaltige, klimagerechte Baustoffe“ (n = 4). Die Handlungsstrategie „1.3 Kreislaufwirtschaftliches Bauen“ ist nur in einem Fall die Quelle für einen Co-Benefit für die Klimaanpassung.

Tabelle 14: Häufigkeit von Wirkungszusammenhängen mit der Klimaanpassung im Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“ nach Wirkungskategorien

Handlungsstrategie (Maßnahmencluster)		Positive Wirkungen			Negative Wirkungen			Summe
		Co-Benefits	Synergien	Gesamt	Trade-offs	Konflikte	Gesamt	
1.1	Nachhaltige, klimagerechte Baustoffe	2	-	2	1	1	2	4
1.2	Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	10	9	19	8	2	10	29
1.3	Kreislaufwirtschaftliches Bauen	1	-	1	-	-	-	1
Summe		13	9	22	9	3	12	34

Anzahl der identifizierten Wirkungszusammenhänge, die von THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“ auf die Klimaanpassung ausgehen, nach vorteilhaften (Co-Benefits, Synergien) und nachteiligen (Trade-offs, Konflikte) Kategorien von Wechselwirkungen.

In Tabelle 15 ist zusammengestellt, wie häufig die unterschiedlichen Klimafolgenbereiche bzw. Anpassungsziele von vorteilhaften und nachteiligen Auswirkungen von THG-Minderungsmaßnahmen betroffen sind. Anpassung an Hitze ist das deutlich am häufigsten ($n = 16$) von Einflüssen der Klimaschutzmaßnahmen betroffene Anpassungsziel, wobei die große Mehrheit der Wirkungen positiv ausgeprägt sind. Mit deutlich geringerer Häufigkeit folgen die Klimafolgenbereiche Sonstige Extrem- und Naturgefahrenereignisse ($n = 10$), Überflutungen ($n = 5$) und Trockenheit ($n = 4$). Weitere fünf Wirkungszusammenhänge sind entweder anpassungszielübergreifend oder wirken auf Ebene der generischen Anpassungskapazität (übergreifend, übergeordnet). Da ein und dieselbe Handlungsoption des Klimaschutzes Einflüsse mit ähnlich gearteter Wirkungslogik für mehrere Klimafolgenbereiche gleichzeitig erzeugen kann, ist deren Summe größer als die Zahl der unterschiedenen Wirkungszusammenhänge.

Tabelle 15: Häufigkeit der von Wirkungszusammenhängen betroffenen Klimafolgenbereiche im Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“ nach Wirkungskategorien

Klimafolgenbereich (Anpassungsziel)		Positive Wirkungen			Negative Wirkungen			Summe
		Co-Benefits	Synergien	Gesamt	Trade-offs	Konflikte	Gesamt	
A	Hitze	8	5	13	2	1	3	16
B	Überflutungen (fluvial, pluvial, Küsten)	2	3	5	-	-	0	5
C	Trockenheit (Wasserknappheit)	2	1	3	1	0	1	4
D	Sonstige Extremwetter- und Naturgefahrenereignisse	4	2	6	2	2	4	10
E	Übergreifend, übergeordnet	2	-	2	3	0	3	5
Summe		18	11	29	8	3	11	40

Häufigkeit der Klimafolgenbereiche (Anpassungsziele), die von positiven (Co-Benefits, Synergien) und negativen (Trade-offs, Konflikte) Auswirkungen von THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“ betroffen sind. Ein Wirkungszusammenhang kann für mehrere Klimafolgenbereiche gleichzeitig entstehen; daher ist deren Summe größer als die Zahl der Wirkungszusammenhänge.

Tabelle 16 gibt einen Überblick, wie häufig Maßnahmenbündel der Klimaanpassung in den unterschiedlichen Klimafolgen- bzw. Anpassungsbereichen an der Entstehung von Synergien und Konflikten beteiligt sind. Die Mehrzahl der Synergiepotenziale ergibt sich daraus, dass grüne, hybride und technische Maßnahmen zur Anpassung ausgesprochen gut mit Maßnahmen zur Verbesserung der energetischen Performance von Gebäuden im Rahmen von Neubau- und Sanierungsprogrammen kombiniert und – oft mit wechselseitig synergistischer Wirksamkeit – gleichzeitig auf kosteneffiziente Weise umgesetzt werden können. Dies betrifft z.B. den Einsatz von kühlenden Materialien und Oberflächen, passive Kühlungseffekte durch Gebäudebegrünung, sommertaugliche Wärmedämmung, Roof-Pond-Systeme, klimaoptimierte Ausnutzung des Portfolios des passiven (und teils aktiven) Gebäudedesigns oder geeignete Materialwahl und Gestaltung von Gebäudehüllen zur Erhöhung der Extremwetterresilienz.

Tabelle 16: Häufigkeit der an Synergien und Konflikten beteiligten Anpassungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“

Maßnahmenbündel Klimaanpassung	Synergien	Konflikte	Summe
<i>A: Hitze</i>			
A2: Begrünung von Gebäuden (Dächer, Fassaden)	2	-	2
A3: Kühlende Materialien und Oberflächen	2	1	3
A4: Verschattung von Gebäuden und städtischen Außenräumen	1	-	1
A5: Klimatisch optimierte Konfiguration der Bebauung	1	-	1
A6: Passive Kühlung und alternative (energieeffiziente und klimaneutrale) aktive Kühlung von Gebäuden (thermischer Innenkomfort)	4	1	5

Maßnahmenbündel Klimaanpassung	Synergien	Konflikte	Summe
<i>B: Überflutungen (fluvial, pluvial, Küsten)</i>			
B2: Hochwasserangepasste Bauweisen und technischer Objektschutz	1	-	1
B4: Naturbasiertes dezentrales städtisches Regenwassermanagement	2	-	2
<i>C: Trockenheit (Wasserknappheit)</i>			
C3: Regenwassermanagement und Regenwassernutzung	1	-	1
<i>D: Sonstige Extremwetter- & Naturgefahrenereignisse</i>			
D1: Bauliche Maßnahmen zur Erhöhung der Resistenz von Gebäuden und Infrastrukturanlagen gegen Extremwetterereignisse	1	2	3
Summe	15	4	19
Nicht betroffene Anpassungsmaßnahmen	A1: Grüne und blaue Infrastruktur (flächenhaft, linear) A7: Maßnahmen zur Hitze-resilienz des Verkehrssystems A8: Maßnahmen zur Hitze-resilienz der sonstigen technischen und baulichen Infrastruktur B1: Schutzinfrastruktur: technischer Hochwasser- und Küstenschutz (aktiv) B3: Hochwasser- und Küstenschutz durch planerische und naturbasierte Maßnahmen (passiv) B5: Anpassung der städtischen Wasserentsorgungsinfrastruktur C1: Angebotsseitiges Management von Wasserressourcen C2: Steigerung der Effizienz von städtischen Wassernutzungen D2: Erhöhung der Resilienz der Energie- und Verkehrsinfrastruktur D3: Management des Risikos von Wald- und Flächenbränden		

Die Zahlen geben an, wie häufig Maßnahmenbündel der städtischen Klimaanpassung in den unterschiedlichen Klimafolgenbereichen an der Entstehung von Synergien und Konflikten mit THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“ beteiligt sind. Nicht betroffene Maßnahmenbündel der Anpassung sind gesondert aufgelistet.

Nach den Ergebnissen der Bestandsaufnahme können THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“ auch Umweltgüter und sozialökologische Ziele einer nachhaltigen Stadtentwicklung auf plausible Weise und mit relevanter Häufigkeit beeinflussen, allerdings deutlich weniger häufig als in den anderen drei Handlungsfeldern (Tabelle 17). Gleichzeitig ist es das einzige Handlungsfeld, in dem mehr nachteilige als positive potenzielle Wirkungen festgestellt wurden. In Bezug auf den Maßnahmencluster „Nachhaltige, klimagerechte Baustoffe“ resultieren mögliche Trade-offs insbesondere daraus, dass die Wirkungen eines verstärkten Einsatzes biobasierter Materialien, wie Holz oder Bambus, von der Nachhaltigkeit deren land- und forstwirtschaftlicher Produktion und den korrespondierenden Auswirkungen auf Ökosysteme, deren Leistungen, Umweltgüter und Flächennutzungskonkurrenzen abhängt.

Tabelle 17: Häufigkeit von Wirkungszusammenhängen mit Umwelt- und Nachhaltigkeitszielen im Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“ nach Wirkungskategorien

Handlungsstrategie (Maßnahmencluster)		Co-Benefits	Trade-offs	Summe
1.1	Nachhaltige, klimagerechte Baustoffe	1	5	6
1.2	Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	4	2	6
1.3	Kreislaufwirtschaftliches Bauen	-	-	0
Summe		5	7	12

Anzahl der identifizierten Wirkungszusammenhänge, die von THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“ auf ökologische und soziale Ziele einer nachhaltigen Stadtentwicklung ausgehen, nach vorteilhaften (Co-Benefits) und nachteiligen (Trade-offs) Kategorien von Wechselwirkungen.

Sowohl positive (Co-Benefits) als auch negative (Trade-offs) Einflüsse betreffen am häufigsten den Bereich humangesundheitlicher und sozialer Nachhaltigkeitsziele (Tabelle 18). Potenzielle Auswirkungen auf die soziale Gerechtigkeit und vulnerable, einkommensschwache Bevölkerungsgruppen ergeben sich vor allem aus Zusammenhängen mit Energiekosten dem Risiko von Energiearmut sowie mit öffentlichen Kosten für klimafreundliche Gebäudesanierung und der Leistbarkeit von Wohnraum.

Tabelle 18: Häufigkeit der von Auswirkungen betroffenen Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele im Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“

Schutzgüter, Zielbereiche städtischer Nachhaltigkeitspolitiken	Positiv betroffen (Co-Benefits)	Negativ betroffen (Trade-offs)	Summe
Biodiversität, Naturräume	-	1	1
Luftqualität	-	-	0
Boden (Versiegelung, Qualität, Funktion)	-	-	0
Wasser (Oberflächengewässer, Grundwasser, Trinkwasser, Qualität, Quantität,)	1	1	2
Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte	4	3	7
Übergreifend, übergeordnet	-	2	2
Summe	5	7	12

Häufigkeit der Umwelt(schutz)güter bzw. sozialökologischen Zielbereiche von Stadtpolitiken, die von positiven (Co-Benefits) und negativen (Trade-offs) Auswirkungen von THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“ betroffen sind. Ein Wirkungszusammenhang kann für mehrere Zielbereiche gleichzeitig entstehen; daher ist deren Summe größer als die Zahl der Wirkungszusammenhänge.

Mit 23 Wechselwirkungen, davon 17 mit der Klimaanpassung und 6 mit anderen Umwelt- bzw. Nachhaltigkeitszielen, nimmt das Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“ bei der Anzahl der als mittel bis stark bewerteten Wirkungszusammenhänge (Mittelwert der qualitativen Bewertungen von 2,0 bis 3,0) den vierten Rang unter allen Handlungsfeldern ein. Hoch bewertete positive Auswirkungen (Co-Benefits, Synergien) überwiegen dabei klar (14 für die Klimaanpassung, drei für andere Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele) vor nachteiligen Outcomes

(Trade-offs, Konflikte) (n = 6). Von den drei identifizierten Konfliktpotenzialen mit Maßnahmen der Klimaanpassung wurde keines als stärker als mit 1,8 bewertet.

Tabelle 19 gibt einen Überblick darüber, wie diejenigen Wirkungszusammenhänge, die im Zuge der qualitativen Expertenbewertung als am stärksten bewertet wurden, über die Maßnahmencluster des Handlungsfelds sowie nach positiven und negativen Wirkungskategorien verteilt sind. Die überwiegende Mehrzahl (17 von 23) aller als stark bewerteten Interdependenzen mit der Klimaanpassung gehen vom Maßnahmencluster „1.2 Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)“ aus, wobei beinahe ausschließlich Zusatznutzen entsteht und das Risiko negativer Einflüsse gering zu sein scheint. Da keines der identifizierten Konfliktpotenziale die festgelegte Punkteschwelle von 2,0 überschreitet, wurde ersatzweise der mit 1,8 am stärksten bewertete Konflikt mit in die Auswertung aufgenommen. Einflüsse des Clusters „1.1 Nachhaltige, klimagerechte Baustoffe“ wurden nur in Bezug auf sozialökologische Stadtpolitiken teils als relevant im Sinne höherer Wirkungsstärke bewertet. Die Substitution von konventionellen Baustoffen durch biobasierte Materialien, deren THG-Reduktionspotenzial am Beispiel von Holz in der vorliegenden Studie im Vergleich zu den anderen quantifizierten THG-Minderungsansätzen als am höchsten ermittelt wurde (siehe Kapitel 3.3), scheint tendenziell eher geringe Auswirkungen auf Klimaanpassungsziele zu haben.

Tabelle 19: Wirkungszusammenhänge mit der stärksten Ausprägung im Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“ nach Wirkungskategorien

Handlungsstrategie (Maßnahmencluster)		Klimaanpassung Positive Wirkungen			Klimaanpassung Negative Wirkungen			Sozial- ökologische Ziele			Summe
		Co-Benefits	Synergien	Gesamt	Trade-offs	Konflikte	Gesamt	Co-Benefits	Trade-offs	Gesamt	
1.1	Nachhaltige, klimagerechte Baustoffe	-	-	0	-	-	0	1	3	4	4
1.2	Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	9	4	13	2	1*	3	2	-	2	18
1.3	Kreislaufwirtschaftliches Bauen	1	-	1	-	-	0	-	-	0	1
Summe		10	4	14	2	1	3	3	3	6	23

Die Tabelle zeigt die Anzahl der stärksten positiven und negativen Wirkungszusammenhänge von THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“ und deren Verteilung auf die Handlungsstrategien (Maßnahmencluster) des Klimaschutzes. Die Auswertung basiert auf qualitativen Experteneinschätzungen jedes Wirkungszusammenhangs durch das Projektkonsortium. Bewertet wurden Stärke, Wahrscheinlichkeit und Plausibilität der Wirkungszusammenhänge auf einer dreistufigen Skala. Als stärkste Wirkungszusammenhänge wurden diejenigen ausgewählt, die mit einem arithmetisch gemittelten Wert zwischen 2,0 und 3,0 (ohne Rundung auf ganze Zahlen) bewertet wurden.

* Da im Handlungsfeld kein Konfliktpotenzial mit einer Stärke von 2,0 oder höher bewertet wurde, wurde ersatzweise der mit 1,8 am stärksten bewertete Konflikt ausgewählt.

5.5.1.2 Ergebnisse nach Kategorien von Wirkungszusammenhängen

5.5.1.2.1 Co-Benefits für Ziele der Klimaanpassung

5.5.1.2.1.1 Überblick

Insgesamt wurden 13 vorteilhafte Auswirkungen von Klimaschutzmaßnahmen des Handlungsfelds „Nachhaltiges Bauen“ auf generelle Ziele der Klimaanpassung, d.h. auf Auswirkungen des Klimawandels, Anpassungsbedarf und Anpassungskapazität, ermittelt (siehe auch Anhang D.1.1). Co-Benefits für die Anpassung sind damit der häufigste Typ von Interdependenzen innerhalb des Handlungsfelds. Die Anpassung an Hitze ist der mit Abstand am häufigsten von positiven Auswirkungen der Klimaschutzoptionen betroffene Klimafolgenbereich, gefolgt von sonstigen Extrem- und Naturgefahrenereignissen. Überflutungen (im vorliegenden Fall vorwiegend pluvial) und Trockenheit sind an der Entstehung von jeweils zwei Co-Benefits beteiligt.

Von den insgesamt 13 Co-Benefits wurde ein großer Teil, nämlich 10 Einflüsse, als stark im hier angewendeten Sinne bewertet. Die mit Abstand häufigsten (n = 9) starken Co-Benefits für die Klimaanpassung werden von Maßnahmen des Clusters „1.2 Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen“ induziert. Für den Maßnahmencluster „1.3 Kreislaufwirtschaftliches Bauen“ wurde ein mäßig stark ausgeprägter Wirkungszusammenhang mit der Anpassung auf generischer Ebene identifiziert. Handlungsstrategie „1.1 Nachhaltige, klimagerechte Baustoffe“ fungiert

zwar als Quelle für zwei positive, d.h. Auswirkungen des Klimawandels abschwächende Wirkungen, die aber beide nicht als stark eingeschätzt wurden.

5.5.1.2.1.2 Beschreibung der stärksten Co-Benefits für die Klimaanpassung

Cluster: 1.2 Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)

Maßnahme Klimaschutz	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Passives Gebäudedesign
Klimafolgenbereich	A: Hitze
Wirkungsstärke	Hoch (3,0)

Viele Maßnahmen im Rahmen von Green Building- und Gebäudesanierungs-Programmen (wie passives Gebäudedesign, passive Kühlung in Kombination mit Nachtlüftung, optimierte Gebäudeausrichtung, Fensterleistung, Wärmedämmung, Dächer und Gebäudehüllen mit hoher Albedo, Roof Ponds, etc.), die zur Erhöhung der Energieeffizienz und Senkung des Energieverbrauchs beitragen, sind gleichzeitig dazu geeignet, den thermischen Innenkomfort bei Hitzewellen (sowie bei Kälte) zu verbessern und Hitzestress zu mindern.

Cluster: 1.2 Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)

Maßnahme Klimaschutz	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Passives Gebäudedesign
Klimafolgenbereich	A: Hitze; E: Übergreifend, übergeordnet
Wirkungsstärke	Hoch (3,0)

Höhere Energieeffizienz und geringerer Energiebedarf von Gebäuden durch nachhaltige, klimagerechte Bauweisen ermöglichen es, thermischen Innenkomfort auf energieeffiziente Weise aufrechtzuerhalten. Dies verringert die Vulnerabilität der Energieversorgung und erhöht die Resilienz von Bewohner*innen gegenüber Extremhitzeereignissen. Zum einen, weil die Energiekosten von Haushalten geringer sind und dies zur Vermeidung von Energiearmut beiträgt; zum anderen, weil durch geringere Belastung der Energiesysteme das Risiko von Blackouts sinkt und die Energieversorgung bei Extremwetterereignissen und anderen Katastrophen leichter aufrechterhalten werden kann. Zudem kann durch verbesserte thermische Eigenschaften von Gebäuden auch bei Stromausfällen ein gewisser Grad an thermischem Komfort aufrechterhalten werden.

Cluster: 1.2 Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)

Maßnahme Klimaschutz	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Passives Gebäudedesign
Klimafolgenbereich	A: Hitze
Wirkungsstärke	Hoch (3,0)

Stadterneuerungsprogramme (*urban regeneration, urban retrofitting*) erlauben es, passive Designmaßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden mit klimasensitivem Gebäudedesign zur Förderung von thermischem Komfort und Reduktion von Hitzestress zu kombinieren. Beispiel: Steigerung der Energieeffizienz durch passive Kühlung von Gebäuden.

Cluster: 1.2 Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)

Maßnahme Klimaschutz	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Passives und aktives Gebäudedesign
Klimafolgenbereich	C: Trockenheit
Wirkungsstärke	Hoch (3,0)

Ökologischer Neubau und Sanierung können dazu beitragen, die Wassernutzungseffizienz von Gebäuden zu verbessern. Auch Möglichkeiten zur Regenwassernutzung können genutzt werden. Geringerer Wasserverbrauch trägt in Regionen, die für Trockenheit anfällig sind, zur Verringerung von Wasserstress bei (Fallbeispiel: Climate Action Plan Chicago).

Mitigation Co-Benefit: Geringerer Wasserbedarf reduziert in weiterer Folge auch den Energiebedarf für die Wasserversorgung (Pumpen, Warmwasserbereitung, Verteilung) und damit verbundene THG-Emissionen.

Cluster: 1.2 Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)

Maßnahme Klimaschutz	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Gebäudebegrünung (Gründächer, Fassadenbegrünung)
Klimafolgenbereich	B: Überflutungen; D: Sonstige Extremwetter- und Naturgefahrenereignisse
Wirkungsstärke	Hoch (3,0)

Aus Energieeffizienzgründen angelegte Dachgärten und Fassadenbegrünungen reduzieren den Wasserabfluss und das Überflutungsrisiko bei Starkregen. Durch Dezentralisierung der Wasserinfrastruktur erhöhen sie gleichzeitig die Extremwetter-Resilienz (z.B. gegenüber Stürmen) von Städten. Gesteigerte dezentrale Wasserrückhaltefähigkeit trägt zur Entkoppelung der Regenwasserbewirtschaftung von zentralen Systemen bei; ein zusätzlicher Ausbau des zentralen Systems, um klimawandelbedingt erhöhte Regenwasservolumina entwässern zu können, kann dadurch vermieden werden (Fallbeispiele: Climate Action Plan Vancouver, Konzept Klimaanpassung Berlin).

Mitigation Co-Benefit: Reduktion des Energiebedarfs und damit von THG-Emissionen für Errichtung, Ausbau, Betrieb (Pumpenanlagen, Kläranlagen) und Instandhaltung von zentraler Entwässerungsinfrastruktur.

Cluster: 1.2 Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)

Maßnahme Klimaschutz	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Passives und aktives Gebäudedesign
Klimafolgenbereich	D: Sonstige Extremwetter- und Naturgefahrenereignisse
Wirkungsstärke	Mittel (2,2)

Baumaterialien und Gestaltungsmerkmale der Gebäudehülle, die die energetische Performance von Gebäuden verbessern, können gleichzeitig deren Resistenz gegenüber Extremwettereinflüssen (Sturm, Hagel, Eis, Temperaturschwankungen, etc.) verbessern.

Cluster: 1.2 Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)

Maßnahme Klimaschutz	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Kühle Dächer (Cool Roofs)
Klimafolgenbereich	A: Hitze
Wirkungsstärke	Mittel (2,0)

Cool Roofs sind eine Energieeffizienzmaßnahme (jährliche Energieeinsparung von bis zu 30% in mediterranen Klimaten nachgewiesen), die durch erhöhte Reflexion von Sonnenstrahlung gleichzeitig effektiv zur Vermeidung von Überhitzung im Gebäudeinneren sowie in der Außenumgebung beiträgt.

Mitigation Trade-off: Cool Roofs können in der kalten Jahreszeit zu erheblicher Steigerung des Heizbedarfs beitragen; die Maßnahme ist daher nicht in kalten Klimaten geeignet.

Cluster: 1.2 Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)

Maßnahme Klimaschutz	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Wärmedämmung
Klimafolgenbereich	A: Hitze; D: Sonstige Extremwetter- und Naturgefahrenereignisse
Wirkungsstärke	Mittel (2,0)

Geeignete energieeffiziente Materialien zur Gebäudedämmung tragen bei korrekter Installation gleichzeitig zur Verringerung von Wärmeverlusten (Klimaschutz: Energieeinsparung) und zur Verringerung außeninduzierter Wärmelasten (Klimaanpassung: Aufheizung, Überhitzung) bei. Einige Formen hocheffizienter Isolierung (z. B. Sprühschaum, strukturell isolierte Paneele - SIPs) machen Gebäude widerstandsfähiger gegen extreme Winde.

Mitigation Trade-off: Konventionelle Dämmmaterialien basieren auf petrochemischen Substanzen.

Cluster: 1.2 Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)

Maßnahme Klimaschutz	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Dachbegrünung, Roof Ponds
Klimafolgenbereich	B: Überflutungen; C: Trockenheit
Wirkungsstärke	Mittel (2,0)

Dachgärten und Roof Pond-Anlagen, die als passive Heiz- und Kühlsysteme dienen, tragen gleichzeitig zum Regenwasserrückhalt bei und verringern das lokale Überflutungsrisiko bei Starkregen. Zudem schaffen sie Speicherkapazität für Brauchwasser, was in Trockenperioden Wasserknappheit reduzieren kann.

Cluster: 1.3 Kreislaufwirtschaftliches Bauen

Maßnahme Klimaschutz	Errichtung, Instandhaltung, Sanierung, Abbruch und Recycling von Gebäuden
Klimafolgenbereich	E: Übergreifend, übergeordnet
Wirkungsstärke	Mittel (2,0)

Der verminderte Bedarf primärer Ressourcen über den gesamten Lebenszyklus unterstützt Ziele der Klimaanpassung, weil es den Flächendruck durch Gewinnung, Transport, Verarbeitung, Ablagerung, etc. auf natürliche Räume mit ihren klimatischen Pufferwirkungen deutlich senkt. Die unmittelbare lokale Wiederverwendung von Baumaterialien hat das stärkste Synergiepotenzial von Klimaschutz und Anpassung.

5.5.1.2.2 Trade-offs für Ziele der Klimaanpassung**5.5.1.2.2.1 Überblick**

Insgesamt wurden 9 potenziell nachteilige Auswirkungen von Klimaschutzmaßnahmen des Handlungsfelds „Nachhaltiges Bauen“ auf Anliegen der Klimaanpassung identifiziert (siehe auch Anhang D.1.1). Die Trade-offs betreffen Anpassungsziele in nahezu allen Klimafolgenbereichen in ähnlicher Häufigkeit, mit Ausnahme von Überflutungen. Die negativen Wirkungszusammenhänge wurden überwiegend als eher schwach, lose und gering wahrscheinlich eingeschätzt.

Nur zwei der Trade-offs für die Klimaanpassung wurden als relevant im Sinne einer mittleren Wirkungsintensität eingestuft. Beide gehen vom Maßnahmencluster „1.2 Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen“ aus, können der Anpassung an Hitze bzw. dem thermischen Komfort entgegenlaufen und sind vorwiegend auf bestimmte globale Klimazonen beschränkt. Für die Maßnahmencluster „1.3 Kreislaufwirtschaftliches Bauen“ und „1.1 Nachhaltige, klimagerechte Baustoffe“ wurde kein erhebliches Risiko von Trade-offs festgestellt.

5.5.1.2.2.2 Beschreibung der stärksten Trade-offs für die Klimaanpassung**Cluster: 1.2 Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)**

Maßnahme Klimaschutz	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Kühle Dächer (Cool Roofs)
Klimafolgenbereich	Kälte
Wirkungsstärke	Mittel (2,0)

Kühle Dächer (helle Oberflächen, reflektierende Materialien mit geringer Wärmeaufnahme) können in der kalten Jahreszeit den thermischen Innenkomfort beeinträchtigen und eine signifikante Steigerung des Heizbedarfs verursachen (*mitigation trade-off*). Diese Maßnahme ist daher in kalten Klimaten nicht geeignet.

Cluster: 1.2 Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)

Maßnahme Klimaschutz	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Wärmedämmung
Klimafolgenbereich	A: Hitze
Wirkungsstärke	Mittel (2,0)

Maßnahmen im Rahmen des Retrofittings von Gebäuden zur Steigerung der Energieeffizienz (Verringerung des Raumwärmebedarfs) durch Wärmedämmung, Luftdichtheit und ähnlichen Maßnahmen an der Gebäudehülle, die Anforderungen an sommertaugliches Bauen (z.B. Materialien mit geringer Wärmespeicherung, geringen solaren Wärmeeinträgen ins Gebäudeinnere und guter Wärmeabstrahlung nach außen) nicht erfüllen, können im Zuge eines sich erwärmenden Klimas das Risiko der Überhitzung im Gebäudeinneren erhöhen, den thermischen Komfort während Hitzeperioden beeinträchtigen und gesundheitlichen Hitzestress verursachen. Dieser Trade-off ist besonders relevant in temperierten Klimazonen mit Jahreszeitenklima. Bestehende Energerichtlinien und Effizienzvorschriften für Gebäude basieren im Regelfall auf historischen Klimadaten und Kosten-Nutzen-Überlegungen. Unter sich ändernden Klimabedingungen kann verschlechterter thermischer Komfort resultieren.

Mitigation Trade-off: Gesteigerter Bedarf nach technischer Kühlung sowie Risiko von Rebound-Effekten (Überkompensation von Energieeinsparungen durch höheren Verbrauch).

5.5.1.2.3 Synergien mit Maßnahmen der Klimaanpassung**5.5.1.2.3.1 Überblick**

Es wurden insgesamt 9 Wechselwirkungsfelder mit Maßnahmen zur Klimaanpassung erhoben, die plausibles Potenzial aufweisen, dass Handlungsoptionen des Klimaschutzes sich mit solchen der Anpassung wechselseitig unterstützen bzw. positiv verstärken (siehe auch Anhang D.1.2). Die Synergiepotenziale entstehen am häufigsten im Klimafolgenbereich Hitze, gefolgt von Überflutungen, sonstigen Extremwetter- und Naturgefahrenereignissen sowie Trockenheit.

Die Mehrzahl der Synergiepotenziale ergibt sich daraus, dass die Umsetzung von grünen, hybriden und technischen Maßnahmen zur Anpassung insbesondere an Hitze und pluviale Überflutungen oft durch Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz im Rahmen von Neubau- und Sanierungsprogrammen unterstützt und begünstigt wird, wobei die Wirksamkeit von Maßnahmen beider Politikfelder sich wechselseitig positiv verstärken kann. Je mehr beispielsweise energetische Sanierung die passive Gebäudekühlung bei Hitzewellen unterstützt, desto höher sind wiederum die Energie- und THG-Einsparungen für ansonsten benötigte technische Kühlsysteme (zusätzlicher, aus Rückwirkungen resultierender *mitigation co-benefit*).

Vier starke Synergiepotenziale, die alle durch klimagerechte Bauweisen im Zuge von Sanierung und Neubau möglich sind, entstehen insbesondere durch Wechselwirkung mit gebäude- und bebauungsbezogenen Anpassungsmaßnahmen an Hitze, aber auch Überflutungen, wie Gebäudebegrünung, Dachgärten, kühlende Materialien, kühle Dächer und passives urbanes Design im Sinne von klimatisch optimierter Konfiguration der Bebauung. Alle nachstehend beschriebenen Synergien wurden überdurchschnittlich hoch bewertet.

5.5.1.2.3.2 Beschreibung der stärksten Synergien mit Klimaanpassung

Cluster: 1.2 Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)

Maßnahme Klimaschutz	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Aktives und passives Gebäudedesign
Klimafolgenbereich	A: Hitze
Maßnahmenbündel Klimaanpassung	A2: Begrünung von Gebäuden (Dächer, Fassaden)
Wirkungsstärke	Hoch (3,0)

Gebäudebezogene Sanierungs- und Nachrüstungsmaßnahmen zur Senkung von Energieverbrauch und Steigerung der Energieeffizienz lassen sich gut mit der Begrünung von Dächern und Fassaden kombinieren und können gut in Programme zur Stadterneuerung (*urban regeneration, urban retrofitting*) integriert werden. Gründächer tragen zur Wärmedämmung bei und verbessern durch ihre thermischen Eigenschaften den thermischen Innenkomfort, reduzieren den UHI-Effekt und senken gleichzeitig den Energieverbrauch für Raumwärme und Kühlung. Die Kühlungswirkung von Gründächern ist stark variabel und hängt vom Wassergehalt des Gründachsubstrats ab; Trockenvegetation wirkt schlecht. Gründächer haben im Mittel den höchsten Kühlungseffekt in trockenen Klimaten (3°C) und den niedrigsten Kühleffekt in heißen, feuchten Klimaten (1°C) (Jamei et al., 2021). Das Temperaturreduktionspotenzial im Vergleich zu konventionellen Dächern kann rd. 4°C im Winter und rd. 12°C im Sommer betragen (Bevilacqua et al., 2016). Grüne Wände oder Fassaden können die Lufttemperatur zwischen außen und innen um bis zu 10° C reduzieren, in mediterranen Kontexten im Durchschnitt um 5°C (Perini et al., 2017).

Mitigation Co-Benefits: Energieeinsparung durch natürliche Kühlung; Kohlenstoffbindung durch Vegetation.

Cluster: 1.2 Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)

Maßnahme Klimaschutz	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Aktives und passives Gebäudedesign
Klimafolgenbereich	A: Hitze
Maßnahmenbündel Klimaanpassung	A3: Kühlende Materialien und Oberflächen A4: Verschattung von Gebäuden und städtischen Außenräumen (passiv, aktiv) A5: Klimatisch optimierte Konfiguration der Bebauung (passives urbanes Design) A6: Passive Kühlung und alternative (energieeffiziente und klimaneutrale) aktive Kühlung von Gebäuden (thermischer Innenkomfort)
Wirkungsstärke	Hoch (2,8)

Viele gebäude- bzw. bebauungsbezogene Maßnahmen zur Anpassung an Hitze können gut mit Maßnahmen zur Senkung von Energieverbrauch und Steigerung der Energieeffizienz im Rahmen von Sanierung, Nachrüstung und Neubau von Gebäuden kombiniert und in entsprechende Programme zur Stadterneuerung (*urban regeneration, urban retrofitting*) integriert werden. Dies umfasst insbesondere Maßnahmen wie: Wahl von kühlenden Baumaterialien, sommertaugliche Gebäudedämmung, Aufhellen von Dächern und Gebäudehüllen ("weiße Stadt"), Reduktion des Glasanteils an Fassaden, aktive (technische) und passive (Bäume, Gehölze) Verschattung von Gebäuden und Außenräumen, passives Gebäudedesign (Lage, Exposition, Ausrichtung), passive und alternative Kühlungssysteme (Fallbeispiel: Klimaschutzstrategie Kopenhagen, 2012).

Mitigation co-benefit: Energieeinsparung durch natürliche Kühlung.

Cluster: 1.2 Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)

Maßnahme Klimaschutz	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Kühle Dächer (Cool Roof)
Klimafolgenbereich	A: Hitze
Maßnahmenbündel Klimaanpassung	A3: Kühlende Materialien und Oberflächen A6: Passive Kühlung und alternative (energieeffiziente und klimaneutrale) aktive Kühlung von Gebäuden (thermischer Innenkomfort)
Wirkungsstärke	Hoch (2,6)

Kühle Dächer sind eine Maßnahme, die einerseits die Energieeffizienz von Gebäuden durch thermische Regulation verbessert und andererseits durch erhöhte Reflexion von Sonnenstrahlung effektiv zur Vermeidung von Überhitzung im Gebäudeinneren sowie in der Außenumgebung beiträgt.

Cluster: 1.2 Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)

Maßnahme Klimaschutz	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Gebäudebegrünung (Gründächer, Fassadenbegrünung)
Klimafolgenbereich	B: Überflutungen; D: Sonstige Extremwetter- und Naturgefahrenereignisse
Maßnahmenbündel Klimaanpassung	B4: Naturbasiertes dezentrales städtisches Regenwassermanagement A2: Begrünung von Gebäuden (Dächer, Fassaden)
Wirkungsstärke	Hoch (2,5)

Gebäudebezogene Sanierungs- und Nachrüstungsmaßnahmen zur Senkung von Energieverbrauch und Steigerung der Energieeffizienz lassen sich gut mit der Begrünung von Dächern und Fassaden kombinieren und können gut in Programme zur Stadterneuerung (urban regeneration, urban retrofitting) integriert werden. Gründächer und vertikale Begrünungen senken einerseits den Energieverbrauch von Gebäuden (Klimaschutz). Andererseits speichern sie gleichzeitig Wasser, verringern den Oberflächenabfluss und sind daher bei entsprechender Ausgestaltung gleichzeitig eine Maßnahme zur Anpassung an Starkniederschläge und Überflutungen. Damit tragen v.a. Gründächer zur Dezentralisierung der Entwässerungsinfrastruktur bei und erhöhen dadurch die städtische Resilienz gegenüber Extremwetterereignissen wie Stürmen (Fallbeispiel: Climate Action Plan Vancouver). Das Potenzial zur Abflussreduktion von Gründächern wurde in einer Metastudie (Zheng et al., 2021) mit durchschnittlich 62% ermittelt (aber mit hoher Spannweite). In einer hydrologischen Modellierungsstudie für ein italienisches Fallbeispiel wurde in einem 100%igen Gründachzenario die stadtweite Reduktion von Spitzenabflüssen und Wasservolumen mit bis zu 35% berechnet (Masseroni & Cislighi, 2016).

Mitigation Co-Benefits: Energieeinsparung für technische Regenentwässerung; Kohlenstoffbindung durch Vegetation.

5.5.1.2.4 Konflikte mit Maßnahmen der Klimaanpassung**5.5.1.2.4.1 Überblick**

Es wurden insgesamt nur drei Zielkonflikte mit der Klimaanpassung erhoben (siehe auch Anhang D.1.2), womit sich das Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“ als nur wenig konfliktträchtig erweist. Zwei als eher schwach bewertete Konflikte beziehen sich auf die höhere Verschleißanfälligkeit von biobasierten Baumaterialien unter feuchteren und extremeren Witterungsbedingungen sowie auf die mangelnde Eignung von „Cool Roofs“ in kälteren Klimazonen.

Keines der identifizierten Konfliktpotenziale wurde mit einer Wirkungsstärke von 2,0 oder höher bewertet. Der stärkste von den drei Konflikten mit einem konkreten Maßnahmenbündel der Klimaanpassung erreicht einen Mittelwert der Experteneinschätzungen von 1,8 und bezieht sich auf den Mangel, dass bestehende Regulative und Standards des Bauwesens zumeist auf vergangene und gegenwärtige Klimabedingungen ausgerichtet sind und daher bauliche Maßnahmen zur Erhöhung der Extremwetterresistenz unter Klimaänderungsbedingungen nicht oder nur unzureichend ermöglichen.

5.5.1.2.4.2 Beschreibung der stärksten Konflikte mit Klimaanpassung

Cluster: 1.2 Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	
Maßnahme Klimaschutz	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Aktives und passives Gebäudedesign
Klimafolgenbereich	D: Sonstige Extremwetter- und Naturgefahrenereignisse
Maßnahmenbündel Klimaanpassung	D1: Bauliche Maßnahmen zur Erhöhung der Resistenz von Gebäuden und Infrastrukturanlagen gegen Extremwetterereignisse (Sturm, Hagel, Blitz, Schnee- und Eislast, gravitative Naturgefahren)
Wirkungsstärke	Mittel (1,8)

Bestehende Bauordnungen und Energieeffizienzstandards für Gebäude berücksichtigen im Regelfall noch keine künftigen Klimaveränderungen. In der Gegenwart sanierte oder neu errichtete Gebäude sind damit nicht auf erhöhte physikalische Beanspruchungen durch zunehmende Extremwettereinflüsse ausgelegt.

5.5.1.2.5 Co-Benefits für Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele

5.5.1.2.5.1 Überblick

Insgesamt fünf Wirkungszusammenhänge wirken unterstützend für sonstige Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele von Stadtpolitiken (siehe auch Anhang D.1.3). Hiervon wirken insbesondere Maßnahmen der Klimaschutz-Handlungsstrategie „1.2 Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen“ positiv auf den Zielbereich „Gesundheit, Lebensqualität und soziale Aspekte“ (n = 4); ein positiver Zusatznutzen betrifft Einsparungen beim Wasserverbrauch.

Drei Co-Benefits ergeben sich aus potenziell starken positiven Einflüssen auf die menschliche Gesundheit, die Vermeidung von Energiearmut und sozioökonomische Verbesserungen für lokale Bevölkerungsgruppen.

5.5.1.2.5.2 Beschreibung der stärksten Co-Benefits für Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele

Cluster: 1.2 Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)

Maßnahme Klimaschutz	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Aktives und passives Gebäudedesign
Zielbereich	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte
Wirkungsstärke	Hoch (2,8)

Alle Maßnahmen im Rahmen von Green Building- und Gebäudesanierungs-Programmen (wie passives Gebäudedesign, passive Kühlung in Kombination mit Nachtlüftung, optimierte Gebäudeausrichtung, Fensterleistung, Wärmedämmung, Roof Ponds, etc.), die den thermischen Innenkomfort bei Hitzewellen (sowie bei Kälte) verbessern, reduzieren gesundheitliche Risiken und entlasten das Gesundheitssystem.

Cluster: 1.2 Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)

Maßnahme Klimaschutz	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Aktives und passives Gebäudedesign
Zielbereich	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte
Wirkungsstärke	Hoch (2,8)

Alle Maßnahmen im Rahmen von Green Building- und Gebäudesanierungs-Programmen (wie passives Gebäudedesign, passive Kühlung in Kombination mit Nachtlüftung, optimierte Gebäudeausrichtung, Fensterleistung, Wärmedämmung, roof ponds, etc.), die auf Erhöhung der Energieeffizienz und Senkung des Energieverbrauchs abzielen, tragen zur Senkung der Energiekosten von Haushalten und damit zur Vermeidung von Energiearmut bei. Insbesondere einkommensschwachen Haushalten wird es dadurch leichter möglich, thermischen Innenkomfort auf energieeffiziente und leistbare Weise aufrechtzuerhalten und gesundheitliche Beeinträchtigungen zu reduzieren.

Cluster: 1.1 Nachhaltige, klimagerechte Baustoffe

Maßnahme Klimaschutz	Biobasierte Materialien
Zielbereich	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte
Wirkungsstärke	Mittel (2,2)

Die Verwendung regionaler, nachwachsender Rohstoffe kann zum Aufbau neuer grüner Bioökonomien und regionaler Versorgungsketten beitragen, die Arbeitsplätze und Einkommen schaffen und Armut verringern können.

5.5.1.2.6 Trade-offs für Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele**5.5.1.2.6.1 Überblick**

Bei den Auswirkungen von Klimaschutzmaßnahmen des Handlungsfelds „Nachhaltiges Bauen“ auf Umweltgüter und sozialökologische Ziele überwiegen die nachteiligen Effekte mit insgesamt 7 Trade-offs über die potenziellen Co-Benefits. Die betroffenen Zielbereiche von städtischen Nachhaltigkeitspolitiken sind etwas breiter gestreut als bei den positiven Wirkungen; zwar dominieren auch hier Einflüsse auf Gesundheits- und soziale Gerechtigkeitsziele, aber auch die Umweltschutzgüter Wasser und Biodiversität sowie mehrfache bzw. generische negative Effekte sind möglich. Ein spezifischer Befund ist zudem, dass die Mehrzahl der Trade-offs von

Maßnahmen der Strategie „1.1 Nachhaltige, klimagerechte Baustoffe“ ausgeht (siehe auch Anhang D.1.3).

Auch alle drei als stark bewerteten Trade-offs resultieren aus Risiken einer stark erhöhten Nachfrage nach biobasierten sowie regionalen mineralischen Baustoffen, was weit über die betreffende Stadtregion hinaus zu Übernutzungserscheinungen, nicht nachhaltigen Formen der Waldbewirtschaftung, Beeinträchtigungen von Ökosystemen und deren Leistungen sowie Umweltdegradation führen kann.

5.5.1.2.6.2 Beschreibung der stärksten Trade-offs für Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele

Cluster: 1.1 Nachhaltige, klimagerechte Baustoffe

Maßnahme Klimaschutz	Regionale mineralische bzw. geogene Rohstoffe
----------------------	---

Zielbereich	Übergreifend, übergeordnet
-------------	----------------------------

Wirkungsstärke	Mittel (2,2)
----------------	--------------

Fortschreitende globale Urbanisierung und Stadtwachstum sowie Erneuerung und Sanierung des Bestands verursachen hohen Bedarf an geogenen, mineralisch basierten Rohstoffen, auch zur Erzeugung von Baumaterialien wie Beton, Stahl, Aluminium und Glas. Dies benötigt hohe Mengen an Sand, der natürlichen Ökosystemen entnommen wird, und die Gewinnung von Erzen führt zu lokaler Entwaldung und Bodendegradation. Die Extraktion der für Bautätigkeiten benötigten Ressourcen verursacht daher Umweltdegradation im Stadtumland bzw. in anderen Ländern und Weltregionen.

Cluster: 1.1 Nachhaltige, klimagerechte Baustoffe

Maßnahme Klimaschutz	Biobasierte Materialien
----------------------	-------------------------

Zielbereich	Biodiversität & Naturräume
-------------	----------------------------

Wirkungsstärke	Mittel (2,0)
----------------	--------------

Verstärkte Nachfrage nach biobasierten Baumaterialien, wie Holz oder Bambus, kann zu Übernutzung und nicht nachhaltigen Produktionsmethoden führen, die Ökosysteme degradieren und Biodiversitätsverluste verursachen. Negative Auswirkungen auf Ökosysteme, Naturräume und die Biodiversität können - je nach Herkunftsgebieten der Rohstoffe - sowohl im regionalen Stadtumland als auch gänzlich anderswo entstehen.

Cluster: 1.1 Nachhaltige, klimagerechte Baustoffe

Maßnahme Klimaschutz	Biobasierte Materialien
Zielbereich	Biodiversität, Naturräume; Übergreifend, übergeordnet
Wirkungsstärke	Mittel (2,0)

Großmaßstäbliche Substitution von konventionellen Baustoffen durch biomassebasierte Baumaterialien, wie insbesondere holzbasierte Produkte (laminiertes Bauholz, etc.), kann zu starker Steigerung der Holznachfrage und zu zunehmender Flächenkonkurrenz zwischen land- und forstwirtschaftlichen Landnutzungen führen. Die Präferenz für forstliche Monokulturen zur Holzproduktion geht mit negativen Auswirkungen auf die Biodiversität einher; der Einsatz von Düngemitteln und Bewässerung kann zu Umweltbelastungen und Konkurrenz um knappe Wasserressourcen führen. Negative Auswirkungen auf Ökosysteme und deren Leistungen können in Regionen mit geringem Waldanteil sowie bei nicht nachhaltiger Waldbewirtschaftung in Herkunftsregionen besonders gravierend sein. Als Klimaschutzstrategie kann die Transition zu holzbasierten Baumaterialien nur erfolgreich sein, wenn das Holz aus nachhaltig bewirtschafteten Wäldern stammt (Churkina et al., 2020)

5.5.2 Urbane Verdichtung

Das Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“ bezieht sich auf bauliche (Nach)Verdichtung in bestehenden städtischen Strukturen. Es umfasst Maßnahmen mit dem Ziel der Treibhausgasminderung, die unmittelbar auf der Quartiers- und gesamtstädtischen Ebene ansetzen, aber den gesamten stadtreionalen Kontext betreffen, weil Verdichtung nach Innen die Begrenzung disperser Siedlungsentwicklung (Suburbanisierung, Zersiedelung) nach außen und die Freihaltung von Grün- und Freiräumen im Stadtumland voraussetzt. Die Handlungsstrategien und zugehörigen Maßnahmencluster hängen eng mit nachhaltigen städtebaulichen Leitbildern und Konzepten zusammen, wobei deren Umsetzung im Bebauungsbestand (Stadt-/Quartiersumbau, Sanierung) sich deutlich schwieriger gestaltet als bei der Neuentwicklung von Quartieren. Alle drei definierten Handlungsstrategien (Sub-Handlungsfelder) sollten idealerweise integriert und in Kombination miteinander umgesetzt werden. Sie beinhalten jeweils ein breites Portfolio an möglichen Instrumenten und Maßnahmen, deren Einsatz vom jeweiligen Planungs- und Rechtssystem sowie von der spezifischen städtischen und lokalen Kontextsituation abhängt. Für das Mapping und die Bewertung von Einflüssen auf die Klimaanpassung sowie Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele wurde das Handlungsfeld in folgende Handlungsstrategien, Maßnahmencluster und typische, exemplarische Maßnahmen strukturiert:

2. Urbane Verdichtung**2.1. Horizontale Verdichtung**

- Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung
- Schließen von Baulücken
- Baulandreservenmanagement (aktive Bodenpolitik, Widmungsbefristung, Baulandmobilisierung, Rückwidmung, Baulandumlegung)
- Brachflächenrecycling (Flächenkreislaufwirtschaft)
- Leerstandsaktivierung

- Erhöhung der Nutzungsdichte im Gebäudebestand (Mehrfachnutzung, Nutzungen mit reduziertem Raumbedarf, Aktivierung von Teil-Leerständen)

2.2. Vertikale Verdichtung

- Neubau und Sanierung mit größeren Gebäudehöhen
- Aufstockung
- Dachbodenausbau, Kellernutzung

2.3. Qualitätsvoll verdichtete, energieoptimierte, klimafreundliche Quartiers- und Bebauungsstrukturen

- Sanierung, Umbau, Neuentwicklung von Quartieren
 - Großvolumige (offene) Blockbebauung
 - Blockrandbebauung
 - Gekoppelte Bauweisen
 - Dichte, mehrgeschossige Mehrfamilienhäuser
- Polyzentrische, funktionsgemischte Strukturen mit kurzen Wegen

5.5.2.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Mit insgesamt 58 erhobenen konkreten Wirkungszusammenhängen ist das Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“ dasjenige mit der größten Zahl und Dichte potenzieller Wechselwirkungen. Auch wenn man nur die Interdependenzen mit der Klimaanpassung betrachtet, liegt Verdichtung mit insgesamt 35 identifizierten Wirkungsfeldern am ersten Rang unter allen Handlungsfeldern. Wie generell, zeigt sich auch hier eine klare Dominanz der positiven ($n = 23$) gegenüber den negativen ($n = 12$) Wirkungszusammenhängen auf die Klimaanpassung. Mit einem Anteil von rund drei Vierteln an allen Wechselwirkungen sind Maßnahmenoptionen der Strategie „2.1 Horizontale Verdichtung“ eindeutig am wechselwirkungsintensivsten. Der Maßnahmencluster „2.3 Qualitätsvoll verdichtete, energieoptimierte, klimafreundliche Quartiers- und Bebauungsstrukturen“ induziert eine vergleichsweise geringe Zahl von (in diesem Fall ausschließlich vorteilhaften) Wirkungszusammenhängen (Tabelle 20). Es muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass dies auch mit der Entscheidung im Projekt zusammenhängt, Begrünungs- und Freihaltemaßnahmen mit der primären Zielsetzung des Klimaschutzes vorrangig den transitorientierten Stadtentwicklungsstrategien des Handlungsfelds „Urbane Verkehrssysteme“ zuzuordnen.

Bei der Gegenüberstellung von positiven (Co-Benefits, Synergien) und negativen Wirkungen (Trade-offs, Konflikte) zeigt sich ein dominantes und für das Handlungsfeld charakteristisches, das städtische Umland umspannendes Wirkungsmuster (siehe auch Anhang D.2.1 und D.2.2). Zusatz-/Mehrfachnutzen und Synergien von Verdichtungsstrategien manifestieren sich vorwiegend im Umland von Städten, wo das Freihalten von baulicher Entwicklung und der Schutz von Grün- und Freiräumen Ziele und Maßnahmen der Klimaanpassung unterstützt, indem ökosystembasierte Anpassungsleistungen sowie Flächenpotenziale für aktive, z.B. technische Schutzmaßnahmen erhalten und in Wert gesetzt werden können. Von diesen Anpassungsmaßnahmen profitiert wiederum die Stadt als Gesamtes. Dahingegen treten Trade-offs und Zielkonflikte überwiegend innerhalb des bebauten Stadtgebietes auf, wo bauliche Verdichtung tendenziell zur Verstärkung des urbanen Wärmeinseleffekts und von (pluvialen) Hochwasserrisiken beiträgt und die Flächenverfügbarkeit für Anpassungsmaßnahmen wie grüne und blaue Infrastruktur oder dezentrale, naturbasierte Regenwassermanagementsysteme

reduziert. Vor- und Nachteile, Konflikte und Synergien innerhalb und außerhalb von Städten sind jedoch auch nur aus Sicht der Klimaanpassung wechselseitig nicht oder nur sehr eingeschränkt austauschbar oder substituierbar. Das heißt, ein Verzicht auf kompakte Innenentwicklung bei gleichzeitiger Ausschöpfung von Anpassungsmaßnahmen innerhalb des bebauten Stadtraums kann die Anpassungsleistungen, die im Stadtumland erbracht werden, nicht vollständig ersetzen. Ebenso wenig können naturbasierte Anpassungswirkungen und aktive Schutzmaßnahmen im Stadtumland überhöhte Innenverdichtung ohne Berücksichtigung der Klimaanpassung im Stadtinneren vollumfänglich kompensieren. Hinzu kommt, dass urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung und angemessene Nachverdichtung mit polyzentrischen, funktionsgemischten Strukturen und kurzen Wegen für die Treibhausgasminderung von Städten als Leitbild alternativlos erscheinen, und dass Klimaschutz und Klimaanpassung im globalen Maßstab nicht substituierbar sind.

Tabelle 20: Häufigkeit von Wirkungszusammenhängen mit der Klimaanpassung im Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“ nach Wirkungskategorien

Handlungsstrategie (Maßnahmencluster)		Positive Wirkungen			Negative Wirkungen			Summe
		Co-Benefits	Synergien	Gesamt	Trade-offs	Konflikte	Gesamt	
2.1	Horizontale Verdichtung	10	5	15	6	5	11	26
2.2	Vertikale Verdichtung	2	2	4	1	-	1	5
2.3	Qualitätsvoll verdichtete, energieoptimierte, klimafreundliche Quartiers- und Bebauungsstrukturen	-	4	4	-	-	0	4
Summe		12	11	23	7	5	12	35

Anzahl der identifizierten Wirkungszusammenhänge, die von THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“ auf die Klimaanpassung ausgehen, nach vorteilhaften (Co-Benefits, Synergien) und nachteiligen (Trade-offs, Konflikte) Kategorien von Wechselwirkungen.

Sowohl positive als auch negative Wirkungszusammenhänge betreffen grundsätzlich das gesamte Spektrum von städtischen Klimafolgenbereichen bzw. Anpassungszielen (siehe auch Anhang D.2.1 und D.2.2). Die häufigsten betroffenen Anpassungsbereiche sind jedoch eindeutig die Anpassung an Hitze (n = 15) und an (fluviale, pluviale und meeresküstenbedingte) Überflutungen (n = 14). Auch betrifft eine nicht geringe Zahl an Wirkungen (n = 8) mehrfache Klimafolgenbereiche gleichzeitig oder manifestiert sich auf der generischen Ebene der Anpassungskapazität oder übergeordneten städtischen Resilienz (Tabelle 21).

Tabelle 21: Häufigkeit der von Wirkungszusammenhängen betroffenen Klimafolgenbereiche im Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“ nach Wirkungskategorien

Klimafolgenbereich (Anpassungsziel)		Positive Wirkungen			Negative Wirkungen			Summe
		Co-Benefits	Synergien	Gesamt	Trade-offs	Konflikte	Gesamt	
A	Hitze	4	5	9	3	3	6	15
B	Überflutungen (fluvial, pluvial, Küsten)	4	5	9	3	2	5	14
C	Trockenheit (Wasserknappheit)	1	1	2	-	1	1	3
D	Sonstige Extremwetter- und Naturgefahrenereignisse	1	1	2	2	-	2	4
E	Übergreifend, übergeordnet	6	-	6	2	-	2	8
Summe		16	12	28	10	6	16	44

Häufigkeit der Klimafolgenbereiche (Anpassungsziele), die von positiven (Co-Benefits, Synergien) und negativen (Trade-offs, Konflikte) Auswirkungen von THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“ betroffen sind. Ein Wirkungszusammenhang kann für mehrere Klimafolgenbereiche gleichzeitig entstehen; daher ist deren Summe größer als die Zahl der Wirkungszusammenhänge.

Tabelle 22 ist zu entnehmen, dass Synergien und Konflikte durch Interaktion von verdichtungsorientierten Klimaschutzmaßnahmen mit einem breiten Spektrum von Maßnahmenbündeln der Klimaanpassung aus allen Kategorien entstehen können. Dies betrifft Anpassungsmaßnahmen, die sowohl innerhalb von Städten und auf lokaler bzw. gebäudebezogener Ebene als auch im Umland von Städten umgesetzt werden müssen. Am häufigsten treten Zielsynergien und –konflikte mit Maßnahmen zur Anpassung an Hitze auf, insbesondere mit grüner und blauer Infrastruktur (A1) und klimatisch optimierter Konfiguration von Gebäuden und Bebauungsstrukturen (passives Design) (A5). Häufig betroffen sind auch Maßnahmen zum dezentralen, naturbasierten Regenwassermanagement (B4, z. B. Versickerungs- und Rückhalteflächen, Abflussbahnen, Gebäudebegrünung, etc.), die zum Teil auch zur Anpassung an trockenheitsbedingte Wasserknappheit beitragen können. Zudem ist „2.1 Horizontale Verdichtung“ eine der wenigen Maßnahmencluster, die Prävention und Kontrolle von Waldbränden im Umland (D3) effektiv zu unterstützen vermögen.

Tabelle 22: Häufigkeit der an Synergien und Konflikten beteiligten Anpassungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“

Maßnahmenbündel Klimaanpassung	Synergien	Konflikte	Summe
<i>A: Hitze</i>			
A1: Grüne und blaue Infrastruktur (flächenhaft, linear)	3	1	4
A3: Kühlende Materialien und Oberflächen	2	-	2
A4: Verschattung von Gebäuden und städtischen Außenräumen	1	-	1
A5: Klimatisch optimierte Konfiguration der Bebauung	2	1	3

Maßnahmenbündel Klimaanpassung	Synergien	Konflikte	Summe
<i>B: Überflutungen (fluvial, pluvial, Küsten)</i>			
B1: Schutzinfrastruktur: technischer Hochwasser- und Küstenschutz (aktiv)	1	-	1
B2: Hochwasserangepasste Bauweisen und technischer Objektschutz	1	-	1
B3: Hochwasser- und Küstenschutz durch planerische und naturbasierte Maßnahmen (passiv)	1	-	1
B4: Naturbasiertes dezentrales städtisches Regenwassermanagement	2	2	4
<i>C: Trockenheit (Wasserknappheit)</i>			
C1: Angebotsseitiges Management von Wasserressourcen	1	-	1
C3: Regenwassermanagement und Regenwassernutzung	1	1	2
<i>D: Sonstige Extremwetter- & Naturgefahrenereignisse</i>			
D3: Management des Risikos von Wald- und Flächenbränden	1	-	1
Summe	16	5	21
Nicht betroffene Anpassungsmaßnahmen	A2: Begrünung von Gebäuden (Dächer, Fassaden) A6: Passive Kühlung und alternative (energieeffiziente und klimaneutrale) aktive Kühlung von Gebäuden (thermischer Innenkomfort) A7: Maßnahmen zur Hitzeresilienz des Verkehrssystems A8: Maßnahmen zur Hitzeresilienz der sonstigen technischen und baulichen Infrastruktur C2: Steigerung der Effizienz von städtischen Wassernutzungen D1: Bauliche Maßnahmen zur Erhöhung der Resistenz von Gebäuden und Infrastrukturanlagen gegen Extremwetterereignisse D2: Erhöhung der Resilienz der Energie- und Verkehrsinfrastruktur		

Die Zahlen geben an, wie häufig Maßnahmenbündel der städtischen Klimaanpassung in den unterschiedlichen Klimafolgenbereichen an der Entstehung von Synergien und Konflikten mit THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“ beteiligt sind. Nicht betroffene Anpassungs-Maßnahmenbündel sind gesondert aufgelistet.

Auch bei den Einflüssen auf Umwelt- und soziale Ziele einer nachhaltigen Stadtentwicklung dominieren unter den insgesamt 23 festgestellten Wirkungszusammenhängen die positiven Wirkungspotenziale (n = 14) (Tabelle 23). Die meisten Co-Benefits werden von den Maßnahmenclustern „2.1 Horizontale Verdichtung“ und „2.3 Qualitätsvoll verdichtete, energieoptimierte, klimafreundliche Quartiers- und Bebauungsstrukturen“ erzeugt, wohingegen für „2.3 Vertikale Verdichtung“ keine eindeutigen Vor- oder Nachteile erhoben wurden.

Tabelle 23: Häufigkeit von Wirkungszusammenhängen mit Umwelt- und Nachhaltigkeitszielen im Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“ nach Wirkungskategorien

Handlungsstrategie (Maßnahmencluster)	Co-Benefits	Trade-offs	Summe
2.1 Horizontale Verdichtung	9	8	17
2.2 Vertikale Verdichtung	-	-	0

Handlungsstrategie (Maßnahmencluster)		Co-Benefits	Trade-offs	Summe
2.3	Qualitätsvoll verdichtete, energieoptimierte, klimafreundliche Quartiers- und Bebauungsstrukturen	5	1	6
Summe		14	9	23

Anzahl der identifizierten Wirkungszusammenhänge, die von THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“ auf ökologische und soziale Ziele einer nachhaltigen Stadtentwicklung ausgehen, nach vorteilhaften (Co-Benefits) und nachteiligen (Trade-offs) Kategorien von Wechselwirkungen.

Grundsätzlich können alle in die Untersuchung einbezogenen Umwelt(schutz)güter und Nachhaltigkeitsziele von Co-Benefits und Trade-offs betroffen sein. Auf die Häufigkeit der Betroffenen bezogen, dominieren auch in diesem Handlungsfeld Auswirkungen auf das Schutzgut „menschliche Gesundheit“ mit unterschiedlichen Aspekten der sozialen Gerechtigkeit (n = 12), einschließlich von Trade-offs, die mit dem Risiko von Gentrifizierungseffekten auf marginalisierte bzw. einkommensschwache Gruppen zusammenhängen. Auch die Umweltgüter „Biodiversität und Naturräume“, „Boden“ und „Wasser“ sind überdurchschnittlich häufig von den Auswirkungen von Verdichtungsstrategien betroffen (Tabelle 24).

Tabelle 24: Häufigkeit der von Auswirkungen betroffenen Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele im Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“

Schutzgüter, Zielbereiche städtischer Nachhaltigkeitspolitiken	Positiv betroffen (Co-Benefits)	Negativ betroffen (Trade-offs)	Summe
Biodiversität, Naturräume	2	2	4
Luftqualität	1	1	2
Boden (Versiegelung, Qualität, Funktion)	1	2	3
Wasser (Oberflächengewässer, Grundwasser, Trinkwasser, Qualität, Quantität)	3	-	3
Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte	6	6	12
Übergreifend, übergeordnet	2	-	2
Summe	15	11	26

Häufigkeit der Umwelt(schutz)güter bzw. sozialökologischen Zielbereiche von Stadtpolitiken, die von positiven (Co-Benefits) und negativen (Trade-offs) Auswirkungen von THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“ betroffen sind. Ein Wirkungszusammenhang kann für mehrere Zielbereiche gleichzeitig entstehen; daher ist deren Summe größer als die Zahl der Wirkungszusammenhänge.

Das Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“ ist nicht nur dasjenige mit den meisten Wirkungszusammenhängen insgesamt, sondern weist auch die meisten Wirkungen mit hoher Bewertung der Wirkungsstärke auf. Von 40 als stark bewerteten Wirkungen entstehen 27 mit Zielen und Maßnahmen der Klimaanpassung und 13 mit anderen Umwelt- bzw. Nachhaltigkeitszielen. Tabelle 25 zeigt die Verteilung der Häufigkeiten von starken Wirkungszusammenhängen auf die Maßnahmencluster des Handlungsfelds sowie nach positiven und negativen Wirkungskategorien. Co-Benefits und Synergien sind insgesamt deutlich häufiger (n = 22) als Trade-offs und Synergien (n = 16).

Auch hinsichtlich der Relevanz bzw. Stärke der Auswirkungen erweist sich die Handlungsstrategie „2.1 Horizontale Verdichtung“ als äußerst wechselwirkungsintensiv und verursacht alleine weit mehr als die Hälfte (n = 29) der Wirkungszusammenhänge, davon allein 19 mit der Klimaanpassung. Hingegen sind positive und negative Wirkungen von „2.2 Vertikale Verdichtung“ mit insgesamt 4 Befunden relativ überschaubar.

Tabelle 25: Wirkungszusammenhänge mit der stärksten Ausprägung im Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“ nach Wirkungskategorien

Handlungsstrategie (Maßnahmencluster)		Klimaanpassung Positive Wirkungen			Klimaanpassung Negative Wirkungen			Sozial- ökologische Ziele			Summe
		Co-Benefits	Synergien	Gesamt	Trade-offs	Konflikte	Gesamt	Co-Benefits	Trade-offs	Gesamt	
2.1	Horizontale Verdichtung	7	4	11	3	5	8	4	6	10	29
2.2	Vertikale Verdichtung	1	2	3	1	-	1	-	-	0	4
2.3	Qualitätsvoll verdichtete, energieoptimierte, klimafreundliche Quartiers- und Bebauungsstrukturen	-	4	4	-	-	0	2	1	3	7
Summe		8	10	18	4	5	9	6	7	13	40

Die Tabelle zeigt die Anzahl der stärksten positiven und negativen Wirkungszusammenhänge von THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“ und deren Verteilung auf die Handlungsstrategien (Maßnahmencluster) des Klimaschutzes. Die Auswertung basiert auf qualitativen Experteneinschätzungen jedes Wirkungszusammenhangs durch das Projektkonsortium. Bewertet wurden Stärke, Wahrscheinlichkeit und Plausibilität der Wirkungszusammenhänge auf einer dreistufigen Skala. Als stärkste Wirkungszusammenhänge wurden diejenigen ausgewählt, die mit einem arithmetisch gemittelten Wert zwischen 2,0 und 3,0 (ohne Rundung auf ganze Zahlen) bewertet wurden.

5.5.2.2 Ergebnisse nach Kategorien von Wirkungszusammenhängen

5.5.2.2.1 Co-Benefits für Ziele der Klimaanpassung

5.5.2.2.1.1 Überblick

Mit insgesamt 12 vorteilhaften Auswirkungen von Klimaschutzmaßnahmen des Handlungsfelds „Nachhaltiges Bauen“ auf generelle Ziele der Klimaanpassung (siehe auch Anhang D.2.1) sind Co-Benefits für die Anpassung der häufigste Typ von Wechselwirkungen innerhalb des Handlungsfelds. Allein 10 Co-Benefits, die vorwiegend im Stadtumland verortbar sind, werden durch Maßnahmen der horizontalen Verdichtung (2.1) generiert. Mehrfache oder generische Zusatznutzen sowie Anpassung an Hitze und Überflutungen sind die am häufigsten betroffenen Zielbereiche der Klimaanpassung.

Ein ähnliches Bild ergibt sich bei den Co-Benefits für die Anpassung, die als stark eingeschätzt wurden. Eine substanzielle Gesamtzahl von 8 vorteilhaften Wirkungen geht in erster Linie von Maßnahmen mit dem Ziel der horizontalen Verdichtung (2.1) von Städten aus. Der Wirkungsmechanismus besteht in den meisten Fällen darin, dass durch Vermeidung von disperser Suburbanisierung die Anpassungsleistungen von Ökosystemen im Stadtumland

erhalten und gestärkt werden, die Klimarisiko-Exposition an den Stadträndern eingeschränkt und der passive Schutz vor Hochwasser und Naturgefahren ermöglicht wird. Zusätzlich kann durch die Reduktion öffentlicher Kosten für aufwändigen, flächenexpansiven Infrastrukturausbau die generische Anpassungskapazität von Städten gestärkt werden.

5.5.2.2.1.2 Beschreibung der stärksten Co-Benefits für die Klimaanpassung

Cluster: 2.1 Horizontale Verdichtung

Maßnahme Klimaschutz	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung
----------------------	--

Klimafolgenbereich	E: Übergreifend, übergeordnet
--------------------	-------------------------------

Wirkungsstärke	Hoch (3,0)
----------------	------------

Verringerte Flächeninanspruchnahme für Stadterweiterung und Siedlungstätigkeiten im Umland trägt zum Erhalt von Ökosystemen (Wald, Feuchtgebiete, Kaltluftentstehungsgebiete, Küstenökosysteme, etc.) und von deren ökosystem-/naturbasierten Anpassungsleistungen (Wasserrückhalt, Versickerung und Grundwasserneubildung, Kaltluftproduktion und -leitung, Naturgefahrenschutz, Lebensraumvernetzung, Küstenschutz, etc.) bei.

Mitigation co-benefits: Durch die Erhaltung der Kohlenstoff-Senkenfunktion von Naturräumen im Stadtumland und die Freihaltung von Flächenpotenzialen für die erneuerbare Energieerzeugung (PV, Windkraft, biogene Energieträger) entsteht Zusatznutzen für den Klimaschutz.

Cluster: 2.1 Horizontale Verdichtung

Maßnahme Klimaschutz	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung
----------------------	--

Klimafolgenbereich	E: Übergreifend, übergeordnet
--------------------	-------------------------------

Wirkungsstärke	Hoch (3,0)
----------------	------------

Kompakte Städte benötigen eine weniger flächengreifende Infrastrukturentwicklung. Dies reduziert Kosten und Aufwände für Errichtung, Betrieb und Erhaltung von technischer Ver- und Entsorgungsinfrastruktur (Elektrizität, Wasser, Abwasser, Abfall, Straßen, Telekommunikation). Hierdurch freiwerdende Finanzmittel stärken potenziell die generische Resilienz und Anpassungskapazität von Städten.

Mitigation co-benefit: Gleichzeitig entsteht Zusatznutzen für den Klimaschutz, weil durch geringeren Bedarf an neuer Infrastruktur substanzielle Einsparungen von Energie und THG-Emissionen ermöglicht werden.

Cluster: 2.1 Horizontale Verdichtung

Maßnahme Klimaschutz	Leerstandsaktivierung, Erhöhung der Nutzungsdichte im Gebäudebestand
Klimafolgenbereich	A: Hitze; B: Überflutungen; E: Übergreifend, übergeordnet
Wirkungsstärke	Mittel (2,4)

Leerstandsaktivierung kann eine Verringerung des notwendigen Zubaus (etwa durch Bevölkerungswachstum) bewirken und somit überhöhte, klimatisch ungünstige horizontale Verdichtung vermeiden, was sich potenziell positiv auf den UHI-Effekt sowie das Überflutungsrisiko auswirkt. Zudem trägt die Aktivierung von Leerständen zur Vermeidung neuer Flächeninanspruchnahme und von Zersiedelung im Stadtumland bei, wodurch Anpassungsleistungen von unbebauten Naturräumen erhalten und zusätzliche Klimarisikoeexposition vermieden werden kann.

Cluster: 2.1 Horizontale Verdichtung

Maßnahme Klimaschutz	Brachflächenrecycling, Schließen von Baulücken
Klimafolgenbereich	B: Überflutungen
Wirkungsstärke	Mittel (2,4)

Baulückenschließung und Flächenrecycling ermöglichen durch effizientere Flächennutzung im Stadttinneren die Einschränkung neuer Flächeninanspruchnahme im Stadtumland. Dies trägt zur Vermeidung zusätzlicher Hochwasserrisiken bei (Vermeidung von städtischem Flächenwachstum in überflutungsgefährdete Gebiete).

Cluster: 2.1 Horizontale Verdichtung

Maßnahme Klimaschutz	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung
Klimafolgenbereich	B: Überflutungen; D: Sonstige Extremwetter- und Naturgefahrenereignisse
Wirkungsstärke	Mittel (2,0)

Kompakte, nach innen orientierte Stadtentwicklung verringert die Flächeninanspruchnahme im Stadtumland und vermeidet disperse, flächenintensive Siedlungsentwicklung (Suburbanisierung, Zersiedelung). Dies trägt zur Verringerung der Exposition gegenüber klimagetriebenen Hochwasser-, Naturgefahren- und Extremwetterrisiken (inkl. Waldbrand) im Stadtumland bei und ermöglicht die Risikovermeidung und -reduktion durch Freihaltung von Gefährdungsbereichen und Restrisikozonen. Die Erhaltung oder Wiederherstellung von funktionsfähigen Hochwasserrückhalte- und Abflussräumen in Stadtumland sowie von naturnahen Küstenhabitaten zum Schutz vor Meeresspiegelanstieg und Springfluten stärkt generell die Klima- und Katastrophenresilienz von Städten.

Cluster: 2.1 Horizontale Verdichtung

Maßnahme Klimaschutz	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung
Klimafolgenbereich	E: Übergreifend, übergeordnet
Wirkungsstärke	Mittel (2,0)

Urbane Dichte begünstigt einen niedrigeren Energiebedarf für Betrieb und thermischen Komfort von Gebäuden (Effizienzgewinne). Dies trägt indirekt dazu bei, die Vulnerabilität von Städten gegenüber Energieschocks zu reduzieren und damit die Krisenresilienz zu erhöhen. Geringerer Energieverbrauch reduziert weiters die Netzbelastung, erhöht die Resilienz der Energieversorgung gegenüber Hitzebelastung und Extremwetterereignissen, und verringert damit das Risiko von Black-outs.

Cluster: 2.1 Horizontale Verdichtung

Maßnahme Klimaschutz	Brachflächenrecycling
Klimafolgenbereich	E: Übergreifend, übergeordnet
Wirkungsstärke	Mittel (2,0)

Flächenkonversion, Reaktivierung und Renaturierung von Brachflächen bieten prinzipiell die Chance für Interventionen in Richtung klimaorientierte Stadtentwicklung, inklusive Klimaanpassung. Zum Beispiel für die Schaffung von Grünflächen, dezentralen Regenentwässerungs- und Versickerungsflächen und Regenwassersammelanlagen.

Cluster: 2.2 Vertikale Verdichtung

Maßnahme Klimaschutz	Neubau bzw. Sanierung mit größeren Gebäudehöhen, Aufstockung, Dachbodenausbau und Kellernutzung
Klimafolgenbereich	A: Hitze; B: Überflutungen
Wirkungsstärke	Mittel (2,2)

Durch höhere Baulandnutzungseffizienz und höhere Einwohnerdichten kann vertikale Verdichtung den Bedarf nach horizontaler Erhöhung der Bebauungsdichte mindern. Dies trägt dazu bei, Flächenpotenziale für grüne Infrastruktur zur Anpassung an Hitze und Starkregen innerhalb der Stadt zu erhalten bzw. Entsiegelungspotenziale besser ausschöpfen zu können.

5.5.2.2.2 Trade-offs für Ziele der Klimaanpassung**5.5.2.2.2.1 Überblick**

Für bauliche (Nach)Verdichtung in bestehenden städtischen Strukturen wurden insgesamt 7 Trade-offs mit der Klimaanpassung erhoben, die am häufigsten in den Bereichen der Anpassung an Hitze und Überflutungen auftreten, ansonsten aber alle Klimafolgenbereiche mit Ausnahme von Trockenheit betreffen können (siehe auch Anhang D 2.1). Dass Strategie „2.1 Horizontale Verdichtung“ auch die häufigsten nachteiligen Effekte ($n = 6$) hervorrufen kann, bestätigt den ambivalenten Charakter von Maßnahmen zur kompakten Innenverdichtung. Der wesentliche Unterschied zu den Co-Benefits besteht darin, dass die Trade-offs sich auf das bebaute Stadtgebiet konzentrieren. Häufige Wirkungsmechanismen bestehen in der Verstärkung von Überhitzungseffekten und pluvialen Überflutungsrisiken infolge von Starkregen sowie in der Verminderung von Flächenpotenzialen für naturbasierte Kühlung und Versickerung.

Diese verdichtungsbedingten Verstärkungen von Klimawandelfolgen bzw. Erhöhungen von Vulnerabilitäten, Klimarisiken und Anpassungsbedarf spiegeln sich auch in den vier am stärksten bewerteten Trade-offs.

5.5.2.2.2 Beschreibung der stärksten Trade-offs für die Klimaanpassung

Cluster: 2.1 Horizontale Verdichtung

Maßnahme Klimaschutz	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung
Klimafolgenbereich	A: Hitze
Wirkungsstärke	Mittel (2,4)

Die bauliche Verdichtung der städtischen Struktur führt zur Verringerung des Flächenpotenzials für Grün- und Freiflächen, kann den städtischen Wärmeinseleffekt verstärken und insbesondere auch die nächtliche Abkühlung reduzieren, und erhöht damit potenziell den Hitzestress für die Bevölkerung. Mit fortschreitendem Klimawandel und steigender Bevölkerungsdichte nehmen die Risikoexposition und Vulnerabilität der Stadtbevölkerung gegenüber Hitze zu. Fortschreitende Urbanisierung und Verdichtung führen zudem zu steigender Wärmespeicherungskapazität baulicher Strukturen und zu mehr anthropogenen Wärmelasten (Abwärme).

Mitigation trade-off: Gleichzeitig kann übermäßige städtische Verdichtung auch zusätzliche THG-Emissionen induzieren, z.B. durch steigenden Energiebedarf für technische Kühlung infolge einer Intensivierung des UHI-Effekts und durch reduzierte innerstädtische Flächenpotenziale für erneuerbare Energiebereitstellung.

Cluster: 2.1 Horizontale Verdichtung

Maßnahme Klimaschutz	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung
Klimafolgenbereich	B: Überflutungen; E: Übergreifend, übergeordnet
Wirkungsstärke	Mittel (2,2)

Die Verdichtung der städtischen Struktur reduziert den unversiegelten, versickerungsfähigen Grün- und Freiflächenanteil, erhöht den pluvialen Oberflächenabfluss durch höheren Versiegelungs- bzw. Überbauungsgrad und erhöht dadurch das lokale Überflutungsrisiko infolge von Starkregen in Siedlungsräumen. Verringerte natürliche Stadtentwässerung belastet die technische Abwasserentsorgungsinfrastruktur und verursacht zusätzliche Kosten für Investitionsbedarf, Betrieb und Instandhaltung für technische Entwässerungslösungen (Kanalisation, Pumpanlagen, Kläranlagen, etc.); hierdurch gebundene finanzielle Mittel stehen für andere gemeinwohlorientierte Maßnahmen, einschließlich für Klimaschutz und Klimaanpassung, nicht mehr zur Verfügung und verringern damit die generische Resilienz von Städten.

Mitigation trade-off: Negative Rückwirkungen auf den Klimaschutz entstehen dadurch, dass der Ausbau der technischen Wasserentsorgungsinfrastruktur zusätzlichen Energieeinsatz erfordert.

Cluster: 2.1 Horizontale Verdichtung

Maßnahme Klimaschutz	Brachflächenrecycling
Klimafolgenbereich	E: Übergreifend, übergeordnet
Wirkungsstärke	Mittel (2,2)

Die Bebauung von Brachflächen im Zuge der Ausschöpfung von Nachverdichtungspotenzialen im Stadtinneren erhöht potenziell den UHI-Effekt und den Oberflächenabfluss und verringert die Flächenverfügbarkeit für Anpassungsmaßnahmen, wie grüne / blaue Infrastruktur und naturbasierte Regenentwässerung.

Cluster: 2.2 Vertikale Verdichtung

Maßnahme Klimaschutz	Neubau bzw. Sanierung mit größeren Gebäudehöhen, Aufstockung, Dachbodenausbau und Kellernutzung
Klimafolgenbereich	A: Hitze
Wirkungsstärke	Mittel (2,2)

Vertikale Verdichtung durch größere Gebäudehöhen beeinflusst die städtische Luftzirkulation und die Windverhältnisse. Dies kann die Frischluftzufuhr und den Austausch von heißen Luftmassen beeinträchtigen. Zudem trägt die Erhöhung der Baumasse auf gleicher Fläche zur Verstärkung des UHI-Effekts bei (Wärmespeicherung, Abstrahlung).

5.5.2.2.3 Synergien mit Maßnahmen der Klimaanpassung**5.5.2.2.3.1 Überblick**

Insgesamt wurde eine im Vergleich sehr hohe Anzahl von 11 Synergiefeldern von verdichtungsorientierten Klimaschutzstrategien mit konkreten Anpassungsoptionen ermittelt, wovon die Mehrzahl sich auf Maßnahmen zur Anpassung an Hitze und Überflutungen beziehen (siehe auch Anhang D.2.2). Analog zu den Co-Benefits für die Anpassung ermöglicht und unterstützt innenorientierte städtische Verdichtung die Nutzung von naturbasierten Anpassungsleistungen, passive Schutzstrategien sowie aktive (technische, bauliche) Anpassungs- und Schutzmaßnahmen vorrangig im Umland von Städten. Zu einem Gutteil handelt es sich damit um Anpassungsoptionen, die ihre Wirkung für Städte und deren Bewohner*innen auf der Skalenebene von Stadtregionen bzw. der Landschaftsebene erbringen. Durch den Erhalt der C-Senkenwirkung von Naturräumen im Umland sowie durch effektive Beiträge zur Kühlung und Belüftung von Städten entsteht zudem rückwirkender Zusatznutzen auch für die THG-Minderung. Neben der horizontalen Verdichtung bestehen aber auch zwischen der vertikalen Verdichtung (2.2) und qualitativ verdichteten, energieoptimierten Bebauungsstrukturen (2.3) eine Reihe von Synergiepotenzialen (n = 2 bzw. n = 4).

10 der 11 identifizierten Synergien wurden in dem Sinne als relevant eingeschätzt, als sie mittlere bis hohe Bewertungen der Wirkungsintensität erzielten. Hiervon werden vier Synergien durch Strategie „2.1 Horizontale Verdichtung“, zwei durch „2.2 Vertikale Verdichtung“ und vier durch „2.3 Qualitativ verdichtete, energieoptimierte Bebauungsstrukturen“ erzielt.

5.5.2.2.3.2 Beschreibung der stärksten Synergien mit Klimaanpassung

Cluster: 2.1 Horizontale Verdichtung	
Maßnahme Klimaschutz	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung
Klimafolgenbereich	A: Hitze
Maßnahmenbündel Klimaanpassung	A1: Grüne und blaue urbane Infrastruktur (flächenhaft, linear)
Wirkungsstärke	Mittel (2,2)

Nach innen orientierte Stadtentwicklung mit Schutz von außenliegenden Grün- und Freiräumen ermöglicht und unterstützt die Freihaltung und Funktionserhaltung von Naturräumen im Stadtumland, die als Kaltluftproduktionsräume und Frischluftentstehungsgebiete für das Stadtgebiet ausgewiesen und von Bebauung freigehalten können, sowie deren funktionale Anbindung über Ausweisung von Kaltluftleitbahnen an das Stadtinnere.

Mitigation co-benefits: Kohlenstoff-Senkenwirkung von Naturräumen (Vegetation, Boden, Feuchtflächen); Energieeinsparung und THG-Minderung durch naturbasierte Kühlung.

Cluster: 2.1 Horizontale Verdichtung	
Maßnahme Klimaschutz	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung
Klimafolgenbereich	B: Überflutungen
Maßnahmenbündel Klimaanpassung	B1: Schutzinfrastruktur: technischer Hochwasser- und Küstenschutz (aktiv)
Wirkungsstärke	Mittel (2,2)

Kompakte, nach außen gut abgegrenzte Siedlungskörper erleichtern den wirkungsvollen und kosteneffizienten technischen Schutz von Städten gegen Flusshochwasser, Meeresspiegelanstieg, Sturmfluten und Küstenerosion durch bauliche Schutzinfrastruktur (wohingegen zersiedelte, nach außen ausfransende Siedlungsstrukturen und Streusiedlungen nicht umfassend bzw. nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand baulich geschützt werden können). Zudem werden für aktive bauliche Schutzmaßnahmen benötigte Flächenpotenziale im Umland freigehalten.

Risiko für adaptation trade-off: Um Fehlanpassungsrisiken zu vermeiden, ist ein verantwortungsvoller und vorausschauender Umgang mit Restrisiken wesentlich. Exposition gegenüber Restrisiken entsteht durch die verbreitete Praxis, dass nach der Errichtung von Schutzinfrastruktur Gefahrenzonenplanungen und Beschränkungen für Baulandwidmungen und Bauführungen zurückgenommen werden. Durch Verdichtung in technisch geschützten Bereichen kommt es zum Ansteigen des Schadenspotenzials im Versagens- oder Überlastfall. Möglichkeiten zur Risikosteuerung bestehen in Ansätzen einer risikoorientierten Raumplanung mit differenzierten Nutzungsbeschränkungen in Restrisikobereichen.

Mitigation trade-off: Errichtung (Beton, Stahl, Bautätigkeit) und Instandhaltung von Schutzbauwerken verursachen THG-Emissionen (vermeiden aber Emissionen für Wiederaufbau, Reparatur und Instandsetzung im Schadensfall).

Cluster: 2.1 Horizontale Verdichtung

Maßnahme Klimaschutz	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung
Klimafolgenbereich	B: Überflutungen
Maßnahmenbündel Klimaanpassung	B3: Hochwasser- und Küstenschutz durch planerische und naturbasierte Maßnahmen (passiv)
Wirkungsstärke	Mittel (2,2)

Innenverdichtung von Städten ist unmittelbar synergistisch mit der passiven Prävention von Überflutungsrisiken (sowie von Risiken durch andere klimagetriebene, z.B. gravitative Naturgefahrenprozesse), weil kompakte, nach außen abgegrenzte Stadtstrukturen das Freihalten überflutungsgefährdeter Lagen von baulicher Entwicklung unterstützen. Das Vermeiden von Siedlungsentwicklung in risikoexponierten Gebieten ist die vorrangige, effektivste und volkswirtschaftlich kosteneffizienteste Strategie zur Risikoprävention. Alle Instrumente und Maßnahmen von Raumplanung, Landnutzungsplanung und Risikomanagement, die auf die Freihaltung von gefährdeten Bereichen abzielen (wie Gefahrenzonenplanung, regionale Freihaltezonen, Widmungs- und Bebauungsverbote bzw. -beschränkungen), tragen zur Risikovermeidung und -reduktion bei. Naturbasierte Anpassungs- und Schutzmaßnahmen, die auf die Erhaltung, Wiederherstellung oder Schaffung von natürlichen Hochwasserabfluss- und Rückhalteräumen, natürlichen Küstenökosystemen (Marschen, Feuchtgebiete, Mangrovenwälder, Dünengebiete, etc.) oder naturnahen Strukturen (Wellenbrecher, Gezeitenbarrieren, Sandanreicherung, etc.) abzielen, reduzieren die Vulnerabilität von Städten gegenüber klimawandelbedingt verstärkten Hochwasser- und Naturgefahrenrisiken.

Mitigation co-benefit: Ökosystembasierte Maßnahmen zum Hochwasser- und Küstenschutz können die Kohlenstoffbindung steigern.

Cluster: 2.1 Horizontale Verdichtung

Maßnahme Klimaschutz	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung
Klimafolgenbereich	D: Sonstige Extremwetter- und Naturgefahrenereignisse
Maßnahmenbündel Klimaanpassung	D3: Management des Risikos von Wald- und Flächenbränden
Wirkungsstärke	Mittel (2,0)

Kompakte, klar nach außen abgegrenzte städtische Siedlungsstrukturen reduzieren die Fraktalität der äußeren Stadtgestalt und damit die Verzahnung von Siedlungen mit dem Umland (Wildlife-Urban-Interface). Dies begünstigt Maßnahmen der Waldbrandprävention und Waldbrandbekämpfung und senkt das Brand- und Schadensrisiko für Städte, weil weniger verstreute Einzelobjekte geschützt werden müssen und die Ausbreitung von Bränden auf Siedlungsgebiete besser verhindert werden kann.

Cluster: 2.2 Vertikale Verdichtung

Maßnahme Klimaschutz	Neubau bzw. Sanierung mit größeren Gebäudehöhen, Aufstockung, Dachbodenausbau, Kellernutzung
Klimafolgenbereich	A: Hitze; B: Überflutungen
Maßnahmenbündel Klimaanpassung	A1: Grüne und blaue Infrastruktur (flächenhaft, linear) B4: Naturbasiertes dezentrales städtisches Regenwasser-management C3: Regenwassermanagement und Regenwassernutzung
Wirkungsstärke	Mittel (2,6)

Durch höhere Baulandnutzungseffizienz und höhere Einwohnerdichten kann vertikale Verdichtung den Bedarf nach horizontaler Erhöhung der Bebauungsdichte mindern. Dies trägt dazu bei, Flächenpotenziale für die Errichtung und Erhaltung von grüner und blauer Infrastruktur im Stadtraum sowie für Maßnahmen zum Starkregen- und Regenwassermanagement zu sichern bzw. Entsiegelungspotenziale zur Herstellung von Versickerungsflächen besser auszuschöpfen. Vertikale Verdichtung reduziert somit innerstädtische Flächennutzungskonkurrenzen und erleichtert die Umsetzung von v.a. naturbasierten, grünen Maßnahmen zur Anpassung an Hitze und Überflutungen.

Cluster: 2.2 Vertikale Verdichtung

Maßnahme Klimaschutz	Neubau bzw. Sanierung mit größeren Gebäudehöhen, Aufstockung, Dachbodenausbau, Kellernutzung
Klimafolgenbereich	A: Hitze; B: Überflutungen
Maßnahmenbündel Klimaanpassung	A4: Verschattung von Gebäuden und städtischen Außenräumen (passiv, aktiv) A5: Klimatisch optimierte Konfiguration der Bebauung (passives urbanes Design)
Wirkungsstärke	Mittel (2,4)

Durch gezieltes urbanes Design und mikro-/mesoklimatisch optimiertes passives Gebäudedesign kann die Verschattungswirkung von höheren Gebäuden sowie deren kanalisierende Wirkung für Windströmungen und Luftzirkulationen möglichst optimal genutzt werden, um Hitzestress und den UHI-Effekt zumindest lokal zu mindern.

Mitigation trade-off: Größere Gebäudehöhen erfordern, v.a. aus baustatischen Gründen, einen erhöhten Einsatz von energieintensiven Baumaterialien mit ungünstiger THG-Bilanz wie Stahl und Beton/Zement.

Cluster: 2.3 Qualitätsvoll verdichtete, energieoptimierte, klimafreundliche Quartiers- und Bebauungsstrukturen

Maßnahme Klimaschutz	Sanierung/ Umbau/ Neuentwicklung von Quartieren; großvolumige (offene) Blockbebauung; Blockrandbebauung; polyzentrische, funktionsgemischte Strukturen
Klimafolgenbereich	A: Hitze
Maßnahmenbündel Klimaanpassung	A1: Grüne und blaue Infrastruktur (flächenhaft, linear)
Wirkungsstärke	Hoch (3,0)

Umbau und Neuentwicklung von Stadtquartieren mit qualitätsvoll verdichteten Bebauungsstrukturen können dazu genutzt werden, grüne und blaue Infrastruktur integriert und gleichwertig zur baulichen Entwicklung zu planen und angemessene Anteile von Grünflächen und Wasserelementen mit kühlender Wirkung zu sichern, aufzuwerten und anzulegen.

Mitigation co-benefits: Kohlenstoffbindung durch Vegetation; Energieeinsparung und THG-Reduktion durch naturbasierte Kühlung.

Cluster: 2.3 Qualitätsvoll verdichtete, energieoptimierte, klimafreundliche Quartiers- und Bebauungsstrukturen

Maßnahme Klimaschutz	Sanierung/ Umbau/ Neuentwicklung von Quartieren; großvolumige (offene) Blockbebauung; Blockrandbebauung; polyzentrische, funktionsgemischte Strukturen
Klimafolgenbereich	A: Hitze
Maßnahmenbündel Klimaanpassung	A5: Klimatisch optimierte Konfiguration der Bebauung (passives urbanes Design)
Wirkungsstärke	Hoch (2,8)

Umbau und Neuentwicklung von Stadtquartieren können dazu genutzt werden, durch passives urbanes Design (Gebäudeanordnung, -ausrichtung und -höhen; bauliche Grundstücksnutzung und Versiegelungsgrade) Überhitzung zu vermeiden, Verschattung zu erzeugen und Frischluftzufuhr zu gewährleisten.

Mitigation co-benefit: Energieeinsparung und THG-Reduktion durch naturbasierte Kühlung.

Cluster: 2.3 Qualitätsvoll verdichtete, energieoptimierte, klimafreundliche Quartiers- und Bebauungsstrukturen

Maßnahme Klimaschutz	Sanierung/ Umbau/ Neuentwicklung von Quartieren; großvolumige (offene) Blockbebauung; Blockrandbebauung; polyzentrische, funktionsgemischte Strukturen
Klimafolgenbereich	B: Überflutungen
Maßnahmenbündel Klimaanpassung	B4: Naturbasiertes dezentrales städtisches Regenwassermanagement
Wirkungsstärke	Mittel (2,4)

Umbau und Neuentwicklung von Stadtquartieren können dazu genutzt werden, unversiegelte, versickerungsfähige Flächen, Rückhalteflächen, Abflussschneisen und Entsiegelungspotenziale für Regenentwässerung und Versickerung zu sichern und umzusetzen.

Mitigation co-benefits: Kohlenstoffbindung durch Vegetation; Einsparung von Energie und THG-Emissionen für technische Entwässerungslösungen (Errichtung, Betrieb, Instandhaltung).

Cluster: 2.3 Qualitätsvoll verdichtete, energieoptimierte, klimafreundliche Quartiers- und Bebauungsstrukturen

Maßnahme Klimaschutz	Sanierung/ Umbau/ Neuentwicklung von Quartieren; großvolumige (offene) Blockbebauung; Blockrandbebauung; polyzentrische, funktionsgemischte Strukturen
Klimafolgenbereich	B: Überflutungen
Maßnahmenbündel Klimaanpassung	B2: Hochwasserangepasste Bauweisen und technischer Objektschutz
Wirkungsstärke	Mittel (2,2)

Umbau und Neuentwicklung von Stadtquartieren können dazu genutzt werden, gleichzeitig technische Schutzmaßnahmen an Liegenschaften und Bebauungsstrukturen gegen Überschwemmungen umzusetzen, hochwasserangepasste Bauweisen zu implementieren und im Rahmen schadensbegrenzender, risikodifferenzierter räumlicher Planung die Verortung von baulichen Nutzungsintensitäten an Gefährdungsgrad und Schadenspotenzial auszurichten.

5.5.2.2.4 Konflikte mit Maßnahmen der Klimaanpassung**5.5.2.2.4.1 Überblick**

Es wurden insgesamt fünf Konfliktpotenziale mit Anpassungsoptionen festgestellt, die alle von Maßnahmen der horizontalen Verdichtung ausgehen. In allen Fällen entstehen die Konflikte durch verringerte Flächenpotenziale für die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen wie grüne und blaue Infrastruktur (A1) oder dezentrale, naturbasierte Regenwassermanagement-Lösungen (B4) sowie durch die erschwerte Umsetzbarkeit, Einengung von Spielräumen oder Einschränkung der Wirksamkeit von Optionen des passiven Designs von Gebäuden und Bebauungsstrukturen (A5).

Allen fünf erhobenen Konflikten wurde in der Experteneinschätzung eine mittlere bis hohe Wirkungsausprägung attestiert.

5.5.2.2.4.2 Beschreibung der stärksten Konflikte mit Klimaanpassung

Cluster: 2.1 Horizontale Verdichtung	
Maßnahme Klimaschutz	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung
Klimafolgenbereich	C: Trockenheit
Maßnahmenbündel Klimaanpassung	C3: Regenwassermanagement und Regenwassernutzung
Wirkungsstärke	Hoch (2,6)

Horizontale Innenverdichtung verringert die Flächenverfügbarkeit für unversiegelte, nicht überbaute Flächen. Ein geringerer Anteil versickerungsfähiger Flächen beeinträchtigt die Grundwasserneubildung und die unterirdische Wasserspeicherkapazität ("Schwammstadt-Prinzip") und erschwert die Wasserversorgung von städtischer Vegetation, insbesondere während Trockenperioden.

Cluster: 2.1 Horizontale Verdichtung	
Maßnahme Klimaschutz	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung
Klimafolgenbereich	A: Hitze
Maßnahmenbündel Klimaanpassung	A1: Grüne und blaue urbane Infrastruktur (flächenhaft, linear)
Wirkungsstärke	Mittel (2,4)

Bauliche Verdichtung steht in Flächenkonkurrenz mit der Sicherung, Aufwertung und Neuanlage von urbaner grüner und blauer Infrastruktur zur städtischen Hitzeminderung. Überhöhte Bebauungsdichten und Versiegelung verringern die Flächenverfügbarkeit für alle Formen von horizontalen Grünelementen und Wasserflächen mit Flächenansprüchen (Grünräume und -züge, Vegetationselemente, Begrünung von Brachflächen, urbane Landwirtschaft, Frischluftschneisen und Ventilationskorridore einschließlich deren funktioneller Anbindung ans Umland, etc.). Steigender bauökonomischer Verwertungsdruck und steigende Immobilienpreise in innerstädtischen Lagen erhöhen den Bebauungsdruck und erschweren die Freihaltung. Auch die Umsetzbarkeit von hybriden (vegetationstechnischen, ingenieurbioologischen) Maßnahmen kann deutlich erschwert werden und sich verteuern.

Mitigation trade-off: Städtische Verdichtung kann die erneuerbare dezentrale Energiebereitstellung beschränken, weil die Flächenverfügbarkeit für erneuerbare Energieerzeugung innerhalb des Stadtraums sinkt, die Dachfläche für PV-/Solaranlagen in verdichteten Gebieten grundsätzlich begrenzt ist und die Dachfläche/Kopf mit steigender Bevölkerungsdichte abnimmt. Die Produktionskapazität von erneuerbarer Energie/ Kopf ist in verdichteten Gebieten daher niedriger als in Gebieten mit niedriger Dichte.

Cluster: 2.1 Horizontale Verdichtung

Maßnahme Klimaschutz	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung
Klimafolgenbereich	A: Hitze
Maßnahmenbündel Klimaanpassung	A5: Klimatisch optimierte Konfiguration der Bebauung (passives urbanes Design)
Wirkungsstärke	Mittel (2,4)

Überhöhte Bebauungsdichten verringern die Möglichkeiten für UHI-mindernde und das Stadt- und Gebäudeklima regulierende Maßnahmen des passiven Designs von Gebäuden und Bebauungsstrukturen bzw. können deren Wirksamkeit potenziell einschränken. Dies betrifft das gesamte Portfolio von Anpassungsmaßnahmen, die klimatische Parameter wie Albedo, Verschattung, Einstrahlung und Belüftung regulieren, wie z.B. klimatisch optimierte Lage, Orientierung, Exposition und Höhe von Baukörpern, Dach-, Fenster- und Fassadenausrichtung, Orientierung und Breite von Straßenzügen, etc.

Cluster: 2.1 Horizontale Verdichtung

Maßnahme Klimaschutz	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung
Klimafolgenbereich	B: Überflutungen
Maßnahmenbündel Klimaanpassung	B4: Naturbasiertes dezentrales städtisches Regenwassermanagement
Wirkungsstärke	Mittel (2,2)

Die Verdichtung der städtischen Bebauungsstruktur verringert das Flächenpotenzial für Maßnahmen zur naturbasierten dezentralen Regenentwässerung, erschwert deren Umsetzung und erhöht damit das pluvial Überflutungsrisiko. Dies betrifft alle Maßnahmen des Regenwassermanagements mit Flächenbedarf, wie naturnahe Versickerungs-, Rückhalte- und Entwässerungsflächen, die Entsiegelung oder die Umsetzung des Schwammstadtprinzips. Dadurch steigt der Bedarf nach technischen Entwässerungslösungen (z.B. Redimensionierung der Kanalisation, erhöhte Leistungsfähigkeit von Pumpanlagen) und die Kosten für diesbezügliche Investitionen, Betrieb und Instandhaltung.

Cluster: 2.1 Horizontale Verdichtung

Maßnahme Klimaschutz	Flächenrecycling
Klimafolgenbereich	A: Hitze; B: Überflutungen
Maßnahmenbündel Klimaanpassung	A1: Grüne und blaue urbane Infrastruktur (flächenhaft, linear) B4: Naturbasiertes dezentrales städtisches Regenwassermanagement
Wirkungsstärke	Mittel (2,2)

Insbesondere in bestehenden Städten mit bereits weitgehend ausgebauter Infrastruktur, die autoorientierte und eher flächengreifende Struktur aufweisen, gelten das Schließen von Bebauungslücken und Nachverdichtung innerhalb des Bestands als eine prioritäre Klimaschutzoption. Zudem ist gerade für solche Stadttypen der Einsatz grüner Infrastruktur essenziell, um Residualemissionen auszugleichen, die nicht reduziert werden können, weil die Stadtform bereits besteht und schwierig zu ändern ist. Hieraus ergibt sich gerade für innerstädtische Flächenpotenziale ein Zielkonflikt zwischen Überbauung einerseits und der Nutzung für Grünflächen, Wasserflächen und für naturbasierte Entwässerung zur Anpassung an Hitze und Starkregen andererseits.

5.5.2.2.5 Co-Benefits für Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele*5.5.2.2.5.1 Überblick*

Von insgesamt 14 ermittelten positiven Einflüssen von THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“ auf städtische Nachhaltigkeitspolitiken gehen 9 von der Strategie „2.1 Horizontale Verdichtung“ und fünf von „2.3 Qualitätsvoll verdichteten, energieoptimierten Quartiers- und Bebauungsstrukturen“ aus. Der Zielbereich „Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte“ ist am häufigsten positiv betroffen, aber auch für die Umweltschutzgüter Biodiversität, Boden und Luftqualität sind positive Effekte möglich (siehe auch Anhang D.2.3).

Sechs Co-Benefits wurden als mäßig stark bis stark eingeschätzt. Co-Benefits entstehen zum einen dadurch, dass die Freihaltung von Grün- und Freiräumen im Stadtumland zur Erhaltung von Ökosystemen, deren Biodiversität und von Wasserressourcen im Stadtumland beiträgt. Weitere indirekte Vorteile für Nachhaltigkeitsziele ergeben sich z. B. durch Beiträge zur Ernährungssicherheit und die Verbesserung der Luftqualität infolge dichtebedingter Verkehrsreduktion. Zudem hat die Ausrichtung auf polyzentrische, dichte und funktionsgemischte Strukturen bedeutende Potenziale, die Erreichbarkeit und Zugänglichkeit von Leistungen der Daseinsvorsorge auch für einkommensschwächere Bevölkerungsgruppen zu verbessern.

*5.5.2.2.5.2 Stärkste Co-Benefits für Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele***Cluster: 2.1 Horizontale Verdichtung**

Maßnahme Klimaschutz	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung
Zielbereich	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte
Wirkungsstärke	Hoch (2,8)

Verringerte Flächeninanspruchnahme im Umland reduziert Landnutzungswandel, inklusive Verlust von Agrarflächen zur Ernährungssicherung, und trägt so zur Bekämpfung von Lebensmittelknappheit und Hunger bei.

Cluster: 2.1 Horizontale Verdichtung

Maßnahme Klimaschutz	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung
Zielbereich	Übergreifend, übergeordnet
Wirkungsstärke	Mittel (2,4)

Verdichtung innerhalb bestehender Siedlungsgrenzen verringert die Flächeninanspruchnahme im Stadtumland und trägt zum Erhalt von naturnahen Räumen und deren Ökosystemfunktionen sowie zur Verringerung zusätzlicher Umweltbelastungen im Stadtumland bei. Dies hat hohes Potenzial zum Schutz von Biodiversität, zur Erhaltung natürlicher Bodenfunktionen, zum Schutz von Gewässern und Trinkwasserressourcen sowie zum Erhalt von stadtnahen Erholungsräumen.

Cluster: 2.1 Horizontale Verdichtung

Maßnahme Klimaschutz	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung
Zielbereich	Biodiversität, Naturräume
Wirkungsstärke	Mittel (2,4)

Innenorientierte Stadtentwicklung und Begrenzung des äußeren Stadtwachstums trägt zur Verringerung der Flächeninanspruchnahme im Umland, dem Erhalt von terrestrischen, aquatischen und küstennahen Ökosystemen und zum Schutz von deren Biodiversität bei.

Cluster: 2.1 Horizontale Verdichtung

Maßnahme Klimaschutz	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung
Zielbereich	Wasser
Wirkungsstärke	Mittel (2,0)

Urbane Kompaktheit und Dichte begünstigt einen niedrigeren Wasserverbrauch pro Kopf und kann so zur Schonung von Wasserressourcen beitragen.

Cluster: 2.3 Qualitätsvoll verdichtete, energieoptimierte, klimafreundliche Quartiers- und Bauungsstrukturen (

Maßnahme Klimaschutz	Polyzentrische, funktionsgemischte Strukturen
Zielbereich	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte; Luftqualität; Übergreifend, übergeordnet
Wirkungsstärke	Hoch (2,8)

Stadtplanerische Maßnahmen, die auf das städtebauliche Leitbild einer angemessenen Verdichtung, Funktionsmischung und der kurzen Wege ausgerichtet sind, tragen zur Verringerung von verkehrsbedingten THG-Emissionen und zur Förderung bewegungsaktiver Mobilität bei. Dies verbessert die Luftqualität und fördert die menschliche Gesundheit. Bei entsprechender Umsetzung besteht hohes Potenzial zur Verbesserung der Zugänglichkeit und Erreichbarkeit von sozialer und Gesundheitsinfrastruktur.

Cluster: 2.3 Qualitätsvoll verdichtete, energieoptimierte, klimafreundliche Quartiers- und Bebauungsstrukturen (

Maßnahme Klimaschutz	Polyzentrische, funktionsgemischte Strukturen
Zielbereich	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte
Wirkungsstärke	Mittel (2,2)

Städtische Strukturen, die auf Polyzentralität, Funktionsmischung, angemessene Verdichtung und kurze Wege ausgerichtet sind, können den Zugang zu moderner Energieinfrastruktur mit leistbarer und sauberer Energie auch für sozial benachteiligte Gruppen unterstützen.

5.5.2.2.6 Trade-offs für Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele*5.5.2.2.6.1 Überblick*

Von THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld gehen insgesamt 9 nachteilige Auswirkungen auf Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele aus. Sowohl die Verteilung auf Maßnahmencluster des Klimaschutzes als auch die Verteilung der Betroffenheit stadtpolitischer Zielbereiche ähnelt derjenigen der Co-Benefits, d.h. auch Trade-offs werden am häufigsten von Maßnahmen der horizontalen Verdichtung ausgelöst und treten am häufigsten für den Bereich „Gesundheit, Lebensqualität und soziale Aspekte“ auf (siehe auch Anhang D.2.3).

Sieben Trade-offs wurden als stark bewertet und sind daher aus Sicht der klimaorientierten Stadtentwicklung besonders relevant.

*5.5.2.2.6.2 Beschreibung der stärksten Trade-offs für Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele***Cluster: 2.1 Horizontale Verdichtung**

Maßnahme Klimaschutz	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung
Zielbereich	Boden
Wirkungsstärke	Hoch (2,8)

Verlust von natürlichen Bodenfunktionen, wie für Versickerung, Grundwasserneubildung, Abflussregulation, Schadstoffiltration und urbane landwirtschaftliche Produktion, durch Überbauung und Versiegelung.

Cluster: 2.1 Horizontale Verdichtung

Maßnahme Klimaschutz	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung
Zielbereich	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte
Wirkungsstärke	Hoch (2,6)

Durch bauliche Verdichtung verstärkte hitzebedingte Gesundheitsrisiken sind innerhalb der städtischen Bevölkerung ungleich verteilt. Ältere Menschen, Kinder und Personen mit Vorerkrankungen sind hoch vulnerabel; soziökonomisch benachteiligte Bevölkerungsgruppen leben häufiger in heißeren Stadtteilen mit weniger klimaresilienten Gebäuden und schlechterer Gesundheitsversorgung. Ärmere Haushalte sind zudem überproportional größeren ökonomischen Belastungen durch Stromkosten für technische Kühlung und Behandlungskosten für hitzebedingte Krankheiten ausgesetzt. Tropische und subtropische Städte mit niedrigem Einkommensniveau sind besonders von zunehmendem Hitzestress betroffen; gleichzeitig nehmen Bevölkerungswachstum und Urbanisierung dort oft besonders stark und rapide zu. Hitze kann zudem die gesundheitlichen und sozialen Belastungen durch Luftschadstoffe und Lärm verstärken.

Cluster: 2.1 Horizontale Verdichtung

Maßnahme Klimaschutz	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung
Zielbereich	Luftqualität
Wirkungsstärke	Hoch (2,6)

Verdichtungsbedingte Reduktion von Stadtbäumen und Grünflächen bewirkt Einschränkung bzw. Verlust der Filterwirkung von städtischer Vegetation für Luftschadstoffe.

Cluster: 2.1 Horizontale Verdichtung

Maßnahme Klimaschutz	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung
Zielbereich	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte
Wirkungsstärke	Hoch (2,6)

Verdichtungsbedingte Verluste von Grünanteilen führt zu verschlechterter Grünraumversorgung der Bevölkerung. Dies bedingt den Verlust der Erholungswirkung und sozialräumlicher Funktionen von innerstädtischen Grünräumen und bewirkt eine Beeinträchtigung der Lebens- und Wohnumfeldqualität.

Cluster: 2.1 Horizontale Verdichtung

Maßnahme Klimaschutz	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung
Zielbereich	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte
Wirkungsstärke	Mittel (2,2)

Schutz von Grün- und Freiflächen im Außenbereich von Städten einerseits und Innenverdichtung andererseits bewirken eine Verknappung des Flächenangebots für Bauzwecke im Stadtumland und eine Erhöhung von Immobilienpreisen im Stadtinneren. Dies steigert ohne Gegenmaßnahmen tendenziell die Wohnkosten und kann dadurch leistbares Wohnraumangebot v.a. für einkommensschwächere Haushalte reduzieren.

Mitigation co-benefit (indirekt): Verknappung von Bauland und höhere Preise für Wohnraum führen potenziell zu kleineren Wohneinheiten und höherer Baulandnutzungseffizienz. Kleinere Wohneinheiten und erhöhte Wohndichte begünstigen wiederum geringeren Energieverbrauch im Gebäudebereich.

Mitigation trade-off (indirekt): Verteuerung von Wohnraum kann zur Verdrängung ärmerer städtischer Bevölkerungsgruppen ins Stadtumland (einschließlich in informelle Siedlungen) führen, was wiederum die disperse Flächeninanspruchnahme für horizontales Stadtwachstum antreibt und zusätzliche THG-Emissionen durch Verkehr und Errichtung neuer Infrastruktur erzeugt.

Cluster: 2.1 Horizontale Verdichtung

Maßnahme Klimaschutz	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung
Zielbereich	Biodiversität, Naturräume
Wirkungsstärke	Mittel (2,0)

Verdichtungsbedingte Verringerung von begrünten oder naturnah gestalteten Flächen (öffentlich und privat), die als Lebens- und Rückzugsraum für Tiere und Pflanzen innerhalb des städtischen Siedlungsraums dienen können.

Cluster: 2.3 Qualitätsvoll verdichtete, energieoptimierte, klimafreundliche Quartiers- und Bauungsstrukturen (

Maßnahme Klimaschutz	Sanierung / Umbau / Neuentwicklung von Quartieren
Zielbereich	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte
Wirkungsstärke	Mittel (2,2)

Erneuerung, Umbau und Sanierung von Bebauungsstruktur innerhalb des Bestands (Aufwertung, Quartiersumbau, Neugestaltung), beinhalten das Risiko von (unbeabsichtigten) Gentrifizierungseffekten (Attraktivitätssteigerung zugunsten zahlungskräftigerer Eigentümer und Mieter) und der Verdrängung ärmerer und marginalisierter Bevölkerungsgruppen. Dies verstärkt soziale und räumliche Ungleichheiten. Eine Ansiedlung einkommensschwächerer Gruppen im Stadtumland erzeugt für diese zusätzliche finanzielle und zeitliche Belastungen für Pendelverkehr.

5.5.3 Urbane Verkehrssysteme

Im Handlungsfeld „Urbane Verkehrssysteme“ werden zwei zentrale Handlungsstrategien unterschieden, die beide die Reduktion von Treibhausgasemissionen durch die Verringerung

des motorisierten Individualverkehrs bzw. die Verringerung diesbezüglicher Mobilitätsbedarfe zum Ziel haben.

Unter „3.1 Transitorientierte Entwicklung“ werden Strategien und Maßnahmenbündel zusammengefasst, die darauf abzielen, die Stadtentwicklung an öffentlichem Nahverkehr und bewegungsaktiver Mobilität (Umweltverbund), fußläufigen Erreichbarkeiten, Nutzungsmischung, Einschränkung des motorisierten Individualverkehrs und qualitativ hochwertigen, öffentlichen Grün- und Freiflächen auszurichten. „Grüne“ Straßen und Achsen, Bestands- und Neuquartiere sind wesentliche Komponenten transitorientierter Entwicklungskonzepte. Bei der Durchführung des Screenings von Wechselwirkungen wurden Auswirkungen auf Anpassungsmaßnahmen, die stark mit grüner Infrastruktur und versickerungsfähigen Freiflächen im Stadtraum und auf Quartiersebene arbeiten, überwiegend den transitorientierten Entwicklungskonzepten im Sinne von Maßnahmencluster 3.1 zugeordnet. Aus dieser Perspektive fungieren transitorientierte Konzepte unter anderem als „Einhängepunkt“ für Grünflächen, grüne Schneisen und Entwässerungsflächen auf der Ebene von Quartieren bzw. der Gesamtstadt. Hieraus erklärt sich teils auch die vergleichsweise hohe Anzahl von Wirkungszusammenhängen mit der Klimaanpassung.

Maßnahmencluster „3.2 Klimaaoptimierte Multi-Modalität“ umfasst Maßnahmen mit dem Ziel der Minderung verkehrsbedingter THG-Emissionen durch einen klimafreundlichen „modal split“ weg von individuell motorisierten Verkehrsmodi und hin zu öffentlichen und bewegungsaktiven Mobilitätsformen im Umweltverbund. Die Maßnahmen setzen hierbei einerseits bei Ausbau und Förderung der diesbezüglichen Verkehrsinfrastruktur und Verkehrsangebote an, andererseits werden auch Anreizinstrumente, wie Tarifgestaltung, sowie regulative Instrumente und Abgaben zur De-Attraktivierung von Kraftfahrzeugen mit fossilen Antriebssystemen untersucht.

Für die Bestandsaufnahme und Analyse der Einflüsse auf die Klimaanpassung sowie städtische Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele wurde das Handlungsfeld in die nachstehenden Handlungsstrategien und Maßnahmencluster eingeteilt:

3.1 Transitorientierte Entwicklung

- Quartiersumbau zu „grünen“, transitorientierten Bestandsquartieren (z.B. Superblock, Green District)
- „Grüne“, transitorientierte Neuquartiere
- „Grüne“, fußgängerfreundliche Straßen und Achsen

3.2 Klimaaoptimierte Multi-Modalität

- Ausbau und Attraktivierung der öffentlichen Verkehrsinfrastruktur und Mobilität
- Ausbau und Attraktivierung der Infrastruktur für bewegungsaktive Mobilität (Radverkehr, Fußgänger)
- Preisgestaltung für öffentliches Verkehrssystem
- Regulative und fiskalische Einschränkung für motorisierten Individualverkehr (z.B. Verbot älterer Fahrzeugmodelle, Besteuerung von Kraftfahrzeugen und Treibstoffen)

5.5.3.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

In Summe hängen mit Maßnahmen des Handlungsfelds „Urbane Verkehrssysteme“ 22 positive und negative Wirkungen auf die Klimaanpassung zusammen (siehe auch Anhang D.3.1). Im

Vergleich aller Handlungsfelder einer klimaorientierten Stadtentwicklung ist es dennoch das Handlungsfeld mit den wenigsten Wirkungszusammenhängen mit Klimaanpassung. Positive Auswirkungen (n = 17; hiervon 9 Co-Benefits und 8 Synergien) wurden wesentlich häufiger festgestellt als negative Effekte (5 Trade-offs). Es konnte kein relevantes Konfliktpotenzial mit Maßnahmen der Anpassung identifiziert werden. Die überwiegende Mehrzahl sowohl der vorteilhaften als auch der nachteiligen Wirkungszusammenhänge geht von Maßnahmencluster „3.1 Transitorientierte Entwicklung“ aus (Tabelle 26).

Tabelle 26: Häufigkeit von Wirkungszusammenhängen mit der Klimaanpassung im Handlungsfeld „Urbane Verkehrssysteme“ nach Wirkungskategorien

Handlungsstrategie (Maßnahmencluster)		Positive Wirkungen			Negative Wirkungen			Summe
		Co-Benefits	Synergien	Gesamt	Trade-offs	Konflikte*	Gesamt	
3.1	Transitorientierte Entwicklung	6	6	12	4	-	4	16
3.2	Klimaoptimierte Multi-Modalität	3	2	5	1	-	1	6
Summe		9	8	17	5	-	5	22

Anzahl der identifizierten Wirkungszusammenhänge, die von THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Urbane Verkehrssysteme“ auf die Klimaanpassung ausgehen, nach vorteilhaften (Co-Benefits, Synergien) und nachteiligen (Trade-offs, Konflikte) Kategorien von Wechselwirkungen.

* Im Handlungsfeld wurde kein relevantes Konfliktpotenzial mit Anpassungsmaßnahmen identifiziert.

Wie aus Tabelle 27 hervorgeht, betreffen potenzielle Effekte von THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld das gesamte Spektrum der untersuchten Klimafolgenbereiche. Mit der größten Häufigkeit können die Auswirkungen von Hitze (n = 8) und von Überflutungen (n = 7) verstärkt bzw. abgeschwächt werden.

Tabelle 27: Häufigkeit der von Wirkungszusammenhängen betroffenen Klimafolgenbereiche im Handlungsfeld „Urbane Verkehrssysteme“ nach Wirkungskategorien

Klimafolgenbereich (Anpassungsziel)		Positive Wirkungen			Negative Wirkungen			Summe
		Co-Benefits	Synergien	Gesamt	Trade-offs	Konflikte*	Gesamt	
A	Hitze	4	3	7	1	-	1	8
B	Überflutungen (fluvial, pluvial, Küsten)	3	3	6	1	-	1	7
C	Trockenheit (Wasserknappheit)	1	2	3	1	-	1	4
D	Sonstige Extremwetter- und Naturgefahrenereignisse	2	-	2	1	-	1	3
E	Übergreifend, übergeordnet	4	2	6	1	-	1	7
Summe		14	10	24	5	-	5	29

Häufigkeit der Klimafolgenbereiche (Anpassungsziele), die von positiven (Co-Benefits, Synergien) und negativen (Trade-offs, Konflikte) Auswirkungen von THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Urbane Verkehrssysteme“ betroffen sind. Ein Wirkungszusammenhang kann für mehrere Klimafolgenbereiche gleichzeitig entstehen; daher ist deren Summe größer als die Zahl der Wirkungszusammenhänge.

* Im Handlungsfeld wurde kein relevantes Konfliktpotenzial mit Anpassungsmaßnahmen identifiziert.

Aus Wechselbeziehungen von THG-Minderungsmaßnahmen des Bereichs „Urbane Verkehrssysteme“ mit Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel resultieren ausschließlich Synergien; es wurde kein relevantes Konfliktpotenzial ermittelt (Tabelle 28; siehe auch Anhang D.3.2). Damit sind städtische Verkehrsinfrastrukturen und Mobilität das Handlungsfeld mit den höchsten Synergiepotenzialen zur Klimaanpassung. Effekte, welche die Wirksamkeit, Umsetzbarkeit oder Kosteneffizienz von Anpassungsoptionen unterstützen und verstärken, umfassen das Maßnahmenportfolio der städtischen Klimaanpassung in seiner gesamten Breite. Am häufigsten sind Synergien mit grüner und blauer Infrastruktur (A1), der Verschattung von Gebäuden und städtischen Außenräumen (A4), dezentralen naturbasierten Lösungen zum Regenwassermanagement (B4) sowie zur Regenwassernutzung (C3).

Tabelle 28: Häufigkeit der an Synergien und Konflikten beteiligten Anpassungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Urbane Verkehrssysteme“

Maßnahmenbündel Klimaanpassung	Synergien	Konflikte*	Summe
<i>A: Hitze</i>			
A1: Grüne und blaue Infrastruktur (flächenhaft, linear)	4	-	4
A2: Begrünung von Gebäuden (Dächer, Fassaden)	1	-	1
A3: Kühlende Materialien und Oberflächen	1	-	1
A4: Verschattung von Gebäuden und städtischen Außenräumen	2	-	2
A5: Klimatisch optimierte Konfiguration der Bebauung	1	-	1
A7: Maßnahmen zur Hitzeresilienz des Verkehrssystems	1	-	1

Maßnahmenbündel Klimaanpassung	Synergien	Konflikte*	Summe
A8: Maßnahmen zur Hitzeresilienz der sonstigen technischen und baulichen Infrastruktur	1	-	1
<i>B: Überflutungen (fluvial, pluvial, Küsten)</i>			
B3: Hochwasser- und Küstenschutz durch planerische und naturbasierte Maßnahmen (passiv)	1	-	1
B4: Naturbasiertes dezentrales städtisches Regenwassermanagement	2	-	2
B5: Anpassung der städtischen Wasserentsorgungsinfrastruktur	1	-	1
<i>C: Trockenheit (Wasserknappheit)</i>			
C3: Regenwassermanagement und Regenwassernutzung	2	-	2
<i>D: Sonstige Extremwetter- & Naturgefahrenereignisse</i>			
D2: Erhöhung der Resilienz der Energie- und Verkehrsinfrastruktur	1	-	1
Summe	17	-	18
Nicht betroffene Anpassungsmaßnahmen	A6: Passive Kühlung und alternative (energieeffiziente und klimaneutrale) aktive Kühlung von Gebäuden (thermischer Innenkomfort) B1: Schutzinfrastruktur: technischer Hochwasser- und Küstenschutz (aktiv) B2: Hochwasserangepasste Bauweisen und technischer Objektschutz C1: Angebotsseitiges Management von Wasserressourcen C2: Steigerung der Effizienz von städtischen Wassernutzungen D1: Bauliche Maßnahmen zur Erhöhung der Resistenz von Gebäuden und Infrastrukturanlagen gegen Extremwetterereignisse D3: Management des Risikos von Wald- und Flächenbränden		

Die Zahlen geben an, wie häufig Maßnahmenbündel der städtischen Klimaanpassung in den unterschiedlichen Klimafolgenbereichen an der Entstehung von Synergien und Konflikten mit THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Urbane Verkehrssysteme“ beteiligt sind. Nicht betroffene Anpassungs-Maßnahmenbündel sind gesondert aufgelistet.

* Im Handlungsfeld wurde kein relevantes Konfliktpotenzial mit Anpassungsmaßnahmen identifiziert.

Ökologische und soziale Ziele einer nachhaltigen Stadtentwicklung werden im Handlungsfeld „Urbane Verkehrssysteme“ über 25 konkrete Wirkungszusammenhänge beeinflusst (siehe auch in Anhang D.3.3), womit verkehrsbezogene Klimaschutzmaßnahmen der Bereich mit den meisten diesbezüglichen Co-Benefits und Trade-offs darstellt. Auch hierbei sind positive Wirkungen nahezu doppelt so häufig wie negative Effekte. Der Maßnahmencluster „3.2 Klimaoptimierte Multi-Modalität“ ist in diesem Untersuchungsbereich deutlich stärker als Quelle von Wirkungszusammenhängen repräsentiert als in Bezug auf die Klimaanpassung.

Tabelle 29: Häufigkeit von Wirkungszusammenhängen mit Umwelt- und Nachhaltigkeitszielen im Handlungsfeld „Urbane Verkehrssysteme“ nach Wirkungskategorien

Handlungsstrategie (Maßnahmencluster)	Co-Benefits	Trade-offs	Summe
3.1 Transitorientierte Entwicklung	9	6	15
3.2 Klimaoptimierte Multi-Modalität	7	3	10
Summe	16	9	25

Anzahl der identifizierten Wirkungszusammenhänge, die von THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Urbane Verkehrssysteme“ auf ökologische und soziale Ziele einer nachhaltigen Stadtentwicklung ausgehen, nach vorteilhaften (Co-Benefits) und nachteiligen (Trade-offs) Kategorien von Wechselwirkungen.

Generell sind alle untersuchten Umweltgüter von potenziellen (mehrheitlich positiven) Auswirkungen betroffen, jedoch überwiegen mit ungleich höherer Häufigkeit die Einflüsse auf Gesundheit, Lebensqualität, soziale Verteilungsgerechtigkeit, Sozialkapital und Entlastung einkommensschwacher Bevölkerungsgruppen (Tabelle 30).

Tabelle 30: Häufigkeit der von Auswirkungen betroffenen Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele im Handlungsfeld „Urbane Verkehrssysteme“

Schutzgüter, Zielbereiche städtischer Nachhaltigkeitspolitiken	Positiv betroffen (Co-Benefits)	Negativ betroffen (Trade-offs)	Summe
Biodiversität, Naturräume	2	1	3
Luftqualität	2	1	3
Boden (Versiegelung, Qualität, Funktion)	2	1	3
Wasser (Oberflächengewässer, Grundwasser, Trinkwasser, Qualität, Quantität)	1	1	2
Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte	10	5	15
Übergreifend, übergeordnet	2	1	3
Summe	19	10	29

Häufigkeit der Umwelt(schutz)güter bzw. sozialökologischen Zielbereiche von Stadtpolitiken, die von positiven (Co-Benefits) und negativen (Trade-offs) Auswirkungen von THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“ betroffen sind. Ein Wirkungszusammenhang kann für mehrere Zielbereiche gleichzeitig entstehen; daher ist deren Summe größer als die Zahl der Wirkungszusammenhänge.

24 (von insgesamt 47) Wirkungszusammenhängen wurden als mittel bis stark bewertet. Tabelle 31 zeigt dabei ein markantes Übergewicht von Co-Benefits und Synergien (n = 21), denen lediglich zwei Trade-offs gegenüberstehen; nach den Ergebnissen des Mappings können Konfliktpotenziale mit der Klimaanpassung sogar nahezu ausgeschlossen werden. Maßnahmen mit dem Ziel einer transitorientierten Entwicklung (3.1) interagieren sehr viel häufiger mit Klimawandelfolgen und Zielen der Anpassung als der Cluster „3.2 Klimaoptimierte Multi-Modalität“. Wie in Kapitel 5.4 und Kapitel 5.5.3.1 erläutert, ergibt sich diese höhere Dichte an Wechselwirkungen daraus, dass Stadtvegetation und grüne Infrastruktur als integraler Bestandteil transitorientierter Stadtentwicklungskonzepte aufgefasst werden.

Tabelle 31: Wirkungszusammenhänge mit der stärksten Ausprägung im Handlungsfeld „Urbane Verkehrssysteme“ nach Wirkungskategorien

Handlungsstrategie (Maßnahmencluster)	Klimaanpassung Positive Wirkungen			Klimaanpassung Negative Wirkungen			Sozial- ökologische Ziele			Summe
	Co-Benefits	Synergien	Gesamt	Trade-offs	Konflikte**	Gesamt	Co-Benefits	Trade-offs	Gesamt	
3.1 Transitorientierte Entwicklung	3	5	8	1*	-	1	6	1	7	16
3.2 Klimaoptimierte Multi-Modalität	-	1	1	-	-	0	7	-	7	8
Summe	3	6	9	1	-	1	13	1	14	24

Die Tabelle zeigt die Anzahl der stärksten positiven und negativen Wirkungszusammenhänge von THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Urbane Verkehrssysteme“ und deren Verteilung auf die Handlungsstrategien (Maßnahmen-cluster) des Klimaschutzes. Die Auswertung basiert auf qualitativen Experteneinschätzungen jedes Wirkungszusammenhangs durch das Projektkonsortium. Bewertet wurden Stärke, Wahrscheinlichkeit und Plausibilität der Wirkungszusammenhänge auf einer dreistufigen Skala. Als stärkste Wirkungszusammenhänge wurden diejenigen ausgewählt, die mit einem arithmetisch gemittelten Wert zwischen 2,0 und 3,0 (ohne Rundung auf ganze Zahlen) bewertet wurden.

* Da im Handlungsfeld kein Trade-off mit einer Stärke von 2,0 oder höher bewertet wurde, wurde ersatzweise der mit 1,8 am stärksten bewertete Trade-off ausgewählt.

** Im Handlungsfeld wurde kein relevantes Konfliktpotenzial mit Anpassungsmaßnahmen identifiziert.

5.5.3.2 Ergebnisse nach Kategorien von Wirkungszusammenhängen

5.5.3.2.1 Co-Benefits für Ziele der Klimaanpassung

5.5.3.2.1.1 Überblick

Die drei (von insgesamt 9) als ausreichend stark bewerteten Co-Benefits beziehen sich v.a. auf die Kühlungswirkung und die Verringerung von Überflutungsrisiken, welche üblicherweise als Zusatz- bzw. Nebennutzen von urbaner grüner Infrastruktur als Bestandteil transitorientierter Entwicklungsstrategien ausgehen.

5.5.3.2.1.2 Beschreibung der stärksten Co-Benefits für die Klimaanpassung

Cluster: 3.1 Transitorientierte Entwicklung

Maßnahme Klimaschutz	Grüne Bestandsquartiere, Neuquartiere, Straßen und Achsen
-------------------------	---

Klimafolgenbereich	A: Hitze
--------------------	----------

Wirkungsstärke	Mittel (2,4)
----------------	--------------

Urbane grüne und blaue Infrastruktur (städtische Grün- und Straßenbegleitflächen, Stadtbäume, unversiegelte Flächen und Wasserflächen) als Bestandteile transitorientierter Stadtentwicklungskonzepte erbringen mehrfachen Zusatznutzen für die Anpassung an urbane Hitze: natürliche Kühlung, Reduktion von Hitzestau bzw. UHI-Effekt und verbesserter thermischer Komfort in Innenräumen und im Außenbereich durch Evapotranspiration und Verschattung. Unverbaute Schneisen / Achsen im Stadtkörper ermöglichen Frisch- und Kaltluftzufuhr aus kühlen Räumen in der Stadtumgebung sowie Luftzirkulation im Stadttinneren. Hierdurch werden gesundheitliche Belastungen durch Hitzestress effektiv und nachweislich reduziert. *Mitigation Co-Benefits:* Kohlenstoffbindung durch Vegetation; verringerter Energiebedarf für thermischen Komfort durch natürliche Kühlung der Umgebung.

Cluster: 3.1 Transitorientierte Entwicklung

Maßnahme Klimaschutz	Grüne Bestandsquartiere, Neuquartiere, Straßen und Achsen
-------------------------	---

Klimafolgenbereich	B: Überflutungen
--------------------	------------------

Wirkungsstärke	Mittel (2,4)
----------------	--------------

Städtische Grün- und Straßenbegleitflächen und unversiegelte bzw. (teil)entsiegelte Flächen als Bestandteile transitorientierter Stadtentwicklungskonzepte unterstützen die Starkregenentwässerung, sorgen für Wasserrückhalt und Dämpfung von Spitzen des Oberflächenabflusses und reduzieren das Überflutungs- und Schadensrisiko in Siedlungsräumen. Durch naturbasierte Versickerung werden städtische Abwasser- und Kanalisationssysteme sowie Kläranlagen entlastet und deren technischer Anpassungsbedarf reduziert; ein zusätzlicher Ausbau des zentralen Systems, um klimawandelbedingt erhöhte Regenwasservolumina entwässern zu können, kann vermieden werden. Durch Dezentralisierung der Wasserinfrastruktur erhöht sich gleichzeitig die Extremwetterresilienz (z.B. gegenüber Stürmen) von Städten.

Mitigation Co-benefit: Reduktion des Energiebedarfs und damit von THG-Emissionen für Errichtung, Ausbau, Betrieb (Pumpenanlagen, Kläranlagen) und Instandhaltung von zentraler Entwässerungsinfrastruktur.

Cluster: 3.1 Transitorientierte Entwicklung

Maßnahme Klimaschutz	Grüne Straßen und Achsen
Klimafolgenbereich	A: Hitze; B: Überflutungen; E: Übergreifend, übergeordnet
Wirkungsstärke	Mittel (2,4)

Urbane Forstwirtschaft, Flächen für urbane Landwirtschaft (*urban farming, urban gardening*) Stadtbäume und unversiegelte Flächen entlang von Straßen als Bestandteil transitorientierter Stadtentwicklungskonzepte und als Maßnahmen zur Kohlenstoff-Sequestrierung verringern den städtischen Hitzeinsel-Effekt und tragen durch Kühlung zur Anpassung an Hitze bei. Gleichzeitig erhöhen sie die Versickerungs- und Rückhaltekapazität für Starkniederschläge und fluviale Hochwässer und reduzieren so Überflutungsrisiken. Die Lebensraumfunktion von urbanen Grünflächen stärkt gleichzeitig die Resilienz der Biodiversität gegenüber dem Klimawandel. Urbane Landwirtschaft kann auch nach dem Huckepack-Prinzip mit der Entwicklung von städtischen Überschwemmungsgebieten, wassersensiblen Vierteln oder der Renovierung von Straßen oder Gebäuden zu Anpassungszwecken verbunden werden.

5.5.3.2.2 Trade-offs mit Zielen der Klimaanpassung**5.5.3.2.2.1 Überblick**

Keine der identifizierten nachteiligen Auswirkungen auf die Klimaanpassung wurde mit einer Wirkungsstärke von 2,0 oder höher bewertet. Der stärkste Trade-off bezieht sich auf den erhöhten Bewässerungsbedarf von urbaner grüner Infrastruktur, die als Teil transitorientierter Entwicklungsstrategien angelegt wird, und wurde mit einer Wirkungsstärke von 1,8 eingeschätzt.

5.5.3.2.2.2 Beschreibung der stärksten Trade-offs mit der Klimaanpassung**Cluster: 3.1 Transitorientierte Entwicklung**

Maßnahme Klimaschutz	Grüne Bestandsquartiere, Neuquartiere, Straßen und Achsen
Klimafolgenbereich	C: Trockenheit
Wirkungsstärke	Mittel (1,8)

Die zur Erhaltung und Pflege urbaner grüner Infrastruktur im Rahmen von mobilitätsorientierten städtebaulichen Konzepten erforderliche Bewässerung kann in Trockenperioden Wasserknappheit verstärken.

5.5.3.2.3 Synergien mit Maßnahmen der Klimaanpassung**5.5.3.2.3.1 Überblick**

Fünf der insgesamt 8 Synergiepotenziale mit Maßnahmen der Klimaanpassung wurden als mittel bis hoch wirkungsstark eingeschätzt. Hiervon entfallen vier Synergien auf die Transitorientierte Entwicklung (3.1), deren Ansätze sich gut mit Anpassungsoptionen wie grüne und blaue Infrastruktur (A1), passiver Verschattung (A4), klimatisch optimierter Konfiguration der Bebauung (A5), naturbasiertem Regenwassermanagement (B4) oder Lösungen zum Regenwassermanagement (C3) kombinieren lassen. Aus der Entlastung von zentralen Abwassersystemen durch naturbasierte Entwässerung ergibt sich zudem eine erhöhte Anpassungskapazität der technischen Wasserentsorgungsinfrastruktur. Ein generisches

Synergiepotenzial wurde in Bezug auf „3.2 Klimaaoptimierte Multi-Modalität“ erhoben und bezieht sich auf Stärkung der Störungsresilienz und Energieabhängigkeit des städtischen Verkehrssystems.

5.5.3.2.3.2 Beschreibung der stärksten Synergien mit Klimaanpassung

Cluster: 3.1 Transitorientierte Entwicklung	
Maßnahme Klimaschutz	Grüne Bestandsquartiere, Neuquartiere, Straßen und Achsen
Klimafolgenbereich	A: Hitze
Maßnahmenbündel Klimaanpassung	A1: Grüne und blaue urbane Infrastruktur (flächenhaft, linear) A4: Verschattung von Gebäuden und städtischen Außenräumen (passiv, aktiv)
Wirkungsstärke	Hoch (2,8)

Der Einsatz grüner und blauer urbaner Infrastruktur im Rahmen transitorientierter „grüner“ Stadtentwicklungskonzepte kombiniert die Reduktion von verkehrsbedingten THG-Emissionen mit den Anpassungswirkungen von Grünräumen, städtischer Vegetation und Wasserflächen. Städtische Grünräume, Straßenbegleitflächen, Stadtbäume und unversiegelte klimaaktive Flächen bewirken natürliche Kühlung, Reduktion von Hitzestau und UHI-Effekt und verbesserten thermischen Komfort in Innenräumen und im Außenbereich durch Evapotranspiration und Verschattung. Dies reduziert gesundheitliche Belastungen durch Hitzestress und erhöht die Lebensqualität der Bevölkerung. Grüne Verkehrskorridore verbessern zudem die innerstädtische ökologische Konnektivität und können dadurch die Biodiversität fördern (Fallbeispiele: „Green Tramways“ Projekt in Rotterdam, AMIA 2021).

Mitigation Co-Benefits: durch UGI bewirkte Senkung der Temperaturen reduziert in der näheren Umgebung den Energiebedarf für technische Kühlung und mindert damit THG-Emissionen des Energiesektors. Städtische Vegetation trägt zur Kohlenstoffbindung (carbon sequestration) bei.

Cluster: 3.1 Transitorientierte Entwicklung	
Maßnahme Klimaschutz	Grüne Bestandsquartiere, Neuquartiere, Straßen und Achsen
Klimafolgenbereich	A: Hitze
Maßnahmenbündel Klimaanpassung	A5: Klimatisch optimierte Konfiguration der Bebauung (passives urbanes Design)
Wirkungsstärke	Hoch (2,8)

„Grüne“ Quartiere und „grüne“ Straßen ermöglichen es, passives Gebäudedesign und urbanes Design klimatisch und im Hinblick auf die Anpassung an Hitze zu optimieren. Dies umfasst Maßnahmen wie geeignete Orientierung und Breite von Straßenzügen und Verkehrsachsen, mikro- und stadtklimatisch angepasste Lage, Orientierung, Höhe sowie Fassaden-, Dach- und Fensterausrichtung von Gebäuden sowie eine angemessene Bebauungsdichte. Hierdurch können Schneisen und Korridore für Kaltluftzufuhr aus dem Umland und für die Luftzirkulation im Stadtinneren geschaffen bzw. freigehalten werden, Verschattungswirkungen der baulichen Infrastruktur ausgenutzt und urbane Überhitzungseffekte gemindert werden. Dies reduziert gesundheitliche Belastungen durch Hitzestress und erhöht die Lebensqualität der Bevölkerung.

Cluster: 3.1 Transitorientierte Entwicklung

Maßnahme Klimaschutz	Grüne Bestandsquartiere, Neuquartiere, Straßen und Achsen
Klimafolgenbereich	B: Überflutungen
Maßnahmenbündel Klimaanpassung	B4: Naturbasiertes dezentrales städtisches Regenwassermanagement B5: Anpassung der städtischen Wasserentsorgungsinfrastruktur A1: Grüne und blaue urbane Infrastruktur (flächenhaft, linear)
Wirkungsstärke	Hoch (2,8)

Grünräume, begleitende Grünzüge und unversiegelte klimaaktive Flächen als integrale Bestandteile transitorientierter Stadtentwicklungskonzepte ermöglichen und unterstützen die Umsetzung von naturbasierten Lösungen für das dezentrale Regenwassermanagement. Insbesondere bei geeigneter Ausgestaltung können diese Flächen wesentliche Funktionen als naturnahe Versickerungs-, Rückhalte- und Entwässerungsflächen erfüllen und die Wasserspeicherkapazität des Bodens im Sinne des "Schwammstadt"-Prinzips erhöhen. Durch die Versickerungsleistung unversiegelter und nicht überbauter Böden werden städtische Abwasser- und Kanalisationssysteme sowie Kläranlagen entlastet, die Entkoppelung der städtischen Abwasserinfrastruktur von der Niederschlagsentwässerung ermöglicht und damit der technische Anpassungsbedarf der wasserbezogenen Infrastruktur reduziert. Unverbaute Flächen ermöglichen das Ausschöpfen von Entsiegelungspotenzialen zur Schaffung versickerungsfähiger Böden. Grüne Infrastruktur und naturbasierte Starkregenlösungen sind im Regelfall flexibler und kosteneffektiver als technischer Überflutungsschutz. Grünstraßen unterstützen das Regenwassermanagement durch Reduktion des Wasservolumens (z.B. Infiltration) und durch Abschwächung oder zeitliche Verzögerung des Abflusses (Fiori & Volpi, 2020; Pour et al., 2020). Das Ausmaß der Wirkung hängt von der Regenwassermenge ab (Qin et al. 2013). UGI-Maßnahmen sind am wirksamsten auf lokaler Maßstabsebene; mit zunehmender Größe des Einzugsgebietes nimmt die Wirksamkeit der Spitzenabflussreduktion ab (Fiori & Volpi, 2020).

Mitigation Co-Benefit, Adaptation Co-Benefit: Durch Entlastung des Abwassersystems und Entkoppelung der städtischen Abwasserinfrastruktur von der Niederschlagsentwässerung können Kosten für Errichtung, Betrieb und Instandhaltung von Kanalanlagen, Pumpenanlagen und Kläranlagen signifikant verringert werden (unmittelbarer Einsparungseffekt, komparativer Kostenvorteil zu technischen Standardlösungen). Dies geht mit erheblichen Einsparungen von Energieaufwand für die Abwasserentsorgung und damit verbundenen THG-Emissionen einher.

Cluster: 3.1 Transitorientierte Entwicklung

Maßnahme Klimaschutz	Grüne Bestandsquartiere, Neuquartiere, Straßen und Achsen
Klimafolgenbereich	C: Trockenheit
Maßnahmenbündel Klimaanpassung	C3: Regenwassermanagement und Regenwassernutzung
Wirkungsstärke	Mittel (2,4)

Unversiegelte, begrünte Grünflächen wirken als Versickerungsflächen, die die Grundwasserneubildung unterstützen und die Umsetzung des "Schwammstadt"-Prinzips zur Erhöhung der unterirdischen Wasserspeicherkapazität ermöglichen. Beides sind Maßnahmen zur Anpassung des regionalen Wasserhaushalts und der städtischen Wasserversorgung an Trockenheit und Wasserknappheit.

Cluster: 3.1 Transitorientierte Entwicklung

Maßnahme Klimaschutz	Grüne Bestandsquartiere, Neuquartiere, Straßen und Achsen
Klimafolgenbereich	B: Überflutungen; E: Übergreifend, übergeordnet
Maßnahmenbündel Klimaanpassung	A1: Grüne und blaue urbane Infrastruktur (flächenhaft, linear) B3: Hochwasser- und Küstenschutz durch planerische und naturbasierte Maßnahmen (passiv)
Wirkungsstärke	Mittel (2,4)

"Urban Greening" als Bestandteil transitorientierter Stadtentwicklungskonzepte stärkt die Klimaresilienz von städtischen Ökosystemen und ihrer multiplen Leistungen (Anpassungswirkungen, ökologisch, sozial). Durch geeignetes Design von Grünflächen und -elementen kann die ökologische Konnektivität innerhalb des Stadtraums und zwischen Stadt und Umland verbessert und damit die Resilienz der Biodiversität gegenüber dem Klimawandel erhöht werden (Fallbeispiele: Durban, Montevideo, Bangkok). Durch „Piggy-Backing“ können urbane Grün- und Landwirtschaftsflächen mit der Einrichtung von Hochwasserabfluss- und Rückhalteräumen sowie der Freihaltung überflutungsgefährdeter Flächen von Bebauung und Intensivnutzungen kombiniert werden.

Cluster: 3.2 Klimaoptimierte Multimodalität

Maßnahme Klimaschutz	Ausbau der Verkehrsinfrastruktur für öffentliche und bewegungsaktive Mobilität
Klimafolgenbereich	E: Übergreifend, übergeordnet
Maßnahmenbündel Klimaanpassung	A7: Maßnahmen zur Hitzeresilienz des Verkehrssystems D2: Erhöhung der Resilienz der Energie- und Verkehrsinfrastruktur
Wirkungsstärke	Mittel (2,4)

Öffentliche Verkehrssysteme, bewegungsaktive Verkehrsmodi und Car Pooling/Sharing gelten als robuster gegenüber Störungen durch Extremereignisse und andere Klimawandeleinflüsse. Bewegungsaktive Mobilitätsformen (Gehen, Radfahren) sind von Ausfällen zentraler Verkehrsinfrastruktur, Treibstoffknappheit und Energieschocks nicht betroffen (Fallbeispiele: Climate Change Adaptation Plans Durban, Wellington, Chicago).

5.5.3.2.4 Konflikte mit Maßnahmen der Klimaanpassung

Im Handlungsfeld „Urbane Verkehrssysteme“ wurden keine relevanten Konfliktpotenziale ermittelt.

5.5.3.2.5 Co-Benefits mit Umwelt- und Nachhaltigkeitszielen*5.5.3.2.5.1 Überblick*

Für Maßnahmen zur Verringerung des motorisierten Individualverkehrs in Städten wurde eine auffallend hohe Anzahl von 16 Co-Benefits mit Umwelt- und Nachhaltigkeitszielen ermittelt, von denen ein ebenfalls beträchtlicher Anteil von 13 positiven Wirkungen als relevant im Sinne von mittlerer bis hoher Wirkungsintensität eingeschätzt wurde. Hiervon wird die Mehrzahl von einem „modal shift“ zu THG-armen Verkehrsmodi ausgelöst, was sich unter anderem in verbesserter Luftqualität, Gesundheit und städtischer Lebensqualität sowie in verringerten Lebenshaltungs- und Mobilitätskosten ausdrückt.

5.5.3.2.5.2 Beschreibung der stärksten Co-Benefits mit Umwelt- und Nachhaltigkeitszielen

Cluster: 3.1 Transitorientierte Entwicklung

Maßnahme Klimaschutz	Grüne Bestandsquartiere, Neuquartiere, Straßen und Achsen
Zielbereich	Luftqualität; Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte
Wirkungsstärke	Hoch (2,8)

Stadtbäume und Grünflächen, die als Teil transitorientierter Stadtentwicklungskonzepte angelegt werden, verbessern die Luftqualität durch die Filterwirkung der Vegetation, verringern Feinstaubbelastung und Lärmbelastung. Dies verbessert die physische und mentale Gesundheit und erhöht die umweltbedingte Lebensqualität in Städten. Nachgewiesene positive Auswirkungen auf die Gesundheit von Stadtbäumen und grüner Infrastruktur umfassen: geringere kardiovaskuläre Morbidität, verbesserte mentale Gesundheit, höhere Geburtsgewichte und erhöhte Lebenserwartung. Urbane Landwirtschaft trägt überdies zur Ernährungssicherheit bei (Lwasa et al., 2022).

Cluster: 3.1 Transitorientierte Entwicklung

Maßnahme Klimaschutz	Grüne Straßen und Achsen
Zielbereich	Biodiversität, Naturräume
Wirkungsstärke	Hoch (2,8)

„Urban Greening“ (Grünflächen, urbane Forstwirtschaft, Stadtbäume entlang von Straßen, etc.) als Bestandteil transitorientierter Stadtentwicklungskonzepte und als Maßnahme zur Kohlenstoff-Sequestrierung schafft Lebensräume, Rückzugshabitate und ökologische Konnektivität für städtische Flora und Fauna. Dies stärkt die Biodiversität und die Klimaresilienz von städtischen Ökosystemen. Durch geeignetes Design von Grünflächen und -elementen kann die ökologische Konnektivität innerhalb des Stadtraums und zwischen Stadt und Umland verbessert und damit die Resilienz der Biodiversität gegenüber dem Klimawandel erhöht werden (Fallbeispiele: Climate Action Plans von Durban, Montevideo, Bangkok).

Cluster: 3.1 Transitorientierte Entwicklung

Maßnahme Klimaschutz	Grüne Bestandsquartiere, Neuquartiere, Straßen und Achsen
Zielbereich	Boden
Wirkungsstärke	Mittel (2,4)

Begrünte Flächen, als Teil transitorientierter Stadtentwicklungskonzepte, verringern gleichzeitig den Versiegelungsgrad und bewirken die Erhaltung zumindest teilweise funktionsfähiger Böden innerhalb der Stadt. Städtische Grünflächen können auch für Zwecke der urbanen Landwirtschaft genutzt werden. Neben mehrfachen Co-Benefits für die Klimaanpassung kann *urban farming* zur Verbesserung der Nahrungsmittelsicherheit und zur Reduktion von THG-Emissionen durch energieintensiven Lebensmitteltransport beitragen.

Cluster: 3.1 Transitorientierte Entwicklung

Maßnahme Klimaschutz	Grüne Bestandsquartiere, Neuquartiere, Straßen und Achsen
Zielbereich	Boden
Wirkungsstärke	Mittel (2,4)

Entwicklung von grüner Infrastruktur auf Brachflächen kann zur Wiederherstellung degradierter städtischer Flächen und deren Bodenfunktionen beitragen. Vegetation kann durch Phyto-/Bioremediation zur Sanierung von kontaminierten "Brownfield sites" genutzt werden.

Cluster: 3.1 Transitorientierte Entwicklung

Maßnahme Klimaschutz	Grüne Bestandsquartiere, Neuquartiere, Straßen und Achsen
Zielbereich	Wasser
Wirkungsstärke	Mittel (2,2)

Grünflächen und unversiegelte Flächen, die als Teil transitorientierter Stadtentwicklungskonzepte angelegt werden, stärken durch Versickerung von Niederschlagswasser die Grundwasserneubildung, erhöhen die natürliche Wasserspeicherkapazität von Böden und können durch Filterung diffuser Schadstoffe zur Verbesserung der Grundwasserqualität beitragen. Gleichzeitig wird die Verunreinigung von Oberflächengewässern vermieden, die bei Extremniederschlägen durch Überlastung zentraler Abwassersysteme entstehen kann.

Cluster: 3.1 Transitorientierte Entwicklung

Maßnahme Klimaschutz	Grüne Bestandsquartiere, Neuquartiere, Straßen und Achsen
Zielbereich	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte
Wirkungsstärke	Mittel (2,0)

Die Verbindung transitorientierter Stadtentwicklung mit urbaner Landwirtschaft kann zu Ernährungssicherheit und Beschäftigung beitragen, neue grüne Ökonomien stimulieren und grüne Jobs schaffen.

Cluster: 3.2 Klimaausgeglichene Multi-Modalität

Maßnahme Klimaschutz	Ausbau der Verkehrsinfrastruktur für öffentliche und bewegungsaktive Mobilität
Zielbereich	Luftqualität
Wirkungsstärke	Hoch (3,0)

Alle Maßnahmen, die zur Verringerung der Emissionen aus motorisiertem Individualverkehr beitragen, verbessern gleichzeitig die Luftqualität.

Cluster: 3.2 Klimaaoptimierte Multi-Modalität

Maßnahme Klimaschutz	Ausbau der Verkehrsinfrastruktur für öffentliche und bewegungsaktive Mobilität
Zielbereich	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte
Wirkungsstärke	Hoch (3,0)

Alle Maßnahmen, die zur Verringerung der Emissionen aus motorisiertem Individualverkehr und zur Ausweitung von bewegungsaktiven Mobilitätsmodi beitragen, reduzieren die Schadstoffbelastung der Luft (Feinstaub, NO_x), die Lärmbelastung sowie verkehrsinduzierte Unfälle und fördern damit insgesamt die städtische Lebensqualität und die öffentliche Gesundheit. Zudem wird die individuelle Abhängigkeit von motorisierten Fahrzeugen vermindert, was Lebenshaltungskosten reduziert und v.a. einkommensschwächeren Bevölkerungsgruppen zugutekommt.

Cluster: 3.2 Klimaaoptimierte Multi-Modalität

Maßnahme Klimaschutz	Ausbau der Verkehrsinfrastruktur für bewegungsaktive Mobilität
Zielbereich	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte
Wirkungsstärke	Hoch (2,8)

Attraktive und sichere Fuß- und Radwegnetze tragen durch Förderung der Bewegungsaktivität zur öffentlichen Gesundheit bei.

Cluster: 3.2 Klimaaoptimierte Multi-Modalität

Maßnahme Klimaschutz	Ausbau der Verkehrsinfrastruktur für bewegungsaktive Mobilität
Zielbereich	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte
Wirkungsstärke	Mittel (2,4)

Fußgängerfreundliche Stadt- und Verkehrsstrukturen fördern soziale Interaktionen im öffentlichen Raum und können dadurch das Sozialkapital von städtischen Gemeinschaften stärken.

Cluster: 3.2 Klimaaoptimierte Multi-Modalität

Maßnahme Klimaschutz	Preisgestaltung für öffentliches Verkehrssystem
Zielbereich	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte
Wirkungsstärke	Mittel (2,2)

Leistungsfähige Tarife verbessern die Finanzierbarkeit und Zugänglichkeit von öffentlichen Verkehrsangeboten für einkommensschwache Haushalte.

Cluster: 3.2 Klimaaoptimierte Multi-Modalität

Maßnahme Klimaschutz	Ausbau der Verkehrsinfrastruktur für öffentliche und bewegungsaktive Mobilität
Zielbereich	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte; Übergreifend, übergeordnet
Wirkungsstärke	Mittel (2,0)

Die Reduktion von Gesundheitskosten im Zusammenhang mit Luftverschmutzung und kardiovaskulären Krankheiten, die Erhöhung der Arbeitsproduktivität und die Abnahme von durch Verkehrsstau bedingten Kosten und Produktivitätsverlusten generiert wirtschaftlichen Nutzen. Daten von Städten wie Bangkok, Kuala Lumpur, Jakarta, Manila, Mexico City oder Buenos Aires zeigen an, dass die ökonomischen Kosten durch Verkehrsstau einen Anteil von 0,7 bis 15 % des GDP ausmachen können (Lwasa et al., 2022).

Cluster: 3.2 Klimaaoptimierte Multi-Modalität

Maßnahme Klimaschutz	Ausbau der Verkehrsinfrastruktur für öffentliche Mobilität
Zielbereich	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte;
Wirkungsstärke	Mittel (2,0)

Der Ausbau von leistbaren öffentlichen Verkehrsangeboten (Umweltverbund) bietet Möglichkeiten, ungleiche Verteilung der Erreichbarkeiten von Stadtquartieren auszugleichen.

5.5.3.2.6 Trade-offs für Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele*5.5.3.2.6.1 Überblick*

Nur einer von insgesamt 9 erhobenen Trade-offs mit städtischen Umwelt- und Nachhaltigkeitspolitiken wurde als zumindest mäßig stark bewertet. Dieser bezieht sich auf das Risiko von Gentrifizierungseffekten mit einer Verdrängung ärmerer und marginalisierter Bevölkerungsgruppen durch zahlungskräftigere Schichten, die aus Maßnahmen zur Aufwertung von Quartieren resultieren können.

5.5.3.2.6.2 Beschreibung der stärksten Trade-offs für Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele

Cluster: 3.1 Transitorientierte Entwicklung

Maßnahme Klimaschutz	Grüne Bestandsquartiere, Neuquartiere, Straßen und Achsen
Zielbereich	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte;
Wirkungsstärke	Mittel (2,0)

"Grüne Gentrifizierung" als spezifische Form der Fehlanpassung: Begrünung von Stadtquartieren findet oft bevorzugt in reicheren Wohngebieten statt und privilegiert damit einkommensstarke Gruppen. Investitionen in Begrünungsprojekte können den Immobilienwert steigern und durch Verlust der Leistbarkeit von Wohnen zu sozialen Verdrängungseffekten führen. Fallbeispiele sind z.B. dokumentiert aus Florida, New York City, Atlanta (USA) und Australien. Ebenso beinhalten Investitionen in bauliche Infrastruktur (Aufwertung, Stadtumbau, Neugestaltung) im Rahmen transitorientierter Entwicklungsstrategien das Risiko von Gentrifizierung (Attraktivitätssteigerung zugunsten zahlungskräftigerer Eigentümer und Mieter) und der Verdrängung ärmerer und marginalisierter Bevölkerungsgruppen.

5.5.4 Energieinfrastrukturen

Urbane Energieinfrastrukturen wurden als zusätzliches Handlungsfeld einer klimaorientierten Stadtentwicklung mit in die Untersuchung von Wechselwirkungen mit aufgenommen, weil die Dekarbonisierung der Energieversorgung, die Senkung des Energieverbrauchs, die Steigerung der Energieeffizienz (Übertragung, Nutzung) sowie die Gewährleistung der Energieversorgungssicherheit, einschließlich deren Klimaresilienz, für den Erfolg von Klimaschutzbemühungen und die Ausschöpfung von THG-Minderungspotenzialen von zentraler Bedeutung sind. Gleichzeitig ergeben sich teils dichte und komplexe Querbeziehungen zu Auswirkungen des Klimawandels und Anpassung sowie zu Fragen der Umweltqualität und sozialer Gerechtigkeit.

Das Handlungsfeld wurde in nachstehendes Kategoriensystem von Handlungsstrategien, Maßnahmenbündeln und exemplarischen Maßnahmenbeispielen eingeteilt, um Wechselwirkungen erfassen und zuordnen zu können:

4.1 Zentrale Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen

- Substitution fossiler Energieträger
- Fernwärme- und Fernkühlenetze
- Elektrifizierung urbaner Energiesysteme mit erneuerbaren Energiequellen

4.2 Dezentrale erneuerbare Energieversorgungssysteme

- Lokale, nicht-fossile Energieerzeugung, -einspeisung und -versorgung
 - PV-/ Solaranlagen (auf Gebäuden, Baukörpern, Parkplätzen, städtischen Brachflächen)
 - Geothermie, Tiefenwärmepumpen
 - Nutzung von Abwasserwärmepotenzialen
- Sicherung und Nutzung von Flächenpotenzialen für erneuerbare Energieerzeugung
- Elektrifizierung urbaner Energiesysteme mit erneuerbaren Energiequellen

4.3 Senkung von Energieverbrauch und Lastspitzen und Erhöhung der Energieeffizienz

- Gebäudebegrünung (Dächer, Fassaden)
- Energieoptimiertes Gebäudedesign und städtisches Design
- Senkung des Energieverbrauchs und Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden
- Verbesserung der Energieeffizienz der Wasserversorgung
- Verbesserung der Energieeffizienz von Kühlsystemen

4.4 Erhöhung der Versorgungssicherheit und Energieflexibilität

- Diversifizierung erneuerbarer Energiequellen
- Energiespeicherung (zentral, dezentral)
- Klimaresilienter Ausbau erneuerbarer Energieinfrastrukturen (Standort- und Trassensicherheit)

5.5.4.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Für das Handlungsfeld „Energieinfrastrukturen“ wurden mit insgesamt 47 Wirkungszusammenhängen die zweithäufigsten Interdependenzen festgestellt. Hiervon ergeben sich 30 Wirkungen aus der Interaktion mit der Klimaanpassung (siehe auch Anhang D.4.1 und D.4.2). Wie in den anderen Handlungsfeldern dominieren auch hier die positiven Wirkungen (Co-Benefits, Synergien) (n = 23) eindeutig vor den Trade-offs und Konflikten (n = 7). Von Handlungsstrategie „3.2 Dezentrale erneuerbare Energieversorgungssysteme“ gehen die meisten Wirkungszusammenhänge aus, gefolgt von „3.3 Senkung von Energieverbrauch und Erhöhung der Energieeffizienz“ sowie „3.1 Zentrale Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen“ (Tabelle 32).

Tabelle 32: Häufigkeit von Wirkungszusammenhängen mit der Klimaanpassung im Handlungsfeld „Energieinfrastrukturen“ nach Wirkungskategorien

Handlungsstrategie (Maßnahmencluster)		Positive Wirkungen			Negative Wirkungen			Summe
		Co-Benefits	Synergien	Gesamt	Trade-offs	Konflikte	Gesamt	
4.1	Zentrale Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen	2	3	5	1	1	2	7
4.2	Dezentrale erneuerbare Energieversorgungssysteme	5	3	8	3	1	4	12
4.3	Senkung von Energieverbrauch und Erhöhung der Energieeffizienz	5	3	8	-	-	0	8
4.4	Erhöhung der Versorgungssicherheit und Energieflexibilität	2	-	2	1	-	1	3
Summe		14	9	23	5	2	7	30

Anzahl der identifizierten Wirkungszusammenhänge, die von THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Energieinfrastrukturen“ auf die Klimaanpassung ausgehen, nach vorteilhaften (Co-Benefits, Synergien) und nachteiligen (Trade-offs, Konflikte) Kategorien von Wechselwirkungen.

Sowohl insgesamt als auch innerhalb der positiven und der negativen Wirkungskategorien betreffen die häufigsten Wirkungen den Klimafolgenbereiche Hitze sowie die generische Resilienz von Städten. Relevante Häufigkeiten von Einflüssen ergeben sich aber auch für die anderen Anpassungsziele, d.h. die Anpassung an Trockenheit, Überflutungen und sonstige Extremwetterereignisse (Tabelle 33).

Tabelle 33: Häufigkeit der von Wirkungszusammenhängen betroffenen Klimafolgenbereiche im Handlungsfeld „Energieinfrastrukturen“ nach Wirkungskategorien

Klimafolgenbereich (Anpassungsziel)		Positive Wirkungen			Negative Wirkungen			Summe
		Co-Benefits	Synergien	Gesamt	Trade-offs	Konflikte	Gesamt	
A	Hitze	6	3	9	6	-	6	15
B	Überflutungen (fluvial, pluvial, Küsten)	1	3	4	1	-	1	5
C	Trockenheit (Wasserknappheit)	2	2	4	2	-	2	6
D	Sonstige Extremwetter- und Naturgefahrenereignisse	1	-	1	1	-	1	2
E	Übergreifend, übergeordnet	6	2	8	6	2	8	16
Summe		16	10	26	16	2	18	44

Häufigkeit der Klimafolgenbereiche (Anpassungsziele), die von positiven (Co-Benefits, Synergien) und negativen (Trade-offs, Konflikte) Auswirkungen von THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Energieinfrastrukturen“ betroffen sind. Ein Wirkungszusammenhang kann für mehrere Klimafolgenbereiche gleichzeitig entstehen; daher ist deren Summe größer als die Zahl der Wirkungszusammenhänge.

An der Entstehung von Synergien und Konflikten infolge von Maßnahmen des Handlungsfelds „Energieinfrastrukturen“ ist, verglichen mit allen anderen Handlungsfeldern, die breiteste Palette an Anpassungsoptionen quer über alle Klimafolgenbereiche beteiligt. Lediglich mit fünf Maßnahmenbündeln des definierten Anpassungsportfolios wurde weder ein Konflikt – noch ein Synergiepotenzial ermittelt. Mehr als doppelt so viele Anpassungsoptionen bergen Synergiepotenziale mit dem energiebezogenen Klimaschutz, als es bei Konfliktpotenzialen der Fall ist (Tabelle 34).

Tabelle 34: Häufigkeit der an Synergien und Konflikten beteiligten Anpassungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Energieinfrastrukturen“

Maßnahmenbündel Klimaanpassung	Synergien	Konflikte	Summe
<i>A: Hitze</i>			
A1: Grüne und blaue Infrastruktur (flächenhaft, linear)	1	2	3
A2: Begrünung von Gebäuden (Dächer, Fassaden)	1	-	1

Maßnahmenbündel Klimaanpassung	Synergien	Konflikte	Summe
A3: Kühlende Materialien und Oberflächen	1	-	1
A4: Verschattung von Gebäuden und städtischen Außenräumen	1	-	1
A6: Passive Kühlung und alternative (energieeffiziente und klimaneutrale) aktive Kühlung von Gebäuden (thermischer Innenkomfort)	2	-	2
A8: Maßnahmen zur Hitzeresilienz der sonstigen technischen und baulichen Infrastruktur	2	-	2
<i>B: Überflutungen (fluvial, pluvial, Küsten)</i>			
B1: Schutzinfrastruktur: technischer Hochwasser- und Küstenschutz (aktiv)	1	1	2
B2: Hochwasserangepasste Bauweisen und technischer Objektschutz	1	-	1
B3: Hochwasser- und Küstenschutz durch planerische und naturbasierte Maßnahmen (passiv)	1	1	2
B4: Naturbasiertes dezentrales städtisches Regenwassermanagement („Sustainable Urban Drainage Systems“)	1	1	2
<i>C: Trockenheit (Wasserknappheit)</i>			
C1: Angebotsseitiges Management von Wasserressourcen	1	1	2
C3: Regenwassermanagement und Regenwassernutzung	1	1	2
<i>D: Sonstige Extremwetter- & Naturgefahrenereignisse</i>			
D1: Bauliche Maßnahmen zur Erhöhung der Resistenz von Gebäuden und Infrastrukturanlagen gegen Extremwetterereignisse (Sturm, Hagel, Blitz, Schnee- und Eislast, gravitative Naturgefahren)	1	-	1
D2: Erhöhung der Resilienz der Energie- und Verkehrsinfrastruktur	2	-	2
Summe	17	7	24
Nicht betroffene Anpassungsmaßnahmen	A5: Klimatisch optimierte Konfiguration der Bebauung A7: Maßnahmen zur Hitzeresilienz des Verkehrssystems B5: Anpassung der städtischen Wasserentsorgungsinfrastruktur C2: Steigerung der Effizienz von städtischen Wassernutzungen D3: Management des Risikos von Wald- und Flächenbränden		

Die Zahlen geben an, wie häufig Maßnahmenbündel der städtischen Klimaanpassung in den unterschiedlichen Klimafolgenbereichen an der Entstehung von Synergien und Konflikten mit THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Energieinfrastrukturen“ beteiligt sind. Nicht betroffene Anpassungs-Maßnahmenbündel sind gesondert aufgelistet.

Insgesamt wurden 17 konkrete Einflüsse von energiebezogenen THG-Minderungsmaßnahmen auf städtische Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele eruiert. Die Zahl der Trade-offs ist in diesem Fall sogar geringfügig höher (n = 9) als diejenige der Co-Benefits (n = 8). Auffallen ist, dass die Senkung von Energieverbrauch / Steigerung von Energieeffizienz (4.3) nur positive

Auswirkungen generiert, während die Erhöhung von Versorgungssicherheit und Energieflexibilität (4.4) ausschließlich nachteilige Effekte hervorruft (Tabelle 35).

Tabelle 35: Häufigkeit von Wirkungszusammenhängen mit Umwelt- und Nachhaltigkeitszielen im Handlungsfeld „Energieinfrastrukturen“ nach Wirkungskategorien

Handlungsstrategie (Maßnahmencluster)		Co-Benefits	Trade-offs	Summe
4.1	Zentrale Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen	5	3	8
4.2	Dezentrale erneuerbare Energieversorgungssysteme	-	2	2
4.3	Senkung von Energieverbrauch und Erhöhung der Energieeffizienz	3	-	3
4.4	Erhöhung der Versorgungssicherheit und Energieflexibilität	-	4	4
Summe		8	9	17

Anzahl der identifizierten Wirkungszusammenhänge, die von THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Energieinfrastrukturen“ auf ökologische und soziale Ziele einer nachhaltigen Stadtentwicklung ausgehen, nach vorteilhaften (Co-Benefits) und nachteiligen (Trade-offs) Kategorien von Wechselwirkungen.

Der Zielbereich „Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte“ wird im Vergleich am häufigsten von Maßnahmen zu klimaneutralen Energieinfrastrukturen betroffen. Weniger häufig, aber zu durchaus erheblichen Anteilen können aber auch alle Umwelt(schutz)güter sowohl positiv als auch negativ beeinflusst werden, allen voran die Ressource Wasser sowie Biodiversität und Naturräume (Tabelle 36).

Tabelle 36: Häufigkeit der von Auswirkungen betroffenen Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele im Handlungsfeld „Energieinfrastrukturen“

Schutzgüter, Zielbereiche städtischer Nachhaltigkeitspolitiken	Positiv betroffen (Co-Benefits)	Negativ betroffen (Trade-offs)	Summe
Biodiversität, Naturräume	1	5	6
Luftqualität	2	1	3
Boden (Versiegelung, Qualität, Funktion)	1	4	5
Wasser (Oberflächengewässer, Grundwasser, Trinkwasser, Qualität, Quantität)	2	5	7
Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte	6	5	11
Übergreifend, übergeordnet	-	-	0
Summe	12	20	32

Häufigkeit der Umwelt(schutz)güter bzw. sozialökologischen Zielbereiche von Stadtpolitiken, die von positiven (Co-Benefits) und negativen (Trade-offs) Auswirkungen von THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Energieinfrastrukturen“ betroffen sind. Ein Wirkungszusammenhang kann für mehrere Zielbereiche gleichzeitig entstehen; daher ist deren Summe größer als die Zahl der Wirkungszusammenhänge.

Gefiltert nach der Wirkungsstärke ergeben sich nach dem angewendeten Bewertungsschema 23 (von insgesamt 47) mittelstarke bis starke Wirkungszusammenhänge. Hiervon beziehen sich 16 Interaktionen auf die Klimaanpassung. Positive Wirkungseffekte sind beinahe dreimal so häufig ($n = 17$) wie negative Auswirkungen ($n = 6$). Strategie „4.1 Zentrale Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen“ hat das größte Potenzial, Wirkungszusammenhänge hervorzubringen, gefolgt von „4.2 Dezentrale erneuerbare Energieversorgungssysteme“. Letztere scheinen die meisten Co-Benefits und Synergien mit Zielen und Maßnahmen der Klimaanpassung zu begünstigen (Tabelle 37).

Tabelle 37: Wirkungszusammenhänge mit der stärksten Ausprägung im Handlungsfeld „Energieinfrastrukturen“ nach Wirkungskategorien

Handlungsstrategie (Maßnahmencluster)		Klimaanpassung Positive Wirkungen			Klimaanpassung Negative Wirkungen			Sozial- ökologische Ziele			Summe
		Co-Benefits	Synergien	Gesamt	Trade-offs	Konflikte	Gesamt	Co-Benefits	Trade-offs	Gesamt	
4.1	Zentrale Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen	1	2*	3	1	1	2	3	3	6	11
4.2	Dezentrale erneuerbare Energieversorgungssysteme	3	2*	5	-	1	1	-	-	0	6
4.3	Senkung von Energieverbrauch und Erhöhung der Energieeffizienz	3	1	4	-	-	0	1	-	1	5
4.4	Erhöhung der Versorgungssicherheit und Energieflexibilität	1	-	1	-	-	0	-	-	0	1
Summe		8	5	13	1	2	3	4	3	7	23

Die Tabelle zeigt die Anzahl der stärksten positiven und negativen Wirkungszusammenhänge von THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Energieinfrastrukturen“ und deren Verteilung auf die Handlungsstrategien (Maßnahmencluster) des Klimaschutzes. Die Auswertung basiert auf qualitativen Experteneinschätzungen jedes Wirkungszusammenhangs durch das Projektkonsortium. Bewertet wurden Stärke, Wahrscheinlichkeit und Plausibilität der Wirkungszusammenhänge auf einer dreistufigen Skala. Als stärkste Wirkungszusammenhänge wurden diejenigen ausgewählt, die mit einem arithmetisch gemittelten Wert zwischen 2,0 und 3,0 (ohne Rundung auf ganze Zahlen) bewertet wurden.

* Ein Wirkungszusammenhang konnte sowohl dem Maßnahmencluster 4.1 als auch dem Cluster 4.2 zugeordnet werden.

5.5.4.2 Ergebnisse nach Kategorien von Wirkungszusammenhängen

5.5.4.2.1 Co-Benefits für Ziele der Klimaanpassung

5.5.4.2.1.1 Überblick

Die Bewertung ergab 8 Co-Benefits mit relevanter Wirkungsstärke, an deren Entstehung insgesamt alle vier Handlungsstrategien beteiligt sind. Jeweils drei Zusatznutzen werden von Maßnahmen zu dezentralen erneuerbaren Energieversorgungssystemen (4.2) und zur Senkung des Energieverbrauchs und Steigerung der Energieeffizienz (4.3) verursacht. Einige der Co-

Benefits äußern sich in einer generellen Erhöhung der Störungs- und Krisenresilienz des Energiesystems, einschließlich der Resilienz gegen Hitzebelastungen und Extremereignissen.

5.5.4.2.1.2 Beschreibung der stärksten Co-Benefits für die Klimaanpassung

Cluster: 4.1 Zentrale Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen

Maßnahme Klimaschutz	Fernwärme- und Fernkühlenetze
Klimafolgenbereich	A: Hitze
Wirkungsstärke	Mittel (2,2)

Fernwärmenetze können in heißen Perioden zur Versorgung mit nachhaltig bereitgestellter Fernkühle zur klimaneutralen Anpassung des Gebäudebereichs an Hitze genutzt werden.

Cluster: 4.2 Dezentrale erneuerbare Energieversorgungssysteme

Maßnahme Klimaschutz	Lokale nicht-fossile Energieerzeugung, -einspeisung & -versorgung
Klimafolgenbereich	D: Sonstige Extremwetter- und Naturgefahrenereignisse; E: Übergreifend, übergeordnet
Wirkungsstärke	Hoch (2,6)

Dezentralisierung der Energieversorgung und Nutzung lokaler erneuerbarer Energiequellen, z.B. durch PV-Anlagen auf Gebäudedächern, Fassaden und sonstigen Bauwerken sowie einschließlich quartiersbezogener Heiz- und Kühlsysteme (district cooling and heating networks), bewirkt durch kleinteilige Strukturen Redundanz der Energieinfrastruktur sowie kürzere und daher weniger exponierte Leitungswege. Gleichzeitig verringert dezentrale erneuerbare Vor-Ort-Produktion von Energie die Abhängigkeit von zentraler Energieerzeugung und weitläufiger Übertragungsinfrastruktur. Dies erhöht bei Einwirken von Extremwetterereignissen die Störungstoleranz und Ausfallsicherheit der Energieversorgung und verringert die Verletzlichkeit gegenüber Blackouts, weil der Ausfall von einzelnen Systemkomponenten nicht in Totalausfall des Gesamtsystems resultiert. Dadurch werden die Klima- und Krisenresilienz und die Anpassungskapazität des Energiesystems auf Quartiers- und Gesamtstadtebene verbessert (Fallbeispiel: *Post-disaster* Erfahrungen nach dem Typhoon Haiyan haben gezeigt, dass dezentrale solare Energiebereitstellung sich als resilienter und stabiler erwiesen hat als zentrale Energieinfrastruktursysteme).

Mitigation co-benefit: Dezentrale Vor-Ort-Produktion von Elektrizität aus erneuerbaren Quellen verringert Energieverluste durch Leitung und Speicherung und erhöht damit die Energieeffizienz.

Cluster: 4.2 Dezentrale erneuerbare Energieversorgungssysteme

Maßnahme Klimaschutz	Lokale nicht-fossile Energieerzeugung, -einspeisung & -versorgung
Klimafolgenbereich	B: Überflutungen
Wirkungsstärke	Mittel (2,4)

Konventionelle zentralisierte Energiebereitstellungssysteme sind stark abhängig von Kühlung durch Wasser und daher oft in Wassernähe lokalisiert, was zu klimawandelbedingt zunehmender Risikoexposition gegenüber Hochwasser und Meeresspiegelanstieg führt. Dezentrale erneuerbare Energiesysteme können diese Klimavulnerabilität weitgehend vermeiden.

Cluster: 4.2 Dezentrale erneuerbare Energieversorgungssysteme

Maßnahme Klimaschutz	Lokale nicht-fossile Energieerzeugung, -einspeisung & -versorgung: Geothermie, Tiefenwärmepumpen
----------------------	---

Klimafolgenbereich	E: Übergreifend, übergeordnet
--------------------	-------------------------------

Wirkungsstärke	Mittel (2,0)
----------------	--------------

Technologische Lösungen, die nicht von klimatischen Einflüssen und Klimaänderungen beeinflusst sind (keine bzw. vernachlässigbare Vulnerabilität der Energieproduktion gegenüber Klimawandel).

Cluster: 4.3 Senkung des Energieverbrauchs und Erhöhung der Energieeffizienz

Maßnahme Klimaschutz	Gebäudebegrünung
----------------------	------------------

Klimafolgenbereich	A: Hitze
--------------------	----------

Wirkungsstärke	Hoch (2,6)
----------------	------------

Dach- und Fassadenbegrünung reduzieren den Energiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäuden und sind gleichzeitig hocheffektiv bei der Minderung von Hitze und des UHI-Effekts.

Cluster: 4.3 Senkung des Energieverbrauchs und Erhöhung der Energieeffizienz

Maßnahme Klimaschutz	Erhöhung der Energieeffizienz der Wasserversorgung
----------------------	--

Klimafolgenbereich	C: Trockenheit
--------------------	----------------

Wirkungsstärke	Hoch (2,6)
----------------	------------

Das Sammeln von Regenwasser (über Dachtanks oder Zisternen) zur Nutzung als Brauchwasser kann mit dem Ziel eingesetzt werden, Energie für die Frischwasseraufbereitung einzusparen (Fallbeispiel: für München wurden jährliche Energieeinsparungspotenziale von 5,5 kWh / Kopf durch Regenwassernutzung errechnet). Gleichzeitig trägt die Regenwassernutzung zur Verringerung von Wasserstress in Trockenperioden bei.

Cluster: 4.3 Senkung des Energieverbrauchs und Erhöhung der Energieeffizienz

Maßnahme Klimaschutz	Energieoptimiertes Gebäudedesign und städtische Design
----------------------	--

Klimafolgenbereich	A: Hitze
--------------------	----------

Wirkungsstärke	Mittel (2,0)
----------------	--------------

Kühlende, helle, reflektierende Oberflächen und Materialien (Gebäudefassaden, Dächer, Straßen, Gehsteige) sowie alle weiteren Maßnahmen des passiven Designs, die den Energiebedarf für Heizen und Kühlen reduzieren, sind bei entsprechender Ausgestaltung gleichzeitig hocheffektiv bei der Minderung von Hitze und des UHI-Effekts.

Cluster: 4.4 Erhöhung der Versorgungssicherheit und Energieflexibilität

Maßnahme Klimaschutz	Diversifizierung erneuerbarer Energiequellen
Klimafolgenbereich	E: Übergreifend, übergeordnet
Wirkungsstärke	Hoch (2,6)

Die Erschließung eines möglichst breit gestreuten Portfolios erneuerbarer Energiequellen bewirkt eine Streuung von Klimarisiken für einzelne Energieträger und reduziert damit die Vulnerabilität des Energiesystems gegenüber negativen Auswirkungen des Klimawandels auf spezifische Energieproduktionspotenziale (z.B. veränderte Produktionsbedingungen für Biomasse, verringertes oder stärker schwankendes Wasserkraftpotenzial, verstärkter saisonales Ungleichgewicht zwischen Energieproduktion und -nachfrage). Gleichzeitig verringert dezentrale erneuerbare Vor-Ort-Produktion von Energie die Abhängigkeit von zentraler Energieerzeugung und -infrastruktur, wodurch die Resilienz des Energiesystems und die Energiesicherheit insgesamt erhöht werden.

5.5.4.2.2 Trade-offs für Ziele der Klimaanpassung**5.5.4.2.2.1 Überblick**

Der einzige hoch bewertete Trade-off mit Zielen der Klimaanpassung resultiert aus den Flächenansprüchen für erneuerbare Energieerzeugung (PV, Windkraft, Biomasse), die mit dem Erhalt von ökosystembasierten Anpassungsfunktionen in Konflikt geraten können.

5.5.4.2.2.2 Beschreibung der stärksten Trade-offs für die Klimaanpassung**Cluster: 4.1 Zentrale Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen**

Maßnahme Klimaschutz	Flächensicherung und –nutzung für erneuerbare Energieerzeugung
Klimafolgenbereich	E: Übergreifend, übergeordnet
Wirkungsstärke	Hoch (2,6)

Die Dekarbonisierung des Energiesystems verursacht beträchtlichen Flächenbedarf für erneuerbare Energieerzeugung (Freiflächen-PV, Windkraft, Anbauflächen für Biomasse) sowie für Übertragungs- und Speicherinfrastruktur (verstärkt durch künftig steigenden Strombedarf). Durch die tendenziell monofunktionale oder eingeschränkte multifunktionale Nutzung von naturnahen Räumen und Agrarflächen können deren ökosystembasierte Anpassungsfunktionen (Hochwasserrückhalt, Wasserspeicherung, Naturgefahrenschutz, Frisch- und Kaltluftversorgung, Biodiversität, etc.) beeinträchtigt und die Klimaresilienz und generische Anpassungskapazität von Städten verringert werden. Zudem können direkte Flächennutzungskonkurrenzen mit Anpassungsmaßnahmen, die konkreten Flächenbedarf haben, entstehen.

Mitigation Trade-off: Negative Auswirkungen auf die C-Speicherfunktion von Böden und Ökosystemen können nicht gänzlich ausgeschlossen werden.

5.5.4.2.3 Synergien mit Maßnahmen der Klimaanpassung**5.5.4.2.3.1 Überblick**

Synergien mit Anpassungsoptionen, die von Maßnahmen für klimaneutrale Energieinfrastrukturen ausgehen, wurden in fünf Fällen als (relativ) stark eingestuft. Eines der identifizierten Synergiefelder liefert ein evidenzbasiertes Beispiel dafür, wie durch Zusammenspiel regulativer Vorgaben auf institutioneller Ebene mit der Managementebene von

Gebäuden bzw. Haushalten ein potenzieller Konflikt (erhöhte THG-Emissionen durch Bedarf nach verstärkter Raumkühlung) so gelöst werden kann, dass letztlich Synergiewirkungen erzielt werden können.

5.5.4.2.3.2 Beschreibung der stärksten Synergien mit Klimaanpassung

Cluster: 4.1, 4.2 Zentrale und dezentrale erneuerbare Energieversorgungssysteme	
Maßnahme Klimaschutz	Generell
Klimafolgenbereich	E: Übergreifend, übergeordnet
Maßnahmenbündel Klimaanpassung	A3: Kühlende Materialien und Oberflächen A8: Maßnahmen zur Hitzeresilienz der sonstigen technischen und baulichen Infrastruktur B4: Naturbasiertes dezentrales städtisches Regenwassermanagement C3: Regenwassermanagement und Regenwassernutzung D2: Erhöhung der Resilienz der Energie- und Verkehrsinfrastruktur
Wirkungsstärke	Mittel (2,4)

Die Errichtung bzw. Ertüchtigung "grüner", zentraler und/oder dezentraler Energieinfrastrukturen in Stadtvierteln bietet ein Möglichkeitsfenster, um Energiesysteme klimaresilient zu gestalten, wie z. B. durch verbesserte Wasserdichtigkeit der Strominfrastruktur oder Kühlsysteme für kritische Infrastrukturen. Die Erneuerung von energiebezogener Infrastruktur lässt sich zudem dazu nutzen, um darüber hinaus gehende Anpassungsmaßnahmen umzusetzen. Wenn der Boden für die Installation aufgegraben wird, ergeben sich Möglichkeiten für ein widerstandsfähigeres Abfall- oder Abwassersystem sowie für den Ersatz von Bodenbelägen durch durchlässige oder kühle Beläge.

Cluster: 4.1 Zentrale Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen	
Maßnahme Klimaschutz	Fernwärme- und Fernkühlenetze
Klimafolgenbereich	A: Hitze
Maßnahmenbündel Klimaanpassung	A6: Passive Kühlung und alternative (energieeffiziente und klimaneutrale) aktive Kühlung von Gebäuden (thermischer Innenkomfort)
Wirkungsstärke	Mittel (2,0)

Aus Energieeffizienzgründen errichtete Fernkühle-Systeme mit nachhaltig bereitgestellter Fernkälte sind gleichzeitig eine Maßnahme zur Anpassung des Gebäudebereichs an Hitze während heißer Perioden.

Cluster: 4.2 Dezentrale erneuerbare Energieversorgungssysteme

Maßnahme Klimaschutz	Lokale nicht-fossile Energie-erzeugung, -einspeisung & -versorgung
Klimafolgenbereich	A: Hitze; D: Sonstige Extremwetter- und Naturgefahrenereignisse
Maßnahmenbündel Klimaanpassung	A8: Maßnahmen zur Hitzeresilienz der sonstigen technischen und baulichen Infrastruktur D2: Erhöhung der Resilienz der Energie- und Verkehrsinfrastruktur
Wirkungsstärke	Hoch (2,6)

Dezentrale erneuerbare Vor-Ort-Produktion von Energie verringert die Abhängigkeit von einzelnen Energiequellen, zentraler Energieerzeugung und -infrastruktur, wodurch die Resilienz des Energiesystems, z.B. gegenüber Hitze und Extremwettereinflüsse, und die Energieversorgungssicherheit insgesamt erhöht werden. Kleinteilige Energiestrukturen sind gleichzeitig eine Anpassungsmaßnahme, um durch Redundanzen Störungstoleranz und Ausfallsicherheit der Energieinfrastruktur insgesamt zu erhöhen.

Cluster: 4.3 Senkung des Energieverbrauchs und Erhöhung der Energieeffizienz

Maßnahme Klimaschutz	Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden
Klimafolgenbereich	A: Hitze
Maßnahmenbündel Klimaanpassung	A6: Passive Kühlung und alternative (energieeffiziente und klimaneutrale) aktive Kühlung von Gebäuden (thermischer Innenkomfort)
Wirkungsstärke	Hoch (2,6)

Regulative Vorgaben für höhere Energieeffizienz von Gebäuden fördern über Anreizwirkung bzw. „sanften Zwang“ den Anschluss an alternative Kühlsysteme (v.a. Fernkälte / *district cooling*). Die Kombination beider Maßnahmen führt zu größeren Wirkungen sowohl für den Klimaschutz als auch für die Klimaanpassung. Gleichzeitig wird durch die Vermeidung konventioneller Kühlanlagen Fehlanpassung infolge erhöhten Energieverbrauchs vermieden. Das Zusammenspiel regulativer Vorgaben auf institutioneller Ebene mit der Managementebene von Gebäuden bzw. Haushalten ist ein Beispiel dafür, wie durch die Lösung eines potenziellen Konflikts (erhöhte THG-Emissionen durch Bedarf nach verstärkter Raumkühlung) letztlich Synergiewirkungen erzielt werden können (Fallbeispiel: Kopenhagen, Act on Municipal Cooling Systems, 2008).

5.5.4.2.4 Konflikte mit Maßnahmen der Klimaanpassung**5.5.4.2.4.1 Überblick**

Es wurden zwei Konflikte mit starker Wirkungsausprägung festgestellt, die sich beide aus dem Wirkungsmechanismus von Flächennutzungskonkurrenzen ergeben. Die tendenziell monofunktionale Nutzung sowohl von außerstädtischen Grün- und Freiräumen als auch von innerstädtischen Brachflächen, städtebaulichen Restflächen und Baulücken für erneuerbare Energieerzeugung kann vielfach die Umsetzung bzw. Wirksamkeit von Anpassungsmaßnahmen mit Flächenbedarf beeinträchtigen oder ausschließen.

5.5.4.2.4.2 Beschreibung der stärksten Konflikte mit Klimaanpassung

Cluster: 4.1 Zentrale Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen	
Maßnahme Klimaschutz	Flächensicherung und –nutzung für erneuerbare Energieerzeugung
Klimafolgenbereich	E: Übergreifend, übergeordnet
Maßnahmenbündel Klimaanpassung	A1: Grüne und blaue urbane Infrastruktur (flächenhaft, linear) B1: Schutzinfrastruktur: technischer Hochwasser- und Küstenschutz (aktiv) B3: Hochwasser- und Küstenschutz durch planerische und naturbasierte Maßnahmen (passiv) C1: Angebotsseitiges Management von Wasserressourcen
Wirkungsstärke	Mittel (2,0)

Die Dekarbonisierung des Energiesystems verursacht beträchtlichen Flächenbedarf für erneuerbare Energieerzeugung (Freiflächen-PV, Windkraft, Anbauflächen für Biomasse) sowie für Übertragungs- und Speicherinfrastruktur (verstärkt durch künftig steigenden Strombedarf). Durch die tendenziell monofunktionale Nutzung bzw. Einschränkung der Multifunktionalität von unverbauten Grün- und Freiflächen im Stadtumland können direkte Flächennutzungskonkurrenzen mit Anpassungsmaßnahmen, die Flächenbedarf haben, entstehen, sowie anpassungswirksame Ökosystemleistungen an Wirksamkeit verlieren. Dies betrifft einerseits technische (bauliche, strukturelle, aktive) Maßnahmen zur Anpassung an Hochwasser, Küstenüberflutungen und andere klima-/ wettergetriebene Naturgefahrenereignisse, wie insbesondere Schutzbauten und deren Flächenbedarf. Andererseits können ökosystembasierte Anpassungsmaßnahmen wie grüne/blau Infrastruktur zur Frisch-/Kaltluftversorgung von Städten, Hochwasserabfluss- und rückhalteräume sowie Schutzgebiete für Grundwasserressourcen und die Bewirtschaftung des Landschaftswasserhaushalts betroffen sein. Eine Vermeidung bzw. Abschwächung von Konflikten mit Anpassungszielen und -maßnahmen erscheint vielfach möglich, z.B. indem Flächenfunktionen für die Klimaanpassung in Eignungs- und Ausschlusszonierungen für erneuerbare Energieerzeugung berücksichtigt und multifunktionale Flächennutzungen optimierte werden.

Cluster: 4.2 Dezentrale erneuerbare Energieversorgungssysteme	
Maßnahme Klimaschutz	Lokale nicht-fossile Energie-erzeugung, -einspeisung & -versorgung
Klimafolgenbereich	E: Übergreifend, übergeordnet
Maßnahmenbündel Klimaanpassung	A1: Grüne und blaue urbane Infrastruktur (flächenhaft, linear) B4: Naturbasiertes dezentrales städtisches Regenwassermanagement C3: Regenwassermanagement und Regenwassernutzung
Wirkungsstärke	Mittel (2,0)

Die Nutzung städtischer Freiflächen, Brachflächen und Baulücken für dezentrale erneuerbare Energieerzeugung (PV, Solar) steht in Flächennutzungskonkurrenz um das knappe innerstädtische Flächenangebot für grüne und blaue Infrastruktur und dezentrale Regenwassermanagementsysteme. Multifunktionale Nutzungen derselben Flächen für Energiegewinnung und Anpassungsmaßnahmen sind oft nicht möglich oder beeinträchtigen sich wechselseitig in ihrer Umsetzbarkeit und Wirksamkeit.

5.5.4.2.5 Co-Benefits für Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele

5.5.4.2.5.1 Überblick

Die Wirkungsintensität von vier Co-Benefits wurde als mittel bis hoch eingeschätzt. Sie resultieren u.a. aus Verbesserungen für Gesundheit und die Verringerung von Energiearmut

durch den Ersatz von Feuerholz und Kohle durch erneuerbare Energie im Rahmen der „grünen“ Elektrifizierung urbaner Energiesysteme; diese Vorteile sind insbesondere für viele Städte des globalen Südens hoch relevant.

5.5.4.2.5.2 Beschreibung der stärksten Co-Benefits für Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele

Cluster: 4.1 Zentrale Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen

Maßnahme Klimaschutz	Elektrifizierung urbaner Energiesysteme mit erneuerbaren Energiequellen
Zielbereich	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte; Biodiversität, Naturräume
Wirkungsstärke	Hoch (3,0)

Der Ersatz von Feuerholz für Kochen und Heizen durch erneuerbaren Strom verbessert die Innenluftqualität und die Gesundheit insbesondere einkommensschwacher Haushalte und verringert vorzeitige Mortalität. Zudem wird der Druck auf Gehölzvegetation als Brennstoffquelle reduziert. Besonders relevanter Zusatznutzen für Städte des globalen Südens und informelle Siedlungen.

Cluster: 4.1 Zentrale Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen

Maßnahme Klimaschutz	Elektrifizierung urbaner Energiesysteme mit erneuerbaren Energiequellen
Zielbereich	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte
Wirkungsstärke	Hoch (2,8)

Der Ersatz kohlebasierter Energieerzeugung durch erneuerbare Energiequellen verringert die Luftverschmutzung und reduziert damit Belastungen der Gesundheit und vorzeitige Mortalität. Dieser Zusatznutzen von Dekarbonisierung ist besonders relevant für Städte des globalen Südens und andere Länder mit hohem Anteil von Kohle an der Energieerzeugung.

Cluster: 4.1 Zentrale Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen

Maßnahme Klimaschutz	Elektrifizierung urbaner Energiesysteme mit erneuerbaren Energiequellen
Zielbereich	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte
Wirkungsstärke	Hoch (2,6)

Grüne Elektrifizierung, v.a. in Städten des globalen Südens, unterstützt Bekämpfung von Energiearmut, Chancengerechtigkeit und gerechten Zugang zu sauberer Energie für alle. Die Verringerung der Energiearmut von Haushalten verringert damit verbundene Gesundheitsrisiken, v.a. von vulnerablen Gruppen und in formellen Siedlungen.

Cluster: 4.3 Senkung des Energieverbrauchs und Erhöhung der Energieeffizienz

Maßnahme Klimaschutz	Treibhausgas-Minderungsmaßnahmen an Gebäuden
Zielbereich	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte
Wirkungsstärke	Mittel (2,4)

Verbesserte Gesundheit durch bessere Innenraumbedingungen, Minderung von Energiearmut, verbesserte Qualität der Umgebungsluft und geminderter UHI-Effekt.

5.5.4.2.6 Trade-offs für Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele**5.5.4.2.6.1 Überblick**

Drei Trade-offs wurden auf Basis der Wirkungsbewertung als besonders relevant ausgewählt. Sie hängen eng mit dem „klassischen“ Spannungsverhältnis zwischen Flächennutzung für erneuerbare Energiegewinnung und dem Schutz von Naturräumen und deren Umweltgütern zusammen. Aus Flächennutzungskonkurrenzen zwischen dekarbonisierter Energieerzeugung und landwirtschaftlicher Produktion können sich auch nachteilige Auswirkungen auf die Ernährungssicherheit und Lebensmittelpreise ergeben.

5.5.4.2.6.2 Beschreibung der stärksten Trade-offs für Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele**Cluster: 4.1 Zentrale Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen**

Maßnahme Klimaschutz	Elektrifizierung urbaner Energiesysteme mit erneuerbaren Energiequellen
Zielbereich	Biodiversität, Naturräume; Wasser
Wirkungsstärke	Mittel (2,2)

Der Ausbau der Wasserkraft und eine Ausweitung des Anbaus biogener Energieträger übt negative Wirkungen auf terrestrische und aquatische Ökosysteme und deren Biodiversität aus.

Cluster: 4.1 Zentrale Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen

Maßnahme Klimaschutz	Flächensicherung und –nutzung für erneuerbare Energieerzeugung
Zielbereich	Biodiversität, Naturräume; Wasser; Boden
Wirkungsstärke	Mittel (2,2)

Die Dekarbonisierung des Energiesystems verursacht beträchtlichen Flächenbedarf für erneuerbare Energieerzeugung (Freiflächen-PV, Windkraft, Anbauflächen für Biomasse) sowie für Übertragungs- und Speicherinfrastruktur (verstärkt durch künftig steigenden Strombedarf). Damit steigt der Nutzungsdruck auf naturnahe Räume und verschärfen sich Nutzungskonkurrenzen mit Agrar- und Waldflächen. Durch die tendenziell monofunktionale Nutzung bzw. Einschränkung der Multifunktionalität von naturnahen Räumen und Agrarflächen sind negative Auswirkungen auf terrestrische, aquatische und küstennahe Ökosysteme im Stadtumland sowie deren Biodiversität wahrscheinlich bis unvermeidlich.

Mitigation Trade-off: Negative Auswirkungen bei der Herstellung von Biomasse auf die C-Speicherfunktion von Böden und Ökosystemen sind nicht auszuschließen.

Cluster: 4.1 Zentrale Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen

Maßnahme Klimaschutz	Flächensicherung und –nutzung für erneuerbare Energieerzeugung
Zielbereich	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte
Wirkungsstärke	Mittel (2,0)

Flächennutzungskonkurrenz mit landwirtschaftlichen Flächen und Nahrungsmittelproduktion kann die Ernährungssicherheit beeinträchtigen, das Risiko von Hunger verstärken und Lebensmittelpreise erhöhen. Von höheren Lebensmittelpreisen sind einkommensschwache, sozial vulnerable Gruppen überproportional betroffen.

5.6 Strategien zur Konfliktminderung und Synergieschöpfung

5.6.1 Grundsätzliche Überlegungen

Klimaschutz und Klimaanpassung sind kausal eng und untrennbar miteinander verknüpft und müssen somit auch gemeinsam betrachtet sowie integriert geplant und umgesetzt werden. Beide Handlungsfelder sind spätestens seit dem Paris Agreement (UNFCCC 2015) als gleichwertige Säulen der Klimapolitik anerkannt und sind wechselseitig nicht substituierbar. Erfolg oder Misserfolg beim Klimaschutz entscheidet über den Anpassungsbedarf von morgen, wobei Klimaanpassung den Klimaschutz nicht kompensieren kann und einer erfolgreichen Anpassung sowohl harte (physikalische) als auch weiche (z.B. finanzielle) Grenzen gesetzt sind. Zunehmend viele natürliche und sozioökonomische Systeme stoßen bereits heute durch den fortschreitenden Klimawandel an Grenzen der Anpassung (IPCC, 2022a). Umgekehrt tragen Erfolge bei der THG-Minderung dazu bei, die Kosten für die Anpassung geringer zu halten und innerhalb der Grenzen der Anpassungsmöglichkeiten zu bleiben. Auch wenn es gelingen sollte, die globale Erwärmung auf im Mittel +1,5°C zu begrenzen, bleibt Klimaanpassung notwendig, um die bereits heute unvermeidlichen Folgen des Klimawandels zu bewältigen.

Diese Zusammenhänge auf globaler Ebene gelten in ähnlicher Weise für die Entwicklung von Städten. Städte und Siedlungen sind einerseits weltweit der größte Verursacher von THG-Emissionen, andererseits sind sie gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels hoch vulnerable Systeme und stark von Klimawandelfolgen betroffen. Um zukunftsfähig zu sein, müssen Entscheidungen, Investitionen, Projekte und Maßnahmen der Stadtentwicklung gleichzeitig zur Minderung von THG-Emissionen beitragen, an das Klima der Zukunft angepasst sowie auf ökologische und soziale Nachhaltigkeit ausgerichtet sein. Zum Beispiel müssen neu errichtete Gebäude oder technische städtische Infrastruktur gleichzeitig mehrfache Anforderungen erfüllen: sie sollen einen reduzierten Energieverbrauch aufweisen, auf energieeffiziente Weise mit dekarbonisierter Energie versorgt werden, unter künftigen Klimabedingungen Bestand haben, die Anpassung an Klimafolgen wie Hitze oder Starkniederschläge unterstützen, die Qualität von Umweltressourcen nicht beeinträchtigen, sowie Wohnraum, Güter und Leistungen der Daseinsvorsorge auf leistbare Weise auch für vulnerable soziale Gruppen bereitstellen. Beiträge zu diesen Zielen müssen oft durch ein und dieselbe Maßnahme auf derselben Fläche erbracht werden.

Das IPCC (IPCC 2022a; Schipper et al., 2022; Begum et al., 2022) forciert hierfür das Paradigma der klimaresilienten Entwicklung (*climate-resilient development*). Dieses Leitkonzept steht für eine koordinierte Umsetzung von Klimaschutz- und Anpassungslösungen, die gleichzeitig die Ziele einer nachhaltigen Entwicklung (im Sinne der SDGs) und sozialer Gerechtigkeit verfolgt, um ein gutes Leben für alle innerhalb planetarer Grenzen zu ermöglichen. Das IPCC definiert

„klimaresiliente Entwicklung“ als „einen Prozess der Umsetzung von Treibhausminderung und Anpassungsmaßnahmen, um nachhaltige Entwicklung für alle zu unterstützen“ (IPCC, 2022b). Aus einer Klimarisikoperspektive reduziert die Begrenzung von Treibhausgaskonzentrationen dabei die Gefahren des Klimawandels, während Anpassung und nachhaltige Entwicklung die Exposition und Vulnerabilität gegenüber klimatischen Gefahren verringern. In dieser Sichtweise stärkt Anpassung die nachhaltige Entwicklung, welche zunehmend durch die Auswirkungen und Risiken des Klimawandels eingeschränkt wird, während Entwicklung die Anpassung unterstützt, indem Ressourcen und Kapazitäten zur Verringerung von Klimarisiken und Vulnerabilitäten ausgeweitet werden (Begum et al., 2022). Die gleichzeitige Umsetzung von Klimaschutz und Klimaanpassung als integraler Bestandteil von nachhaltiger Entwicklung kann die Wirksamkeit aller drei Handlungsstrategien erhöhen („triple-win solutions“).

„Klimaresiliente Entwicklung“ verstärkt die Notwendigkeit und Dringlichkeit, Wechselwirkungen, Synergien und Konflikte zwischen den betroffenen Politikfeldern, Handlungssträngen und Maßnahmen gezielt zu berücksichtigen und Lösungen für die Stärkung von Zusatz- und Nebennutzen von Maßnahmen sowie für die Schöpfung von Synergien und Vermeidung von Konflikten zu entwickeln. Dies ist die Voraussetzung dafür, dass die Umsetzung von Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen gemeinsam mit den Sustainable Development Goals (SDGs) dazu beitragen kann, Synergien zu nutzen, negative Wechselwirkungen zu reduzieren und Konflikte abzuschwächen oder zu vermeiden (Begum et al., 2022).

Die Untersuchung von Wirkungszusammenhängen in dieser Studie hat eine hohe Zahl und Dichte von potenziellen positiven und negativen Wirkungen erbracht, die von Strategien und Maßnahmen des Klimaschutzes in den Handlungsfeldern einer klimaorientierten Stadtentwicklung auf die Klimaanpassung und auf andere städtische Umwelt- und Nachhaltigkeitsdimensionen ausgehen können. Hierbei handelt es sich um Potenziale für Synergien und Co-Benefits sowie um Risiken für Konflikte und Trade-offs. Synergiepotenziale realisieren sich nicht automatisch in tatsächlichen Synergieeffekten, ebenso wenig wie Konfliktpotenziale unvermeidlich in gegenläufigen Wirkungen münden müssen. Wesentlich ist das frühzeitige Erkennen, Abschätzen und Verstehen von Synergie- und Konfliktpotenzialen, weil diese nur dann gezielt und ex-ante in der Politikgestaltung, der Entwicklung, Bewertung, Auswahl und optimierten Planung von Maßnahmen sowie in deren konkreter Ausgestaltung und Umsetzung berücksichtigt werden können.

Das Auftreten oder Nichtauftreten, die Ausprägung und Intensität von Wechselwirkungen sind letztlich situativ, konditional, stark von konkreten Kontextbedingungen und Skalenebenen abhängig (Patak et al., 2022) und unterliegen damit Ungewissheiten (IPCC 2022d). Hieraus folgt, dass auch Strategien, Maßnahmen und Vorkehrungen zur Konfliktminderung und Synergieschöpfung sehr stark von der konkreten Planung, Ausgestaltung und Umsetzung von Maßnahmen der Stadtentwicklung in spezifischen Kontexten abhängen, d.h. z.B. von konkreten architektonischen oder konstruktiven Lösungen bei Sanierung oder Neuerrichtung von Gebäuden. Es ist daher größtenteils nicht möglich, allgemeingültige und ohne Weiteres übertragbare Lösungen zum Umgang mit den identifizierten Wirkungszusammenhängen zu empfehlen.

Aus der Untersuchung von Wechselwirkungen abgeleitete strategische und übergeordnete Hinweise und Ansätze zur Steuerung von Wechselwirkungen im Sinne einer „klimaresilienten Entwicklung“ (IPCC 2022a) sind in die Handlungsempfehlungen dieser Studie eingeflossen (siehe Kapitel 6 und Anhang E).

5.6.2 Berücksichtigung in Prozessen zur Politikgestaltung und städtischer Governancerahmen

Integrierte klimaorientierte Stadtentwicklung sollte Wechselwirkungen zwischen Klimaschutz, Klimaanpassung sowie Umwelt- und Nachhaltigkeitspolitiken frühzeitig auf der Ebene von Politikgestaltungs- und Politikformulierungsprozessen berücksichtigen, z.B. im Rahmen der Entwicklung von städtischen Klimastrategien, Anpassungsplänen und Stadtentwicklungskonzepten. Dabei ist es notwendig, die Governance-Dimensionen und die Prozesshaftigkeit einer klimaorientierten Stadtentwicklung zu beachten. Dies erfordert einerseits, Interaktionen zwischen Handlungsfeldern, Maßnahmen und Ebenen systematisch und strukturiert bei der Entwicklung von Strategien, Programmen, Konzepten und Plänen zu bearbeiten, zu prüfen und gegeneinander abzuwägen. Synergiepotenziale und Konfliktrisiken sowie Möglichkeiten zur Synergienutzung und Konfliktminderung sollten als wesentliche Kriterien in die Bewertung, Auswahl, Priorisierung und Ausgestaltung von Zielen und Maßnahmen einfließen. Hierbei wären zum Beispiel jene Klimaschutzmaßnahmen zu bevorzugen, die möglichst viele Vorteile und Synergien für die Anpassung und andere Politikbereiche erbringen, während Maßnahmen mit hohem Risiko von Trade-offs und Konflikten zu vermeiden oder entsprechend zu modifizieren wären. Die in diesem Bericht präsentierten Ergebnisse zu Wirkungszusammenhängen sowie der analytisch-methodische Rahmen können hierbei Hilfestellungen geben.

Integrierte urbane Klimapolitik bedeutet letztlich, dass Anstrengungen zur horizontalen und vertikalen Politikintegration intensiviert werden müssen. Dies erfordert einen unterstützenden Governancerahmen und den Ausbau von Governancekapazitäten. Ansatzpunkte umfassen insbesondere: eine verbesserte sektor- und abteilungsübergreifende Kooperation und Abstimmung; geeignete Mechanismen und Prozesse für politikfeldübergreifende Koordination und Austausch; die Schaffung von Strukturen, welche Kommunikation und Vernetzung über formale Zuständigkeitsbereiche und Ebenen hinweg erlaubt (Aufbrechen von „policy silos“); sowie eine Stärkung von Koordinationskapazitäten. Eine Voraussetzung für die Intensivierung von Koordination und Kooperation ist die Bereitstellung von ausreichenden Ressourcen hinsichtlich Finanzierung, Personal, Arbeitszeit und Expertise. Die Entwicklung und Testung von neuen und innovativen Governancemodellen können die Umsetzung einer integrierten klimaorientierten Stadtentwicklung unterstützen. Für eine vertiefende Darstellung der städtischen Governance aus dem Blickwinkel der Klimaanpassung siehe den Bericht in Anhang A.

5.6.3 Beispiel „Urbane Verdichtung“: Möglichkeiten zur Minderung von Konflikten mit der Klimaanpassung

Von besonderem Interesse für die Umsetzung einer integrierten klimaorientierten Stadtentwicklung sind Handlungsstrategien zur THG-Minderung, die wechselwirkungsintensiv sind und gleichzeitig sowohl positive als auch negative Wirkungen ausüben können.

Die am stärksten ambivalenten Wirkungszusammenhänge in diesem Sinne gehen vom Maßnahmencluster „Horizontale Verdichtung“ im Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“ aus. Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung und angemessene Nachverdichtung mit polyzentrischen, funktionsgemischten Strukturen und kurzen Wegen sind eine Schlüsselstrategie für die Treibhausgasreduzierung von Städten. Gleichzeitig verursachen entsprechende Maßnahmen die meisten - sowie die häufigsten als „stark“ bewerteten - Synergie- und Konfliktpotenziale (siehe Kap. 5.5.2 und Anhang D.2). Auch wenn die Co-Benefits und Synergien überwiegen, stellt sich dennoch die Frage, wie vorteilhafte Wirkungen realisiert

und gleichzeitig potenziell bedeutsame Konflikte und Trade-offs möglichst gemindert werden können.

Dabei zeigt sich ein charakteristisches Wirkungsmuster, das sich über die Stadt-Umland-Ebene hinweg entfaltet: Verdichtungsstrategien erzeugen bedeutenden und mehrfachen Zusatznutzen (Co-Benefits) und Synergien für die Anpassung vorwiegend im Stadtumland, weil durch die Freihaltung von Grün- und Freiräumen die Klimarisikoeexposition reduziert, oft mehrfache ökosystembasierte Anpassungsleistungen erhalten, Flächenpotenziale für aktive, z.B. technische Schutzmaßnahmen genutzt sowie passive und aktive Anpassungsmaßnahmen unterstützt werden können. Die Anpassungswirkungen kommen der Stadt insgesamt zugute.

Demgegenüber stehen Trade-offs und Konflikte überwiegend innerhalb des bebauten Stadtgebietes. Eine überhöhte bauliche Verdichtung kann zur Verringerung des Flächenpotenzials für kühlende grüne und blaue Infrastruktur, Frischluftschneisen oder dezentrale, naturbasierte Regenwassermanagementsysteme führen, den städtischen Wärmeinseleffekt verstärken, insbesondere auch die nächtliche Abkühlung reduzieren, und damit den Hitzestress für die Bevölkerung erhöhen. Mit fortschreitendem Klimawandel und steigender Bevölkerungsdichte nehmen die Risikoeexposition und Vulnerabilität der Stadtbevölkerung gegenüber Hitze zu. Fortschreitende Urbanisierung und Verdichtung führen zudem zu steigender Wärmespeicherungskapazität baulicher Strukturen und zu mehr anthropogenen Wärmelasten (Abwärme). Gleichzeitig reduziert ein höherer Überbauungs- und Versiegelungsgrad den Anteil unversiegelter, versickerungsfähiger Flächen, verstärkt den Oberflächenabfluss und verringert die Versickerung und Wasserspeicherkapazität des Bodens; hierdurch werden das Risiko lokaler Überflutungen und von Überlastungen der technischen Abwasserentsorgungsinfrastruktur erhöht und Trockenheitsprobleme verschärft. Auch können hohe Bebauungsdichten die Umsetzbarkeit von hybriden (vegetationstechnischen, ingenieurbiologischen) Maßnahmen erschweren (IPCC 2022a; Sharifi 2020).

Zwischen dem klima- und siedlungspolitischen Ziel kompakter, verdichteter Siedlungsstrukturen einerseits und der Anpassung an urbane Überhitzung und pluviale Überflutungsrisiken durch ausreichende Durchgrünung und Auflockerung von Siedlungsräumen andererseits besteht somit ein klassischer Konflikt auf der Ziel- und Maßnahmenebene, der sich nicht zuletzt in Flächenkonkurrenzen manifestiert.

Lösungsmöglichkeiten, die den Konflikt mindern oder sogar Synergieeffekte erzielen können, bestehen in Strategien einer „qualitätsvollen Verdichtung“ und differenzierten Quartiersentwicklungskonzepte, die höhere Dichtewerte auf kontextsensible und örtlich differenzierte Weise mit einem angemessenen Grün- und Freiflächenanteil ausbalancieren.

Solche Strategien einer qualitätsvollen, sozialräumlich optimierten Verdichtung können folgende Ansätze und Elemente umfassen und kontextsensibel kombinieren:

- ▶ Differenzierte Quartiersentwicklungskonzepte, die parallel zur Festlegung von Verdichtungszone eine Aufwertung von öffentlichen Grünräumen vornehmen
- ▶ Begrünung von Dächern, Fassaden und Baukörpern
- ▶ Vertikale Verdichtung (Neubau bzw. Sanierung mit größeren Gebäudehöhen, mehrgeschossige Bauweisen, Aufstockung, Dachboden-/ Kellerausbau)
- ▶ Ausschöpfung des Portfolios des passiven, klimatisch optimierten Gebäudedesigns, wie klimatisch optimierte Lage und Ausrichtung von Gebäuden, helle Dächer und Oberflächen, passive und aktive Verschattung, etc.

- ▶ Ausschöpfung von Potenzialen der Bebauungsplanung, wie Vorgaben zur baulichen Grundstücksnutzung, Versiegelungsgraden, Entsiegelung, etc.
- ▶ Leerstandsaktivierung, Brachflächenrecycling
- ▶ Erhöhung der Nutzungsdichte im Bebauungsbestand (Mehrfachnutzung, Aktivierung von Teil-Leerständen)

5.6.4 Weitere Forschungs- und Entwicklungsbedarfe

- ▶ Weiterentwicklung und Praxisanwendungen des Tools zur Identifizierung, Analyse und Bewertung von Wechselwirkungen (Klimaschutz/Klimaanpassung/Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele) auf konkrete Städte mit lokalem Expert*innen-Team, z.B. eingebettet in Prozess zur Entwicklung/Umsetzung integrierter städtischer Klima- und Nachhaltigkeitsstrategien.
- ▶ Ableitung, Entwicklung und Praxistestung von Methoden zur integrierten Maßnahmenbewertung und -optimierung für spezifische städtische Anwendungsbereiche.
- ▶ Entwicklung von Praxis- und Entscheidungshilfen zur Berücksichtigung von Konflikt- und Synergiepotenzialen in konkreten Projekten (Vergleich und Optimierung von Entwicklungsszenarien, Planungsvarianten und Maßnahmenoptionen).
- ▶ Entwicklung von Leitlinien, Planungs- und Entscheidungshilfen für „qualitätsvolle“, klimasensible (Nach)Verdichtung.

6 Handlungsempfehlungen an Bund, Länder und Kommunen

Ein wichtiger Bestandteil des Vorhabens war die Ausarbeitung von Handlungsempfehlungen an verschiedene Regierungsebenen, um eine integrierte Stadtentwicklung zu befördern, die THG-Minderungspotenziale sowie Synergiepotenziale mit Klimaanpassung ausschöpft sowie Stadt-Umland Beziehungen reflektiert und synthetisiert. Übergeordnete Narrative wurden in einem ersten Schritt in Form von Diagrammen erstellt (siehe Abbildung 10), um übergeordnete Zielvisionen mit Empfehlungen entlang der deutschen Verwaltungsgliederung einzuordnen und zu verknüpfen. Der Ansatz wurde in einer internen Arbeitsklausur weiterentwickelt und diente als Grundlage für die Verschriftlichung des Empfehlungspapiers. Schlussendlich wurden Empfehlungen im Rahmen eines Abschlussworkshops gemeinsam mit ExpertInnen validiert und priorisiert.

In folgendem Kapitel werden die validierten Handlungsempfehlungen für Bund, Länder und Gemeinden in Deutschland zusammengefasst. Es ist hervorzuheben, dass diese nicht den Anspruch auf Vollständigkeit erheben, sondern vielmehr darauf abzielen, die wesentlichsten Wirkungszusammenhänge innerhalb und zwischen den Handlungsfeldern darzustellen. Besonderer Fokus liegt dabei auf einer integrierten Betrachtung nachhaltiger Stadtentwicklung im Spannungsfeld von Klimaschutz und Klimaanpassung. Auf dieser Basis werden Handlungsempfehlungen für Kommunen und Bund/Länder abgeleitet im Sinne eines notwendigen Beitrags dieser Ebenen für die Umsetzung der wirkungsstärksten Klimaschutzmaßnahmen oder Strategien in den Handlungsfeldern, welche gleichzeitig Synergien mit Klimaanpassung maximieren und negative Wechselwirkungen minimieren helfen.

Empfehlungen an den Bund, die darauf abzielen das klimapolitische Handeln auf internationaler Ebene zu informieren und befördern, wurden in einem eigenständigen Beitrag zusammengefasst. Diese Überlegungen zur verbesserten programmatischen Aufstellung der Internationalen Klimaschutzinitiative (IKI) des BMWK sind dem Abschlussbericht als Anhang beigelegt (siehe Anhang E).

6.1 Bauen: Narrativ einer klimaorientierten Stadtentwicklung

6.1.1 Bauen mit regenerativen Baustoffen ist unumgänglich für die Erreichung der Klimaziele

Die Substitution von mineralischen und metallischen Baustoffen mit Holz und anderen regenerativen Baustoffen birgt das größte THG-Minderungspotenzial verglichen mit Maßnahmen, die auf THG-Vermeidung beim Transport oder der städtebaulichen Dichte gerichtet sind. Dies gilt sowohl für Deutschland als auch für Länder des Globalen Südens. Die größte Klimaschutz-Wirkung kann durch die Kohlenstoffbindung plus Vermeidung von Emissionen treibhausgasintensiver Baustoffe (z.B. Zement, Baustahl) im Vergleich zu regional, nachwachsenden Baustoffen erzielt werden. Aber auch traditionelle, regionale Baustoffe (z.B. Lehm, Natursteine) und Baustoffe aus regionalen Kreisläufen mit hoher Recyclingquote vermeiden Kohlenstoffemissionen durch eine Verringerung der Neuherstellung. Die

zunehmende Bedeutung des Bausektors, und insbesondere der vorgelagerten, durch die Produktion, den Transport und die Konstruktion von Baumaterialien entstehenden Emissionen, ist bereits als zentrales Handlungsfeld für die Erreichung der Klimaziele lange bekannt. So entfallen ca. 8% der globalen Emissionen auf die Zementherstellung, während 40% dem Bau und Betrieb der Gebäude zugerechnet werden können. Viele Studien der letzten fünf bis zehn Jahre betonen, dass der Fokus einer klimaorientierten Stadtentwicklungspolitik auch auf der Vermeidung oder zumindest Verringerung der Emissionen anliegen sollte, damit das Pariser 2-Grad Ziel noch erreicht werden kann (vgl. Haas et al., 2015; Krausmann et al., 2017; Sitra et al., 2018). Auf europäischer Ebene⁵ sowie in Deutschland⁶ wird eine lebenszyklische Herangehensweise bereits forciert. **Ein klimaneutraler und an den Klimawandel angepasster Gebäudebestand sollte daher oberstes Ziel für eine zukunftsfähige Stadtentwicklungspolitik sein.** Die grauen THG-Emissionen aus der Herstellung der eingesetzten Baustoffe spielen bei einer sektorübergreifenden Sicht auf die Emissionen eine sehr große Rolle.

6.1.2 Regenerative Baustoffe vermehrt nutzen

Regenerative und lokale Baumaterialien sollten vermehrt genutzt werden, um mineralische und metallische Baustoffe zu ersetzen – sowohl beim Neubau also auch im Gebäudebestand. Dabei sollte eine Breitenwirkung erzielt werden, indem verschiedene Akteure in der Wertschöpfungskette des Bau- und Sanierungsmarkts aktiviert und befähigt werden. Dieses Ziel verfolgend, müssen regulatorische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen geschaffen werden, wie etwa durch die **Förderung von Holz bei Neubau und Sanierung, die Überarbeitung von Bauordnungen und Standards (auf Ebene des Bundes und der Länder) oder die Einführung entsprechender Ausschreibungskriterien bei der öffentlichen Beschaffung.**

Die **Industrie und Forschung** spielt auf der Angebotsseite des Marktes eine Schlüsselrolle, um Materialien, Komponenten, Technologien und Prozesse (weiter-) zu entwickeln, die regenerative Baustoffe zu verwenden oder deren Verwendung zu ermöglichen. In Verknüpfung stellen auch **Banken, Finanzdienstleister und die Versicherungswirtschaft** wichtige Akteure dar, da sie Geschäfts- und Finanzierungsmodelle für die Entwicklung und den Markteintritt von regenerativen Materialien fördern. Des Weiteren, ist auch eine gewisse Innovations- oder Risikoaversion auf der Angebotsseite zu bewältigen, welche die Nutzung von neuen Materialien und Prozessen verhindert oder verlangsamt. Neben der Finanzwirtschaft und der Baubranche allgemein sind in diesem Zusammenhang auch besonders **ImmobilienentwicklerInnen** zu nennen, die durch datengestützte Informationen zu neuen Materialien, Bauprozessen und Wirtschaftlichkeitsberechnungen motiviert werden könnten von alten Baugewohnheiten Abschied zu nehmen. Bei Akteuren, die in der direkten Planung und Durchführung von Bau- und Sanierungsprojekten involviert sind (StadtplanerInnen, ArchitektInnen, planende IngenieurInnen, EnergieberaterInnen, ProjektmanagerInnen, ausführende Gewerke) können neben Informationskampagnen auch Weiterbildungskurse und Zertifizierungen zielführend sein. (Jaeger, A. et al., 2021)

⁵ Per Emissionsbepreisung von Baustoffen im Rahmen des EU-Emissionshandelssystems, im Rahmen der EU Taxonomieverordnung, durch Verankerungen in EU-Rechtsakten wie der überarbeiteten Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD), der Abfallrahmenrichtlinie (WFD), über das Rahmenwerk Level(s) sowie per Umweltproduktdeklarationen (EPDs)

⁶ Siehe u. a. Klimaschutzprogramm 2030, das Kreislaufwirtschaftsgesetz, sowie regionale und lokale Bauteilbörsen, etc.

Auf der **Nachfrageseite** (ImmobilienbesitzerInnen und zu einem gewissen Grad auch MieterInnen) liegt der Schwerpunkt auf Bewusstseinsbildung und Beratung, um [1] ein Verständnis für die Vorzüge hinsichtlich Wohnkomfort und Raumklima, Gesundheit, Ökologie und möglicher Nach- bzw. Wiedernutzung von regenerativen Materialien zu stärken, [2] Interessenten Zugang zu Förder- und Finanzierungsangeboten zu erleichtern und [3] um diese mit qualifizierten Anbietern im Baugewerbe in Verbindung zu setzen.

6.1.3 Vermehrte Nutzung von regenerativen Materialien bringt Nettogewinne für die Klimaanpassung

Die Nutzung regenerativer Baumaterialien wirkt sich positiv auf das Mikroklima aus – sowohl im Gebäudeinneren als auch nach außen, da diese im Vergleich zu mineralischen Baustoffen weniger Wärme speichern und für das Strahlungsklima günstige Reflexions-, Absorptions- und Emissionseigenschaften aufweisen. **Die kontinuierliche Aufheizung von Städten im Zuge von Hitzeepisoden wird durch regenerative Baustoffe reduziert.** Diese Eigenschaften bringen Vorteile bei der Anpassung an Hitzestress. Werden Holzfassaden und -Dächer mit Begrünung kombiniert entsteht eine zusätzliche Kühlung und die Wasserspeicherkapazität erhöht sich, und somit auch der Schutz gegen Überflutung durch Starkregenereignisse. Das Gleiche gilt für öffentliche Infrastruktur. Negative Auswirkungen auf Klimaanpassungsziele können sich unter anderem wegen der möglicherweise geringeren Lebensdauer / höheren Verschleißbarkeit von biobasierten Materialien, der möglicherweise geringeren Resistenz gegen Extremwettereinflüsse, einer möglicherweise erschwerten Begrünbarkeit der Außenhülle, bei falscher Planung und Durchführung im Rahmen von Bau- und Sanierungsarbeiten ergeben. Allerdings überwiegen die Synergien und *Co-Benefits* deutlich, insbesondere wenn die höhere Resilienz durch bessere Reparierbarkeit berücksichtigt wird. Handlungsempfehlungen, welche über eine aktueursspezifische Analyse abgeleitet und auf mögliche Negativwirkungen auf die Klimaanpassung geprüft wurden, zielen darauf ab, das Angebot an sowie die Nachfrage nach nachhaltigen Baustoffen und deren qualifizierter Planung und Verarbeitung zu forcieren.

6.1.4 Kommunale Hebel, um die Verwendung von regenerativen Materialien zu fördern

Ein wichtiges kommunales Handlungsfeld ist das **Beschaffungswesen im öffentlichen Sektor**. Um den Markteintritt von nachhaltigen Baustoffen zu fördern und lokale Akteure mit deren Verwendung vertraut zu machen, sollte die Nutzung von regenerativen Materialien bei der Sanierung oder dem Neubau von öffentlichen Gebäuden priorisiert werden. Vergabeverfahren sollten dementsprechend (bevorzugend) aufgesetzt werden. Auch beim sozialen Wohnbau, kann und sollte eine Kommune – wenn Eigentümerin - über existierende Standards und Verordnungen hinausgehende Praktiken durchsetzen.

Bei Privatimmobilien besteht für Kommunen geringerer Handlungsspielraum, sie können jedoch im Sinne einer klimaorientierten Baukultur beim Verkauf oder der Verpachtung von Bauland vertragliche Konditionen für die Verwendung gewisser Baustoffe festsetzen. Zudem können Kommunen die **Nachfrage für nachhaltige Baustoffe durch gezielte Informations- und Beratungsleistungen sowie durch zusätzliche Förderungen ankurbeln**. Sogenannte *One-Stop-Shops* (OSS) können hierbei eine wichtige Rolle spielen und sollten langfristig finanziert werden, um die nötige Sichtbarkeit und Wirkung zu entfalten. Auf der Angebotsseite können Kommunen über OSS, oder im Rahmen der Wirtschaftsförderung, oft in

Zusammenarbeit mit Verbänden auch lokale Akteure durch Schulungs- und Zertifizierungsangebote, sowie durch die Schaffung von Kompetenznetzwerken stärken.

Die genannten Schwerpunktaktionen müssen unter **Beteiligung diverser lokaler Akteure** entwickelt, durch Anpassungsmaßnahmen ergänzt und in übergeordnete kommunale Strategien sowie die kommunale Flächenplanung eingebettet werden. Programme zur Gebäudesanierung und Stadterneuerung auf kommunaler Ebene sollten durch eine **solide Datengrundlage** gestützt werden, um Gebäudebestandeigenschaften, sozio-ökonomische und sowie ökologische Gegebenheiten einzuberechnen bzw. zu berücksichtigen und diese in einer übergeordneten Ressourcenplanerstellung einzubetten. Eine **Kapazitätsanalyse von Wertstoffhöfen**, angesichts zukünftig höheren Volumen an rezyklierbaren Baustoffen und die **Förderung von Baustoffrecycling** mit möglichst geringen Transportwegen kann als eines von vielen Beispielen zur Förderung einer klimaorientierten Bauwirtschaft genannt werden. Auch die Betrachtung von Klimaveränderungsszenarien muss in diese Programme einfließen, um den Fokus auf **zugeschnittene, passive Gebäudedesignmaßnahmen** (wie leistungsfähige Verschattungssysteme und intelligente Lüftungsanlagen) und **naturbasierte Lösungen** (wie Dach- und Fassadenbegrünung, Bäume zur Verschattung oder Teiche) zu lenken.

6.1.5 Ambitionierte Rahmensetzungen beim Bau und bei der Sanierung beeinflussen und befähigen

Bund und Länder können durch ambitionierte Rahmensetzungen die Verwendung von regenerativen Materialien beim Bau und bei der Sanierung beeinflussen und Kommunen befähigen, tiefgreifendere Transformationen im Sektor voranzutreiben. In Deutschland wird das nachhaltige Bauen unter anderem über die Bauordnungen der Länder oder Landesbauordnung, und damit über die zusammenhängenden, technischen Baubestimmungen bzw. Bauproduktenverordnungen geregelt. **In diese Regelungssysteme muss die Verwendung von nachhaltigen Baustoffen sowie die Integration von Klimaanpassungskriterien deutlich stärker verankert werden**, um die **Substitution von in der Herstellung THG-intensiven, mineralischen Baustoffen zu forcieren** und zeitgleich einen hinsichtlich Klimawandel zukunftssicheren Gebäudebestand im Neubau und durch Sanierung des gesamten Altbestandes in den nächsten Jahrzehnten zu gewährleisten. Auch über die **Normung für Produkte** sowie die Einführung von Materialkatalogen und **Ausschlusskriterien bei Schadstoffemissionen** könnte eine Priorisierung von nachhaltigen, regenerativen Baustoffen gefördert werden. Festzuhalten ist, dass eine inkrementelle **Verschärfung von Richtlinien und Standards transparent erfolgen und langfristig ausgerichtet sein sollte** (unter Einbezug von Klimaveränderungsprognosen), um Forschung und Entwicklung (F&E) zu forcieren und privatwirtschaftliche Investitionsrisiken zu minimieren.

Förderprogramme des Bundes und der Länder spielen für das **Mainstreaming von biobasierten, lokalen Baustoffen** eine wichtige Rolle. Auf der Angebotsseite müssen F&E- sowie Skalierungsvorhaben unterstützt, der Ausbau von regionalen und nationalen Innovationsclustern gefördert und lokale Schulungs- und Zertifizierungsprogramme sowie Maßnahmen zur Attraktivierung von Berufszweigen in der Bauwirtschaft finanziert werden, um den bereits heute **absehbaren Fachkräftemangel zu vermeiden**. Auch die EU-Taxonomie stellt ein wichtiges Steuerungselement für Neubau sowie Sanierungsvorhaben dar, welches durch Informations- und Trainingsangebote für die Privatwirtschaft verständlich gemacht werden muss. Die Nachfrageseite des Marktes unterstützend sollten Förderprogramme im Bau- und Sanierungsbereich mit der Verwendung von nachhaltigen Baustoffen und Konstruktionen,

Klimaresilienz und den Schutz von vulnerablen Gruppen verknüpft werden. Die längerfristige **Finanzierung von One-Stop-Shops** und Quartierssanierungsprogrammen würde einen wichtigen Beitrag zur Defragmentierung von Angebot und Nachfrage leisten. Die wirtschaftlichen Implikationen einer nachhaltigen Transformation von Neu- und Altbau erfordern gleichsam einen verstärkten Fokus auf soziale Nachhaltigkeit: der Schutz von vulnerablen Gruppen und die Sicherstellung von bezahlbarem Wohnraum muss durch gezielte Maßnahmen (u.a. dem sozialen Wohnbau und dem Rückkauf von ehemaligen Mietwohnungen durch die Kommune bzw. gemeinnützige Gesellschaften) gewährleistet sein.

Wie bereits in den kommunalen Handlungsempfehlungen erwähnt, ist eine robuste Datenbasis für **evidenzbasierte Strategie- und Maßnahmenentwicklung** unverzichtbar. Monitoring und Datenplattformen zu Gebäuden und Infrastruktur - und damit verbundene Stoffströme und Lieferketten - spielen eine Schlüsselrolle, um Programme und Maßnahmen zu kalibrieren. Diese Systeme sollten auf Bundesländerebene oder zentral ausgebaut werden und sich an internationalen Standards orientieren. Um einen *bottom-up* Informationsfluss zu gewährleisten, sollten Kommunen für die Erhebung und das Einpflegen von Daten finanzielle und technische Unterstützung erhalten. Neben der Nutzung neuer Möglichkeiten der Digitalisierung (z.B. Gebäudeinformationsmodellierung, regionale Materialkataster und Netzwerke, digitale Zwillinge oder Künstliche Intelligenz) ist ein verstärkter niederschwelliger **Austausch und die Vernetzung der Akteure auf Lern- und Wissensplattformen** ein notwendiger Hebel für die Etablierung und Verbreitung der Umsetzung klimaorientierter Stadtentwicklung.

6.2 Mobilität: Narrativ einer klimaorientierten Stadtentwicklung

6.2.1 Kürzere Wege und lokale Angebote als Schlüssel zur Klimaneutralität im Verkehrssektor sowie für hohe Umwelt- und Lebensqualität in urbanen Räumen

Die Verkehrsemissionen sind in Deutschland mit 147 Mio. t CO₂eq (2021) vergleichsweise hoch und ihre Reduktion daher unverzichtbarer Bestandteil einer klimaorientierten Stadtentwicklungspolitik. Die Reduktion des Mobilitätsbedarfs (*avoid*) sowie der Umstieg (*shift*) auf aktive Fortbewegung und klimafreundliche öffentliche Verkehrsträger im Umweltverbund und/oder klimaneutrale Technologien (*improve*) sind unumgänglich für das Erreichen der Klimaneutralität. Die Studie hat ergeben, dass das **größte THG-Minderungspotenzial durch die Vermeidung von Wegen sowie das Kürzen von notwendigen Weglängen** und eine klimafreundliche Mobilität erreicht werden kann. Beide sind sogenannte *Avoid*-Strategien und beruhen auf der Schaffung von Angeboten (kleinräumiger Durchmischung von Arbeiten, Wohnen, Versorgung, Freizeitangeboten sozialen Dienstleistungen und Grünräumen) vor Ort, welche den individuellen Mobilitätsbedarf reduzieren, bzw. notwendige Weglängen verkürzen und bewegungsaktive Mobilität ermöglichen. Gerade im Bereich der aktiven Mobilität (Fuß- und Radverkehr) wird der ein intensiverer Austausch von deutschen Kommunen mit kommunalen VertreterInnen aus Dänemark und den Niederlanden empfohlen, um von guten Praxisbeispielen zu lernen. **Polyzentrische Stadtstrukturen können dabei helfen, lokale Zentren vor Ort mit stark ausgebauter Nahversorgung (Dienstleistungen und Güter der Daseinsvorsorge) zu schaffen**, während sie gleichzeitig klimaanpassungswirksame Grünflächen zwischen den Zentren ermöglichen können.

Avoid-Strategien bergen auch Zusatznutzen für Ziele der Klimaanpassung und Synergien mit Anpassungsmaßnahmen. So bringt die gute Kombinierbarkeit mit grüner urbaner Infrastruktur Vorteile im Bereich Hitzereduktion, Regenwassermanagement und Schutz vor Überflutung, Entlastung der technischen Abwasserinfrastruktur und Wasserspeicherung.

Gleichzeitig fördern Avoid-Strategien die öffentliche Gesundheit, stärken die Anpassungsfähigkeit der Biodiversität an den Klimawandel und erhöhen die Resilienz des Verkehrssystems gegen Störungen durch Extremwetterereignisse, Stromausfälle und Energieschocks. Es braucht daher **100% klimaneutrale, gesunde und zweckmäßige Optionen der Fortbewegung in und um die Stadt.**

Die in diesem Dokument vorgestellten Handlungsempfehlungen stellen wichtige Bausteine auf dem Weg zu der Vision einer 15-Minuten-Stadt bzw. einer Stadt der kurzen Wege dar. Das Konzept beschreibt eine Stadt, in der alle Wege des Alltags in weniger als einer Viertelstunde zu Fuß, mit dem Fahrrad oder dem ÖPNV zurückgelegt werden können. Das lokale Erreichbarkeitskriterium umfasst Wohnen, Arbeitsplätze, Gesundheits- und Bildungseinrichtungen, die Nahversorgung und Erholung sowie Kultur- und sonstige Freizeitangebote. Für die Umsetzung ist ein integrierter Ansatz notwendig, der u.a. eine nachhaltige Verkehrsangebots- und durchmischte Nutzungsplanung vereint. Die Orientierung an der „15-Minuten“ Marke ist für den deutschen & europäischen Kontext sehr relevant.

6.2.2 Schaffung von lokalen Zentren zur Vermeidung und Verkürzung von Weglängen

Zentrale Maßnahme für die Schaffung von lokalen Zentren ist der Ausbau einer alle essenziellen Dienstleistungen umfassenden Nahversorgung, wobei auf eine Verbesserung des Angebots (z.B. Nahrung, Bildung, Gesundheit, Erholung, Kultur, Unterhaltung, Verwaltung) und eine Erhöhung der Angebotsdichte gleichermaßen geachtet werden sollte. Eine effizientere und intensivere Nutzung von Leerstandsgebäuden sowie wo sinnvoll eine Gebäudeumwidmung in den Innenstädten (z.B. Kaufhaus zu Wohnhaus etc.) kann dabei helfen. Die vertikale Funktionsmischung (Vereinigung von z.B. Wohn- und Bürofläche innerhalb desselben Gebäudes) ist ein Schlüssel zur Schaffung kürzerer Wege in der Stadt. Außerdem sind planerische Interventionen, welche den Umstieg auf klimafreundliche Verkehrsmittel (Multi-Modalität) erleichtern – wie multi-Modale Verkehrsknoten, von großer Bedeutung.

Flächenwidmungsverfahren und andere regulatorische Hebel müssen so gestaltet sein, dass sie dieses Ziel befördern. In Stadtentwicklungskonzepten braucht es eine Orientierung am Transit (Transitorientierung), welche es ermöglicht grüne Verkehrsachsen zu schaffen, bzw. Flächen zu entsiegeln. Grüne Quartiere mit Verkehrsberuhigung stellen neben den grünen Achsen ebenfalls wichtige Elemente in einer klimaorientierten Verkehrsplanung im Rahmen der Stadttransformation dar. Zusätzlich erfüllen Grüne Achsen (wie begrünte Radweg, Plätze oder Fußgängerzonen) als Begegnungszone auch eine wichtige Erholungs- und Sozialfunktion, was insbesondere bei zunehmender Verdichtung an Bedeutung gewinnt.

6.2.3 Grüne Straßen/Achsen und kurze Wege tragen zur Klimaresilienz bei

Unversiegelte, begrünte Straßenbegleitflächen haben den Vorteil, dass sie dem Wärmeinseleffekt in der Stadt entgegenwirken, indem sie dabei helfen, den Hitzestau zu reduzieren und für Kalt- und Frischluftzufuhr zu sorgen. Außerdem sorgen sie für verbesserten thermischen Komfort in umliegenden Innen- und Außenräumen. **Weiters können solche Flächen natürliche Versickerungs-, Rückhalte- und Entwässerungsfunktionen erfüllen** und so dabei helfen, den Schutz vor Überflutung und Trockenheit zu erhöhen.

Straßenbegleitende Grünzüge und unversiegelte versickerungsfähige Flächen entlasten städtische Abwassersysteme und Kläranlagen, reduzieren den technischen Anpassungsbedarf der wasserbezogenen Infrastruktur und verringern die öffentlichen Kosten für deren Errichtung, Betrieb und Instandhaltung. Zudem nimmt die Vegetation grüner Straßenachsen

Kohlenstoff aus der Luft auf, verringert den technischen Kühlbedarf in der Umgebung und trägt so zur Klimawandelvermeidung bei. Reduzierter Mobilitätsbedarf sowie verkürzte notwendige Weglängen und Multi-Modalität bei den Verkehrsmitteln tragen außerdem zu einer **generischen Resilienz** (geringere Störungsanfälligkeit) von städtischen Verkehrssystemen und Haushalten (u.a. gegen Extremwetterereignisse, Stromausfälle oder Energieschocks) bei und erzeugen, durch vermehrte bewegungsaktive Verkehrsmodi, bessere Lebensqualität der AnrainerInnen, Dienstleistungs-KundInnen und VerkehrsteilnehmerInnen durch besseres Mikroklima und höhere Behaglichkeit, sowie weniger Lärm und Luftverschmutzung klare **co-benefits im Bereich Gesundheit**.

6.2.4 Kommunale Stadtentwicklungskonzepte auf Nahversorgung und Transitorientierung ausrichten

Kommunen müssen bei der Schaffung von Angeboten in der Nahversorgung sowie beim Umstieg auf aktive Verkehrsmittel und Schaffung grüner Straßenbegleitflächen eine tragende Rolle spielen. Kommunen können durch die **Breitstellung attraktiver Immobilien** sowie den **gezielten Ausbau öffentlicher Infrastruktur** dazu beitragen, Geschäfte und Dienstleistungen anzuziehen. Außerdem könnte ein „Belegungszwang“ öffentlicher Liegenschaften (ggfs. durch Ausschreibungs- und Pachtkriterien gewährleistet) dabei helfen, **Leerstand von Objekten zu vermeiden**. Weiteres, könnte, ebenfalls durch Ausschreibungskriterien forciert, eine **multi-funktionale Mehrfachnutzung** von Gebäuden und Infrastruktur die **Nutzungsintensität erhöhen**, was wiederum Nettovorteile für die Zielerreichung bringen kann. Kommunen sollten **Transitorientierung als Planungsmaxime** im Stadtentwicklungskonzept sowie ambitionierte Sektorziele (Verkehr) im Klimaschutzkonzept festschreiben, damit entsprechend wirksame, regulatorische (Bsp. Parkraummanagement) und planerische (z.B. Stadtentwicklung, Flächenwidmungen etc.) Maßnahmen gesetzt und aktiv geplant werden können – z.B. bei der Schaffung grüner Straßenbegleitflächen, welche ggfs. zudem noch teilweise als PV Fläche genutzt werden könnten. Letztlich ist auch die **Beteiligung an Pilotprojekten** (national oder europäisch) sowie die **stärkere Vernetzung mit anderen Kommunen** (ggfs. über Städtenetzwerke) sinnvoll, um wirksame Lösungen zu erproben und auszutauschen.

6.2.5 Bund & Länder: klimaorientierte Stadtentwicklung aktiv einfordern und fördern

Länder sollten ihre Flächenwidmungskompetenzen voll ausschöpfen, um Kommunen bei der Zielerreichung zu unterstützen. Ferner sollten Länder die **Rahmenbedingungen für eine klimaorientierte Verkehrsplanung** in Kommunen und Gemeinden verbessern, Barrieren reduzieren und wo es möglich ist Bürokratie abbauen. Beispielsweise sollte der Bund die Kommunen befähigen, Tempo 20 oder 30 Zonen selbstständig und nach eigenem Ermessen einzuführen. Außerdem können Landesregierungen als **übergeordnete Schnittstelle und Anlaufpunkt für Kommunen and Landkreise** fungieren, etwa über Energie- und Klimaagenturen. Länder sollten sich dafür einsetzen, EU-Mittel für die Förderung klimaschonender Verkehrsmittel zu gewinnen, etwa für den Europäischen Fond für Regionale Entwicklung (ERDF), über den Kohäsionsfond, oder über andere Strukturprogramme. In diesem Zusammenhang sollte auch die Kapazitätsschaffung für Akquise in kleinen und mittelgroßen Städten in Deutschland unterstützt werden, um die Breitenwirkung zu erhöhen, und zu vermeiden, dass immer dieselben Städte in Deutschland/Europa von europäischen Projekten profitieren. Der Bund sollte eine **klimaorientierte, kommunale und regionale Verkehrsplanung finanziell fördern** sowie entsprechende Unterstützung der Länder

gesetzlich einfordern, bzw. absichern – etwa über eine Novelle des Klimaschutzgesetzes. Außerdem sollten Bund und Länder Kommunen beim Aufbau und Betrieb eines Monitoringstandards zur Treibhausgasbilanzierung und des Einsatzes von für die verschiedenen Städte hilfreichen Planungswerkzeugen für eine klimaorientierte Stadtentwicklung (z.B. Stadtklimamodelle, Fernerkundungsdaten und Ökosystemleistungserhebungen) stärker unterstützen. Die Monetarisierung der Ökosystemleistungen von Grün- und Blauflächen bei der Umsetzung von Grünen Achsen und Grünen Quartieren beispielsweise, aber auch generell beim Erhalt von Grünflächen und Stadtbäumen, sowie bei der Stadtbegrünung (Fassaden, Dächer, öffentlicher Raum) könnte klimaorientierten EntscheidungsträgerInnen helfen, Aufwendungen oder Mindereinnahmen der Kommune zu rechtfertigen.

6.3 Städtebauliche Dichte: Narrativ einer klimaorientierten Stadtentwicklung

Die **kompakte Innenentwicklung und Nachverdichtung von urbanen Räumen birgt ein beträchtliches Potenzial** für die Vermeidung von Treibhausgasen, im Gegensatz zu flächenintensiver Stadterweiterung in der Peripherie. Flächenschonende Stadtentwicklung mit höherer Baulandnutzungseffizienz und angemessenen Bebauungs- und Bevölkerungsdichten trägt auf mehrfache Weise zur Einsparung von Treibhausgasemissionen bei: durch geringeren Mobilitätsbedarf, Verkehrsvermeidung und begünstigten Ausbau des öffentlichen Verkehrsverbunds; durch geringeren Energieeinsatz für weniger flächengreifende technische (Straßen, Strom, Kanal, Wasserversorgung, Telekommunikation) sowie soziale Infrastruktur; durch geringeren Energiebedarf und weniger graue Emissionen für Bau und Betrieb von flächeneffizienten Wohngebäuden; durch Ermöglichen der zentralen Versorgung mit erneuerbarer Energie und der Netzanbindung von dezentral (z.B. auf Gebäuden) erzeugten erneuerbaren Energie; sowie durch **dichtebedingte Energieeffizienzgewinne**. Zudem bleiben durch den Erhalt von Grünflächen natürliche CO₂-Senken intakt und können oftmals für die erneuerbare Energiebereitstellung (PV, Windkraft, Biomasse) genutzt werden. **Parallel dazu schützt eine dichtere Bebauung mit Schutz von Außenräumen die naturbasierten Anpassungsfunktionen** von bestehenden Grün- und Freiräumen (Kaltluftproduktion und Frischluftversorgung, Wasserrückhalt, Versickerung und Hochwasserschutz, Grundwasserneubildung) und reduziert klimainduzierte Risiken im Stadtumland, indem Gefährdungsbereiche und Restrisikozonen freigehalten werden. Zeitgleich steht diese Planungs- und Entwicklungsstrategie jedoch auch im **Spannungsfeld zur Klimaanpassung**, da eine dichtere und höhere Bebauung zu verringerter Frischluftzufuhr, der Entstehung von Wärmeinseln und mehr Oberflächenabfluss mit lokalen Überflutungsrisiken innerhalb des bebauten Stadtgebiets beitragen kann sowie die verfügbaren Flächen für Anpassungsmaßnahmen gegen Hitze und Starkregen im Stadtinneren verknappt. Auch **soziale Herausforderungen** (wie die Bezahlbarkeit von Wohnraum oder die Lebens- und Wohnumfeldqualität), welche nicht im Fokus des Empfehlungspapiers stehen, müssen in Überlegungen zur Nachverdichtung einfließen.

Bei der Entwicklung von Nachverdichtungsstrategien muss gewährleistet sein, dass ein **Zielgebiet lebenswert und bezahlbar bleibt**, gut durchmischt und fußgängerfreundlich ist, eine gute öffentliche Verkehrsanbindung aufweist, qualitativ hochwertigen öffentlichen (Grün-) Raum bereitstellt und potenzielle negative Auswirkungen auf die Klimaresilienz kompensiert werden. Diese Charakteristiken lassen sich nur herstellen, wenn die Planung auf ein **tiefgreifendes Verständnis der Stadt-Umland-Beziehungen**, der örtlichen Stadtstruktur, des Gebäudebestands, mikroklimatischer Bedingungen, und dem sozialen sowie ökologischen

Gefüge aufbaut. **Auf kommunaler Ebene ist daher der Einsatz eines interdisziplinären und verwaltungsabteilungsübergreifenden Teams** sowie die starke und kontinuierliche Einbeziehung der Bevölkerung unabdingbar.

6.3.1 Polyzentrische Entwicklung mit „strategischer“ Verdichtung, kleinräumiger Funktionsmischung und Nutzungsvielfalt

Die kommunale klimaorientierte Stadtentwicklung muss die **Ortserneuerung und Stadtkernentwicklung gegenüber peripheren Neubaugebieten priorisieren**. Die Analyse der bestehenden Stadtform, sozio-ökonomischer Gegenebenenheiten, dem Angebot an öffentlichem (Grün)-Raum und demografische sowie klimatische Szenarien bilden die Grundlage für eine integrierte Stadtentwicklung, die sich auf eine innere Entwicklung konzentriert. Verbindliche, auf Ebene der Länder und der Kommunen greifende, Bodenziele sollten beschlossen und durch robuste(s) Bodenbuchhaltung/-monitoring verfolgt bzw. durchgesetzt werden. Kommunale Entwicklungs- und Flächennutzungspläne sollten auf Basis dieser Informationsgrundlagen und Ziele - durch verwaltungsbereichsübergreifende Zusammenarbeit und Beteiligungsverfahren gestützte - integrierte Siedlungsentwicklungsmaßnahmen an bestehenden Siedlungsschwerpunkten mit leistungsfähiger, öffentlicher Verkehrsanbindung priorisieren. Von diesen übergeordneten Plänen sollten Dichtebestimmungen (Minstdichten, Mindestanteile verdichteter Bauformen, Mindestgeschosßanzahl, etc.) abgeleitet und in Bebauungsplänen festgelegt werden.

Neue oder verdichteten Zentren sollten eine Mischnutzung aufweisen, um Angebote für Arbeiten, Wohnen, Nahversorgung, Bildung, Kultur und Freizeitangebote zu vereinen und kurze Wege mit bewegungsaktiver Mobilität ermöglichen (*walkable city*). Auf kleinräumiger Ebene heruntergebrochen, und wenn durch Landesverordnungen ermöglicht, könnten kommunale Zielsetzungen zum Beispiel festsetzen, dass mindestens 20% der Baulandfläche für gemeinnützigen Wohnbau, Wohnen und Mischgebiete zu reservieren sind, mindestens 50% der Wohnungen Mietwohnungen ohne Kaufoption sein müssen und mindestens 25% der Nutzfläche keine Wohnnutzung sein dürfen. Auf der planerischen Festsetzung einer kleinräumigen Funktionsmischung in Zielgebieten aufbauend, könnten Kommunen **finanzielle und nicht-finanzielle Anreize** (z.B. steuerliche Begünstigung, beschleunigte Genehmigungsverfahren für Umwidmung / baurechtliche Genehmigungen im Rahmen von Sanierungen) fördern. Entwicklung von Gewerbeparks, Technologiezentren etc. mit flexiblen Mietflächen

Eine klimaorientierte und resiliente Siedlungsentwicklung geht über Siedlungsgrenzen hinaus, daher ist **eine Stärkung der Regionalplanung** von hoher Priorität. Bundesländer sollten die Präzisierung von regionalen Zielen zur Flächeneinsparung fordern, einschränkende Vorgaben für die Flächenwidmungsplanung einführen und die Schaffung von interkommunalen Betriebsflächen fördern. Auch die Verordnung von Siedlungsgrenzen sowie die **Konkretisierung von restriktiven Widmungskriterien für Baulandausweisungen** sollten Bestandteil der Regionalplanung sein. Des Weiteren sollte das Planungsrecht auf Bundesländerebene die Angabe von **Dichtebestimmungen in der Bebauungsplanung** (Minstdichten, Mindestanteile verdichteter Bauformen, maximale Bauplatzgrößen etc.) **verpflichten und die Interessenabwägung im Raumordnungsrecht verankern**.

Strategien, Leitlinien und Praxishilfen für smartes, „urbanes Design“, welches eine qualitätsvolle bzw. "qualifizierte" Verdichtung integriert und differenzierte **Quartiersentwicklungskonzepte mit ausgewogener Funktionsmischung** ermöglichen, wären eine wertvolle Ressource für

StadtplanerInnen. Solche Orientierungshilfen, welche z.B. **Kriterien für qualitätsvolle Nachverdichtung definieren** und auf erfolgreiche Praxisbeispiele enthalten könnten, sollten vom **Bund oder den Bundesländern** in Auftrag gegeben werden.

Förderprogramme auf nationaler Ebene sollten die **Entwicklung und / oder Skalierung von Werkzeugen fördern**, welche darauf abzielen, nachhaltige Quartierserneuerungsvorhaben samt "strategischer Verdichtung" zu unterstützen. Finanzierungsprogramme der KfW oder der Ministerien auf Bundes- und Landesebene können wichtige Impulse setzen. Übergeordnet ist auch die Umgestaltung des Finanzausgleiches zur Priorisierung von Flächenschonung, Innenentwicklung und Dichte zu empfehlen.

6.3.2 Grüne & blaue Infrastruktur integriert und gleichwertig zur baulichen Entwicklung planen

Die Erhaltung und Schaffung von Grün- und Freiräumen im Umland von Städten sowie von flächenhafter, linearer und gebäudebezogener grüner und blauer Infrastruktur innerhalb des Stadtraums sind Schlüsselstrategien für die urbane Klimaanpassung (Hitze, Starkregen und Überflutungsschutz, Trockenheit, Naturgefahren). Gleichzeitig tragen sie durch CO₂-Speicherung, Potenziale für erneuerbare Energiebereitstellung und kompakte Innenentwicklung tragen maßgeblich zum Klimaschutz bei. Eine nachhaltige, räumliche Stadtentwicklung muss im Sinne eines Perspektivenwechsels zu einer **sozialökologischen Perspektive** sowie nach dem Primat einer starken Nachhaltigkeit, in der "Natur" nicht durch menschliche Güter oder Leistungen ersetzt werden kann, vom Grün- und Freiraum hergedacht werden (ARL 2021; Hofmeister et al. 2021). Dies gilt für den Erhalt naturräumlicher Ressourcen und der vielfältigen Funktionen von Grün- und Freiräumen für Klimaschutz und Klimaanpassung im Stadtumland genauso wie für Grünflächen/-züge/-elemente, Wasserflächen und unversiegelte Flächen innerhalb des bebauten Stadtraums. Die planerische Sicherung von Freiräumen mit ihren unterschiedlichen Funktionen und natur-/ökosystembasierten Leistungen, insbesondere im Kontext des Klimawandels, sollte im Sinne einer **"Positivplanung"** zumindest gleichwertig zur Planung von Siedlungsnutzungen erfolgen. Bisher stand vor allem die bauliche Entwicklung im Zentrum der Planungsinstrumente; dazu wurde über die Jahre ein sehr differenziertes System von Regelungen und Vorgaben zur Steuerung entwickelt. Jetzt bedarf es einer vergleichbar **differenzierten Betrachtung und Entwicklung von Instrumenten für die Planung von Grün- und Freiräumen** (ÖROK, 2021). Dies schließt auch den transparenten und nachvollziehbaren **Umgang mit Interessen- und Nutzungskonflikten** zwischen konkurrierenden Freiraumfunktionen auf ein und derselben Fläche mit ein.

Auf kommunaler Ebene gilt es, blau-grüne Infrastruktur als zentrales Element in strategischen Entwicklungs-, Flächennutzungs- sowie in Bauleitplänen zu verankern. Wie bereits in vorangegangenen Handlungsempfehlungen festgehalten, erfordert ein integrativer Ansatz die Zusammenarbeit zwischen den Verwaltungsdepartments und öffentliche Beteiligungsprozesse, um Maßnahmen zu koordinieren. **Auf der Strategieebene sollten Kommunen quantitative Zielwerte für grüne Infrastruktur in Siedlungsräumen entwickeln** und diese im Planungssystem implementieren und monitoren. Zielvorgaben für existierende Siedlungsflächen sollten sich am Wasserhaushalt natürlicher Flächen orientieren (z.B. 70% Verdunstung; 20% Versickerung; 10% Oberflächenabfluss), Regenwassereinleitbegrenzungen sowie Wasserwiederverwendungsvorgaben umfassen, die Ausweisung von Grün- / Versickerungsflächen auf Grundstücken sichern und die Schaffung von möglichst kleinräumigen (mikroklimatische Wirkung) naturnahen Räume verpflichten. Auch bei Neubauquartieren sollte die Einhaltung von solchen Zielwerten im Vordergrund stehen (u.a. Flächenverbrauch / Versiegelungsobergrenzen, Grünflächenreichbarkeit mit generellen Mindestanforderungen,

etc.). Des Weiteren, ist zu empfehlen, dass Kommunen **Privateigentumsgrünflächen** in der öffentlichen Planung von grüner Infrastruktur berücksichtigen und deren Bestand durch Anreize und / oder privatrechtliche Instrumente sichern.

Seitens der Länder und des Bundes wäre die Einführung, bzw. Kategorisierung von Grün-, Vorrang-, Eignungs- und Vorsorgezonen zum Schutz naturräumlicher Ressourcen (mit Klimaschutz- und Anpassungswirkung) förderlich. Die Raumplanung auf regionaler Ebene beeinflussend sollten zudem Vorrangfunktionale planerische Festlegungen zum Schutz von Naturräumen bzw. landwirtschaftlich genutzten Flächen vor Verbauung (wie Grünzonen und -korridore, landwirtschaftliche Vorrangflächen, etc.) vermehrt ausgewiesen, mit restriktiver und verbindlicher Rechtswirkung für Baulandverbote, einschließlich der Einschränkung von Ausnahmeregelungen, ausgestattet und von den Kommunen als Freihaltegebiete mit Bauverbot gewidmet werden. Durch **Einführung neuer Planungskategorien** wie Eignungszonen für erneuerbare Energiebereitstellung und Klimavorsorgeflächen (mit Funktionen wie Wasserrückhalt, Frischluftzufuhr, etc.) könnte der Freiflächenschutz für klimapolitische Ziele gestärkt werden.

Die Festlegung von Obergrenzen für (versiegelte) oberirdische Parkplätze (für Handelsbetriebe und für Wohnnutzungen), die Umwandlung von Parkplätzen sowie die Etablierung von PKW-freien Straßen mit Grünraumanteil sollte im Rahmen einer strategischen Nachverdichtung geprüft werden, um öffentlichen Raum aufzuwerten und eine klimatische Anpassung von Zielgebieten zu gewährleisten.

6.3.3 Leerstandsaktivierung, Wiedernutzung von Brachflächen und Mobilisierung von zentrumsnahen Baulandreserven

Eine strategische vertikale Verdichtung ergänzend sollten insbesondere **Kommunen mit starkem Wachstum** Leerständen entgegenwirken. Auch die Wiedernutzung von Brachflächen und Aktivierung von Baulandreserven sollte, besonders in Nachverdichtungszielgebieten, bei der klimaorientierten Stadtplanung im Fokus stehen.

Auf kommunalen Ebenen werden Instrumente zur Reduktion & Vermeidung von Leerstand dringend benötigt. Die Schaffung von Plattformen oder die Einbindung von Stadtnetzwerken, um einen besseren Informationsaustausch betreffend Leerstandsaktivierungsmöglichkeiten zu gewährleisten, sollte geprüft werden. Der **Aufbau eines umfassenden Leerstands- und Brachflächenmanagements**, welches Flächen und Leerstände erhebt, in Datenbanken (Kataster) einpflegt und sich der Aktivierung widmet muss priorisiert werden. Ein öffentlich einsehbarer Leerstandskataster zeigt die Potenziale der Innenentwicklung in einer Gemeinde auf und kann zudem das Bewusstsein für die Nutzung von Leerständen erhöhen. Im Rahmen eines kontinuierlichen (inter-)kommunalen Leerstandsmanagements sollen geeignete Grundlagen geschaffen bzw. Maßnahmen wie Motivations- und Informationskampagnen als Beitrag zur Mobilisierung angewandt werden. Die Leerstandsaktivierung sollte mit übergeordneten Initiativen zur Wiederbelebung von Stadtzentren und Altstadt-/Ortskernsanierung in Verbindung gebracht werden. Den Fokus auf Bestandsquartiere ergänzend müssen zudem auch Maßnahmen gegen Leerstand durch "Anlagewohnungen" (Spekulation) in Neubauquartieren ergriffen werden.

Verwaltungsinterne und interdisziplinäre Leerstands- und Zwischennutzungsmanagementteams, müssen insbesondere in den Kommunen geschaffen werden, welche vom Leerstand, Rückbau und Umwidmungen getroffen sind, um gemeinsam mit EigentümerInnen integrierte und nachhaltige ösungsansätze zu erarbeiten. Eine Verwaltungsabteilungs-

übergreifende Komposition des Teams, sollte es erleichtern EigentümerInnen die Aktivierung von diesen Flächen durch Maßnahmen wie die Beschleunigung von ordnungsrechtlichen Genehmigungen, Prämien bei Vermietung und / oder Zuschüsse für Sanierung attraktiv zu machen.

Es ist festzuhalten, dass es in vielen Kommunen gewidmetes, aber nicht bebautes Bauland in beträchtlichem, nicht dem tatsächlichen Bedarf angepasstem Ausmaß gibt. Dies führt trotz Baulandüberhangs zu Neuwidmungsdruck in oft ungünstigen, zentrumsfernen Lagen, um die Nachfrage nach Bauland zu befriedigen. Maßnahmen zur Mobilisierung von Bauland sind daher eine Strategie, um überschießende Flächeninanspruchnahme zu vermeiden. Allerdings kann es dabei auch dazu kommen, dass Baulandwidmungen in strukturell ungünstigen (zersiedlungsfördernden) Lagen aktiviert werden ("legale Zersiedelung"). Daher sollten sich **Baulandmobilisierungsmaßnahmen in erster Linie auf innerörtliche, zentrumsnahe Lagen konzentrieren**, während Baulandreserven in peripheren Lagen möglichst rückgewidmet werden sollen.

Bei der Aktivierung von innerörtlichen Baulandreserven sollten öffentliche Partizipationsprozesse stattfinden und Expertengutachten eingeholt werden, um bedarfsgerechte Nutzungsmöglichkeiten zu identifizieren (z.B. grün-blaue Infrastruktur, Erholungsflächen, PV-Anlagen oder Energiespeicher, Wertstoffhöfe für die Baustoffrezyklierung, nachhaltige Mobilität, gemeinwohlorientierte Wiederbelebung durch engagierte Kollektive, etc.).

Kommunen könnten auch den Kauf von Baulandreserven in Privatbesitz prüfen, um zukünftige Bebauung über Pachtverträge und über die Bauordnung hinausgehende Kriterien zu regeln (nachhaltige Baustoffe, Energie, Ökologie, architektonische Qualität, etc.). Hierbei sind **Bodengesellschaften oder -Fonds** ein wertvolles Instrument. Diese dienen einer aktiven Bodenpolitik und können von den Gemeinden auch selbst oder im Rahmen **interkommunaler Kooperationen** durchgeführt werden. Geeignet sind Fonds, deren Aufgaben der An- und Verkauf von Liegenschaften, die Aktivierung innerörtlicher Brachflächen und Leerstände sowie Beratung und Förderungen von Gemeinden sind. Bodenfonds können u.a. durch die **Einhebung von spezifischen Abgaben, wie Versiegelungs- oder Leerstandsabgaben, gespeist** werden.

Die Einführung eines zentralisierten Leerstandsmonitorings (durch kontinuierliche, amtliche Erfassung ermöglicht) und eine **allgemeine Meldepflicht von Leerstand sollte durch Bund und Länder verankert** werden. Um kommunale Leerstands- und Zwischennutzungsmanagementteams zu unterstützen, sollten die Länder zudem regionale LeerstandsmanagerInnen ("Kümmerer") etablieren.

Es wird empfohlen, dass die Erfassung mit einer Leerstandsabgabe (Bußgelder) bei Langzeitleerstand gekoppelt wird und Kommunen ermächtigt werden, diese Mechanismen selbst zu gestalten und an lokale Gegebenheiten anzupassen, um **unterschiedlichen Bedarfen bei schrumpfenden und wachsenden Regionen** Rechnung zu tragen. Weitere Handlungsempfehlungen für Bund und Länder, um Leerstände gezielt zu bekämpfen sind die Bereitstellung von **Fördergeldern für den Umbau von "Problemlerstand" und die Unterbindung von steuerlichen Abschreibungen / Grundsteuerermäßigungen bei Mietausfällen** (Langzeitleerstand). Härtere Vorgehensweisen wie die Enteignung könnten geprüft werden. Die Einführung von **Obergrenzen für Baulandreserven und Mechanismen zu deren Reduktion** (Rückwidmungen, "Einfrieren" von Baulandüberhang oder Bausperren) sollte auf Länderebene priorisiert werden.

Die **Einschränkung von Freizeit- oder Zweitwohnsitzen ist im öffentlichen Interesse**, um dauerhaftem Wohnen und der Bereitstellung von leistbarem Wohnraum eindeutig den Vorzug gegenüber lediglich zeitweilig genutzten Freizeitwohnungen zu geben. Die Konkretisierung und Umsetzung entsprechender planungsrechtlicher Zielsetzungen muss in der Folge durch restriktive Widmungsbestimmungen sowie überörtliche und örtliche Festlegungen erfolgen (z.B. Obergrenzen für Freizeitwohnsitze, Vorbehaltskommunen und -gebiete, Sonderwidmungen, Zweitwohnsitzabgabe, etc.). Um eine nachhaltige Innenentwicklung zu forcieren, sollte auch die Einführung einer Verpflichtung zur Gewährleistung einer guten baulich-technischen Trennbarkeit von großen Wohnungen bzw. wohnungsähnlichen Nuteinheiten in kleinere Einheiten (z.B. ab 100 m² Nutzfläche bei Wohnungen und ab 200 m² bei wohnungsähnlichen Flächen) geprüft werden.

Abschließend ist festzuhalten, dass es in dem Themenbereich teils an Erfahrungswerten fehlt, daher sollten Forschung und Pilotprojekte durch Mittel des Bunds oder der Länder gefördert werden. Auch sollte die **Leerstandsaktivierung in bestehenden Förderprogrammen** (Wohnbauförderung, Wirtschaftsförderung, ländliche Entwicklung) integriert werden.

6.4 Diskussion – integrierte Betrachtung der synergetischen Handlungsfelder im Spannungsfeld Klimaschutz/Klimaanpassung und Stadt-Umland Beziehungen

Eine integrierte Betrachtung der drei Handlungsfelder Baustoffe & Bauen, Mobilität und Städtebauliche Dichte ist zentral, um das **synergetische Potenzial** zwischen diesen zu **erkennen und strategisch zu nutzen** sowie um Wechselwirkungen und Zielkonflikte zu minimieren. Darüber hinaus, ist ein Verständnis zu Synergien und Konflikten mit Klimaanpassung wesentlich für eine kluge, klimaorientierte Stadtentwicklungspolitik.

Die **klimaorientierte Stadt der Zukunft ist demnach überwiegend aus Holz und anderen regenerativen Materialien gebaut, besteht aus polzentrischen Strukturen, die vertikal verdichtet und transitorientiert vernetzt sind**. Die polyzentrische Struktur dient vor allem der Schaffung und Stärkung der Daseinsvorsorge vor Ort („15 Minuten-Stadt“) als wirkungsvollstem Hebel der Reduktion von Weglängen sowie der Bevorzugung aktiver, klimaneutraler Verkehrsmittel (Zu -Fuß-gehen und Fahrrad) und der Erhaltung möglichst großer Grünflächen zwischen den Zentren, welche bei der Vermeidung des Wärmeinseleffekts helfen können, sowie vor Überflutung und Trockenheit schützen. Um Effizienzgewinne durch Verdichtung und damit einem reduzierten pro Kopf Energieverbrauch, etwa bei der Mobilität (z.B. ÖPNV), zu heben, sollte unter anderem und wo möglich, auf **vertikale Verdichtung** gesetzt werden, da hier die Zielkonflikte und Wechselwirkungen mit Zielen der Klimaanpassung am geringsten sind. Gegenüber einer horizontalen Verdichtung von städtischen Strukturen, bedeutet die „Verdichtung in die Höhe“ weniger Flächenversiegelung und damit weniger Hitzestress (auch durch Verschattung) und mehr Schutz vor Überflutung und Trockenheit, weil Flächenpotenziale für grüne und blaue Infrastruktur sowie für Maßnahmen zum Starkregen- und Regenwassermanagement gesichert bzw. Entsiegelungspotenziale zur Herstellung von Versickerungsflächen besser ausgeschöpft werden können. Vertikale Verdichtung reduziert somit innerstädtische Flächennutzungskonkurrenzen und -konflikte und erleichtert die Umsetzung von v.a. naturbasierten, grünen Maßnahmen zur Anpassung an Hitze und Überflutungen. Allerdings ist – z.B. durch geeignete Standortwahl – darauf zu achten, dass größere Gebäudehöhen nicht die städtische Luftzirkulation und die Frischluftzufuhr

beeinträchtigen. Eine **transitorientierte Stadtentwicklung**, die grüne Straßen, grüne Achsen sowie grüne Bestands- und Neuquartiere forciert, verbindet die Reduktion von Verkehrsvolumina mit Synergien für die Klimaanpassung und mehrfachen, positiven Nebeneffekten (*Co-Benefits*) für die städtische Umweltqualität, Biodiversität sowie Gesundheit und Lebensqualität. So tragen **begrünte und unversiegelte Straßenbegleitflächen** zur natürlichen Kühlung (Verdunstung, Verschattung), der Reduktion des urbanen Wärmeinseleffekts, der Frisch- und Kaltluftzufuhr und damit zum thermischen Komfort im umliegenden Stadtgebiet bei. Gleichzeitig unterstützen sie die Starkregenentwässerung, sorgen für Wasserrückhalt und Dämpfung von Spitzen des Oberflächenabflusses und reduzieren das Überflutungs- und Schadensrisiko in Siedlungsräumen. Zudem verbessern grüne Verkehrskorridore die ökologische Konnektivität auf innerstädtischer Ebene und zwischen Stadt und Umland und erhöhen somit die Klimaresilienz der Biodiversität. **Maßnahmen und Programme zur "grünen" Erneuerung von Bestandsquartieren, der Neuentwicklung von Quartieren und der Nachverdichtung von Bebauungsstrukturen** sind im Sinne eines klimasensitiven, städtischen Designs gut geeignet, um Anpassungsoptionen wie Dach- und Fassadenbegrünung, Regenwassersammelsysteme, helle Oberflächen und Maßnahmen des passiven Gebäudedesigns (wie Lage, Höhe und Exposition von Baukörpern, Gebäudeausrichtung, Dach-, Fenster- und Fassadenorientierung, Glasanteil an Fassaden, etc.) zu integrieren. **Wie aber können fördernde Voraussetzungen für alle drei Handlungsfelder geschaffen und Zielkonflikte vermieden werden?** Wie wird es beispielsweise möglich sein, Hochhäuser überwiegend aus Holz zu bauen, die Kriterien nachhaltiger Forstwirtschaft nicht vernachlässigen und das Ökosystem Wald nicht beeinträchtigen? Wie können polyzentrische Strukturen und Transitorientierung im Bestand entwickelt werden? Wie geht man mit potenziellen Zielkonflikten und Wechselwirkungen mit Klimaanpassung um (z.B. Brandgefahr, Zunahme von krankheitsübertragenden Insekten durch begrünte Gebäudehüllen und mehr Stadtvegetation)?

Neben den beschriebenen konkreten Beiträgen der Regierungsebenen zu einzelnen Maßnahmen (siehe oben und ANNEX), gilt es auch die **Governance - und Prozesshaftigkeit einer solchen klimaorientierten Stadtentwicklung** zu betonen. Vor allem Länder und Kommunen sollten Strukturen schaffen, die es ermöglichen integriert, d.h. über Ämter hinweg, Klimapolitik zu gestalten und umzusetzen. Etwa Hoch- und Tiefbauämter, die Ämter für Raum- und Verkehrsplanung, das Beschaffungswesen, das Büro des Bürgermeisters und viele mehr, müssen **vernetzt arbeiten, um eine Stadtentwicklungspolitik umzusetzen**, die Klimaschutz und Klimaanpassung, auch vor dem Spannungsfeld herausfordernder Stadt-Umland-Beziehungen, so gestaltet, dass sie Synergien von Mehrfachnutzen (*Co-benefits*) sowie Wechselwirkungen und Zielkonflikte zwischen Klimaschutz und Klimaanpassung respektive maximiert bzw. minimiert. Eine der wirkungsvollsten und ggfs. zu wenig rezipierten **Hebel für Kommunen, ist die Bauleit- und Flächennutzungsplanung und Parkraumbewirtschaftung**. Hier haben sich, insbesondere in den letzten Jahren durch die Corona Pandemie bedingt, deutschlandweit Veränderungen (z.B. freigewordene Flächen, Umwidmungen) ergeben, welche durch kluge Planung eine klimaorientierten Stadtentwicklung befördern können. Eine jüngst erschienene Studie zu Klimaschutzmanagement und THG-Neutralität in Kommunen (Kenkmann et al., 2022) bestätigt dies. Sie definiert **vier kommunale Einflussbereiche für den Klimaschutz**: "Verbrauchen & Vorbild, Versorgen & Anbieten, Planen & Regulieren sowie Beraten & Motivieren" (ibid.), welche die Hebel Beschaffung (z.B. bei kommunalen Liegenschaften und Fuhrpark), die Schaffung von Angeboten und Infrastruktur (z.B. bei der

Nahversorgung und dem Verkehr) sowie die klimaorientierte Nutzung von Bauleit- und Flächennutzungsplanung als besonders einflussreich einstufen. Die Ergebnisse der genannten Studie weisen in eine ähnliche Richtung wie die des vorliegenden Vorhabens, indem sie den **Handlungsfeldern Gebäude, Verkehr und Flächennutzung** eine besonders **große Bedeutung für den kommunalen Klimaschutz** zusprechen. Das vorliegende Vorhaben erweitert gewissermaßen diese Betrachtungsweise um das Handlungsfeld Kreislaufwirtschaft im Bausektor und regenerative Bauweise und betont die notwendige Vereinbarkeit mit Zielen der Klimaanpassung sowie die Einbeziehung von Stadt-Umland Beziehungen bei der Planung und Umsetzung einer klimaorientierten Stadtentwicklung.

Die Frage nach dem Erreichen der Klimaneutralität in Städten nimmt global und in Europa weiter an Bedeutung zu. Mehr als 1000 Städte sind bei der COP26 dem UNFCCC *Cities Race to Zero* beigetreten, wo sie Maßnahmen zur Senkung der Treibhausgasemissionen auf netto Null bis 2050 sowie ehrgeizige Zwischenziele bis 2030 im Einklang mit dem Pariser 1.5-Grad Ziel versprechen. Analog dazu, haben sich in Europa 112 Städte dazu entschlossen im Rahmen der *EU Mission on Climate Neutral and Smart Cities*, bis 2030 auf netto Null Emissionen zu kommen. Das Projekt spielt in dieses Spannungsfeld implizit hinein indem es eine Perspektive offeriert, welche die Stadtentwicklung in den Vordergrund stellt. Die Ergebnisse des Projekts tragen außerdem explizit zur Weiterentwicklung des **Global Research and Action Agenda on Cities and Climate Change Science** im Kontext des siebten Bewertungszyklus des IPCC bei, indem sie Einblicke in zwei der skizzierten Wissenslücken zu Städten und Klimawandel liefern: **Stadtplanung und Design sowie nachhaltiger Konsum und Produktion**. Erheblicher, weiterer Forschungsbedarf besteht im Bereich der Methoden Weiterentwicklung für die Quantifizierung entsprechender Potenziale sowie deren Schnittstellen mit THG-Bilanzierungsmethoden (z.B. BSKO, GPC, CRF) und gängiger *Berichtspraktiken* (z.B. *EU Covenant of Mayors* oder *CDP-ICLEI Track*). Auf Umsetzungsseite gilt es den Bereich Holzbau verstärkt unter die Lupe zu nehmen (Stichwort: Material, Statik, Nachhaltigkeit etc.) sowie im *Governance* Bereich, der oben gestellten Frage nachzugehen, wie eine solch integrierte, klimaorientierte Stadtentwicklung umgesetzt werden kann und wie genau entsprechende *Governance*-Prozesse gestaltet sein müssen. Zusätzlich muss auf eine nachhaltige Bilanz zwischen der Nutzung von nachhaltigem Holz und dem Ökosystem Wald geachtet werden, da der Bedarf tendenziell eher zunimmt (Stichwort: Bioenergie, Verpackung).

7 Quellenverzeichnis

- Abdul-Manan, A.F., Gordillo Zavaleta, V., Agarwal, A.K., Kalghatgi, G. and Amer, A.A. (2022): Electrifying passenger road transport in India requires near-term electricity grid decarbonisation. *Nature Communications*, 13(1), S. 2095
- Abergel, T., Dulac, J., Hamilton, I., Jordan, M. and Pradeep, A. (2019): Global status report for buildings and construction—towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector. Environment Programme, United Nations Environment Programme.
- Adger, P (2005): Successful adaptation to climate change across scales. In: *Global Environmental Change* 15(2), S. 77-86
- Aguiar, F. C. (2018): Adaptation to climate change at local level in Europe: an overview. In: *Environmental Science & Policy* 86, S. 38-63
- Allam, Z., Bibri, S. E., Chabaud, D., & Moreno, C. (2022): The '15-Minute City' concept can shape a net-zero urban future. *Humanities and Social Sciences Communications*, 9(1), S. 1-5
- AMIA (2021): Adaptation and mitigation interaction assessment tool, C40 cities.
<https://resourcecentre.c40.org/resources/interaction-between-adaptation-and-mitigationactions> (10.06.2021)
- Andoni, H., Wonorahardjo, S. (2018): A review on mitigation technologies for controlling urban heat island effect in housing and settlement areas. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 152, No. 1
- APCC – Austrian Panel on Climate Change (2014): Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14)
- ARL - Akademie für Raumentwicklung in der Leibniz-Gemeinschaft (2021). Im Zeichen der Pandemie – Raumentwicklung zwischen Unsicherheit und Resilienz (08.08.2023)
- Asian Development Bank (2014): Urban Metabolism of Six Asian Cities. Mandaluyong City, Philippines. 978-92-9254-660-1 (e-ISBN)
- Babiker, M., G. Berndes, K., Blok, B., Cohen, A., Cowie, O., Geden, V., Ginzburg, A., Leip, P., Smith, M., Sugiyama, F. Y. (2022): Cross-sectoral perspectives Supplementary Material. In: IPCC [Hrsg.]: *Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. Available from <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>.
- Bai, X., Dawson, R. J., Ürge-Vorsatz, D., Delgado, G. C., Salisu Barau, A., Dhakal, S., Schultz, S. (2018): Six research priorities for cities and climate change. *Nature*, 555(7694), S. 23-25
- Barnett, J., O'Neill, S. (2010): Maladaptation. In: *Global Environmental Change*, Vol. 20, Issue 2, S. 211-213
- BASE – Bottom-up Climate Adaptation Strategies Towards a Sustainable Europe (2015): BASE Evaluation Criteria for Climate Adaptation (BECCA). Policy Brief No. 3, June 2015.
- Batty, M., Longley, P. A. (1994): *Fractal cities: a geometry of form and function*. Academic press
- BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2021). Stadtklimalotse.
https://www.klimastadtraum.de/DE/Arbeitshilfen/Stadtklimalotse/stadtklimalotse_node.html (4. Juli 2021)
- Beck, S., Bovet, J., Baasch, S., Reiß, P., Görg, C. (2011). Synergien und Konflikte von Strategien und Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel. Umweltbundesamt, *Climate Change* 18/2011.

- Begum, A.R., R. Lempert, E., Ali, T.A., Benjaminsen, T., Bernauer, W., Cramer, X., Cui, K., Mach, G., Nagy, N.C., Stenseth, R., Sukumar, and P. Wester (2022): Point of Departure and Key Concepts. In: *Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, S. 121–196, doi:10.1017/9781009325844.003.
- Berry, P.M., Brown, S., Chen, M., Kontogianni, A., Rowlands, O., Simpson, G., Skourtos, M. (2015): Cross-sectoral interactions of adaptation and mitigation measures. In: *Clim. Change*, 128(3), S. 381–393
- Bevilacqua, P., Mazzeo, D., Bruno, R., Natale, A. (2016): Experimental investigation of the thermal performances of an extensive green roof in the Mediterranean area. In: *Energy Build.*, 122, S. 63–79. doi:10.1016/j.enbuild.2016.03.062
- BMNT – Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (2017a): Österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel. Teil 2: Aktionsplan
- BMNT – Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (2017b): Österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel. Teil 1: Kontext
- Bongardt, D. (2010): Mitigation potentials and technology needs of developing countries, Bridging the Gap presentation
- Burdett, R., Rode, P., Griffiths, P., Havener, R. and Gomes, A. (2018): Developing urban futures. *Developing Urban Futures*, S. 1-33
- Burton, I. (1997): Vulnerability and adaptive response in the context of climate and climate change. *Climatic Change* 36, S. 185-196
- Cabeza, L. F., Q. Bai, P., Bertoldi, J.M., Kihila, A.F.P., Lucena, É., Mata, S., Mirasgedis, A., Novikova, Y., Saheb (2022): Buildings Supplementary Material. In: IPCC [Hrsg.]: *Climate Change 2022. Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Available from <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>.
- CDP - Carbon Disclosure Project (2021): Cities on the route to 2030. Building a zero emissions, resilient planet for all CDP-ICLEI Track. <https://www.cdp.net/en/cities> (08.08.2023)
- Chen, G., Shan, Y., Hu, Y., Tong, K., Wiedmann, T., Ramaswami, A., Wang, Y. (2019): Review on city-level carbon accounting. *Environmental science & technology*, 53(10), 5545-5558
- Churkina, G., Organschi, A., Reyer, C.P., Ruff, A., Vinke, K., Liu, Z., Reck, B.K., Graedel, T.E. and Schellnhuber, H.J. (2020): Buildings as a global carbon sink. *Nature Sustainability*, 3(4), S. 269-276
- City of Copenhagen (2008): Act on Municipal Cooling Systems
- Clar, C. & Steurer, R. (2017): Erfolgsfaktoren von politischen Prozessen zur Anpassung an den Klimawandel auf verschiedenen räumlichen Ebenen. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Forschungskennzahl 3713 48 101
- Clarke L., K. Jiang, K. Akimoto, M. Babiker, G. Blanford, K. Fisher-Vanden, J.-C. Hourcade, V. Krey, E. Kriegler, A. Löschel, D. McCollum, S. Paltsev, S. Rose, P.R. Shukla, M. Tavoni, B.C.C. van der Zwaan, and D.P. van Vuuren (2014): Assessing Transformation Pathways. In: *Climate Change [Hrsg.]: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

CoM – Covenant of Mayors for Climate and Energy Europe (2022): Website and online database of the Covenant of Mayors for Climate and Energy Europe. <https://www.covenantofmayors.eu/> (4. Februar 2022)

Creutzig, F., Jochem, P., Edelenbosch, O. Y., Mattauach, L., Vuuren, D. P. V., McCollum, D., & Minx, J. (2015): Transport: A roadblock to climate change mitigation?. *Science*, 350(6263), 911-912

Creutzig, F., Mühlhoff, R. and Römer, J. (2012). Decarbonizing urban transport in European cities: four cases show possibly high co-benefits. *Environmental research letters*, 7(4)

Destatis (2015): Zahlen & Fakten. Begriff Wohngebäude, <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Wohnen/Glossar/wohngebaeude-mz.html> [Zugriff 06/2022]

Deutsche Bundesregierung (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Vom Bundeskabinett am 17. Dezember 2008 beschlossen. https://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das_gesamt_bf.pdf

Dodman, D., Hayward, B., Pelling, M., Castan Broto, V., Chow, W., Chu, E., Dawson, R., Khirfan, L., McPhearson, T., Prakash, A., Zheng, Y., Ziervogel, G. (2022): Cities, Settlements and Key Infrastructure. In: *Climate Change [Hrsg.]: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 907–1040, doi:10.1017/9781009325844.008*

Domhardt, H.J., Mangels, K., Wahrhusen, N., Wieschmann, S., Jacoby, C. (2021): Kompakte, umweltverträgliche Siedlungsstrukturen im regionalen Kontext. Empfehlungen für die Umsetzung. Umweltbundesamt (Pdf-Dokument, Stand Mai 2021). Zugriff 27.10.2023, S. 4

EEA – European Environment Agency (2016): Urban adaptation to climate change in Europe 2016. Transforming cities in a changing climate. EEA Report no 12/2016. European Environment Agency, 2016

EEA – European Environment Agency (2020a): Urban adaptation in Europe: how cities and towns respond to climate change. EEA Report no 12/2020. European Environment Agency, 2020

EEA – European Environment Agency (2020b): Monitoring and evaluation of national adaptation policies throughout the policy cycle. EEA Report No 06/2020

EEA – European Environment Agency (2021): Nature-based solutions in Europe: policy, knowledge and practice for climate change adaptation and disaster risk reduction. EEA Report No 01/2021

EEA – European Environment Agency (2022a): Climate-ADAPT Case Study Explorer. <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/knowledge/tools/case-study-explorer> (Oktober 2022)

EEA – European Environment Agency (2022b): Climate-ADAPT. Adaptation Support Tool. <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/knowledge/tools/adaptation-support-tool> (10. Oktober 2022)

EEA – European Environment Agency (2022c): Climate-ADAPT. Urban Adaptation Support Tool. <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/knowledge/tools/urban-ast/step-0-0> (10. Oktober 2022)

EEA – European Environment Agency (2022d): Climate-ADAPT. Adaptation options. <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/knowledge/adaptation-information/adaptation-measures> (4. Juni 2021)

European Commission (2023): Guidelines on Member States' adaptation strategies and plans

European Commission, Directorate-General for Energy (2019): Clean energy for all Europeans. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2833/9937>

Finel, N., & Tapio, P. (2012): Decoupling transport CO2 from GDP. Finland Futures Research Centre, University of Turku

- Fiori, A., Volpi, E. (2020): On the Effectiveness of LID Infrastructures for the Attenuation of Urban Flooding at the Catchment Scale. In: *Water Resour. Res.*, 56(5), e2020WR027121, doi:10.1029/2020WR027121
- GCoM – Global Covenant of Mayors for Climate and Energy (2022). Website and online database of the Global Covenant of Mayors for Climate and Energy. <https://www.globalcovenantofmayors.org/our-cities/> (4. Februar 2022)
- Geels, F. W. (2012): A socio-technical analysis of low-carbon transitions: introducing the multi-level perspective into transport studies. *Journal of transport geography*, 24, S. 471-482
- Geerlings, H., & Stead, D. (2003): The integration of land use planning, transport and environment in European policy and research. *Transport policy*, 10(3), S. 187-196
- Giuliano, G. and Small, K.A. (1993): Is the journey to work explained by urban structure?. *Urban studies*, 30(9), pp.1485-1500
- Glaeser, E. L., & Kahn, M. E. (2010): The greenness of cities: Carbon dioxide emissions and urban development. *Journal of urban economics*, 67(3), S. 404-418
- Grafakos, S., Trigg, K., Landauer, M., Chelleri, L., Dhakal, S. (2019): Analytical framework to evaluate the level of integration of climate adaptation and mitigation in cities. In: *Climatic Change* 154, S. 87–106. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02394-w>
- Grimm, N.B., Faeth, S.H., Golubiewski, N.E., Redman, C.L., Wu, J., Bai, X. and Briggs, J.M. (2008): Global change and the ecology of cities. *science*, 319(5864), S. 756-760
- Gruhler, K., Böhm, R. (2011): Auswirkungen des demografischen Wandels auf das Stofflager und die Stoffflüsse des Wohngebäudebestandes-Deutschland 2050. Fraunhofer-IRB-Verlag
- Gruhler, K., Böhm, R., Deilmann, C., Schiller, G. (2002): Stofflich-energetische Gebäudesteckbriefe - Gebäudevergleiche und Hochrechnungen für Bebauungsstrukturen. Dresden: IÖR, 2002, S.307 (IÖR-Schriften; 38)
- Gudipudi, R., Fluschnik, T., Ros, A.G.C., Walther, C. and Kropp, J.P., (2016): City density and CO2 efficiency. *Energy Policy*, 91, S. 352-361
- Gudipudi, R., Lüdeke, M.K., Rybski, D. and Kropp, J.P. (2018): Benchmarking urban eco-efficiency and urbanites' perception. *Cities*, 74, S. 109-118
- Guo, H., Liu, Y., Meng, Y., Huang, H., Sun, C. and Shao, Y. (2017): A comparison of the energy saving and carbon reduction performance between reinforced concrete and cross-laminated timber structures in residential buildings in the severe cold region of China. *Sustainability*, 9(8), S. 1426
- Haaland, C., & van Den Bosch, C. K. (2015): Challenges and strategies for urban green-space planning in cities undergoing densification: A review. *Urban forestry & urban greening*, 14(4), S. 760-771
- Haas, W., Krausmann, F., Wiedenhofer, D., Heinz, M. (2015): How Circular is the Global Economy?: An Assessment of Material Flows, Waste Production, and Recycling in the European Union and the World in 2005: How Circular is the Global Economy? *J. Ind. Ecol.* 19, S. 765–777. <https://doi.org/10.1111/jiec.12244>
- Habitat, U.N., 2020. World Cities Report (2020): The value of sustainable urbanization. United Nations Human Settlements Programme
- Hamin E.M., Gurrán, N. (2009): Urban form and climate change: balancing adaptation and mitigation in the US and Australia. In: *Habitat Int.* 33, S. 238–245
- He, W., Goodkind, D. and Kowal, P.R. (2016): An aging world: 2015

- He, X. (2013): Mainstreaming adaptation in integrated water resources management in China: From challenge to change. In: *Water Policy*, 15(6), S. 895–921
- Hetz, K., Kahlenborn, W., Bollin, C., Borde, B. & Jung, L. (2020): Entwicklung und Erprobung eines Verfahrens zur integrierten Bewertung von Maßnahmen und Politikinstrumenten der Klimaanpassung. Umweltbundesamt. *Climate Change* 30/2020
- Hidayati, I., Yamu, C. and Tan, W. (2019): The emergence of mobility inequality in greater Jakarta, Indonesia: A socio-spatial analysis of path dependencies in transport–land use policies. *Sustainability*, 11(18), S. 5115
- Himes, A., & Busby, G. (2020): Wood buildings as a climate solution. *Developments in the Built Environment*, 4
- Hirschl, B., Reusswig, F., Weiß, J., Bölling, L., Bost, M., Flecken, U., Haag, L., Heiduk, P., Klemm, P., Lange, C., Lass, W., Richter, P.-M., Rupp, R., Salecki, S., Schwarz, U., Weyer, G., Voigt, R. (2015): Entwurf für ein Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm (BEK), Endbericht, November (2015); im Auftrag des Landes Berlin, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt
- Hofmeister, S., Warner, B., Ott, Z. [Hrsg.] (2021): Nachhaltige Raumentwicklung für die große Transformation – Herausforderungen, Barrieren und Perspektiven für Raumwissenschaften und Raumplanung. Hannover. *Forschungsberichte der ARL* 15.
- Hu, Y., Tong, K., Fang, A., Boyer, D., Cui, S., Shi, L., Kalmykova, Y. and Ramaswami, A., (2016): Greenhouse gas emissions from key infrastructure sectors in larger and smaller Chinese cities: method development and benchmarking. *Carbon Management*, 7(1-2), S. 27-39
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2022a): *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösckke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2022b): *Annex II: Glossary* [Möller, V., R. van Diemen, J.B.R. Matthews, C. Méndez, S. Semenov, J.S. Fuglestedt, A. Reisinger (eds.)]. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösckke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 2897–2930, doi:10.1017/9781009325844.029.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2022c): *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2022d): *Annex I: Glossary* [van Diemen, R., J.B.R. Matthews, V. Möller, J.S. Fuglestedt, V. Masson-Delmotte, C. Méndez, A. Reisinger, S. Semenov (eds.)]. In *IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.020
- Jaeger, A. (2021): *Policy Recommendations on Attractive, Acceptable and Affordable Deep Renovations*. H2020 Project TripleA-reno. Freiburg im Breisgau, Germany.

- Jamei, E., Chau, H.W., Seyedmahmoudian, M., Stojcevski, A. (2021): Review on the cooling potential of green roofs in different climates. *Sci. Total Environ.*, 791, 148407. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.148407
- Jänicke, M., Helgenberger, S. (2016): Co-Benefits als interessenbezogene Zusatznutzen der Klimapolitik. In: *Ökologisches Wirtschaften* 4.2016 (31). DOI 10.14512/OEW310430
- Jokusch, M., Will, M., Lässig, J., & Michler, R. (2015): Treibhausgasbilanz 2015-Stadt Zittau. Quitzdorf am See: INM Institut für Nachhaltigkeitsanalytik und -management
- Kallaos, J., Acre, F., Lobaccaro, G., Landa, N., Ferrara, F., Wyckmans, A. (2015): Adaptation measures and corresponding indicators for resilient architecture and infrastructure. Deliverable D2.4 of the RAMSES project
- Kalra, R. and Bonner, R. (2012): Addressing climate change with low-cost green housing. Washington, DC: World Bank
- Kandya, A., Mohan, M. (2018): Mitigating the Urban Heat Island effect through building envelope modifications. *Energy and Buildings*, 164, S. 266-277
- Kang, C., G. Hua, (2007): Brownfield Redevelopment Toward Sustainable Urban Land Use in China, *Chinese Geographical Science*, 17(2), S. 127-134
- Kenkmann, T., Sieck, L. (2022): Klimaschutzmanagement und Treibhausgasneutralität in Kommunen. Ökoinstitut. Herausgeber: Umweltbundesamt
- Kern, K., Jörgens, H. & Jänicke, M. (2001): The diffusion of environmental policy innovations: a contribution to the globalisation of environmental policy, *Discussion Papers / Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung*. Berlin
- Kim, K. B. (2005): Towards sustainable neighborhood design: A sustainability evaluation framework and a case study of the Greenwich Millennium Village Project. *Journal of Architectural and Planning Research*, S. 181-203
- Kind, C., Vetter, A., Wronski, R. (2013): Development and Application of Good Practice Criteria for Evaluating Adaptation Measures. In: Walter Leal Filho (Hrsg.): *Handbook of Climate Change Adaptation*, Springer, Berlin und Heidelberg
- Kirsimaa, K., Org, M., Kuldna, P. (2020): Mapping climate adaptation options in energy efficiency projects. Task WP4.1 of the CAMS project
- Klein, Richard J.T., Huq, S., Denton, F., Downing, T.E., Richels, R.G., Robinson, J.B. (2007): Interrelationships between adaptation and mitigation. In: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (S. 745-777). Cambridge
- Krausmann, F., Wiedenhofer, D., Lauk, C., Haas, W., Tanikawa, H., Fishman, T., Miatto, A., Schandl, H., Haberl, H., (2017): Global socioeconomic material stocks rise 23-fold over the 20th century and require half of annual resource use. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 114, S. 1880–1885
- Kumar, E., Das, A., Guru, R.R., Pathak, K., Verma, A. (2009): Energy and carbon emissions profiles of 54 south asian cities. ICLEI Local Governments for Sustainability (Stand: 2009); Zugriff: 27.10.2023
- Lackner C., Freudenschuß A., Schadauer K. [Hrsg.] (2015): Treibhausgasbilanz der österreichischen Holzkette. BFW Praxisinformation 38/2015
- Landauer, M., Juhola, S., Klein, J. (2019): The role of scale in integrating climate change adaptation and mitigation in cities. In: *Journal of Environmental Planning and Management* 62(5), S. 741–765.
- Landauer, M., Juhola, S., Söderholm, M. (2015): Inter-relationships between adaptation and mitigation: a systematic literature review. In: *Climatic Change*. *Climatic Change* 131 (2015), S. 505–517.

- Lebel, L., Manuta, J. B. and Garden, P. (2011): Institutional traps and vulnerability to changes in climate and flood regimes in Thailand. In: *Regional Environmental Change*, 11(1), S. 45–58
- Lefèvre, B. (2009). Long-term energy consumptions of urban transportation: A prospective simulation of “transport–land uses” policies in Bangalore. *Energy Policy*, 37(3), S. 940-953.
- Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung: Informationssystem Gebaute Umwelt
<http://www.ioer.de/projekte/informationssystem-gebaute-umwelt> (08.08.2023)
- Leitner M., Johnson K., Carosi A., Sini E., Brusa F., Lexer W., Lipsanen A., Munck af Rosenschöld J., Dworak T., Vanneville W., Tamásová A. (2023): Is Europe on track with climate resilience? – Status of reported national adaptation actions in 2023. European Topic Centre on Climate change adaptation and LULUCF (ETC/CA), Technical Paper 2/23
- Lexer, W., Ahamer, G., König, M. (2016). Fehlanpassung im Kontext von privater Anpassung an den Klimawandel: Kriterien, Entwicklung eines Bewertungssystems und Anwendungsbeispiele. Umweltbundesamt Wien.
http://anpassung.ccca.at/patches/wp-content/uploads/sites/2/2017/04/PATCHES_Fehlanpassung-im-Kontext-privater-Anpassung_FINAL_20170421-1.pdf
- Li, Y., Rybski, D., Kropp, J.P. (2021): Singularity Cities. *Env. Plan. B*, 48(1), S. 43-59
- Li, Y., Schubert, S., Rybski, D., Kropp, J.P. (2020): On the influence of density and morphology on the Urban Heat Island intensity. *Nature Communications*, 11: 2647
- Lwasa, S., Seto, K.C., Bai, X., Blanco, H., Gurney, K.R., Kilkiş, S., Lucon, O., Murakami, J., Pan, J., Sharifi, A., Yamagata, Y. (2022): Urban systems and other settlements Supplementary Material. In: IPCC [Hrsg.]: *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Available from <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3>
- Magnan, A. K., Schipper, E.L.F., Burkett, M., Bharwani, S., Burton, I., Eriksen, S., Gemenne, F., Schaar, J., Ziervogel, G. (2016): Addressing the risk of maladaptation to climate change. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, Volume 7, Issue 5, 646-665, doi: 10.1002/wcc.409
- Masseroni, D., Cislighi, A. (2016): Green roof benefits for reducing flood risk at the catchment scale. In: *Environ. Earth Sci.*, 75(7), 579, doi:10.1007/s12665-016-5377-z.
- Mirabella, N., & Allacker, K. (2021). Urban GHG accounting: discrepancies, constraints and opportunities. *Buildings and Cities*, 2(1).
- Mishra, A., Humpenöder, F., Churkina, G., Reyer, C. P., Beier, F., Bodirsky, B. L. & Popp, A. (2022): Land use change and carbon emissions of a transformation to timber cities. *Nature communications*, 13(1), 4889
- Moser, S.C. (2012). Adaptation, mitigation, and their disharmonious discontents: an essay. In: *Clim Chang* 111:165–175
- NAZCA GCAP – Global Climate Action Portal (2022): Online database of the NAZCA Global Climate Action Portal. UNFCCC Secretariat. <https://climateaction.unfccc.int/> (4. Februar 2022).
- OECD (2021): Strengthening Adaptation-Mitigation Linkages for a Low-Carbon, Climate-Resilient Future. Policy perspectives. OECD Environment Policy Paper No. 23
- Ong, J.K.P., Arcilla, N.R.D., Oreta, A.W.C. (2017). Life cycle analysis of structural systems of residential housing units in the Philippines.
- ÖROK (2021): Österreichisches Raumentwicklungskonzept 2030 (ÖREK 2030).

- Oulu, M. O. (2011). Mainstreaming climate adaptation in Kenya. In: *Climate Law*, 2(3), S. 375–394.
- Parasram, V. (2003): *Transportation: Efficient Transportation for Successful Urban Planning in Curitiba*, Horizon Solutions Site
- Pathak, M., Slade, R., Shukla, P.R., Skea, J., Pichs-Madruga, R., Ürge-Vorsatz, D. (2022): Technical Summary. In: *Climate Change [Hrsg.]: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.002*
- Perini, K., Bazzocchi, F., Croci, L., Magliocco, A., Cattaneo, E. (2017). The use of vertical greening systems to reduce the energy demand for air conditioning. Field monitoring in Mediterranean climate. In: *Energy Build.*, 143, S. 35–42
- Pierer, C., Creutzig, F. (2019): Star-shaped cities alleviate trade-off between climate change mitigation and adaptation. In: *Environ. Res. Lett.*, 14, 085011, doi:10.1088/1748-9326/ab2081
- Pörtner, H.-O., D.C. Roberts, H. Adams, I. Adelekan, C. Adler, R. Adrian, P. Aldunce, E. Ali, R. Ara Begum, B. Bednar-Friedl, R. Bezner Kerr, R. Biesbroek, J. Birkmann, K. Bowen, M.A. Caretta, J. Carnicer, E. Castellanos, T.S. Cheong, W. Chow, G. Cisse, S. Clayton, A. Constable, S.R. Cooley, M.J. Costello, M. Craig, W. Cramer, R. Dawson, D. Dodman, J. Efitre, M. Garschagen, E.A. Gilmore, B.C. Glavovic, D. Gutzler, M. Haasnoot, S. Harper, T. Hasegawa, B. Hayward, J.A. Hicke, Y. Hirabayashi, C. Huang, K. Kalaba, W. Kiessling, A. Kitoh, R. Lasco, J. Lawrence, M.F. Lemos, R. Lempert, C. Lennard, D. Ley, T. Lissner, Q. Liu, E. Liwenga, S. Lluch-Cota, S. Loschke, S. Lucatello, Y. Luo, B. Mackey, K. Mintenbeck, A. Mirzabaev, V. Moller, M. Moncassim Vale, M.D. Morecroft, L. Mortsch, A. Mukherji, T. Mustonen, M. Mycoo, J. Nalau, M. New, A. Okem, J.P. Ometto, B. O'Neill, R. Pandey, C. Parmesan, M. Pelling, P.F. Pinho, J. Pinnegar, E.S. Poloczanska, A. Prakash, B. Preston, M.-F. Racault, D. Reckien, A. Revi, S.K. Rose, E.L.F. Schipper, D.N. Schmidt, D. Schoeman, R. Shaw, N.P. Simpson, C. Singh, W. Solecki, L. Stringer, E. Totin, C.H. Trisos, Y. Trisurat, M. van Aalst, D. Viner, M. Wairiu, R. Warren, P. Wester, D. Wrathall, and Z. Zaiton Ibrahim (2022): Technical Summary. [H.-O. Portner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Loschke, V. Moller, A. Okem. In: *Climate Change [Hrsg.]: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 37–118, doi:10.1017/9781009325844.002*
- Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK) et al.: EU Calculator <https://www.european-calculator.eu/> (08.08.2023)
- Pour, S.H., Wahab, A.K.A., Shahid, S., Asaduzzaman, M., Dewan, A. (2020): Low impact development techniques to mitigate the impacts of climatechange-induced urban floods: Current trends, issues and challenges. In: *Sustain. Cities Soc.*, 62, 102373
- Prutsch, A., Felderer, A., Balas, M., König, M., Clar, C., Steurer, R. (2014): *Methoden und Werkzeuge zur Anpassung an den Klimawandel. Ein Handbuch für Bundesländer, Regionen und Städte. Umweltbundesamt, Wien.* https://www.klimawandelanpassung.at/fileadmin/inhalte/kwa/pdf/famous-handbuch_onlineversion.pdf
- Prutsch, A., Grothmann, T., Schauer, I., Otto, S. & McCallum, S. (2010): Guiding principles for adaptation to climate change in Europe. ETC Technical Paper 2010/6.
- Qin, H.-P., Li, Z.X., and Fu, G. (2013): The effects of low impact development on urban flooding under different rainfall characteristics. *J. Environ. Manage.*, 129, 577–585, doi:10.1016/j.jenvman.2013.08.026.
- Rabinovitch, J., & Leitman, J. (1996): Urban planning in Curitiba. *Scientific American*, 274(3), 46-53
- Ramaswami, A., Bernard, M., Chavez, A., Hillman, T., Whitaker, M., Thomas, G. and Marshall, M., (2012): Quantifying carbon mitigation wedges in US cities: near-term strategy analysis and critical review. *Environmental science & technology*, 46(7), pp.3629-3642

- Ramaswami, A., Hillman, T., Janson, B., Reiner, M. and Thomas, G., (2008): A demand-centered, hybrid life-cycle methodology for city-scale greenhouse gas inventories
- Reckien, D. (2018): 'How are cities planning to respond to climate change? Assessment of local climate plans from 885 cities in the EU-28'. In: *Journal of Cleaner Production* 191, S. 207- 219
- Reddy, B.S. (2013): Metabolism of Mumbai-expectations impasse and the need for a new beginning, <http://www.igidr.ac.in/pdf/publication/WP-2013-002.pdf>
- Regulation (EU) 2018/1999 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the Governance of the Energy Union and Climate Action, amending Regulations (EC) No 663/2009 and (EC) No 715/2009 of the European Parliament and of the Council, Directives 94/22/EC, 98/70/EC, 2009/31/EC, 2009/73/EC, 2010/31/EU, 2012/27/EU and 2013/30/EU of the European Parliament and of the Council, Council Directives 2009/119/EC and (EU) 2015/652 and repealing Regulation (EU) No 525/2013 of the European Parliament and of the Council
- Reitemeyer, F., Fritz, D., Jacobi, N., Díaz-Bone, L., Viteri, C.M. and Kropp, J.P., (2023): Quantification of urban mitigation potentials-coping with data heterogeneity. *Heliyon*
- RESIN (2021): RESIN Adaption Library: Adaptation options database of the project RESIN – Climate-resilient Cities and Infrastructures. <https://resin-aol.tecnalia.com/apps/adaptation/v4/#!/login?redirect=%2Fapp%2Flibrary%2Fgeneral%2Foptions> (5. Juli 2021)
- Reusswig, F., Becker, C., Lass, W., Haag, L., Hirschfeld, J., Knorr, A., Lüdeke, M. K.B., Neuhaus, A., Pankoke, C., Rupp, J., Walther, C., Walz, S., Weyer, G., Wiesemann, E. (2016): Anpassung an die Folgen des Klimawandels in Berlin (AFOK). Klimaschutz Teilkonzept. Hauptbericht. Gutachten im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Sonderreferat Klimaschutz und Energie (SRKE). Potsdam, Berlin
- Ribeiro, H.V., Rybski, D. and Kropp, J.P. (2019): Effects of changing population or density on urban carbon dioxide emissions. *Nature communications*, 10(1), S.3204
- Runhaar, H., Wilk, B., Persson, Å., Uittenbroek, C., & Wamsler, C. (2017): Mainstreaming climate adaptation: taking stock about 'what works' from empirical research worldwide. *Regional environmental change*, 18(4), S. 1201-1210
- Schipper, E.L.F., Revi, A., Preston, B.L., Carr, E.R., Eriksen, S.H., Fernandez-Carril, L.R., Glavovic, B.C., Hilmi, N.J.M., Ley, D., Mukerji, R., Muylaert de Araujo, M.S., Perez, R., Rose, S.K. and Singh, P.K. (2022): Climate Resilient Development Pathways. In: *Climate Change [Hrsg.]: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, S. 2655–2807*
- Sharifi, A. (2020): Trade-offs and conflicts between urban climate change mitigation and adaptation measures: A literature review. In: *Journal of Cleaner Production*, 276 (2020)
- Sharifi, A. (2021): Co-benefits and synergies between urban climate change mitigation and adaptation measures: A literature review. In: *Science of the Total Environment*, 750 (2021)
- Sims, R., Schaeffer, R., Creutzig, F., Cruz-Nunez, X., D'Agosto, M., Dimitriu, D.& Tiwari, G. (2014): Transport climate change 2014: Mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change ed O
- Sistra et al. (2018): World Circular Economy Forum 2018 Report <https://www.sistra.fi/app/uploads/2018/11/sitramoejwcef2018report.pdf> (08.08.2023)
- Smithers, J., Smit, B. (1997): Human adaptation to climatic variability and change. *Global Environmental Change* 7(2), S. 129-146

- Solutions Plus. (2021): Factsheet Pasig Demonstration City. Accessed at http://www.solutionsplus.eu/uploads/4/8/9/5/48950199/factsheet_pasig_2.pdf
- Sperling, D. and Gordon, D., (2009): Two billion cars: driving toward sustainability. Oxford University Press
- Spickermann, A., Grienitz, V. and Von der Gracht, H.A. (2014): Heading towards a multimodal city of the future? Multi-stakeholder scenarios for urban mobility. *Technological Forecasting and Social Change*, 89, S.201-221
- Swilling, M., Hajer, M., Baynes, T., Bergesen, J., Labbé, F., Musango, J.K., Ramaswami, A., Robinson, B., Salat, S., Suh, S., Currie, P., Fang, A., Hanson, A. Kruit, K., Reiner, M., Smit, S., Tabory, S. (2018): The Weight of Cities: Resource Requirements of Future Urbanization. A Report by the International Resource Panel. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya
- Tews, K. (2005): The diffusion of environmental policy innovations: cornerstones of an analytical framework. In: *Eur. Environ.* 15: 63–79. <https://doi.org/10.1002/eet.378>
- Tiwari, P., & Gulati, M. (2013): An analysis of trends in passenger and freight transport energy consumption in India. *Research in Transportation Economics*, 38(1), 84-90
- Umweltbundesamt (2021): Tatenbank. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/werkzeuge-der-anpassung/tatenbank> (4. Juli 2021)
- Umweltbundesamt (2022): Anforderungen an ein klimagerechtes (Resilienz und Mitigation) Management kompakter Siedlungs- und Infrastrukturf lächen. Wege zur Umsetzung sowie Evaluierung anhand ausgewählter Fallstudien. Instrumente und Werkzeuge für eine klimagerechte Planung und Entwicklung kompakter Siedlungsstrukturen. TEXTE 102/202
- UNFCCC – United Framework Convention on Climate Change (2015): Paris Agreement. Adopted at COP 21 in Paris on 12 December 2015 and entered into force on 4 November 2016
- UN-Habitat (2019): Urban-Rural Linkages: Guiding Principles. Framework for Action to Advance Integrated Territorial Development. <https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/03/url-gp-1.pdf>
- Vetter, A. & Schauser I. (2013). Anpassung an den Klimawandel – Priorisierung von Maßnahmen innerhalb der Deutschen Anpassungsstrategie. *GAIA* 22/4 (2013), S. 248–254
- Vogel, B., Henstra, D. (2015). Studying local climate adaptation: A heuristic research framework for comparative policy analysis. In: *Global Environmental Change* 31, S. 110–120
- Walsh, C. L., Dawson, R.J., Hall, J.W., Barr, S.L., Batty, M., Bristow, A.L., Carney, S. (2011): Assessment of Climate Change Mitigation and Adaptation in Cities. *Proceedings of the ICE-Urban Design and Planning* 164 (2): S 75–84
- Westerink, J., Haase, D., Bauer, A., Ravetz, J., Jarrige, F., & Aalbers, C. B. (2013): Dealing with sustainability trade-offs of the compact city in peri-urban planning across European city regions. *European Planning Studies*, 21(4), S. 473-497
- World Climate Research Programme (2019): Global Research and Action Agenda on Cities and Climate Change Science
- WWB der Bundesregierung (2016): Umweltveränderungen: Der Umzug der Menschheit–Die transformative Kraft der Städte. Zusammenfassung. Berlin
- Xu, L., Wang, X., Liu, J., He, Y., Tang, J., Nguyen, M., Cui, S. (2019): Identifying the trade-offs between climate change mitigation and adaptation in urban land use planning: An empirical study in a coastal city. *Environ. Int.*, 133
- Zheng, X., Zou, Y., Lounsbury, A.W., Wang, C., Wang, R. (2021): Green roofs for stormwater runoff retention: A global quantitative synthesis of the performance. In: *Resour. Conserv. Recycl.*, 170

A Anhang: Governance and Financing of Urban Adaption – Final Report

Ressortforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz

Forschungskennzahl: 3720 15 102 0

Klimaorientierte Stadtentwicklung – Treibhausgasminderungspotenzial in synergetischen Handlungsfeldern

AP7 - Governance and Financing of Urban Adaptation – Final Report

Authors:

Wolfgang Lexer, Alexander Storch, Diana Guggenberger
Umweltbundesamt Österreich

Bettina Wilk
ICLEI - Europasekretariat

León Díaz-Bone, Beatriz Fonseca, Dr Eszter Mogyorósy
ICLEI – Weltsekretariat

Review:

Jürgen Kropp & Fabian Reitemeyer (Potsdam Institut für
Klimafolgenforschung); Nikolai Jacobi (ICLEI Europasekretariat)

ICLEI – Europasekretariat

Leopoldring 3, 79098

Freiburg im Breisgau / DE

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Endbericht (März 2022)

WP7 Report: Governance and Financing of Urban Adaptation**LIST OF ABBREVIATIONS**

AF	Adaptation Fund
AFD	Agence Française de Développement
CDP	Clean Development Project
CIF	Climate Investment Fund
CoM	Covenant of Mayors for Climate and Energy
CRAFT	Climate Resilience Solutions Fund
CAF	Development Bank of Latin America
DFI	Development Finance Institution
EBRD	European Bank for Reconstruction and Development
EFSI	European Fund for Strategic Investments
EIB	European Investment Bank
ESIF	European Structural Investment Fund
EU	European Union
GCAP	Global Climate Action Portal
GCF	Green Climate Fund
GCoM	Global Covenant of Mayors for Climate and Energy
GEF	Global Environment Facility
ICLEI	ICLEI - Local Governments for Sustainability
IDB	Inter-American Development Bank
IFI	International Financial Institution
JBIC	Japan Bank for International Cooperation
LRGs	Local and regional governments
LVC	Land Value Capture
LUCI	Leadership for Urban Climate Investment
LDCF	Least Developed Countries Fund
LRGs	Local and regional governments
MDB	Multilateral Development Bank
MLG	Multi-level Governance
NAP	National Adaptation Planning
NAS	National Adaptation Strategy
NAPA	National Adaptation Program of Action

NDB	National Development Bank
NDC	Nationally Determined Contribution
PPCR	Pilot Program for Climate Resilience
PPF	Project Preparation Facility
PPP	Public Private Partnership
REDD+	UNFCCC framework 'Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation and the Role of Conservation, Sustainable Management of Forests and Enhancement of Forest Carbon Stocks in Developing Countries'
SDB	Subnational Development Bank
SCCF	Special Climate Change Fund
SECAP	Sustainable Energy and Climate Action Plan
TAP	Transformative Actions Program of ICLEI
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
UIA	Urban Innovative Actions
WB	World Bank

Executive Summary

Governance of urban adaptation

Overview: state of play and progress in urban adaptation

Databases of international city networks demonstrate that **mitigation still has much higher political priority at the level of local authorities than adaptation**. While only about 17% of all signatory cities to the GCoM have committed to adaptation as a (complementary) goal, the share of active signatories to the CoM Europe with **adaptation commitments** is even lower (2%) and has stagnated at a modest level over time, in contrast to a comparatively steep increase of cities with a mitigation commitment (CoM 2022).

Further, only about 4% of all signatories to the GCoM have an **adaptation plan** in place, and just 21% of local authorities committed to adaptation have progressed from agenda-setting to preparing adaptation plans (GCoM 2022). Conversely, it may be concluded that 79% of adaptation-committed GCoM signatories have not yet engaged in implementation of adaptation measures, illustrating **global gaps regarding the progression from political commitment to planning, and regarding to an even stronger extent the translation of plans into action**. Among the LRGs reporting to the CDP, 43% do not yet have climate action plans in place (CDP 2021). The share of climate-active local authorities that have already developed an adaptation plan is comparably low across different databases with global and wider European coverage (NAZCA GCAP, GCoM, CoM Europe) and does not exceed 4% of all cities participating in the respective initiatives.

The vast majority of **adaptation responses documented in the scientific literature** are undertaken at the **local level**, with 82% taken by **individuals and households**. **Local governments** are involved in 36% of reported cases and civil society at local or subnational levels in 26%. Private sector engagement is low across all global regions. The sectoral category 'cities, settlements and key infrastructure' is targeted by adaptive actions in 15 % of cases, making it rank in midfield. Behavioural adaptation actions prove most frequent with 75%, followed by technological/infrastructural ones with 62%, and ecosystem-or nature-based responses with 50%. Institutional responses, such as creating policies, programmes, or regulations, made up 42%. There is **little evidence of transformational adaptation** in the scientific literature. Across all regions of the globe, responses are overwhelmingly incremental, short-term, small in scope, and limited to single sectors or small geographic areas (Berrang-Ford et al., 2021).

Just about 5% of all cities registered at the GCAP portal have engaged in implementing concrete adaptation actions or projects, addressing most frequently the sector-related themes of 'energy' and 'human settlements' (NAZCA GCAP 2022). Also at the European scale, data from the CoM database from signatories of the EEA-38 member and collaborating countries (EEA, 2020a) show that **progress in implementing and mainstreaming adaptation actions is at best patchy and overall rather slow**. The number of signatories assessing their progress in adaptation as more than 50 % complete reduces rapidly in the implementation and monitoring phases, compared with the earlier steps. Only around one-fifth of the signatories report good progress (over 50 % completion) on implementation and mainstreaming of adaptive actions. This **implementation gap** appears especially pronounced for **small municipalities** (less than 20,000 inhabitants) (Buschmann & Steurer 2020; Lexer et al. 2020).

Financing of urban adaptation by sources at different levels

Local public budgets (tax revenues, pooling municipal budget) are the most widespread source of funding for urban adaptation planning and implementation in Europe. National or subnational level funding is used significantly less, while the private sector is the third largest source (EEA, 2020a; CDP, 2019; Aguiar et al., 2018). Pronounced budgetary differences between smaller and larger local authorities call for specific support of small local authorities with regard to adaptation planning and implementation.

In the Global South, **LRGs' own budgets** also represent the dominating funding source (67% according to NAZCA GCAP), often **combined with (sub)national and international funding**. Public-private partnerships emerge as the fourth largest funding source (Sainz & Setzer 2019; NAZCA GCAP 2022). For EbA, bi- and multi-lateral donors are the biggest source of funding (FEBA 2021).

Adaptation budgets of signatories of the CoM are rather low (median EUR 535,000), which partly explains the prevalence of soft, less costly adaptation measures. Soft measures amount to EUR 24,000 median cost of 38 actions whilst grey approaches amount to EUR 3.700,000 median cost of 15 actions (EEA, 2020a).

Governance of urban climate adaptation at city level

Local public authorities bear the majority of **responsibilities** for climate proofing their cities and have a dominant role throughout the policy process (i.e. planning, implementation, evaluation, maintenance). 80% of signatories to the CoM emphasize the high level of involvement of local authority staff in adaptation planning (EEA, 2020a; Mees, 2016). While environmental departments developed most local and regional adaptation strategies across the EU, the main responsibility tends to shift in the implementation phase. Departments most often responsible for implementation of adaptation actions are those dealing with spatial planning, urban design, open spaces, or architecture, followed by the departments concerned with environment or sustainability.

Involving stakeholders from outside local public administration in urban adaptation is important because their support influences political feasibility and legitimacy of policy options, it promotes social learning processes, and it gives access to local knowledge. In the Global North, the roles of citizens, civil society and business actors, such as project developers and housing associations, in the implementation of adaptive actions are still modest. Less than a quarter of the Covenant of Mayors signatories reported engagement of external stakeholders. The existence of joint public-private responsibilities is modest. A recent study on EbA projects in Asia, Africa and Latin America (FEBA 2021) reported stakeholder engagement in over 80 % of the projects, with participation higher during the implementation phase, as compared to the planning phase. Case Studies from the Global South demonstrate the benefits of collaboration between city officials and private citizens with regard to nature-based solutions, especially in the context of informal settlements.

The most frequently reported climate adaptation measures in wider Europe are 'soft', i.e. preparatory and/or mainstreaming actions. 'Grey' measures, i.e. technical structural and infrastructural measures reported by cities in the CDP and CoM slightly outweigh 'green', ecosystem-based infrastructure options, which constitute less than 20 % (EEA, 2020a). The **main types of adaptation measures planned by European cities** are flood risk mapping, mainstreaming adaptation (incorporating climate change into long-term planning documents), green infrastructure solutions (tree planning, creation of green space), crisis management (incl. warning and evacuation systems), and community education. The most frequent structural

actions relates to flood defenses. In the **Global South** (according to data of the CDP NAZCA portal), **ecosystem-based adaptation is leading** with tree planting and/or creation of green space as number one action. Similar to the Global North, “soft” measures are ranking high, with community engagement and education measures being reported second most often, followed by projects and policies for vulnerable groups, flood mapping and crisis management systems. “Grey” measures, such as hazard resistant infrastructure, flood defenses and storm water capture systems, are less prominent.

The **Global North** and **South** seem to broadly align regarding **sectors addressed by adaptation actions**: the water sector ranks highest, also spatial planning / land-use planning is among the top three, and public health & safety in the fourth place.

Mainstreaming climate adaptation at local level

Mainstreaming, i.e. the integration of climate adaptation objectives and concerns into existing sectoral policies, work programs, practices, budgets, and routines, will be key to achieve implementation on the ground. In essence, mainstreaming is in its infancy, voluntary, non-hierarchical and collaborative, driven by self-interest of sectors or a supportive administrative working culture. This highlights the importance of **institutionalized central coordination functions in local authorities**, combined with strong personal commitment of coordinators, a robust political mandate, and sufficient capacities, allowing them to act as ‘change agents’ towards sectoral actors at the same level (Lexer et al., 2018a, 2018b).

Including climate adaptation as an objective in sectoral policy documents and changes in strategic planning and legislative tools (**regulatory mainstreaming**) are the most frequently reported **mainstreaming strategy** across Europe and the Global South (86%). The configuration of sections/departments and dedication of personnel and financial resources (**managerial mainstreaming**) is moderate across Europe and the global South (73%) (Runhaar et al. 2018). **Dedicated human resources** at municipal scale are in general very limited. Even in Germany, 64% of municipalities with adaptation functions in the local public administration use predominantly their own municipal budgets for financing these positions, while 33% make use of dedicated public funding for local climate managers (Hasse & Willen, 2019). Limited human resources are often compensated by the development of cross-departmental teams. Collaboration among departments and with other sectors (**intra- and inter-organisational mainstreaming**) is only practiced by a bit more than half of the cases (54%) investigated by Runhaar et al. (2018). Coordination mechanisms for implementing adaptation appear to work better at subnational level, but joint implementation with other stakeholders is still relatively rare (Sainz & Setzer, 2019). **Sectoral compartmentalization** or “policy silos” are an entrenched and fundamental organizational problem for mainstreaming across the globe (Kazmierczak et al., 2015; EEA, 12/2020). **The majority of success cases exhibit a combination of regulatory, managerial, and intra- and inter-organisational mainstreaming strategies** (Runhaar et al., 2018).

Integrated approaches toward local climate action, which consider GHG reductions and adaptation to climate change in parallel, are even scarcer than stand-alone adaptation policies, despite city networks such as CoM encouraging integrated climate action plans. Cities mostly still pursue mitigation and adaptation in decoupled ways (EEA 2016), and ‘coordinated planning of mitigation and adaptation rarely occurs in Europe’ (EEA 2020a).

Case studies from the Global South highlight the importance of **knowledge co-production, learning, and relationship and process building** for effective mainstreaming, and they

demonstrate how limitations in engagement among various sectors and governance levels can be overcome by means of transdisciplinary collaboration.

City networks - as voluntary, horizontal structures, based on membership of local governments - have an important role to play in overcoming these barriers. They provide important functions with regard to: i) knowledge brokerage, ii) capacity-building to facilitate uptake in policy and planning processes, iii) driving governance innovation and new paths of urban planning, and iv) improving access to external sources of funding.

Multilevel governance of urban adaptation

Implementing adaptation across levels of governance in a coherent and effective way requires adequate **mechanisms and arrangements for multilevel coordination and cooperation** (including horizontal and vertical dimensions). Globally, countries have established stronger mechanisms for vertical than for horizontal coordination (Bauer et al., 2012; Sainz & Setzer, 2019), but **lack of vertical integration** and collaboration still features as a frequently mentioned barrier when it comes to climate adaptation mainstreaming (Runhaar et al., 2017). Clar (2018) found vertical coordination between national and city levels to be predominantly informal, irregular, voluntary and not institutionalised (i.e. no permanent coordination bodies, formal commitments, cyclical work plans, reporting obligations in place).

Whilst climate commitments are often determined on national level, adaptation action takes place largely at local level. Depending on the national governance set-up and the degree of autonomy of local authorities, municipalities have **responsibilities for varying ranges of local tasks** that are directly or indirectly **relevant to adaptation**. According to a recent survey on laws and policies related to climate adaptation and DRR in countries of the Global South and Global North, about 50 percent of the local and subnational governments involved had responsibilities concerning climate adaptation. Municipal fields of action in many European countries include local spatial and urban planning, building acts and permits, civil protection and emergency response, management of local public infrastructure and service utilities (water supply, sewage disposal, energy supply, etc.), social and health infrastructure and services (Lexer et al., 2018) – tasks and competences that are in need of adaptation and represent entry points for adaptation interventions.

In Europe, only a minority of countries have chosen to make **adaptation planning obligatory at local level** through stipulation in national regulations. While such top-down coercion does indeed produce a higher number of local adaptation policy documents (policy outputs), there is as of yet not sufficient empirical evidence that top-down legal requirements also result in more measures actually implemented on the ground (EEA, 2020a). Literature suggests that both centralised and decentralised adaptation governance approaches can be successful in promoting local adaptation, but that an enabling and supportive governance framework of the national state is necessary in either case. Apart from providing funding and facilitating access to external financing, **national-level support for cities** and local authorities for adaptation involves a large potential **portfolio of ‘soft’, non-monetary support measures**: policy inputs, capacity building (supporting staff education), policy counselling and advisory services, knowledge provision and brokerage, facilitation of municipal networking and of participation in city networks, as well as directing responsibilities for climate adaptation. Higher-level support is especially important for smaller municipalities.

Cities and municipalities are addressed in most NASs and NAPs as key actors for adaptation. According to the CDP, 57% of local and regional governments (LRGs) have developed a climate adaptation plan and 81% are engaged in climate actions in 2020, which represents more than

3,000 climate adaptation measures in place. However, both in the Global North and South, **financial issues** in terms of **limited staff** and problems with **access to funding** are the **highest ranking constraint** identified by subnational governments for implementing adaptation (over 90%), followed by **absence of technical capacity** (77%). The absence of legal frameworks and binding regulations is the lowest ranking barrier with only 40% (Sainz & Setzer, 2019). National support programs should therefore prioritise capacity-building for developing expertise on climate adaptation action as well as on access to funding.

As intermediary between the national and local level, also **the regional level** can be crucial for vertical coordination. Regional coordinators can act as transfer agents, facilitate access to funding and provide capacity support for local climate action. **Regional governance frameworks** can be operated by subnational governments, or they can be deployed as more informal, intermediate layers in between subnational and local authority levels. For instance, Regional Adaptation Partnerships, piloted in Canada and the UK, facilitate adaptation actions indirectly, through building adaptive capacities among decision-makers in the public and private domain, and directly, by supporting the (re)formulation of policies and plans.

Barriers and challenges

Local adaptation planning is time- and effort-intensive, and usually done by a very limited number of civil servants in local authorities, causing slow progress on the ground. Adaptation planning and integration of climate adaptation concerns into sectoral policies may have accelerated, but this progress in policy integration has not yet translated into widespread implementation of on-the-ground measures. This **implementation gap** can be linked to a set of persistent barriers (Runhaar et al., 2017), the most prominent being: lack of cooperation and coordination among departments / policy domains (as key to safeguard adequate coverage of other policy domains in adaptation, e.g. health, social issues, etc.), lack of financial resources, and absence of clear mandates. Overcoming these governance-related barriers calls for directing adaptation funding towards strengthening of coordination capacities in cities and at higher-ranking levels.

Sectoral departmentalism and **'policy silos'** is a fundamental organizational problem for mainstreaming across the globe, along with uncoordinated and fragmented institutional and organisational arrangements (He, 2013; Lebel et al., 2011; Oulo, 2011).

Financial issues are among the highest-ranking barriers for local climate adaptation action, followed by (lack of) technical capacity, institutional capacity and regulation (Sainz & Setzer, 2019). The analysed cases clearly emphasize the **need for better access to and availability of financial resources**.

There is a strong need for **formally allocated responsibilities and clear, politically backed mandates** regarding climate adaptation planning and action to structure the collaboration between actors, provide them with legitimacy, along with norm-setting and rule-making authority based on which budgetary requests can be made (Bauer & Steurer, 2014, Mees, 2016).

Municipalities that have already successfully integrated other cross-cutting issues are more likely to make progress in adaptation mainstreaming. Previous **creation of decentralized structures** that promote inter-departmental planning, and the appointment of officials who are responsible for horizontal coordination, were also identified to be crucial.

The **size of a municipality** and the **capacities and resources** available (smaller ones have less budget and funding) influence climate adaptation action. The level of engagement in adaptation decreases in almost linear manner with decreasing size of municipalities. Smaller municipalities

are also less advanced in participatory mechanisms and stakeholder engagement (citizens, research institutions, private sector), which creates a considerable gap between larger and smaller cities.

Opportunities and recommendations

Improving cooperation within municipalities and with other stakeholders is salient in light of limited public resources, especially in the context of ecosystem-based adaptation/nature-based solutions. **Collaborative approaches, co-governance** and **co-creation** have shown to be key enablers. Budget should be directed toward community-based, low-key interventions and piloting such approaches to cross-agency collaboration along the different stages of interventions in the Global South - where there is often a high dependency on higher-level and international funding.

Responsibility for climate adaptation usually resides in one public sector department with technical expertise on the design and implementation of measures, but a lack of knowledge of financing and business models for climate adaptation. **Capacity-building tools** and **provision of technical assistance** to increase knowledge and awareness of **business models for adaptation** across public and private stakeholders are therefore crucial (Mayor et al., 2021). This also applies to improving competences in pooling municipal budgets to complement limited financial resources (given that most of the adaptation actions are funded by local budgets). Special focus should be put on **smaller municipalities**, which are less likely to engage the private sector in adaptation planning, pointing out the need for exposure to good practices and guidance (EEA, 2020a).

Given the pronounced differences in adaptation planning capacity and efficiency based on the size of a municipality, smaller cities could benefit from a **more prominent role of provincial administrations**. Higher-level, regional planning units for climate change issues as well as **regional adaptation partnerships** (top-down and bottom-up) prove effective in facilitating adaptation action through building adaptive capacities and knowledge at local level.

Committed and pro-active coordinators and the presence of **institutionalised coordination responsibilities** are frequently identified as a key facilitating factor for local adaptation. To make use of the vital roles of 'change agents' (Kristof 2010) as initiators, drivers, and process managers, **funding should be directed towards strengthening of coordination capacities** in cities (and at higher-ranking levels, as well). Increasing coordination capacities requires funding for dedicated personnel, cross-departmental coordination units, endowment of coordination structures with adequate resources, qualification and training of adaptation coordinators, and it may involve **exploration of new and innovative governance models**.

Financing urban adaptation

Overview of global adaptation finance flows

Despite gaining momentum recently during **UNFCCC COP26**, which set an unprecedented goal for developed countries to provide USD 40 billion to developing countries for adaptation by 2025, global adaptation finance remains insufficient to address the present and future climate challenges.

According to the **Climate Policy Initiative 2021 Report**, only 7.4% of the tracked global climate finance flows, USD 46 million, were destined for adaptation between 2019 and 2020. According to GCA (2020), the estimated required funding for climate adaptation will have to increase ten-fold, compared to the estimated global funding volume of 2017. In addition, the

critical role of local and regional governments is still not yet recognized. Despite their high vulnerability to climate-related disruptions, they received only 5 %, USD 1.7 billion, in 2017-2018 of the total funding destined to adaptation (CCFLA 2021a).

The costs for adaptation in developing countries may be significantly higher when systematically considering the **investment needs for the early phases of adaptation processes**. More traditional cost estimation studies based on modelling exercises have tended to equate costs of adaptation to those for implementation, e.g. for climate-proofing infrastructure, thus underestimating the financing needs for building adaptation capacities. For 86 developing countries in three world regions, the **investments needed for adaptation activities linked to knowledge and planning** alone were assessed to mount up to USD 9.2 billion in the year 2015. Average investments between 2015 and 2050 are projected at 7 billion USD per year. Due to the expected strong increase in Human Development Index (HDI) in many regions of the Global South, annual costs are projected to decrease significantly up to 2030 (da Costa & Kropp 2019).

Based on the data tracked, the majority of urban adaptation finance was channeled to water and waste management projects, USD 761 million annually, followed by disaster risk management with USD 323 million in 2017-2018 (CCFLA 2021a). According to the same report, several projects are involved in more than one sector. The growing trend of applying a more holistic approach in climate projects is also well reflected in **ICLEI's Transformative Actions Program**⁷, a global pipeline of projects, representing approx. USD 374 million investment needs for urban adaptation projects.

Funding sources

Most of the urban adaptation measures are financed through public sources. According to the recent report of **Disclosure Insight Action CDP-ICLEI** (2021), cities reported that their adaptation actions are funded by regional and national governments or through bilateral country and inter-city collaboration. While public finance is so dominant, from the local governments side there is a clear demand for more private sector engagement, 75% reporting the intention of such a collaboration in the next two years.

The CDP-ICLEI report (2021) also highlights a serious financial gap between the urban adaptation needs and investments, amounting to around USD 70 billion per year.

Zooming in on the main funding actors, the findings of the **Cities Climate Finance Leadership Alliance** report on urban adaptation finance (CCFLA 2021 a) are very much aligned with the evidence provided by CDP-ICLEI. According to their analysis in 2017-2018, **multilateral Development Financing Institutions (DFIs)** provided the majority of urban adaptation finance. This was followed by **government budgets** and **agency funding** at USD 313 million and **bilateral DFIs** at USD 263 million annually (CCFLA 2021a).

When looking at international public finance, International Financial Institutions normally do not have a direct interaction with local and regional governments, but channel funds through sovereign loans, national banks, specific urban development funds, and private-sector lending and public-private partnerships (PPPs). Regarding adaptation, related financial resources flowing through **Multilateral Development Banks (MDBs)** are on a strong upward trend, totaling around USD 14.9 million to adaptation finance in 2019, which represent 24% of their climate contribution (EBRD 2020). Still, there is no information on how much of this was targeted to urban action. At the regional level, institutions like the **European Investment Bank**

⁷ <https://tap-potential.org/>

(EIB) have increased their role in the last few years. In April 2018, the Bank launched the **Climate Resilience Solutions Fund (CRAFT Fund)**, the first EIB-supported investment fund dedicated to climate change adaptation, mobilizing EUR 24 million investment for adaptation.

Another big group of international public funding sources, the **UNFCCC Climate Funds**, are also not directly accessible for local governments, but operate through their accredited entities such as international organizations or designated authorities. They have launched multiple programs in the past years that support local communities' adaptation measures. The Adaptation Fund, for example, has granted USD 830 million for 121 projects in 2021. Most of these funds were destined to agriculture, food security and water management sectors. The **Green Climate Fund** devoted USD 2.6 billion to adaptation in 2020 through initiatives such as Simplified Approval Process (SAP), which can grant USD 10 million to small-scale projects.

The **European Union (EU)** has established itself as a critical financing player and fosters the importance of climate adaptation actions at the local level through the **EU Adaptation Strategy**. The EU and its Member States increased their overall climate finance support to third countries (outside of the EU) by 7.4% in 2019, reaching EUR 21.9 billion and within this predominantly focusing on climate change adaptation effort (EC 2021).

The importance of **Project Preparation Facilities (PPFs)**, managed usually by the above listed institutions, are gaining more attention and acknowledgement to support local projects in becoming bankable. These PPFs work directly together with local governments, understanding their needs and bridging this to funding opportunities.

Drawing on insights from Europe, the relevance of **National Adaptation Strategies** for funding domestic local adaptation is very limited. The majority of existing NASs/NAPs do not have any dedicated budgets for implementation, and only nine EU MSs have dedicated budgets explicitly earmarked for knowledge provision and capacity-building at lower levels (EC, 2018c; EEA 2017a). However, a number of national European governments have set up tailored programs to assist in the development of local adaptation plans, or to provide direct funding for municipal climate-proofing projects (Denmark), or to use revenues from auctioning carbon allowances to fund local adaptation measures. **Local authorities' own resources** are by far the most frequently used source of funding for planning and implementing adaptation, followed by **funding from national or subnational levels**. This dependence on own municipal budgets highlights the overriding importance of achieving mainstreaming at city level. Other funding sources, including the private sector, public-private partnerships, research projects, non-scientific projects, EU funds and international assistance play a comparatively modest role (EEA 2020a, Aguiar et al. 2018).

Compared to the public funding sources described above, in spite of the huge variety of actors, and the growing interest of the local governments, the participation of the **private sector** in urban adaptation projects is still low. This is mostly due to the unsupportive municipal policy and market environments for investments, unclear legal and regulatory infrastructure, uncertain benefits of technology, and limited technical capacity related to that technology.

The typical climate finance private sector players are: commercial financial institutions, insurance companies, corporate actors, institutional investors, philanthropies and foundations.

Due to confidentiality and different categorization, it is particularly difficult to track private finance, but according to the **World Bank Group (2020)**, private participation in adaptation investments focuses mostly on financial and business climate risks services. The same analysis states that, regarding adaptation sectors, private actors devoted most of the funds (70%) to water and waste management, which is very similar to the public sector. In terms of regions,

investments were concentrated in high-income countries such as Canada and the United Arab Emirates.

No single source of funding is sufficient to cover the anticipated costs of urban development. Local and regional governments need to blend a mix of public and private funding from international, national, local, and community sources. Diversified investment sources may have benefits, such as a better connection to local needs, initiatives designed upon existing structures and expertise, and a targeted approach at essential sectors.

Financing Instruments

The financing of urban adaptation projects largely depends on **local and regional governments' ability to mobilize revenue**.

Local and regional governments can mobilize finance for their investments through two channels: external and internal. Internal means to generate financing through their own operations and revenues, while external sources can include equity, loans/debt, de-risking instruments and grants. However, particularly in the Global South, local and regional governments often face regulatory restrictions that undermine their ability to explore all the financing instruments.

In the context of urban climate adaptation, **grants, loans and equity** emerge as the main financing instruments. These three products are usually combined with risk mitigation mechanisms such as **insurance and guarantees**.

The analysis of the Transformative Action Program TAP project pipeline shows the high representation of grants and of financing local adaptation projects through their own local government budget. This confirms the barriers and clearly demonstrates that local and regional governments tend to opt for these options to overcome challenges such as high bureaucracy and regulatory limitations. In this regard, the example of **Makati City, Philippines**, provides some insights of how local governments in the Global South can successfully address these barriers through **incorporating adaptation** into the core administrative bodies and policies, and allocating budget in their **Annual Investment Program**.

Barriers and challenges

The challenges that climate change poses to local governments include the fact that a large share of them are located in Global South countries (GIZ 2017), and that these face **multiple barriers to access climate finance**. This is mainly due to lack of fiscal and technical capacity and to weak political support. In terms of external factors, the priority of national policies and the complex procedures of international funding are additional challenges.

Regarding adaptation, the situation is even aggravated as - in addition to the above listed barriers - there is limited acknowledgement of the importance of this topic, which leads to the absence of resources to strategically integrate climate adaptation measures into local budgeting and planning. Furthermore, as already mentioned above, the lack of creditworthiness, transparency, high level of corruption and uncertainty, and the low or no revenue generation potential of adaptation projects **keep the engagement of the private investors low**.

The **disruptions caused by Covid-19** added a new constraint to cities, especially in the Global South, which had to shell out more money on health, let alone decrease their revenue due to the subsequent economic crisis. The reduced revenue led to making cuts in the budget and hard financial choices, undermining the advance of climate change related projects (CCFLA 2021).

Experience from Makati City, Philippines shows the organizational needs and efforts to identify and tackle these barriers actively by city administration and city representatives.

Opportunities and recommendations

To overcome the above listed challenges, first, it is important to raise ambition on adaptation both at global and local levels. This will enhance the quality of the policies delivered and reduce the vulnerability to climate risks, contributing to a wiser allocation of resources and more effective measures.

Financial institutions must work on scaling up investments and technical assistance, while national governments must concentrate efforts on designing **integrated National Determined Contributions** (NDC), implementation, and enabling access to funding opportunities to local and regional governments.

At the local level, it is suggested that local governments understand how to optimize and use their own sources, in order to be less dependent on external financing. Taxation, land, building permits and assets are usually the strongest instruments **Local and Regional Governments** LRGs have, and they can be used in innovative ways to generate revenue. As not all the burden can be carried by the citizens, it is critical to increase the private sector engagement. Tools, such as **Land Value Capture** (LVC), that combine both public and private sources are becoming popular and show proven success also in the Global South.

To make adaptation projects financially more attractive it is critical to have a strategic, holistic and multi-sectoral approach to leverage revenue. Prioritizing solutions that **connect mitigation and adaptation** by employing the revenue generated in mitigation to adaptation measures will allow local governments to curb climate change while coping with its impacts. Among others, such solutions are **carbon pricing, revolving funds, and municipal bonds**.

To lower risk besides blended finance, one should look at **project aggregation** as a potential way to reduce risk, which can also lead to other co-benefits, reduce trade-offs, and create synergies that increase the project's chances of success.

Insurance funds can be a major source of funding for adaptation. In this case, local and regional governments can rely on insurance capital not only to adapt to physical hazards, but also to reduce the climate-related losses.

To have a well-functioning financing system, capacity building, investments tracking, reporting and verification tools emerge as crucial steps. As is also highlighted through the case study of **Makati City**, when there is an enabled environment, and adaptation is prioritized in the decision-making processes, the private sector is also ready to engage.

Data constraints, research gaps, methodological limitations

There is a lot of uncertainty and complexity regarding the collection of data on urban adaptation finance. The lack of high quality data on sectors like water, waste, land use and forestry as well as the limitations to access information on adaptation finance due to its context-specific character represent two of the main obstacles. Tracking subnational finance is in general challenging as local governments, particularly in the Global South, rarely have a complete, consistent database and do not report in a transparent way. Tracking, aggregating, and reporting adaptation finance also pose methodological challenges, since different institutions apply multiple methodologies and countries use different definitions and methods. It is also challenging to differentiate urban climate finance since this categorization is not always considered. 'Silent adaptation', which includes all adaptation actions that are not recognised as

such, is not quantified (and hardly detectable), and it is difficult to evaluate the adaptation 'part' in some projects. In terms of knowledge gaps, estimating adaptation costs of measures and actions needs to be improved, especially at the local level, and there is an urgent need to improve tracking, methodologies and data on urban adaptation finance.

Methodological recommendations

Good practice requirements for metrics and useable databases on **adaptation costs and financing** should be developed and widely agreed upon. They must define costs well in technical terms, make them allocable in time and space, and classify them according to cost types (e.g. investment, operation, planning, administrative, financing costs, revenues and expenditures for the public sector, economic benefits, economic "external" costs) and cost status (e.g. estimated costs, planned costs, opportunity costs, avoidance costs, actual costs incurred). Such mutually agreed requirements should be standard for large funding programs or international institutions dealing with climate change adaptation financing. The publication of comprehensible and well-documented costs and funding would not only improve transparency, but would also be a great benefit for the learning curve on adaptation costs for all involved actors.

In principle, methodological improvements in knowledge-building on the financing structure of climate change adaptation of cities are particularly necessary in four areas:

- ▶ Forward-looking assessment of **local climate adaptation needs** for an assumed period of time and an assumed development of framework conditions, starting from the already achieved status quo of a city's resilience.
- ▶ Estimating the **expected costs of adaptation measures**, including by means of scenarios and at relevant levels of detail, and evaluating the 'additionality' of adaptation-related costs relative to measures under other municipal tasks and policies.
- ▶ The **expected financing structure** with regard to the **allocation of adaptation costs** to (public and private) actors at different governance levels. Synergies and counterproductive effects between adaptation measures and with other objectives and policies can have an influence on costs and financing structure, and should thus be considered.
- ▶ The **current and expected financing capacities** and **implementation risks**, which depend on the economic situation of a city, its actors, and the respective region and country. In particular, cooperation in the financing of adaptation, mitigation, disaster risk reduction and recovery should be strived for.

It is further recommended i) to continue investing efforts in **data mining and analyses of existing databases** (NAZCA GCAP, CDP, GCoM, CoM Europe) with city-specific datasets, ii) to further **explore cost-scaling methodologies based on empirical collections of adaptation projects** (cf. da Costa & Kropp 2019), and iii) to conduct **further research on combining top-down and bottom-up approaches** to the estimation of costs and actual expenditures for adaptation in public budget plans of authorities.

To methodically deepen the understanding of the complexity and dynamics related to urban adaptation financing, including the diversity of measures, governance systems, and regional or local situations, and to derive validated insights e.g. for the planning of new financing options, it is recommended to establish a **multilevel learning process** on monitoring urban climate change adaptation financing. This should encompass a broad spectrum of concrete adaptation projects, funding sources and funding instruments in different regions.

Recommendations addressed to the German International Climate Initiative (IKI)

To strengthen urban adaptation in the **International Climate Initiative (IKI)** of the BMUV, a set of recommendations has been derived from the findings and lessons of the present report. The **recommendations** address and elaborate on the following **strategic directions**:

- ▶ Encouraging active involvement of LRGs
- ▶ Promoting collaborative climate adaptation (by channeling funding towards multilevel and horizontal governance mechanisms and coordination capacities)
- ▶ Directing more climate financing toward cities and scaling up funding for integrated urban climate action
- ▶ Adopting a two-pronged approach for integrating adaptation in urban areas (by capitalizing on existing decentralization processes and structures, and by providing support towards such decentralization)
- ▶ Contributing to closing the adaptation finance gap (by means of targeted support measures that improve access of cities to funding)
- ▶ Bridging the urban-rural divide (by supporting EbA solutions at landscape-scale)
- ▶ Strengthening alignment of initiatives in climate adaptation, green recovery and development at all levels
- ▶ Investing in monitoring of investments, data collections and multilateral learning processes

A.1 Introduction

A.1.1 Problem setting

Adaptation has been formally recognized as a major global challenge at equal level with mitigation of climate change for the first time by the Paris Agreement (UNFCCC 2015). The Agreement adopted at COP 21 in 2015 settled an objective of limiting the global temperature rise to less than 2°C above pre-industrial levels, which requires the development of adaptation plans and an intensive engagement at the national, local and regional level on joint action. Adaptation targets were included in 75% of the Nationally Determined Contributions (NDCs) and focused mainly on water, agriculture and health (Climate Policy Initiative 2018: 7).

The Paris Agreement highlighted the urgency of addressing climate change through adaptation measures in local communities, requiring transparency and stakeholder engagement. This represented a milestone in climate international governance since, for the first time, an international agreement signed by national governments recognized the importance of local and regional governments to tackle climate change also through adaptation. It also encouraged countries to rely on National Adaptation Planning (NAP) as a way to establish adaptation priorities in the medium term.

The Paris Agreement, which formally recognizes for the first time both the vulnerability to climate change and the need to respond to climate change through adaptation, has placed local governments at the centre of the international debate on the topic. It is increasingly recognized that local and regional governments (LRGs) are at a crucial, necessary and adequate level when it comes to coping with the impacts of climate change (Allen et al., 2018: 51; IPCC, 2014, 2018; O'Brien, 2017).

COP 26 confirmed the adaptation's momentum. The conference, which took place in November 2021 in Glasgow, put both adaptation and resilience in the spotlight by linking the global goal on adaptation with an effective implementation of the Paris Agreement and with USD 450 million pledged for adaptation measures at the local level. It also recognized the underfinanced aspect of adaptation, setting an unprecedented goal for developed countries to double the funding provided to developing countries for adaptation by 2025, taking the annual figure to around USD 40 billion.

The Glasgow Climate Pact emphasised the need to scale up adaptation actions, including finance, technical capacity and technology transfer, strengthening resilience and reducing vulnerability to climate change. It also urged parties to incorporate adaptation into local, national and regional planning.

By 2050, the World Bank estimates that between USD 11-20 billion will be needed on an annual basis to protect global urban infrastructure from climate risks (WRI, 2019). Nonetheless, there is a serious gap between how much money should, and could potentially, be - and how much actually is - invested in local intervention projects. According to CPI (2021), adaptation finance remains thus underrepresented (7.4%) compared to mitigation efforts.

Studies have shown that the costs for adaptation in developing countries must be expected to be significantly higher when systematically considering the investments required for financing the early phases of adaptation processes. According to da Costa & Kropp (2019), the costs for building adaptation capacities by means of knowledge and planning activities are systematically overlooked or underestimated in traditional modelling approaches, in comparison to the actual implementation costs of climate-proofing infrastructure. The study also projected strong

reductions in annual costs associated with building the knowledge base and planning in developing countries up to 2030 (from 9.2 to approx. USD 6 billion per year). This is due to the expected fast increase in Human Development Index (HDI) projected for Asian, Oceanian and American countries (Patt, Tadross, et al., 2010).

The impact of climate change on LRGs are considerably high, but they often lack financial resources needed to foster the necessary adaptation measures. In particular in the Global South, subnational governments face constitutional barriers that restrict their access to international finance, which leads them to rely on national decisions and financial instruments to access international financing. (Restle-Steinert et al 2019: 9) In addition to that in emerging economies most of the local governments lack the fiscal capacity and the creditworthiness needed to apply for and access funds. Pre-financing or co-financing is usually not affordable. Yet, even when there are financing or project preparation opportunities, local governments often lack information on these. Today's financial architecture is complex and not easy to navigate, nor is it easy to define the right financial instrument. Besides the insufficient knowledge and understanding of innovative financial mechanisms, like green bonds, emerging countries are either not eligible or reluctant to use them.

Local governments are seeking support for their urban projects at all stages – already from early project concept to final implementation and financing. Many struggle and get stuck in the very first stages of project preparation, scoping and project definition, as it is hardly possible to get finance for this phase.

Adaptation to climate change is a complex, cross-sectoral, multi-level and multi-issue policy field that concerns all sectors of society and requires coordinated action at multiple levels, from national governments to local actors. To be initiated, planned and implemented, adaptation measures need effective governance, i.e. organisation of government hierarchies, structures and processes to allocate resources, to coordinate actions, and to ensure effective, coherent and continued implementation. The Paris Agreement stresses the importance of multi-level governance in adaptation, stating that 'Parties recognize that adaptation is a global challenge faced by all with local, subnational, national, regional and international dimensions, and that it is a key component of and makes a contribution to the long-term global response to climate change to protect people, livelihoods and ecosystems' (UNFCCC, 2015). Local adaptation is thus embedded in a broader governance context, in which cities both are influenced by higher governance levels and can themselves drive change (EEA 2020a).

Establishing a governance framework for implementing adaptation essentially entails organising and steering communication, cooperation and coordination between multiple actors, sectors and levels by putting into place appropriate structures, rules, mechanisms, arrangements and formats. The governance of adaptation is inseparably connected to the acquisition, provision and allocation of adequate resources. Coordinating, planning and implementing adaptation measures requires sufficient personnel, work time and financial resources, and these need to be ensured in the long-run. The financing of adaptation is thus an essential part of any urban adaptation governance system. It is tightly entangled with issues like division of competences, responsibilities and roles within local administration and between different administrative levels, the engagement of stakeholders and private actors, the mainstreaming of adaptation into sectors and their respective budgets, or the balancing of incremental costs with the economic, environmental and social values produced.

Local adaptation research has consistently shown that most of the barriers and opportunities of urban adaptation are related to financing and governance. How these two dimensions exactly relate to each other is, however, still poorly understood and likely to be dependent on contextual

specificities. Better understanding of the interplay between governance and financing of local adaptation in complex urban systems is thus crucial for effective adaptation and for providing cities with the best possible support. Therefore, this report analyses aspects of the governance and financing of urban adaptation in an international context and explores linkages between the two.

A.1.2 Objectives and research questions

Objectives

WP7 of the project 'Climate-oriented Urban Development' deals with the governance and financing of urban adaptation and has pursued the following main objectives:

- (1) Investigating the governance of urban climate adaptation and the role of cities and urban actors in financing local adaptation**
- (2) Investigating national and international finance flows and financing shares for adaptation in cities**

A further goal connected to both objectives is to deliver preparatory work for improving the tracking of urban adaptation finance flows and methodological approaches for estimating urban adaptation costs.

Research questions

With regard to both main objectives, the following overarching research questions have been formulated to guide the literature review and the analysis:

(1) Governance of urban adaptation and its relation to financing

- What are generalizable characteristics of urban adaptation governance systems (interplay of actors, structures, levels, sectors, interactions / processes, rules / arrangements / mechanisms, resources)?
- How is policy-making, planning, implementation, and financing of urban adaptation measures organised at city level, across levels, across sectors, and between cities? Which generalizable models, commonalities and differences do exist regarding the horizontal and multi-level governance of adaptation in cities? How do they relate to the financing of adaptation actions in cities?
- What can be learned about barriers, facilitating factors and enhancement options for the governance and financing of urban adaptation? What can be learned about knowledge gaps, research needs and possible methodological approaches for improving the respective knowledge base?

These research questions have been further concretised by more specific questions related to the following analytical main dimensions:

- Horizontal governance of adaptation at city level
- Governance of financing at city level
- Multilevel governance of urban adaptation: vertical coordination and collaboration between international, national, subnational and local levels

- Role of regional governance, city-to-city / city-to-region collaboration, city networks
- Lessons learnt from reviewing the literature and databases

(2) Financing of urban adaptation

- What is the role, share and potential of national and international financing for urban adaptation?
- How much of urban adaptation costs i) is currently covered and ii) can reasonably be expected to be covered by cities themselves?
- What is needed for improved tracking and quantifying of finance flows for urban adaptation, and how feasible are respective efforts?

These research questions have been further concretised by more specific questions related to the following analytical main dimensions:

- Funding of urban adaptation: What is funded? How much financing goes to adaptation in cities?
- Financial actors and sources at different levels
- Financing instruments and their use
- Access to funding (barriers, facilitating factors)
- Data constraints, knowledge gaps, methodological limitations
- Options to enhance tracking of finance flows and estimation of costs
- Options to up-scale financing

The complete catalogue of research questions is contained in the annex to this report (section 7, annex 1).

A.1.3 Concepts and definitions

Adaptation is the process of adjustment to actual or expected climate and its effects. In human systems, adaptation seeks to moderate or avoid harm or exploit beneficial opportunities (IPCC 2014).

Urban climate change adaptation refers to activities, local projects and interventions that aim to maintain or increase the adaptive capacity and resilience of cities and urban communities in response to climate-related risks affecting them directly (CCFLA 2019). In practice, it encompasses measures that reduce urban systems' exposure to anticipated future climate related risks, contain or reduce vulnerabilities, and avoid or mitigate the (current and anticipated) adverse impacts of climate change.

Climate resilience is the ability of a system, community or society exposed to hazards to resist, absorb, accommodate, adapt to, transform and recover from the effects of a hazard in a timely and efficient manner, including the preservation and restoration of its essential basic structures and functions through risk management (UNDRR 2017). This may include the capacity of systems to respond or reorganise in ways that maintain their essential function, identity and

structure, while also maintaining the capacity for adaptation, learning, and transformation (IPCC 2014a).

The terms adaptation to climate change and climate resilience are often not strictly distinguished, but rather used in interchangeable ways in the grey climate change literature and in the related policy discourse. The concept of resilience to climate hazards, such as extreme weather events, is more strongly rooted in the risk management and disaster risk reduction community. Use of the concept also by the climate adaptation community has become increasingly common in the course of international efforts and developments to increase coherence between climate adaptation and disaster risk management (DRM) policies, following the UNDRR Sendai Framework (UNDRR 2015) and a shift of the IPCC from the climate vulnerability concept to the concept of climate risk (IPCC 2014b). At the same time, the uncertainties inherent in the prediction of extreme events, amplified or driven by climate change, and in the estimation of related impacts, have challenged established paradigms in disaster risk management. “Building resilience in society networks and infrastructures entails more focus on the first two elements (prevention and preparedness) of the DRM cycle, in order to prepare for and prevent the effects of extreme events and to build resilience, which will be needed to quickly cope and recover when these events occur” (EEA 2017b). The concept of climate resilience plays a central role in the context of international negotiations within the work area ‘Loss and Damage’ under the UNFCCC process, where costs for reconstruction and recovery from the impacts of climate-driven disaster events are often referred to as ‘resilience costs’. While this may have technical implications for accounting of international climate financing flows, this report does not systematically distinguish between ‘adaptation financing’ and ‘resilience financing’, but uses ‘adaptation financing’ as the broader umbrella term, reflecting also the blurred and often synonymous use of both terms by climate finance actors and in the respective literature.

Adaptation actions vary according to geography, local context and reality. Different approaches to categorisation of adaptation options exist. The IPCC (2014b) clusters adaptation options in i) institutional (economic, government policies and programs, laws and regulations), ii) social (behavioural, educational, informational), and iii) structural/physical (engineering and built environment, technological, ecosystem-based, services) main categories. Another often used approach classifies adaptation options into i) soft, ii) green (nature-based, ecosystem-based), iii) grey (technological, structural, engineering), and iv) hybrid measures. Apart from these taxonomies, adaptation measures can be incremental or transformational. The former means initiatives that add features to the current practises in climate change management, where the central aim is to maintain the essence and integrity of a system or process at a given scale, while the latter consists in developing new strategies to address climate issues, where adaptation actions change the fundamental attributes of a system in response to climate and its effects (Restle-Steinert et al 2019: 11; IPCC 2014a). The aim of transformative adaptation is broader and systemic, since it tries to address the root causes of climate change vulnerability (EEA 2017b). This integrative and long-term approach to addressing climate change impacts has the potential to transform cities into attractive, climate-resilient and sustainable places (EEA, 2016).

Urban adaptation finance is understood as financial resources used to build or strengthen urban systems to withstand climate-related risks faced by cities and/or to build capacity to cope with and recover from those impacts (WRI 2013). Some measures have dual benefits, targeting both mitigation and adaptation outcomes (Climate Policy Initiative 2019). Funding of adaptation refers to money provided free of charge by public or private bodies for the implementation of a specific adaptation policy goal or action, e.g. as a grant. A repayment of the provided capital is not required, however there are specific contractual requirements to ensure the funds are used

as intended. Financing of adaptation on the other hand refers to the provision of capital with the liability to repay at a later stage (debt instrument) and usually incurs a "cost" - percentage of interest. It is usually provided as a loan or other type of financing instrument, commonly by a financial institution (EEA 2021b).

Governance is a complex and somewhat fuzzy concept that has been defined in a diversity of ways by different scholars. On a very general level, it can be framed as a goal-oriented process for steering collective affairs. Governance is the sum of the many ways individuals and institutions, public and private, manage their common affairs. It is a continuing process through which conflicting or diverse interests may be accommodated and cooperative action may be taken. It includes formal institutions and regimes empowered to enforce compliance, as well as informal arrangements that people and institutions either have agreed to or perceive to be in their interest (Commission on Global Governance 1995). This includes the way in which government hierarchies and structures are organised to allocate resources, and to exercise control and coordination (Rhodes, 1996). Modern governance systems are thus not centralised, vertical 'command and control' but consist of dispersed networks across multiple centres of authority (Hooghe and Marks, 2003). Governance does not substitute the more regulatory, hierarchical, top-down forms of traditional governmental decision-making and planning. Rather, it widens this understanding by putting a much stronger emphasis on non-hierarchical, collaborative, participatory, voluntary and informal modes of collective decision making and steering as well as on facilitating, enabling and empowering actors. Both approaches are complementary rather than exclusive. A governance system is composed of elements such as: actors (organisations, individuals; public, private, intermediate), structures (bodies, working groups, networks), levels (government, administration, territorial), sectors, institutions (rules, agreements, arrangements), resources (financial, human, knowledge), and the processes interconnecting them (e.g., information, communication, decision making, financing, participation, implementation, reporting) (Pütz et al. 2019). Coordination needs to be both vertical and horizontal.

Climate governance – in other words, the way that climate-related decisions are made and implemented – relates to purposeful mechanisms and measures aimed at steering social systems towards preventing, mitigating, or adapting to the risks posed by climate change (Jagers and Striiple, 2003, cited in IPCC 2014a). It is described in the constitution, in laws, and in regulations for setting and meeting climate targets. Moreover, any input and contribution from third parties, including civil society and enterprises, is an element of climate governance (Zimmermann et al., 2020).

Climate adaptation governance is defined here as the structures, processes and interdependencies that determine how actors (from public administration, politics, science, business and civil society) make decisions, share power, exercise responsibility, and ensure accountability regarding adaptation to climate change. Climate adaptation governance is about the horizontal interplay of sectors and the vertical interplay of policy levels. Climate adaptation governance requires mandatory (formal) and voluntary (informal) cooperation between actors, across sectors and across policy levels and is regionally specific and context-sensitive (Pütz et al., 2019; Knieling 2017, Okereke et al. 2009). Governance is important in all stages of the adaptation policy cycle, starting with the initial set-up of the adaptation process, but the need for both horizontal and vertical coordination increases when countries advance to the implementation and evaluation stages (Climate-Adapt 2021a). In the understanding used in this report, the term "adaptation governance" covers both, adaptation to climate change and to climate variability.

Multi-level governance (MLG) has become a mainstream approach to develop, decide, establish and implement climate change action. The concept of MLG refers to steering mechanisms involving increasing connectivity between spheres and levels of governance. MLG recognizes the influence of government institutions operating at different scales, as well as diversification of actors from the private sector and civil society intervening in public issues (Westman et al., 2019, p. 14). As climate change affects all levels of governmental, administrative and territorial organisation, ranging from the global and national level to sub-national, regional and local/city levels, all levels thus have to plan and take anticipatory action on climate adaptation within their respective sphere of authority. Since all levels are interlinked through multiple interactions and processes, adaptation is a typical multi-level governance task (Climate-Adapt 2021a) Multi-level governance of adaptation thus relates to the ways that actors on various levels interact, communicate, cooperate and coordinate their decisions and actions. Implementing adaptation across levels of governance in a coherent and effective way requires adequate mechanisms and arrangements for coordination.

Vertical coordination mechanisms refer to institutions and processes (e.g., informing, co-developing, decision-making, funding, monitoring) in place to support diffusion, integration and implementation of adaptation through multiple administrative levels. This means that information and activities related to adaptation are exchanged and coordinated effectively within and across policy areas, from the national to the subnational levels, and vice versa. Mechanisms, instruments and formats of vertical coordination may comprise legal requirements for lower-ranking levels, joint cross-level steering groups, cyclical work plans linking different levels, and reporting obligations, or more informal consultations and voluntary agreements between levels.

In the literature as well as in policy practice, different meanings, assumptions and objectives are associated with **climate adaptation mainstreaming** (Runhaar et al., 2017). Mainstreaming can be understood as a specific form of environmental policy integration (following: Adelle and Russel 2013; Massey and Huitema 2013; Runhaar et al. 2014). Following Persson et al. (2018), environmental policy integration is the incorporation of environmental concerns and objectives into non-environmental policy areas, such as urban planning, transport and agriculture, in contrast to pursuing such objectives solely through environmental policy practises. Thus, mainstreaming climate adaptation can be understood as the incorporation of climate adaptation concerns and objectives into other, environmental and non-environmental policy areas (Runhaar et al., 2017). Ideally, it means integrating adaptation into all levels of sectoral policy-making, from policy agendas, legislations, strategies, programs and plans to budgets, projects and daily working routines. These different levels of mainstreaming can complement and reinforce each other.

Mainstreaming requires **both vertical and horizontal approaches**. Following Lafferty and Hovden (2003) **vertical integration** is understood as “*the extent to which a particular governmental sector has adopted and sought to implement environmental objectives as central in the portfolio of objectives that the governmental body continuously pursues*”. Thus, vertical environmental policy integration refers to the extent to which governmental sectors have taken on board and implemented environmental objectives in sectoral objectives (Lafferty, 2004). Vertical integration requires the creation of strategic linkages between national and subnational adaptation planning, implementation, monitoring and evaluation and involves the delegation of authority (from national to local level) to initiate climate adaptation action on the ground (Zimmermann et al., 2020).

Horizontal (policy) integration involves the question of integrating environmental concerns across sectoral areas of responsibility within governments (Lafferty, 2004). It is required to achieve alignment and consistency in objectives and policies (Rauken, Mydske, & Winsvold, 2014). Connected to this is also the expectation that successful horizontal integration of adaptation concerns at a higher level then ‘automatically’ leads to downward proliferation within the given sector along the vertical dimension (‘diagonal governance’); an example is the mainstreaming of adaptation in water policies at EU level, which has forced adaptation also on national water policy agendas of Member States. The uptake and implementation of adaptation goals and measures in sector policies is essential because climate change affects virtually all sectors of administration and socio-economic activities. As a result, adaptation cannot be performed in isolation from existing policies (e.g. legislation, funding systems), management structures (e.g. networks) and processes (e.g. in decision making) of other sectors, but has to be implemented to a large part through sectoral lines of action. Horizontal integration of adaptation into other policy areas is therefore a major instrument in adaptation policy making. This involves setting up institutional or organisational structures, or designing and implementing programs, plans and projects in a way that they ‘inherently’ take adaptation into account.

Horizontal governance is a main means of achieving horizontal (policy) integration. This requires **horizontal coordination** mechanisms, i.e. institutions, processes and rules that determine how actors responsible for different policy areas at the same administrative level, either within the same organisation or from different organisations, exchange information, cooperate, and coordinate their adaptation activities so as to ensure that adaptation efforts result in coherent action. This entails collaboration and networking with sectoral organisations, departments and stakeholders to generate shared understanding and knowledge, develop competence and steer collective issues of adaptation.

Governance of urban adaptation is happening within the triangulation of public actors (governmental authorities), markets and civil society with varying forms of power and influence of these three forces (Driessen et al. 2012). A main role of governance in societal systems is to bridge the gaps between the three poles of this triangle by delivering cooperation and coordination (Grand 2012). As a public good, nature issues have traditionally been governed and managed by public actors, mostly central and local governments (centralized and decentralized governance). Over the last decades, we have seen a shift from top-down approaches to increasing engagement of private actors (i.e. citizens, businesses) in environmental governance and planning, for reasons of efficiency and innovation. This has given rise to new governance arrangements where the role of public actors has changed from a leading to an enabling one, such as public-private, interactive or self-governance (Mees, 2016, Wilk et al., 2021). Increasing co-governance with the private sector and the public is also reflected in emerging innovative co-finance and blended finance instruments. However, considerable knowledge gaps remain in cities with regards to the implementation of such inclusive governance models that engage citizens and businesses in the design, planning, implementation, and evaluation of measures (McQuaid et al., 2021).

A.1.4 Remarks on the present report

The report at hand presents findings on the governance and the financing of urban adaptation at global scale. It is based on a comprehensive **literature review** and the **analysis of databases** as well as on results of the **analysis of the authors** based on these sources. When selecting the most relevant literature, priority was given to meta-studies, review studies, multi-country assessments and comparative case studies with large numbers of cases.

Benefitting from a well-established information and knowledge base with global scope, the geographic focus of the report part about the **financing of urban adaptation** (section 3) is predominantly on the Global South, complemented with available in-depth insights about financing urban adaptation in European cities, whose re-analysis may offer some learning potential also for cities in developing countries.

As regards the **governance of urban adaptation** and exploration of its linkages with financing, information about the Global South is presented in a reasonably balanced manner alongside findings from larger Europe. The accessible knowledge base especially on specific aspects of adaptation governance and adaptation policy-making is considerably stronger for the Global North, and particular in Europe, whereas there is a comparative lack of respective meta-studies with broad coverage of cases and world regions for the Global South. However, the authors have selected and used a number of prolific and useful academic assessment studies to extract and analyse relevant information about horizontal and vertical governance issues that are specific to cities in countries and regions of the Global South, including the most comprehensive review of world-wide scientific evidence on human adaptation interventions ever undertaken (Berrang-Ford et al. 2021).

To deepen the focus on cities and to get an even broader overview of the state of urban adaptation and its progress along major stages of the adaptation policy cycle across the globe, the authors tapped the **most relevant international databases and web portals** dedicated to gathering, recording and tracking data on adaptation in cities. These include the NAZCA GCAP portal, the CDP-ICLEI Unified Reporting Platform, the Transformative Actions Programme (TAP) led by ICLEI, the Global Covenant of Mayors (GCoM), and the Covenant of for Climate and Energy (CoM Europe), including its non-European chapter. While for some respective datasets it was possible to conduct a more detailed analysis, in other cases publicly available data that were accessible through online portals were retrieved and processed at a highly aggregated level. However, further acquisition and deeper examination of more detailed datasets would have required consultations with database holders and efforts for preparing such data for analysis, which has not been feasible within the scope of the given project. As the selective assessment of the cities dataset of the CDP Unified Reporting Platform, the project pipeline database of the TAP programme or the study by da Costa & Kropp (2019) has proven, there remains large potential to invest more efforts in data mining and analyses of existing databases. This points to research needs for follow-up projects.

In order to compensate for the aforementioned lack of systematic meta-studies about the governance of urban adaptation with broader geographic coverage across the Global South, **case studies** have been selected and used throughout the report to illustrate and exemplify specific aspects of urban adaptation, its governance, and its financing in developing and emerging countries. A systematic cross-analysis of available case studies, their experiences and lessons could contribute much to filling in respective knowledge gaps and to informing international climate financing initiatives in the future.

The authors have deliberately abstained from leaving completely aside findings and experiences from Europe and the Global North, because this would have meant ignoring a wealth of experiences, lessons and related literature from countries and cities that partly have already a track record of adaptation dating back for more than a decade. One argument having been voiced by scholars is that if adaptation does not work well in Europe and other industrialised regions, then it is not likely to work well in other global regions, for a particular reason: in comparative terms, European cities have high adaptive capacities and excellent framework conditions for adaptation, such as relative wealth, a strong degree of autonomy, stable and well-

developed institutional settings, and a comparatively well-researched history of adaptation policy making (cf. Buschmann & Steurer, 2020). On the other hand, it is obvious that transferability of good practices, or of lessons learnt from failures, respectively, to other contexts is always limited, usually needs a lot of effort for customizing, and success is definitely not to be taken for granted. The same applies to lessons that the Global North could potentially learn from the South. In any case, aggregated quantitative data about the status quo of urban adaptation and its progress (or, rather, the lack thereof) paint a strikingly similar overall picture for the Global South and Europe, and many of the identified barriers and facilitating factors are surprisingly comparable. This has supported a number of ‘universal’ conclusions and recommendations in this report.

A.2 Governance of urban adaptation

A.2.1 Overview: state of play and progress of urban adaptation

There is not one single comprehensive database that would provide a complete overview of the state of local adaptation planning and action, not at global level and not even in Europe. Instead, information needs to be extracted from a rather fragmented landscape of separate (and partly overlapping) databases with different coverage and scope, as well as from academic review studies with larger empirical samples. For the following report section, the authors tapped the very few databases offering overviews of adaptation planning and action of local governments at broader scale. At the global level, these sources include in particular the **NAZCA Global Climate Action Portal (GCAP)**, the **CDP-ICLEI unified reporting platform**, and the **Global Covenant of Mayors (GCoM)**. At the wider European level, information was retrieved from the **Covenant of Mayors for Climate and Energy in Europe (CoM Europe)**, plus secondary analysis of **assessment reports by the European Environment Agency (EEA)**.

The paucity of coherent national reporting on local adaptation - be it to the UNFCCC or to the EU - is an obstacle to understanding the status quo and taking further action (EEA 2020a). Thus, in the following sections of this report data and assessments on the status of different aspects of urban adaptation are based on separate, incomprehensive **databases of international city networks and city initiatives** as well as on **meta-studies and case studies with particularly large samples of cases**. For the reasons explained in section 1.4 above, information is reported below about cities in both the Global South and North (Europe), along with particularly instructive single cases from the Global South.

A.3.1.1 Agenda-setting and political commitment to local adaptation

Following the policy cycle concept (e.g. Jann & Wegrich, 2003) and its application to adaptation policy processes (e.g. according to EEA 2021), climate change-related issues first have to be put onto political agendas before formulation of policies, planning of actions and implementation is likely to take place. Agenda-setting denotes the related process of recognizing and addressing problems and putting it on a governmental agenda, i.e. “the list of subjects to which people and governments are paying serious attention” (Kingdon 2003: 166). Successful agenda-setting prepares the ground for an adaptation process and may ideally include key elements such as obtaining and assuring high-level political support, setting up a structured process with adequate coordination mechanisms, clarifying roles and responsibilities, estimating human and financial resources needed, identifying and collecting available information as well as communicating and raising awareness among stakeholders and citizens (Climat-ADAPT, 2021a). Political commitment to adaptation by local governments can be regarded as a clear sign that adaptation has become a local policy issue and agenda-setting has been achieved. At the same time, commitment is an expression of political relevance and political will, which are both essential enabling conditions for the development of local adaptive actions (Vogel & Henstra, 2015).

However, it must be noted that by focusing on visible and traceable political commitment or on the presence of adaptation planning documents, autonomous adaptation that may occur without explicit agenda-setting, or even unconsciously, within the regular work of single city departments remains undetected (‘silent adaptation’). Regardless of the stage in the adaptation policy process (from agenda-setting to implementation), such unreported, autonomous or spontaneous adaptation activities ‘under cover’ cannot be captured at the given meta-level of analysis. This would require different and more qualitative socio-empirical research approaches,

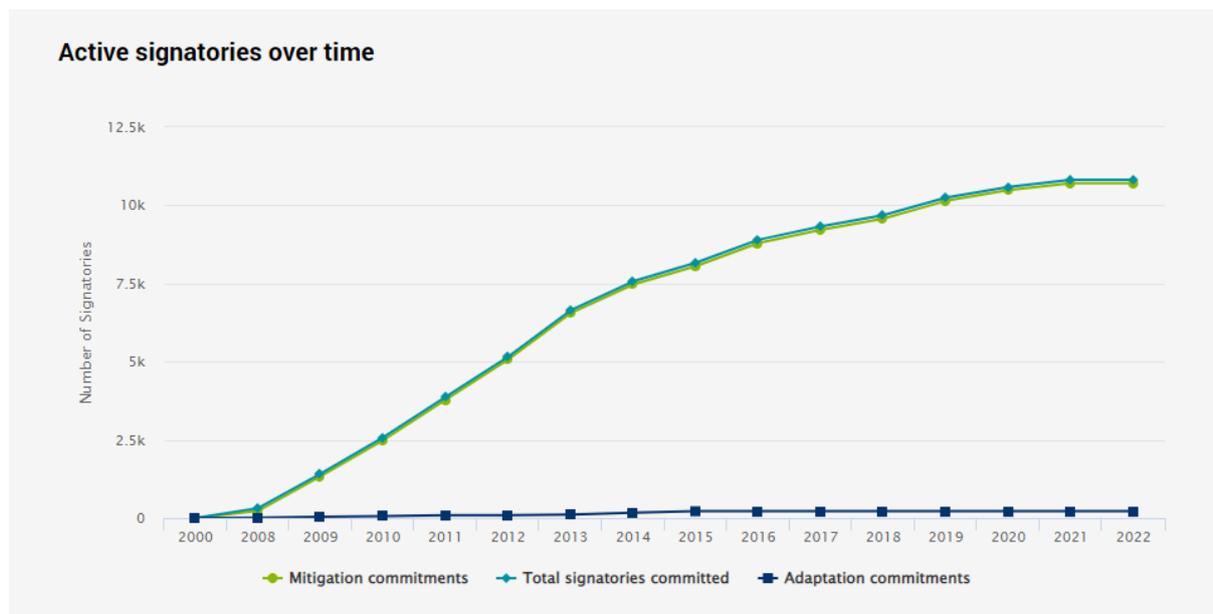
such as case studies, field work, interviews, surveys, etc. Nonetheless, political commitment to adaptation can be regarded as a prerequisite for structured, organised and coordinated adaptation planning, whereas local actions that may contribute to adaptation, but are not explicitly labelled as such, have shown to be often predominantly reactive to extreme events (Buschmann & Steurer 2020), focus on coping with acute climate impacts and their effects, lack the anticipatory, forward-looking perspective, and may thus even entail the risk of maladaptation (Lexer et al. 2016).

There is no single and comprehensive quantitative overview of the status and progress regarding agenda-setting and political commitment on adaptation in cities, neither on a global level nor in industrialized countries or Europe. However, as membership of local governments in international city networks and initiatives is a clear expression of political commitment, available data of such city networks from wider Europe (CoM Europe; including data analysis for EEA-38 member and collaborating countries by EEA, 2020a) as well as at global level are used below to give at least an indication of the status, dimension and geographical distribution of political commitment to adaptation by local authorities.

Political commitment at European level

The Covenant of Mayors (CoM) is an international city network that was launched in 2008 in Europe with the ambition to gather local governments voluntarily committed to achieving and exceeding the EU climate and energy targets. The signatories commit to submitting a sustainable energy and climate action plan (SECAP) within 2 years after the local council decides to join the initiative, outlining the key planned actions. Integration of adaptation into local climate action plans is possible and desired. Over a quarter of the population (123 million) in EEA-38 member and collaborating countries are living in local authorities committed to adaptation under the *European Covenant of Mayors for Climate and Energy (CoM)*. However, among the overall 10,819 signatory cities to the CoM Europe (including cities from non-European countries) that are currently listed as ‘active signatories’ (meaning that the local authorities meet their planning deadlines as described in their political commitments), only 216 cities (2%) have signed an adaptation commitment and appear to be pursuing it actively (CoM 2022). This clearly demonstrates that even in Europe the overwhelming focus of climate policies in cities is still predominantly on mitigation of climate change, with adaptation playing a comparatively marginal role. As Figure 1 below shows, the number of active signatories with an adaptation commitment has also stagnated at a modest level over time, in contrast to the comparatively steep increase of cities with a mitigation commitment (CoM 2022).

Figure 1: Development of number of active CoM Europe signatories with adaptation commitments and mitigation commitments.



Source: CoM (2022)

A 2018 survey among German municipalities commissioned by the German Environment Agency to assess the impact of the national adaptation strategy on the local level found that 40 % of the participating municipalities had made a political decision to adapt or were preparing such a decision. However, a majority of the municipalities did not have, and did not intend to have, formal instruments for climate adaptation (Hasse & Willen, 2019).

Political commitment at global level

In 2016 the Covenant of Mayors joined forces with the Compact of Mayors to become the Global Covenant of Mayors for Climate and Energy (GCoM), including the European chapter. Today, GCoM is the largest global alliance for city climate leadership, whose signatories are committed to working towards a low-emission and climate-resilient future. The GCoM currently has about 11,750 signatory cities worldwide, of which in total about 17% (1,941 cities) have committed to adaptation as a goal (in addition to reduction of greenhouse gases and energy initiatives). While this percentage of signatories that have officially put adaptation on their local agendas is higher than that of the CoM Europe, it still confirms that mitigation has much higher political priority at the level of local authorities than adaptation. The highest absolute numbers of cities with an adaptation goal under the GCoM are located (in decreasing order) in the European Union & Western Europe, Eastern Europe & Central Asia, Latin America & The Caribbean, and North America, while the highest shares of signatories per region occur (in decreasing order) in North America (34%), East Asia (31%), Eastern Europe & Central Asia (29%), and Oceania (29%) (GCoM 2022) (see Table 1).

The geographical distribution of the signatories to the GCoM and the CoM Europe varies considerably across the globe, and across Europe, respectively. In some cases, the concentration of CoM Europe signatories in a given country or region can be explained by the presence of particularly active organisations supporting and coordinating the Covenant of Mayors (national ministries, provinces, regional energy and environment agencies, or national city networks). The European participants in the United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR) *Making*

Cities Resilient campaign are concentrated in certain European countries, including Austria, the Basilicata region of Italy, Portugal and Serbia. The European members of *100 Resilient Cities* and *C40 Cities* are mainly in north-west Europe (EEA, 2020a). *ICLEI — Local Governments for Sustainability* is a global city network of more than 2500 local and regional governments in more than 125 countries, including around 160 members in Europe. ICLEI and its members are committed to sustainable urban development, integrating climate adaptation and urban resilience.

A.3.1.2 Local adaptation planning

Adaptation planning at global level

According to the *CDP report Cities on the route to 2030 Building a zero emissions, resilient planet for all*, 57% of local and regional governments (LRGs) participating in the CDP at the global level have developed a climate adaptation plan and 81% are engaged in climate actions in 2020, which represents more than 3,000 climate adaptation measures in place. Oceania and Europe take the lead with 76% and 74% of the local governments reporting a specific plan respectively. In Asia, 60% of the LRGs reported an adaptation plan, while in Latin America only 39% presented such a framework. **Noteworthy, 43% (353) of the LRGs that represent a projected population of over 400 million people by 2030, do not yet have plans that tackle climate change and risks. They indicated barriers such as budget, housing issues and poverty challenges as the main obstacles to adaptation action** (CDP 2021).

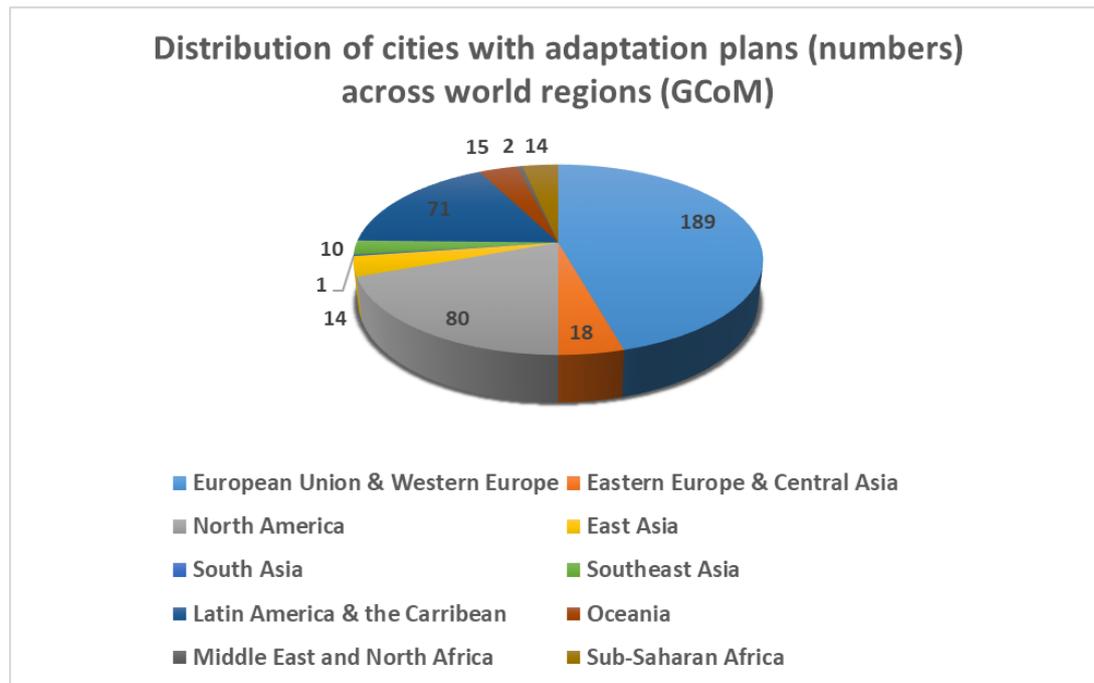
Based on the aggregated figures accessible at the GCoM online database (see Table 1), up to date an overall number of 414 adaptation plans have been submitted across all regions of the globe, which equates to a share of only 4% of all 11,750 signatories. When measured against the number of signatories with a dedicated adaptation goal (1,941 cities), about 24% (464 cities) have completed an adaptation assessment, and **only about 21% (414 cities) of the local authorities that are politically committed to adaptation have progressed from agenda-setting to preparing an adaptation plan** (GCoM 2022). Conversely, it may be concluded that at least 79% of the adaptation-committed signatories, or 96% of all signatories to the GCoM, have not yet engaged in implementation of adaptive actions. These figures suggest that **urban adaptation policies are still a rather scarce and patchy phenomenon at global level, even among climate-active cities, and that global progress in local adaptation policy making is still slow**, in particular when it comes to transgressing from planning to implementation. Table 1 also shows the distribution of levels of progress along the adaptation policy cycle among the cities reporting to GCoM across the world regions. In absolute numbers (Figure 2), most urban adaptation plans have been prepared in the European Union & Western Europe, followed by North America, Latin America & the Caribbean, and Eastern Europe & Central Asia. In South Asia and the Middle East & North Africa, only one and, respectively, two adaptation plan(s) exist(s). If measured against the number of cities with adaptation goals per world region, least progress in terms of adaptation planning has been achieved in Middle East & North Africa (5%), Eastern Europe & Central Asia (11%), the European Union & Western Europe (13%), and Southeast Asia (53%) (GCoM 2022).

Table 1: Number and share (in percent) of signatory cities of the Global Covenant of Mayors (GCoM) with adaptation goals, adaptation assessments, and adaptation plans at regional level and in total

GCoM database	Signatories		Adaptation goal		Adaptation assessment		Adaptation plan	
	number	number	in % of signatories	number	in % of adaptation goal	number	in % of signatories	in % of adaptation goal
European Union & Western Europe	9 726	1 459	15%	192	13%	189	2%	13%
Eastern Europe & Central Asia	597	171	29%	17	10%	18	3%	11%
North America	241	82	34%	99	121%	80	33%	98%
East Asia	58	18	31%	15	83%	14	24%	78%
South Asia	36	1	3%	3	300%	1	3%	100%
Southeast Asia	85	19	22%	9	47%	10	12%	53%
Latin America & the Caribbean	532	118	22%	91	77%	71	13%	60%
Oceania	45	13	29%	18	138%	15	33%	115%
Middle East and North Africa	156	40	26%	3	8%	2	1%	5%
Sub-Saharan Africa	276	20	7%	17	85%	14	5%	70%
Total	11 752	1 941	17%	464	24%	414	4%	21%

Source: GCoM webportal (GCoM 2022), compiled by authors

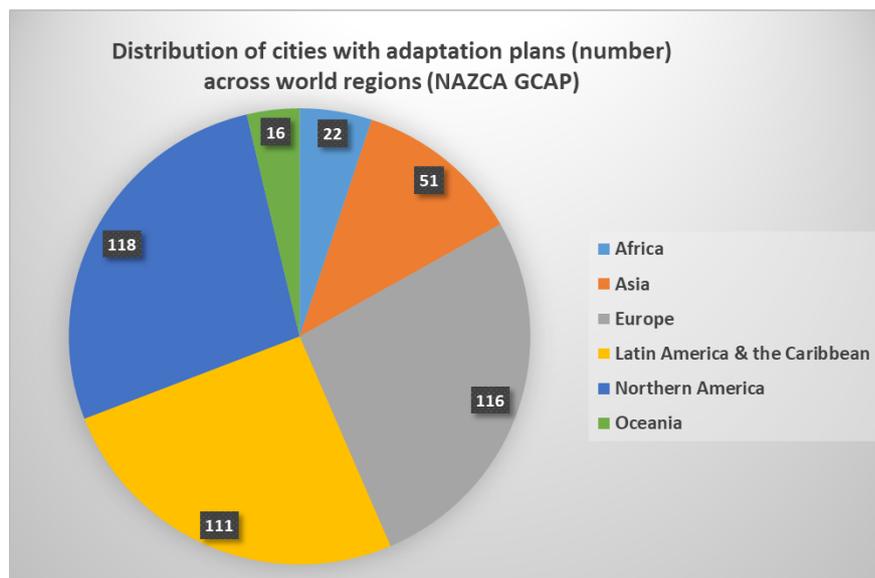
Figure 2: Numbers of cities with adaptation plans per world region according to GCoM online database



Source: GCoM web portal (GCoM 2022), compiled by authors

The NAZCA Global Climate Action Portal (GCAP) currently lists a number of 11,191 cities that are engaged in climate action worldwide. According to the figures that are accessible to the public by means of online search, 10,627 of all cities have an at least complementary adaptation focus. To date, 483 cities have submitted a climate action plan, of which 434 are labelled adaptation plans, i.e. action plans that either focus entirely on adaptation or include adaptation actions in addition to mitigation efforts. This implies that just 4% of all cities registered to the NAZCA GCAP portal have completed a local adaptation policy document (Table 2, Table 4). As regards the distribution across world regions (Figure 3), most urban adaptation plans are available in Europe (27%), Northern America (27%), and Latin America & the Caribbean (26%), while Oceania (4%) and Africa (5%) have the lowest numbers of cities with adaptation plans (NAZCA GCAP 2022).

Figure 3: Numbers of cities with adaptation plans per world region according to NAZCA GCAP online database



Source: NAZCA GCAP portal (2022), compiled by authors

Adaptation planning at European level

Databases and assessments about cities from (wider) Europe provide an overall quantitative picture of the status and progress regarding local adaptation planning in the Global North that is surprisingly similar to that of the Global South.

At the European level, just over a half of the 163 *European cities reporting to CDP* had published an adaptation action plan by 2018. A plan was in progress for a further 38 cities, and 22 cities had planned to undertake work on the adaptation plan in the following 2 years (EEA, 2020a).

As regards wider Europe (EEA-38 member and collaborating countries), quantitative data is available from the reporting of the signatories to the *Covenant of Mayors (CoM)*, which is organized around the steps of the Urban Adaptation Support Tool (EEA 2021b) and includes elements of self-assessment. The CoM database offers at least a quantitative indication of the state and progress in adaptation planning and implementation, although it excludes all cities that are committed to acting on adaptation due to other motivating factors and triggers than participating in the CoM initiative. **In April 2020, among the 2 669 Covenant of Mayors signatories with a climate change adaptation commitment, only 442 (under 17 %) had submitted an action plan covering adaptation and none had officially reported progress** (EEA, 2020a). Signatories to the Covenant of Mayors have two years to develop an action plan from joining the initiative.

An assessment of self-reported data from the CoM database on the level of progress in adaptation as part of Sustainable Energy and Climate Action Plans (SECAPs) from June 2019 shows that, overall, many signatories have reported no or hardly any progress for the adaptation steps. The highest proportions (about 55%) of the Covenant of Mayors signatories evaluated their progress as over 50 % complete for the risk and vulnerability assessment. Development and adoption of adaptation actions has been completed to a level of more than 75 % by just about 20 % of all participating cities, and to a level above 50% by about half of the signatories (Figure 6). Conversely, this implies that half of all signatory cities are still in early stages of adaptation planning or have not started at all (EEA, 2020a).

The aggregated figures available in public on the CoM Europe online database (which covers data from 54 countries and includes cities from regions in the Global South) indicate that adaptation is heavily underrepresented not only in terms of political commitment, but also among the local authorities that have engaged in the planning of climate action. The 10 820 signatories to the CoM Europe that are currently labelled as ‘active’ have to date submitted 7 610 action plans (70,3%), which contain a total number of more than 19,000 actions. Out of these submitted actions, only 12% (2,304 actions) are addressing adaptation. The share of adaptation actions is almost the same in the sub-sample of ‘active’ signatories with an adaptation commitment (CoM 2022).

Reckien et al. (2018) concluded that around 26 % of 885 Urban Audit cities across the EU-28 had a comprehensive and stand-alone adaptation strategy or plan, and 17% a joint adaptation and mitigation plan. The modest latter share indicates that integrated climate policies in cities are still scarce and need upscaling. In comparison, the number of cities with climate mitigation plans is 2.5 times higher than the number of cities with adaptation plans in place. 33 % of Urban audit cities in Europe lack any form of stand-alone local climate plan. Aguiar et al. (2018) conducted a systematic literature search to identify European cities that have adaptation action plans, which found 147 plans in 20 countries. According to Aguiar et al. (2018), the number of local adaptation strategies in cities tripled between 2011 and 2016. According to both studies, the cities with adaptation action plans tended to concentrate in Western Europe.

According to a countrywide survey of German municipalities, about 40% of all municipalities have a local strategy or action plan on adaptation in place, or are preparing or planning to develop such plans, respectively. On the other hand, 45 % to 60 % of municipalities did not have an action plan, concept or other instrument for climate adaptation and/or did not intend to develop such instruments (Hasse & Willen, 2019).

Comparing quantitative stocktake of local adaptation planning between global and European scales and according to different data sources

Table 2 below gives an aggregated comparative overview of the status quo of adaptation planning by cities registered at databases at the global level (GCoM, NAZCA GCAP) and the wider European level (CoM Europe). **The percentage of climate-active local authorities that have already developed an adaptation plan is comparably low across all three databases, does not differ substantially between global and European scales, and does not exceed 4% of all cities signed in, or registered to, the respective city initiatives.**

Table 2: Comparative overview of cities with adaptation plans according to online databases of global and European city networks / initiatives.

	GCoM	NAZCA GCAP	CoM Europe
Signatories [number of cities]	11 752	11 191	10 820*
Cities with adaptation plans [number]	414	434	162*
Share of cities with adaptation plans [%]	4%	4%	1%

* ‘active signatories’ (local authorities that meet their planning deadlines)

* action plans submitted by cities with adaptation commitment; accepted or currently under assessment

Sources: GCoM (2022), CoM (2022), NAZCA GCAP (2022), compiled by authors.

A.3.1.3 Implementation of local adaptation

Global review of scientific evidence of adaptation interventions

The academic literature on adaptation to climate change has revealed little insight into the actual extent of implementation. The Paris Agreement commits participants to monitor adaptation progress, reiterating the need for large-set implementation assessments. To provide comprehensive answers to actual responses on the ground and actions' success, a recent paper published by *Nature Climate Change* presents for the first time a systematic global stocktake of empirical evidence on human adaptation to climate change (Berrang-Ford et al., 2021), based on a systematic review of academic, peer-reviewed literature (but excluding the vast amount of grey literature). The findings allow valuable insights on the relative frequency and importance of adaptation actions taken on the local level and by local actors, and they provide a frame of reference for estimating the proportion of adaptation interventions targeting sectors that are particularly relevant to cities, in relation to measures taken at other levels and targeting other adaptation problems.

The study found that the **vast majority of adaptation responses documented in the scientific literature are undertaken at the local level**. With 82 %, by far the most adaptation actions were taken by **individuals and households**, particularly in response to food insecurity caused by drought and precipitation variability as well as in the context of health and poverty in Africa and Asia. Although it is not possible to state in how far these private adaptation responses relate to cities or issues relevant to urban development, yet the study reveals that local governments are prominent actors, especially in large urban areas. **Local governments are reported as actors in 36 % of all reported cases**, which is the same share as for national governments. Interestingly, private sector engagement in responses is low across all global regions. Civil society at subnational or local levels is engaged in 26 % of documented cases. All other actors at other levels reach only significantly lower shares, with international or multinational governance institutions ranking last (8 %) (Berrang-Ford et al., 2021).

Regarding the distribution of adaptation responses across **sectoral categories**, the category "cities, settlements and key infrastructure" levels at 15 %, exhibiting a significant gap to the top-ranking sector category "food, fibre and other ecosystem products" with 61 % (Berrang-Ford et al., 2021).

The paper distinguishes four **types of responses** (without, however, differentiating between the levels/scales of implementation): behavioural/cultural, ecosystem-based, institutional, and technological/infrastructural. Behavioural responses proved most frequent (75%), e.g. in the form of "home and land adaptations for floods, fires and heat protection, relocation or migration from hazards, or use of crops and livestock adapted to drought and pests", followed by technological/infrastructural (62%) responses, "most notably in Europe and in cities, particularly in the water sector". Ecosystem- or nature-based responses, such as "the natural regeneration of plant species, intercropping and mulching", ranked at 50% of cases. Institutional responses – such as "creating policies, programmes, regulations and establishing formal and informal organisations" - occurred in 42% of cases and were most prominent in cities and in the food and health sector (Berrang-Ford et al., 2021).

Table 3: Distribution of articles by type of response

Type of adaptation response	Number of articles	Share of database (%)*
Behavioural/cultural	1 259	75

Type of adaptation response	Number of articles	Share of database (%)*
Ecosystem-based	840	50
Institutional	707	42
Technological / infrastructure	1 048	62

*Categories are not mutually exclusive and sum to more than 100%.

Source: Berrang-Ford et al. (2021)

Although the study presented substantial adaptation efforts, it found **little evidence of transformational adaptation**. Across all regions of the globe, responses are overwhelmingly incremental, short-term, small in scope, and limited to single sectors or small geographic areas. Few responses proved to transform and proactively change sectors and regions (Berrang-Ford et al., 2021).

Global implementation of adaptation actions as reported to NAZCA GCAP

Since COP26 in November 2021 in Glasgow, the NAZCA GCAP Portal records voluntary climate action undertaken by global actors, including cities. Contributing to the global stocktake under the UNFCCC, the database thus allows tracking of climate actions and provides at least a rough quantitative glimpse on the global diffusion and extent of progress in implementation. Based on the data already reported to GCAP in the brief time after COP26, to date 522 cities across the globe have engaged in implementing concrete adaptation actions, projects or initiatives, which amounts to 5% of all cities registered at the GCAP portal (Table 4). Interestingly, more cities have undertaken actions targeted at adaptation than at mitigation. From Table 4 it can also be derived that the number of cities that are already active in implementing adaptation exceeds the number of cities with an adaptation plan in place, which demonstrates that taking action on urban adaptation is not necessarily bound to the existence of a preceding local action plan.

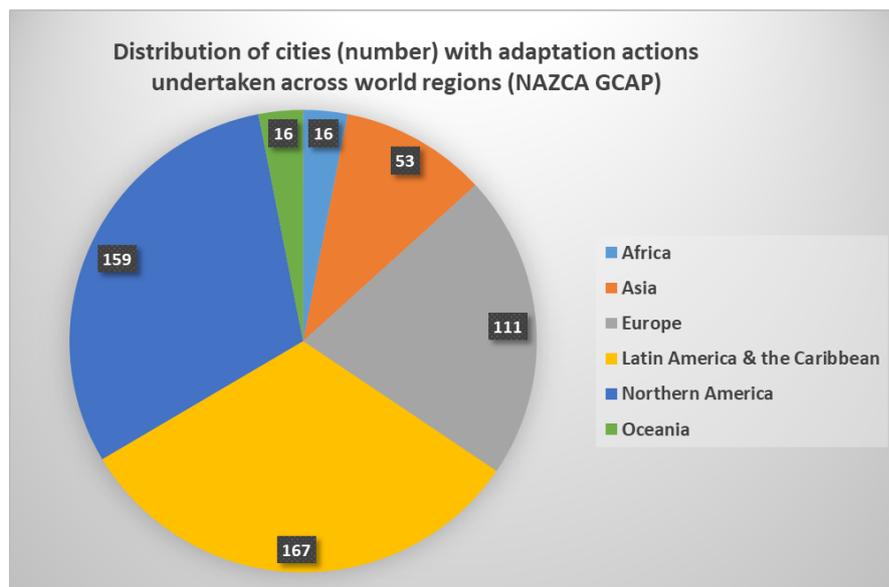
Table 4: Numbers of cities with climate actions undertaken and with action plans targeting mitigation and adaptation at global scale, according to NAZCA GCAP

NAZCA GCAP Portal	Total	Mitigation	Adaptation
Climate focus	11 191	11 047	10 627
Climate action plans	0,483	381	434
Climate actions undertaken	614	449	522

Source: NAZCA GCAP (2022)

Figure 4 shows how the cities engaged in implementing adaptation actions are distributed across world regions. In absolute numbers, **most of these cities are located in Latin America & the Caribbean, followed by Northern America and Europe**. The picture changes somewhat when the number of cities in the implementation stage is expressed as the share of all cities registered at GCAP in the respective region: while Northern America (46%) is still in the lead, in this case Oceania (26%), Latin America & the Caribbean (25%), and Asia (11%) perform significantly better than Europe, where - according to reportings - only 1% of all registered cities have already implemented adaptation action in practise.

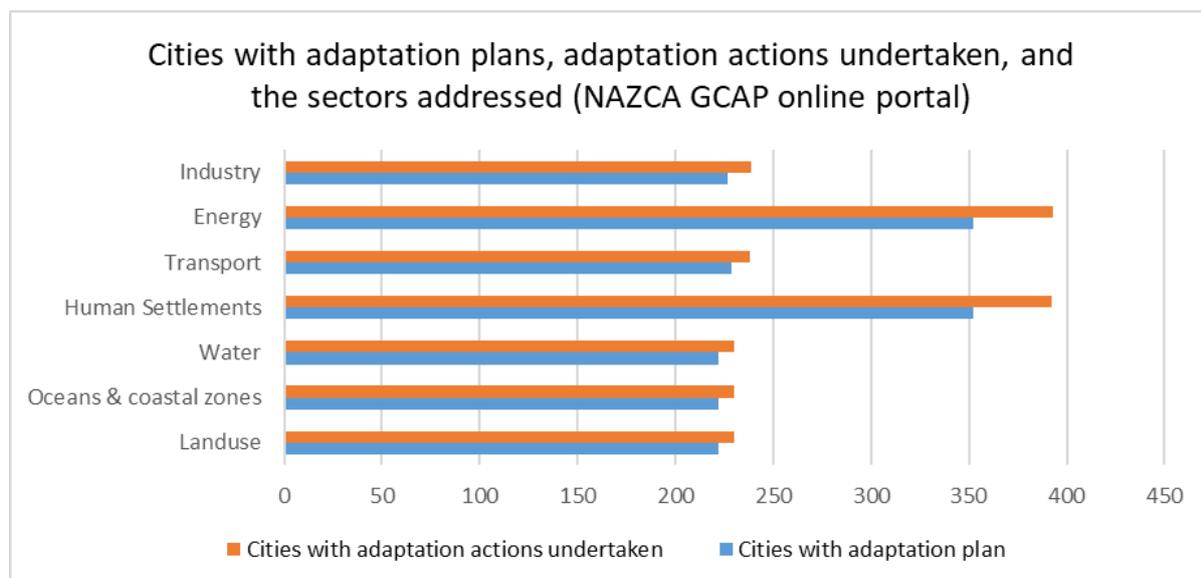
Figure 4: Distribution of cities (absolute numbers) with a track record of adaptation actions across world regions, according to NAZCA GCAP



Source: NAZCA GCAP (2022)

The themes, or sectors, most frequently addressed both in adaptation plans and by implemented actions are ‘energy’ (393 cities with actions undertaken) and ‘human settlements’ (392 cities). The sectors ‘land use’, ‘oceans & coastal zones’, ‘water’, ‘transport’ and ‘industry’ have been addressed by actions less frequently, but to similar extents (230 - 239 cities).

Figure 5: Sectoral themes addressed by adaptation actions undertaken and in action plans at global scale, expressed in number of cities, according to NAZCA GCAP



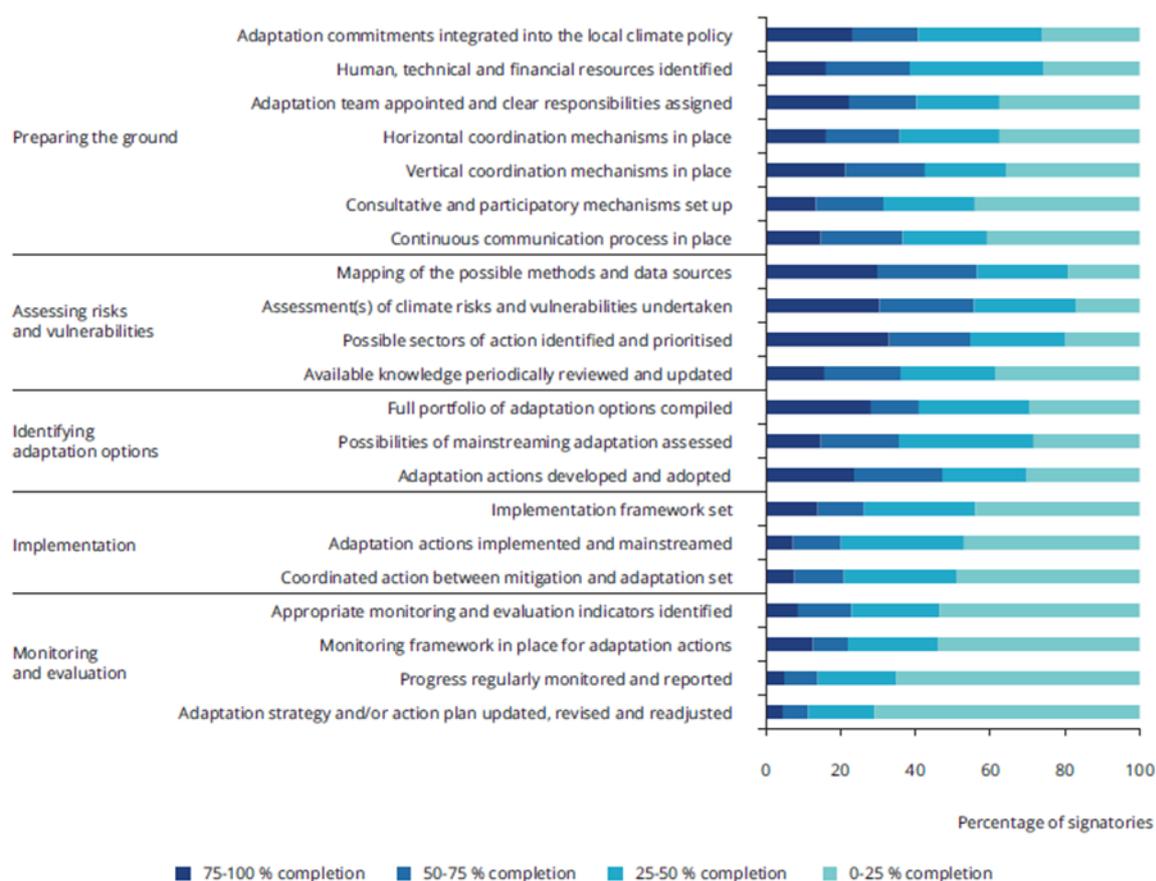
Source: NAZCA GCAP (2022)

Implementation of local adaptation in Europe

At the European scale, analysis of data from the *CoM database from signatories of the EEA-38 member and collaborating countries* (EEA, 2020a) shows that progress in implementing and

mainstreaming adaptation actions is at best patchy and overall rather slow. The number of signatories assessing their progress in adaptation as more than 50 % complete reduces rapidly in the implementation and monitoring phases, compared with the earlier steps. Only around one-fifth of the signatories report good progress (over 50 % completion) on implementation and mainstreaming of adaptive actions. About half of the cities report their level of progress to be below 25% or non-existent. The proportions are similar for taking coordinated action integrating adaptation and mitigation. Fewer than 5 % of signatories assessed themselves as being near completion of regularly monitoring progress or of making changes to their adaptation plans based on the results of the monitoring (EEA, 2020a).

Figure 6: Level of progress of Covenant of Mayors signatories in in adaptation planning and implementation in EEA member and collaborating countries



Note: Based on the responses of 226 signatories from 21 EEA member and collaborating countries plus the United Kingdom that completed the Adaptation Scoreboard in their sustainable energy and climate action plans.

Source: Authors' compilation based on analysis of data extracted from Covenant of Mayors for Climate and Energy database on 19 June 2019.

Source: EEA (2020a)

According to Aguiar et al. (2018), based on the analysis of 147 local adaptation strategies across Europe, at least half of the municipalities had begun implementation actions. Albini et al. (2017) reports a similar proportion of city or regional governments undertaking action: 10 out of 21 investigated European sub-national authorities have begun implementation.

If the level of actual implementation of adaptation measures on the ground is low even in larger European cities that - based on their participation in relevant city networks - can be regarded as committed frontrunners in adaptation, this **implementation gap appears to be significantly more pronounced in smaller municipalities with a population of less than 20 - 30,000**

inhabitants. While large cities have often been pioneers in adaptation policies and have even acted as policy drivers for national adaptation planning in some countries (Clar & Steurer 2017), little is known about whether, why and how small municipalities adapt to climate change. Adaptation in small municipalities seems to fall through the cracks of rather coarse-meshed local adaptation research and still represents a considerable research gap (Buschmann & Steurer, 2020).

It thus is worth drawing on the findings of some of the few studies that have investigated this subject. Many adaptation scholars have observed that reactive patterns dominate in those small municipalities that are already active in adaptation (Umweltbundesamt 2015, Vogel & Henstra 2015, Dannevig et al. 2012, Amundsen et al. 2010). If small municipalities adapt to climate change at all, their measures are most often immediate responses to extreme events, incremental, small-scale, do not cost much and are usually water-related. These international findings are confirmed by a quantitative survey of 1,840 Bavarian municipalities with less than 20,000 inhabitants (Bausch & Koziol, 2020). The study also found a significant gap between discussing climate change on the one hand, and taking concrete actions on the other: only about half of the municipalities discussing the issue also implemented climate change response measures, with mitigation concerns clearly dominating over adaptation. A qualitative in-depth case study (Buschmann & Steurer, 2020) of those cases from the same Bavarian sample that appeared most active in adaptation underlined the predominance of purely reactive adaptation and the almost complete absence of foresighted, anticipatory adaptation measures. In 9 of 11 cases, local adaptation was directly triggered by extreme weather events, and in all cases measures were technical, pragmatic and short-term, tending to be limited to single, isolated interventions.

A.3.1.4 Financing of urban adaptation by sources at different levels

Local public budgets are the most widespread source of funding for adaptation planning and implementation in European cities (EEA 2020a, EEA, 2017). While EU (co-) funding is the largest source in total, only a small number of signatories to the Covenant of Mayors uses it. **Funding from national or subnational levels is used significantly less often than cities' own budgets, while the private sector is the third largest source of funding** (CDP, 2019; Aguiar et al., 2018).

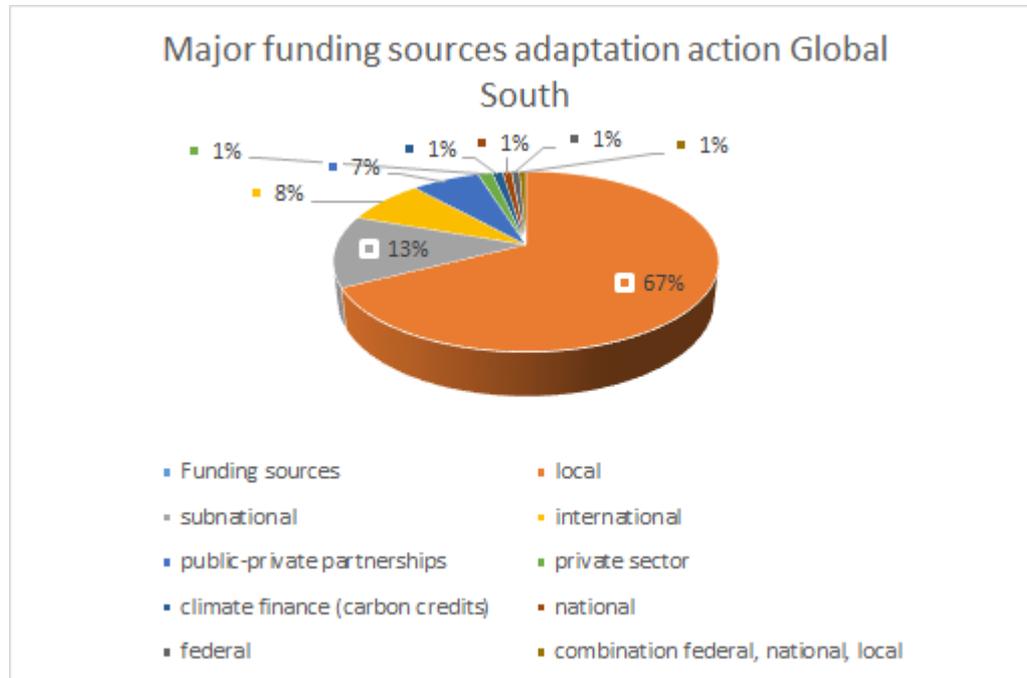
Adaptation budgets of signatories of the CoM are rather low (median EUR 535,000), which partly explains the prevalence of soft, less costly adaptation measures. Soft measures amount to EUR 24,000 median cost of 38 actions whilst grey approaches amount to EUR 3.700,000 median cost of 15 actions (EEA, 2020a).

There are pronounced differences between smaller and larger local authorities in terms of their remit and budget available for adaptation, i.e. smaller local authorities have less funding. This calls for specific support of small local authorities with regard to adaptation planning and implementation (EEA, 2020a).

A slightly different picture can be painted regarding the **Global South**. Whilst also here the majority of LRGs use their own budgetary resources (tax revenues, pooling municipal budget) for the implementation of climate adaptation, these are often combined with national or international funding sources (Sainz & Setzer, 2019; Zimmermann et al., 2020). Reliance on international funding sources therefore is more pronounced in the Global South. **A survey on ecosystem-based adaptation in the Global South yielded that bi- and multilateral donors are by far the biggest funding source of (ecosystem-based) adaptation measures** (FEBA, 2021).

Datasets from the NAZCA GCAP online portal collected on the signatory cities' adaptation actions across the globe confirm that the majority of adaptation actions in the Global South is financed by local and sub-national budgets: 67% of adaptation actions are financed by local sources, closely followed by sub-national sources (with 13%); international funding (ODA or other) ranks third with 8%, closely followed by public-private-partnerships (with 7%), emphasizing growing importance of private sector involvement in adaptation finance.

Figure 7: Funding sources for adaptation action in the Global South, based on NAZCA GCAP data



Source: NAZCA GCAP portal (2022), compiled by authors

A.2.2 Governance of urban climate adaptation at city level

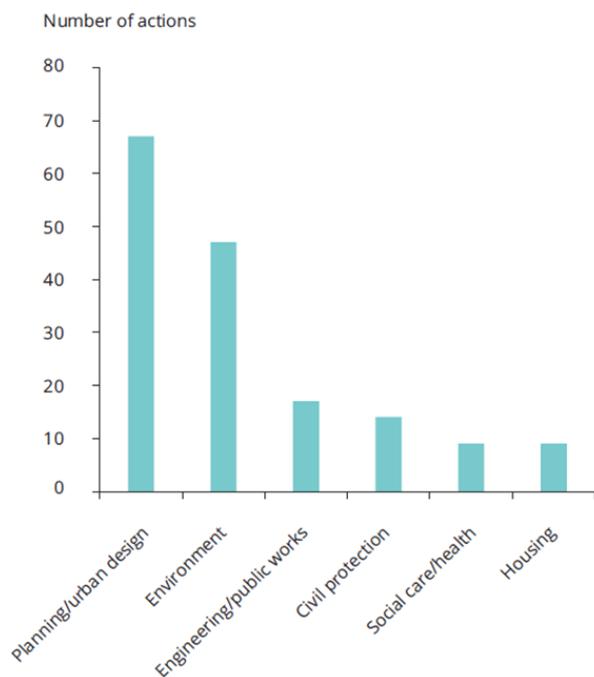
A.3.2.1 Sectors and actors: responsibilities and involvement in planning and implementation of urban climate adaptation

Local authorities are in (most) EU MS responsible for sectoral fields of activity (competences) that are central to climate adaptation: local land use regulation and planning, building inspection, critical infrastructure, emergency planning, among others. Stormwater management, flood risk reduction and health-related policies are municipal tasks or tasks shared by local authorities with higher-level authorities. **80% of signatories to the Covenant of Mayors emphasize the high level of involvement of local authority staff in adaptation planning**, only a few percent report low involvement (Figure 3) (EEA, 2020a).

Among *CoM signatories*, **departments most often responsible for implementation of adaptation actions are those dealing with spatial planning, urban design, open spaces, or architecture, followed by the departments concerned with environment or sustainability** (Figure 8). In Germany, the environment and urban planning departments are most often involved, and in charge of, implementing adaptation, followed by urban development and urban drainage departments (Hasse & Willen, 2019). According to Albin et al. (2017), **most local and regional adaptation strategies across the EU were developed by environmental**

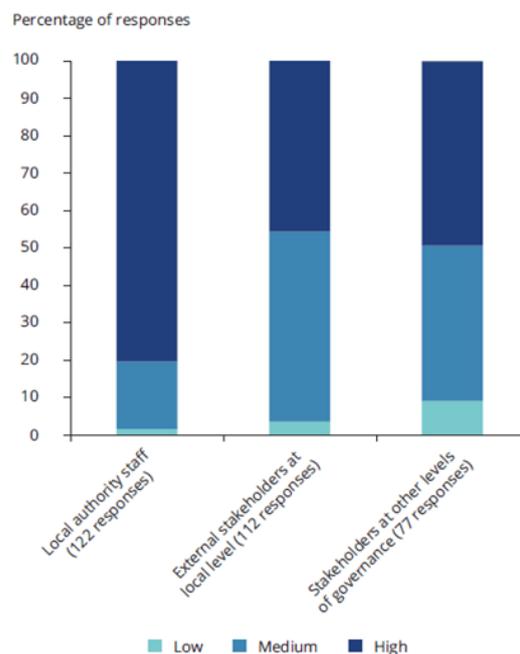
departments, while strategy implementation was predominantly run by the planning departments. Health departments were at least involved in developing half of the adaptation strategies.

Figure 8: Departments responsible for implementation of adaptation actions



Note: As reported for 121 actions by 27 signatories to the Covenant of Mayors for Climate and Energy from five EEA member countries (Belgium, Finland, France, Slovakia and Spain).
Source: Authors' compilation based on analysis of data extracted from the Covenant of Mayors for Climate and Energy database on 19 June 2019.

Figure 9: Level of involvement of various stakeholders in adaptation planning



Note: Based on the reporting of signatories to the Covenant of Mayors for Climate and Energy from 20 EEA member and collaborating countries.
Source: Authors' compilation based on analysis of data extracted from the Covenant of Mayors for Climate and Energy database on 19 June 2019.

Source: (EEA, 2020a)

Different approaches to adaptation planning and implementation exist among European regions. Western European local authorities tend to engage social care and health departments, citizens, research institutes and the private sector more frequently than other regions do. Local authorities from central and eastern Europe tend to rely heavily on their own staff — mainly in planning departments — for implementing adaptation actions, with a strong focus on infrastructure and the built environment (EEA, 2020a).

A.3.2.2 Engagement of external stakeholders

Involving stakeholders from outside local public administration in urban adaptation is important because their support influences political feasibility and legitimacy of policy options, it promotes social learning processes, and it gives access to local knowledge. Neglecting stakeholders' concerns can lead to poor policy performance and policy failure. **Over 40 percent of the European cities reporting to the CDP have a stakeholder engagement plan in place, whilst 20 percent are in the process of preparing one, and another 20 % are planning to develop such a plan in future (CDP, 2019).** Aguiar et al. (2018) found extensive engagement of diverse groups in almost all local authorities that had produced adaptation action plans. The

stakeholders most frequently involved are various interest groups - e.g. landowners, project developers, housing associations, non-governmental organisations (NGOs), farmers' associations - the private sector, and research and academia, followed by the general public and the education sector.

Provided that large amounts of land and buildings are in private hands in cities, the **involvement of private actors** is critical for the planning and implementation of urban climate adaptation (Mees, 2016). Private actor involvement and responsibilities are also based on efficiency and innovation. Most importantly, private actor involvement in climate adaptation has given rise to new governance arrangements between public and private actors, with public actors increasingly taking on a steering instead of a rowing role (Mees, 2016)

Still, an analysis of adaptation practices of 20 frontrunner cities yielded that local public authorities bear the majority of responsibilities for climate proofing their cities and have a dominant role throughout the policy process (i.e. planning, implementation, evaluation to maintenance), particularly in the early stages of agenda setting, knowledge creation, policy formulation and strategy making. This is to set the framework conditions within which private actors operate and to safeguard that sufficient adaptation action is taken by private actors, such as citizens and businesses (Mees, 2016).

The involvement of private actors (residents, developers, housing associations, land owners) is primarily contained to financing, implementation and maintenance of measures (on private property), whilst involvement in the planning stage is quite rare (Mees, 2016). A survey with CoM signatories sheds a more positive light on stakeholder engagement in the *adaptation planning phase*: involvement of private sector actors (companies) lies with 37%, followed by citizens [35%], NGOs [14%] and various types of utility or transport companies [13%]. Collaboration with the research community [12%], or other local authorities [8%] on adaptation planning was less frequent. A steering committee (consisting of city officials from different departments and interested citizens, as well as sometimes other stakeholders like businesses or information providers) was involved in about 15% of all signatory cities, but mainly from Belgium only, and interest groups (landowners, associations) in 13 % of all cases (mainly in Italy) (EEA, 2020a).

The roles of citizens, civil society and business actors such as project developers and housing associations, in the implementation of adaptive actions are still modest. Fewer than a quarter of the Covenant of Mayors signatories reported engagement of external stakeholders. The same survey yielded that citizens are the actor category most frequently engaged in implementation [15% of all adaptation actions], followed closely by entities at the higher governance level. Another key actor category are utility companies or governmental agencies, especially those concerned with water, followed by the broader private sector and landowners. Nearly 40% of actions planned by the signatories did not involve external stakeholders (EEA, 2020a).

The existence of joint public–private responsibilities is modest. For reasons of efficiency, both in the case of green roofs and adaptive building measures for disaster risk reduction, private actors, such as residents, developers and housing associations, are responsible for financing and installing appliances and measures (on privately owned buildings), as well as for their maintenance (Mees, 2016).

Similar meta-assessments on stakeholder involvement are largely lacking for the Global South. A recent study on climate justice through urban ecosystem-based adaptation (EbA) in the Global South shed light on stakeholder participation and inclusiveness of citizens (especially

vulnerable groups) in EbA projects in Asia, Africa and Latin America (FEBA, 2021). **Stakeholder engagement was reported by over 80 percent of the projects, with participation higher during the implementation phase, as compared to the planning phase.** Respondents also indicated a high or medium level of representation of different citizen groups in decision-making processes (64.5 %). Accordingly, the potential for empowering local stakeholders and citizens through capacity building was indicated as high. Half of the cases reported that capacity-building processes were employed and measures integrated into governance structures (FEBA 2021). Notably, this survey only captured green measures, which - as opposed to grey measures, which require a high level of technical expertise - in general allow for more citizen engagement along their life cycle.

The following **case study by the Urban Natural Assets (UNA) programme**, implemented by ICLEI's Cities Biodiversity Center, **exemplifies the benefits of collaboration between city officials and private citizens with regard to nature-based solutions in informal settlements** (UNA 2020c):

Box 1: Case study - Collaboration with citizens in informal settlements in Entebbe, Uganda

- ▶ **Challenges:** The emergence of **informal settlements in urban areas** stems from swift urbanization combined with high inequality. City governments struggle with operating in informal settlements and including them in their constrained resource and service provision. Challenges derive from the **perceived illegitimacy of informal settlements and changing attitudes towards recognizing their lack of services**. Informal settlements are an essential part of Africa's urban development and require attention in future sustainable city design.
- ▶ **Actions:** The case study in **Entebbe, Uganda**, displays the benefit of the urban tinkering approach that adjusts current conditions and **resilience through small-scale interventions**. The process requires city officials and residents from the informal community to work together and jointly identify improvement measures during walking workshops in the settlement. The UNA team further emphasized integrating NBS measures to improve resilience and reduce vulnerability in the Namiro wetland.
- ▶ **Outcome:** In Entebbe, Uganda, the **walking workshops informed** local government officials of NBS to **provide valuable services in the form of flood control and food security within informal communities**. Instead of relying on costly infrastructure upgrading measures, city officials recognize NBS as an opportunity to address critical challenges relating to biodiversity and service provision. The case in Entebbe, Uganda, highlights the importance of initiating mechanisms for collaboration between city officials and members of informal settlements. These strengthened relationships caused **changed attitudes among city officials regarding the legitimacy of informality** and enabled co-production of improvement measures.
- ▶ **Key Takeaways:** The case in Entebbe is a perfect example of the benefit of investing time in **“building collaborative relationships between city councils and informal communities”**. “This can be achieved by creating space for engagement and encouraging regular site visits and in-person interactions”. Strengthening collaboration proves to be a valuable approach to change attitudes and any hesitancy regarding operating in informal communities and spaces. The implementation of nature-based solutions in informal settlements further contributes to **critical data and evidence collection to assess the impact of NBS measures** on urban resilience. “Such evidence can be used to **make the case for nature and motivate for investment in larger NBS programmes** in future” (UNA 2020c).

Local stakeholder engagement, including citizen collaboration to co-create local policies and practises, requires further development (EEA, 2020a; Wamsler & Pauleit, 2016). According to Albin et al. (2017), the majority of the 21 investigated regions and cities engaged the stakeholders in consultation or involvement mode, while only a third employed closer collaboration modes, suggesting that close partnerships with external stakeholders are rather rare. This is especially salient since local adaptation policies should foster private and autonomous adaptation at household level, and provide public adaptation when private/autonomous adaptation is insufficient or missing (Wamsler & Pauleit, 2016).

A relatively low number of European CoM signatories assessed their progress as more than 50 % complete on setting up 'consultative and participatory mechanisms' and 'horizontal coordination mechanisms', which may indicate that both the coordination between departments and local stakeholders' engagement require further development. Further, the size of local authorities seems to influence the set-up of consultative and participatory mechanisms and multi-stakeholder engagement: half of the smaller CoM signatories had not started this process or made very limited progress. This also applies to the collaboration with and engagement of civil society organisations, research organisations and the private sector in adaptation planning (EEA, 2020a). This may indicate a gap between smaller and larger local authorities regarding access to knowledge on climate risks, vulnerabilities and adaptive actions (Campos et al., 2017).

Although involvement of stakeholders outside of public administration in local adaptation is happening to varying extents, the available evidence also suggests **that public participation is currently still limited**, also in the Global North. This can to some extent be explained by the prevailing reactionary adaptation mode with a **focus on single, pragmatic, non-expensive, incremental and “small” measures** and the handling of adaptation as a technical expert topic, reflecting also the still early stages of adaptation in many local authorities. This allows committed actors in public administration to **implement single measures in pragmatic ways** without risking political conflicts, i.e. 'under the radar' of public interest and municipal politics. However, participation in policy making on adaptation is not only important for integration of local and individual knowledge (Lemos & Morehouse, 2005; Carney et al., 2009), it is also necessary to tackle larger, more expensive and more transformative adaptation measures. If local adaptation remains a 'policy without public', this entails the risk that implementation keeps restricted to single, isolated 'one-off' interventions. Adaptation actions that question business-as-usual regimes require public acceptance, resolutions by the municipal council, and consent above party lines (Buschmann & Steurer, 2020; Lexer et al., 2018).

A.3.2.3 Types of adaptation actions and related sectors

Types of planned actions and targeted sectors in wider Europe

The most frequently reported measures in wider Europe are 'soft', meaning those involving preparatory and/or mainstreaming actions, which are often linked to knowledge creation (e.g. through mapping or modelling studies, such as flood mapping, heat mapping, sea level rise modelling), development of regulations or plans, awareness-raising and community education campaigns or monitoring of risks. Around two thirds of reported measures both in the CDP and Covenant of Mayors databases fall into this 'soft' category. **Noteworthy, 'grey' measures, i.e. technical structural and infrastructural measures (e.g. storm water capture systems, hazard resistant infrastructure design and construction, resilience and resistance measures for buildings) reported by cities in the CDP and CoM slightly outweigh 'green' infrastructure options (ecosystem-based physical adaptation measures), which constitute less than 20 percent** (EEA, 2020a). However, in the case of C40 cities in Europe, ecosystem-

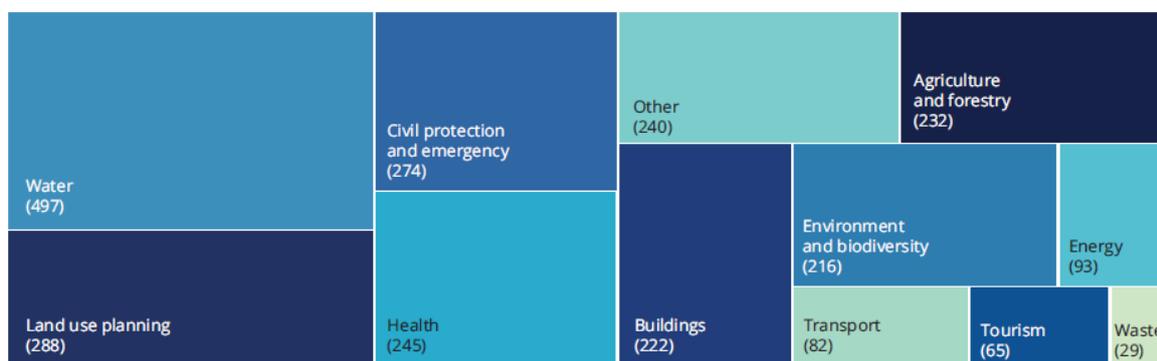
based adaptation measures were found in 12 out of 14 adaptation plans (Geneletti and Zardo, 2016). The latter include the creation of neighbourhood gardens (Paris), enhancing connectivity among existing green areas (Milan), creating new wetland areas and ponds (Berlin), and enhancing green spaces to capture excess rain water.

According to the CDP database (CDP 2019), the **main types of adaptation measures** planned by European cities are flood risk mapping, mainstreaming adaptation (incorporating climate change into long-term planning documents), green infrastructure solutions (tree planning, creation of green space), crisis management (incl. warning and evacuation systems), and community education. The most frequent structural action relates to flood defences (development, operation, storage) (EEA, 2020a).

The predominance of 'soft' actions may be linked to the fact that adaptation at the local level is in its relatively early days, when the development of the knowledge, awareness and regulatory base is key. The powers of local authorities may also be important, with certain grey infrastructure actions exceeding their remit. In addition, the cost of adaptation actions may play a role. The investigation into the adaptation actions planned by the signatories to the Covenant of Mayors shows that the grey infrastructure approaches are the most expensive (median cost of 15 actions = EUR 3 700 000) and soft measures are the cheapest (median cost of 38 actions = EUR 24 000), with green infrastructure measures in between (median cost of 15 actions = EUR 70 400) (EEA, 2020a).

The sectors most frequently issuing adaptation actions of the Covenant of Mayors signatories are water management, followed by land use planning, civil protection and emergency, health, and agriculture/forestry (Figure 10) (based on CoM database - CoM 2019, as reported for 2,484 actions by 183 signatories from 14 EEA member and collaborating countries). Studies looking at different samples of urban adaptation action plans report similar areas addressed by adaptive actions (Reckien et al., 2014; Aguiar et al., 2018; Campos et al., 2017).

Figure 10: Adaptation actions planned by the Covenant of Mayors signatories, by sector



Note: As reported for 2 483 actions by 183 signatories from 14 EEA member and collaborating countries.

Source: Authors' compilation based on analysis of data extracted from Covenant of Mayors for Climate and Energy database on 19 June 2019.

Source: EEA (2020a)

Types of adaptation actions and sectors addressed in the Global South

For the Global South, the CDP NAZCA portal offers comprehensive data on adaptation actions undertaken by signatory cities around the globe, including sector and major funding source, which allow filtering for regions of the Global South. An analysis of these data (see Figure 11)

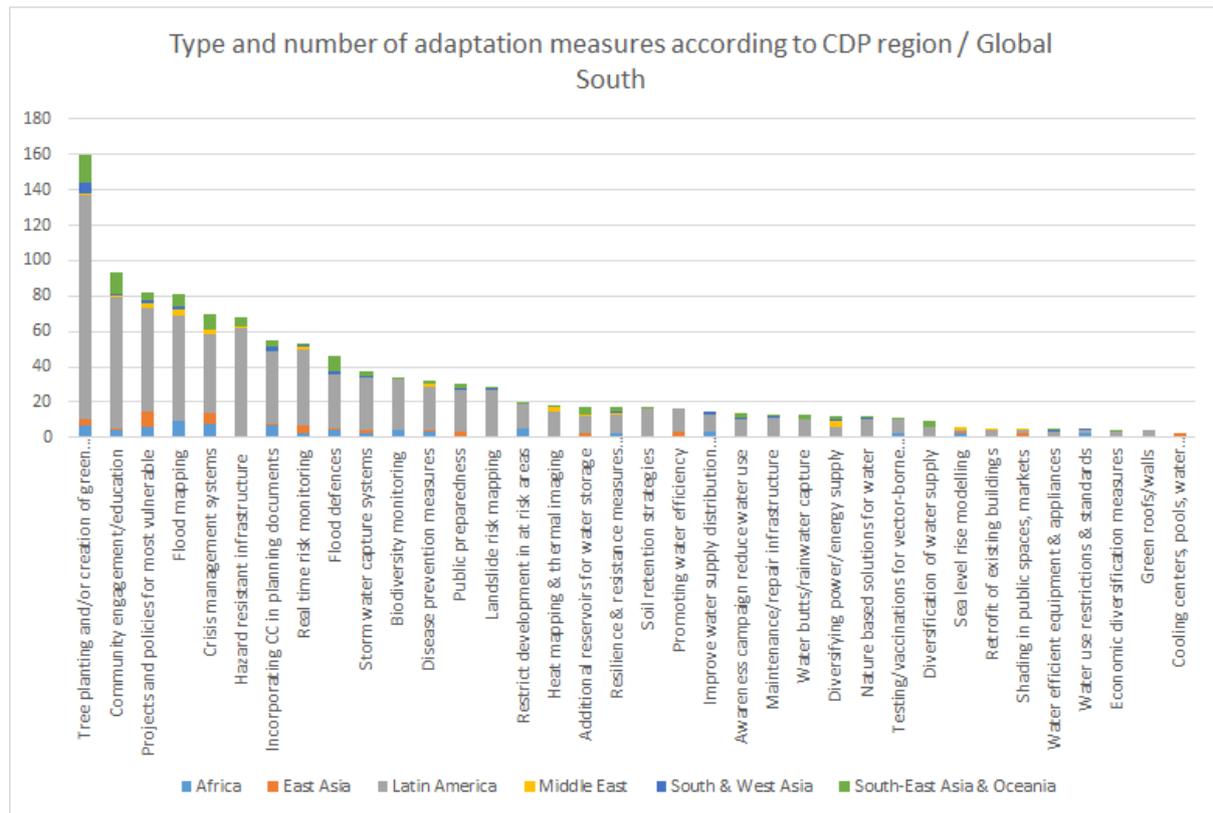
shows **that ecosystem-based adaptation is leading with tree planting and/or creation of green space as number one action undertaken in the Global South**, with a strong presence in Latin America, South-East Asia and Oceania (note that data are biased towards Latin America with 976 actions registered, in comparison to 112 actions from South-East Asia and Oceania (second place), and below 100 actions for the other CDP regions). Interestingly, green roofs and walls form part of the least featured actions at the very right side of the graph.

A study conducted on **ecosystem-based adaptation in urban and peri-urban areas in the Global North and South**, based on a survey, yields similar results (FEBA, 2021). The majority of measures includes a mix of social, physical and institutional measures. **The most frequently implemented solutions are the re-naturalisation of river systems, followed by urban forests and parks, street trees, and ecological corridors, whilst green roofs, facades and walls ranked much lower.** The most common components of these physical measures included native trees, use of vegetation, restoration, conservation or newly-built wetlands as well as rivers and estuaries (FEBA, 2021).

The data analysis of the CDP NAZCA portal shows that, **similar to the Global North, “soft” measures are ranking high as well in the Global South**, with community engagement and education measures second highest, followed by projects and policies for vulnerable groups, flood mapping and crisis management systems. “Grey” measures, such as hazard resistant infrastructure, flood defences and stormwater capture systems, are less prominent, in comparison to the Global North. In general, the type of prioritised actions show a strong focus on disaster risk reduction.

As regards the distribution of financing volumes across sectors, **at global scale most of the international urban adaptation finance were channelled to water and waste management projects, followed by disaster risk management.**

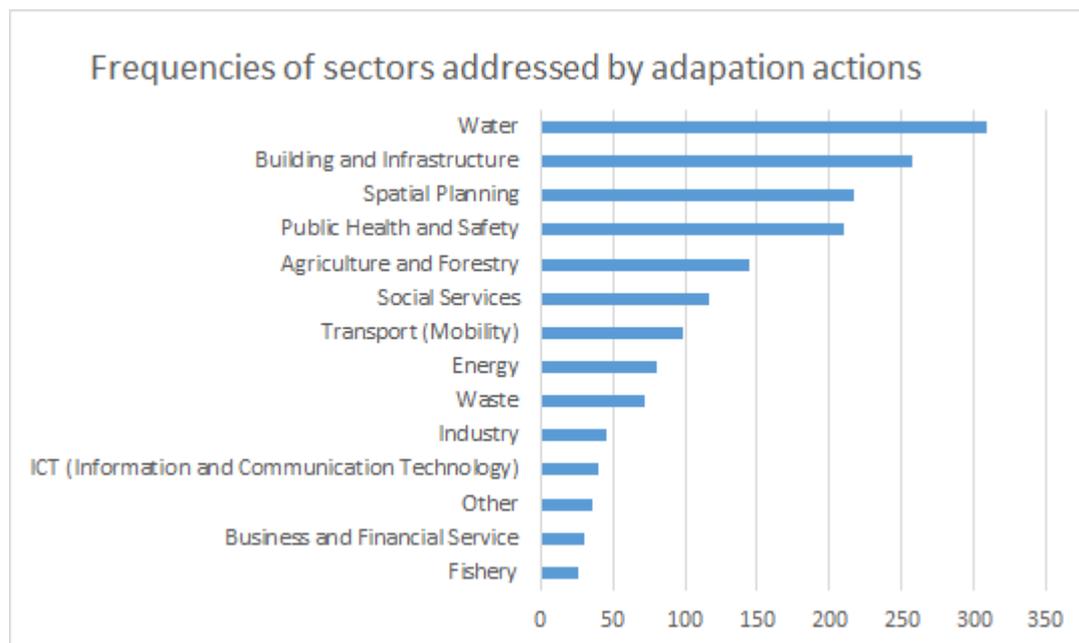
Figure 11: Type and number of adaptation actions across CDP regions containing the Global South



Source: compiled by authors based on NAZCA GCAP (2022)

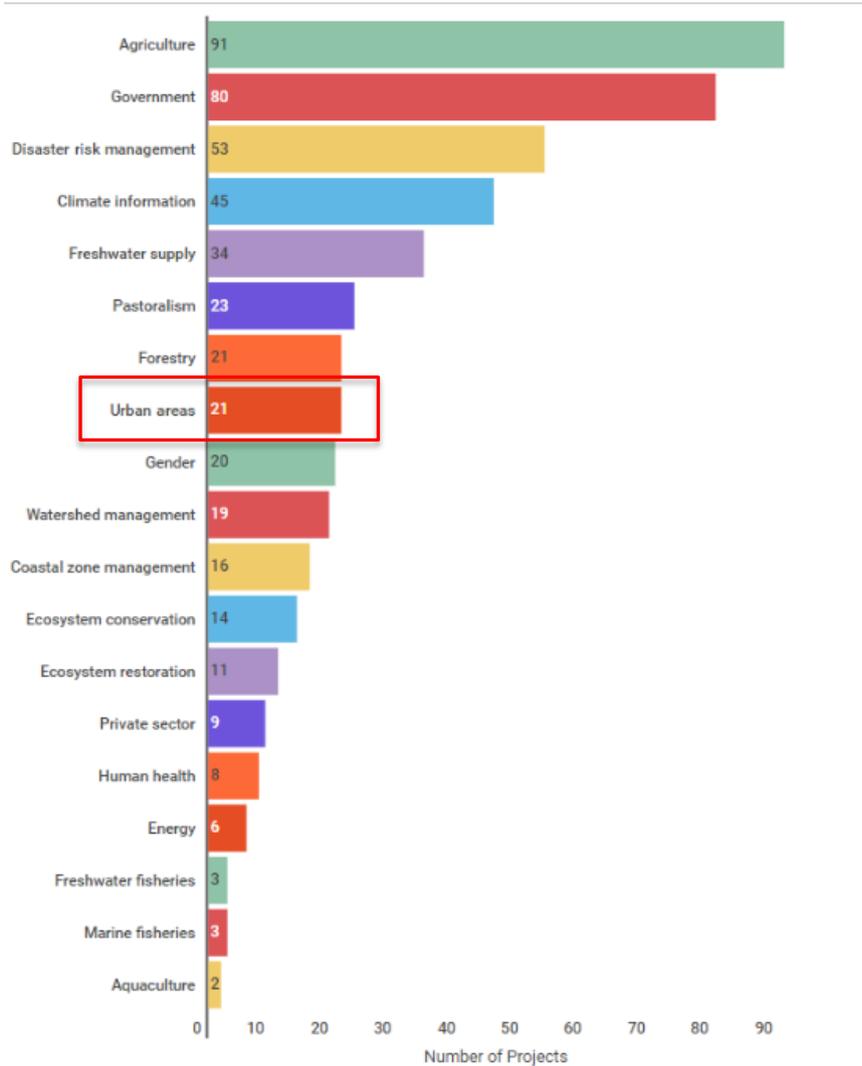
Also, the Global North and South seem to broadly align regarding sectors addressed by adaptation actions (Fig. 12). Same as for the Global North, the water sector ranks highest, spatial planning / land-use planning is also among the top three, and public health & safety ranks in the fourth place. Noteworthy, building and infrastructure ranks higher in the Global South (2nd place, Global North: 7th place).

Figure 12: Frequencies of sectors addressed by adaptation actions across CDP regions containing the Global South



Source: compiled by authors based on NAZCA GCAP (2022)

Although not focusing on cities, but with an emphasis on projects addressing needs at the local level, a comparative analysis of national adaptation policies and practises in developing countries sheds additional light on the main sectors in which climate adaptation action occurs in the Global South (Parry & Terton 2016). The review of 224 adaptation projects and programs supported primarily by bilateral and multilateral organisations in 15 African and Asian countries yielded the following (see Fig. 13): the agricultural sector is the most prominent with efforts focusing mostly on building climate resilience and reducing vulnerability; second highest ranges the governmental sector with a strong emphasis on capacity-building measures at national or subnational level regarding planning and implementation of adaptation actions. In addition, disaster risk management ranged high in priority sectors on the third place. In this analysis, urban areas do not represent a particular focus of national adaptation policy-making, but rank medium with a moderate number of 21 projects (or 9%) in the sample. Given that 6 out of 15 investigated countries identify ‘urban areas and human settlements’ as a national adaptation priority, this share is less than could be expected and may indicate an adaptation gap. The study also identifies adaptation action gaps in relation to adaptation priorities identified by the surveyed developing countries in health, fisheries and the forestry sector (Parry & Terton, 2016).

Figure 13: Adaptation projects and programs in Africa and Asia (15 countries) per sector

Source: Parry & Terton (2016)

A.3.2.4 Mainstreaming of climate adaptation at local level

Climate adaptation is an extremely cross-cutting policy field that usually relies on cross-sectoral or multi-sectoral, so-called integrated policy strategies. In order to be implemented, many adaptation measures need to rely on incorporation into sectoral work streams. The overarching purpose of adaptation strategies as an instrument of policy-making thus is to integrate adaptation goals and concerns into sector policies and to achieve coordinated and coherent implementation, i.e. implementation in a way that minimizes trade-offs and optimizes synergies. To move from single pilot efforts to a more targeted strategy for climate adaptation planning and eventually achieve implementation on the ground, the integration of climate adaptation objectives and concerns into existing sectoral policies, work programs, practices, budgets, and routines is crucial. This process of horizontal policy integration is called 'mainstreaming', and horizontal governance can be seen as a main means to achieve mainstreaming and policy coherence (Lexter et al., 2018a; Climate-ADAPT 2021a)(see chapter 1.3).

Mainstreaming strategies

Wamsler and Pauleit (2016) have identified five possible mainstreaming strategies for policy makers and planners that are complementary and can reinforce each other, since a combination of strategies can balance shortcomings in individual activities:

- ▶ **Programmatic mainstreaming:** the modification of the implementing body's sector work by integrating aspects related to adaptation into on-the-ground operations, projects or programmes;
- ▶ **Managerial mainstreaming:** the modification of managerial and working structures, including internal formal and informal norms and job descriptions, the configuration of sections or departments, as well as personnel and financial assets, to better address and institutionalise aspects related to adaptation;
- ▶ **Intra- and inter-organisational mainstreaming:** the promotion of collaboration and networking with other departments, individual sections or stakeholders (i.e. other governmental and non-governmental organisations, educational and research bodies and the general public) to generate shared understandings and knowledge, develop competence and steer collective issues of adaptation;
- ▶ **Regulatory mainstreaming:** the modification of formal and informal planning procedures, including planning strategies and frameworks, regulations, policies and legislation, and related instruments that lead to the integration of adaptation;
- ▶ **Directed mainstreaming:** higher level support to redirect the focus to aspects related to mainstreaming adaptation by e.g. providing topic-specific funding, promoting new projects, supporting staff education or directing responsibilities.

Literature suggests that local climate adaptation mainstreaming is in its infancy, with unplanned processes being the normal and very few adaptation-targeted on-the-ground measures (reflecting mainstreaming on a programmatic and managerial level) (Wamsler & Pauleit, 2016; Runhaar et al., 2017). Only around one-fifth of the CoM signatories report good progress (over 50% completion) on implementation and mainstreaming of adaptive actions (EEA, 2020a). Also, the predominance of “soft” measures focusing on development of knowledge, awareness and regulatory base is an indicator for mainstreaming efforts at an early stage (EEA, 2020a).

These findings are supported by a **systematic literature review** of 87 peer-reviewed papers reporting on 140 cases of mainstreaming practises **across Europe and the Global South** conducted in 2017. It showed that **regulatory mainstreaming** (which ranges from including climate adaptation as an objective in sectoral policy documents to changes in strategic planning and legislative tools), **is the most frequently reported strategy (86%)**. The relatively lower frequency of managerial (73%) and intra- and inter-organisational (54%) mainstreaming suggests that more practical approaches are still lacking, i.e. how to achieve a stated policy aspiration or requirement in practice. In addition, **directed mainstreaming** (that is, **higher level support** to redirect the focus to aspects related to mainstreaming adaptation by e.g., providing topic-specific funding, promoting new projects, supporting staff education, or directing responsibilities) is **least reported (37%)**. Further, mainstreaming was reported to be effective (in terms of creating policy outputs) when several mainstreaming strategies were employed simultaneously; the **majority of success cases** across the four main sectors (i.e. environmental and natural resources management, crisis management, urban planning, water

and flood risk management) **exhibited a combination of managerial, intra- and inter-organisational and regulatory mainstreaming** (Runhaar et al., 2017).

Policies, regulations, legislation and policy instruments

The integration of adaptation in policies, regulations, legislation, and related instruments is the most frequently reported mainstreaming strategy. Whilst policy integration is often achieved, for instance by developing a (dedicated) climate adaptation strategy at local level, integration of climate adaptation concerns into regulatory frameworks is lagging behind.

Relevant environmental framework legislation is mostly issued at national level (i.e. review of EIA and SEA for stronger climate adaptation requirements), whilst LRGs have limited regulatory power. However, they have the authority to act on legal domains that are important for climate change adaptation, such as transportation, land use, housing, disaster management and natural resources. Since adaptation measures require space and are often in competition with other land uses, local climate adaptation strategies should be designed in consideration of and integration with other local-level planning instruments. LRGs can make use of regulation and planning law, by embedding climate adaptation in land-use planning, building permits, construction law, or resolutions, but also through economic steering (e.g., through climate adaptation-friendly procurement guidelines and criteria they can influence the procurement of goods and services) or voluntary measures (Zimmermann et al., 2020). A **need for a stronger recognition of the role of local governments in building climate-resilience and improvement potential in vertical coordination mechanisms** is emphasised throughout the reviewed literature (Runhaar et al., 2017; Sainz & Setzer, 2019, IISD, 2016).

An overview of the **most frequently used policy instruments** for climate adaptation in the **Global South** shows that their deployment differs greatly between national and subnational governments (see Table 5). **The most frequently used tool is public procurement, closely followed by regulation and legislation, voluntary agreements, climate change programs, prizes and awards.** At national level, certification schemes were ranking highest, followed by tax reductions, subsidies and loans. **Most common instruments**, at both subnational and national levels, **were climate change programmes, information and training, regulation and voluntary agreements** (Sainz & Setzer, 2019).

Table 5: Policy instruments used by subnational or national governments in the Global South for the mainstreaming of climate adaptation

INSTRUMENTS	SUBNATIONAL LEVEL	NATIONAL LEVEL	BOTH LEVELS	NEITHER	DON'T KNOW
Taxation fees	2	5	6	17	5
Tax exemptions or reductions	1	9	3	19	3
Subsidies, loans or reimbursements	1	9	11	9	5
Cap and trade	1	3	1	13	17
Regulation and legislation	4	5	25	1	0
Voluntary agreements	3	3	23	3	3
Standards	2	6	12	9	6
Certifications and labels	1	10	6	12	6
Prizes and awards	3	5	11	9	7
Information and training	2	5	27	1	0
Public procurement	5	1	12	8	9
Public system	4	1	16	4	10
Climate change programs	3	5	27	0	0
Others	0	1	3	3	28

Source: Sainz & Setzer (2019)

Organisational arrangements and human resources

The **configuration of sections or departments**, as well as the **dedication of personnel and financial resources** to address and institutionalise climate adaptation - managerial mainstreaming according to the typology of Wamsler & Pauleit (2016) - **is moderate across Europe and the global South**. A recent report of the EEA (2020a) states that specialised climate change departments at the local level are a rarity whilst climate adaptation is often integrated into existing departments with related policy domains (i.e. environment). E.g., 97% of 100 investigated Portuguese municipalities did not have a specific department for climate change, for 16% adaptation was dealt with by a department that also had other functions, and 53% had only an environmental department (see Box 2).

Dedicated human resources at municipal scale are in general very limited. Even in a well-organised and comparatively progressed country like Germany, human resources equal only 0.5 – 1 full-time equivalent positions on adaptation (most often shared with duties for climate change mitigation). **64% of German municipalities with adaptation functions in the local public administration use predominantly their own municipal budgets for financing these positions, while 33% make use of dedicated public funding for local climate managers**. About one third of all municipalities have no explicitly designated working capacities for adaptation available. Almost half of German municipalities compensated for the limited resources by hiring external experts (Hasse & Willen, 2019).

For capacity support, many countries opt for funding external expertise to help cities develop plans; others decide to train municipal staff on all aspects of climate change adaptation. While this can help to engage municipal staff for the long haul, it may not necessarily be possible or the most efficient solution for small municipalities short of staff (EEA, 2020a). **Limited human**

resources are often compensated by the development of cross-departmental teams (see Box 2).

A closer look into the cases where managerial mainstreaming is absent provides insight into current barriers. There is a **lack of technical skills and expertise** to adequately fulfill related functions at sub-national and local level, which sometimes results in dependence on consultants for technical input. **Knowledge about climate change is fragmented and specialised knowledge and guidance is missing.** For instance with regards to climate scenarios and how these should be integrated with urban planning, or with regards to responsibilities and processes of information distribution which hampers the integration of knowledge in practical implementation. The commissioning of external actors and organisations for climate-related studies and research is common practice, often by working in partnership with research institutes. Some municipalities work on closing this knowledge gap through internal capacity-building efforts (training for staff, participation of municipal staff in conferences, workshops or courses) (Friend et al., 2014; Pasquini et al., 2013).

There is **improvement potential for monitoring, evaluation and reporting of adaptation actions at subnational level.** According to a survey conducted by Regions4 and RegionsAdapt with 33 subnational governments, monitoring, evaluation and reporting processes are present in 50% of the cases. The study suggests a link between the level of experience with adaptation planning and complexity of monitoring and evaluation, creating shifts in adaptation tracking. Some subnational governments with longer adaptation planning experience are moving from measuring implementation towards outcome-oriented strategies. The study also mentions challenges, such as the lack of common metrics and approaches - an area in which national governments could contribute to by coordinating MER data and processes across governance levels (Sainz & Setzer, 2019).

Box 1: Organisational arrangements in cities of the Global South

Examples for the configuration of sections and personnel resources to address and institutionalise climate adaptation:

- ▶ **In the Philippines**, the Department of Environment and Natural Resources (DENR) is the key office that hosts an Interagency Committee on Climate Change (Lasco et al., 2009).
- ▶ **In Quito**, the Environmental **Secretariat** is currently the focal point for climate adaptation work. Staff members from the Secretariat dedicate much effort to helping other sectors consider climate change not solely as an environmental issue.
- ▶ The **city of Surat** (India) has established a local government unit, the Surat Municipal Corporation (SMC) that maintains detailed records of each natural disaster, continuously carries out citywide data collection and **recording**, and promotes citizen awareness over flooding, public health, and other hazard-related vulnerabilities (Anguelovski et al., 2014).

Examples for compensation of limited human resources through the development of cross-departmental teams:

- ▶ **In Quito**, an Inter-institutional Climate Change Metropolitan Committee, which represents a variety of sectors and agencies throughout the Metropolitan Government of Quito, has been created to help different **departments** interact with one another and monitor and evaluate climate actions. This committee has drafted an integral climate change strategy addressing both mitigation and adaptation (Anguelovski et al., 2014).

- ▶ The **city of Seoul** created three climate change-related public–private councils on climate change management: the Climate Change Fund Management Council; Seoul Green Growth Council; and the Green Seoul Citizen (GSC) **Council**. The GSC Council, which is chaired by the mayor, an NGO representative and a business representative, has an advisory role to city governments on both climate change mitigation and adaptation policies as well as in sustainable development and implementation of Local Agenda 21 (Lee & Painter, 2015).

Horizontal collaboration and cooperation

Collaboration among departments and sectors as well as with external (private actors) is only practised by a bit more than half of the investigated cases. Regarding horizontal coordination mechanisms across departments, two thirds of the local adaptation plans investigated by Aguiar et al. (2018) involved engaging various departments in adaptation planning and implementation, for instance through the set-up of interdepartmental working groups or a steering committee (consisting of city officials from different departments and interested citizens, as well as sometimes other stakeholders like businesses or information providers) (EEA, 2020a). The Malian Meteorological Department, for instance, with international community assistance, set up and coordinates the work of a multidisciplinary working group consisting of representatives from rural sector technical services, the Hydrology Department, and the National Radio and Television service which meets regularly (Huq et al., 2004).

Evidence suggests that coordination mechanisms for implementing adaptation work better at subnational level, but joint implementation with other stakeholders is relatively rare (Sainz & Setzer, 2019). Whilst the need for collaboration across departments (flood risk management, health, social care and housing, etc.) is often recognized by local authorities, sectoral compartmentalization or “policy silos” are an entrenched and fundamental organisational problem for mainstreaming across the globe (Kazmierczak et al., 2015; EEA, 12/2020). Institutional and organisational arrangements are reported to be uncoordinated and fragmented, and should be improved to provide enforcement capacity for the mainstreaming process, either through institutional reform or through establishing a cooperative mechanism (He, 2013; Lebel et al., 2011; Oulo, 2011). In addition, and with high relevance regarding ecosystem-based adaptation, urban-rural linkages of ecosystems are hardly considered, cooperation with stakeholders, planning and decision-making levels outside municipalities is in general low, which creates a mismatch in problem and governance scale (Wamsler & Pauleit, 2016).

A relatively low number of CoM signatories assessed their progress as more than 50 % complete on ‘appointing adaptation teams and assigning clear responsibilities’ (about 45%) and on setting up ‘horizontal coordination mechanisms’ (about 40%) (EEA, 2020a). While these shares relate to the adaptation policy development phase, there are also indications that institutionalising cross-sectoral coordination groups and mechanisms tends to be neglected once adaptation plans have been adopted and policy processes enter the implementation stage.

The survey of German municipalities by Hasse & Willen (2019) yielded that only one third of all municipalities have established cross-sectoral or cross-departmental working groups. About half of the local authorities do not have any cross-cutting coordination groups in place or do not intend to install such bodies.

An example for regulatory mainstreaming is the setup of sectoral adaptation plans, which may be driven by legal requirements or promoted by a general strategic framework for mainstreaming. **Mandatory obligations for setting up sectoral adaptation plans or for integrating adaptation into existing sector policy documents are certainly a push factor for adaptation policy integration, but they do exist only in some countries, and scarcely at local level** (EEA, 2021a). In essence, mainstreaming is mostly voluntary, non-hierarchical and collaborative, driven by self-interest of sectors, a supportive administrative working culture, and some amount of ‘social peer pressure’ (Clar & Steurer, 2017; Clar & Steurer, 2019; Lexer et al., 2018a; Lexer et al., 2020). Given the predominating absence of such mandatory mainstreaming requirements, the roles of adaptation coordinators related to awareness-raising, communication, information provision, capacity-building and efforts at persuasion are mainstays in setting adaptation on the agenda of other sectors. This points at the **crucial importance of having institutionalised central coordination functions in local authorities in place, combined with strong personal commitment of coordinators, a robust political mandate, and sufficient capacities, allowing them to act as ‘change agents’ towards sectoral actors at the same level** (Lexer et al., 2018a, 2018b).

Since mainstreaming of adaptation into sector policies cannot be forced, its success depends strongly on the attractiveness of adaptation solutions to other sectors, their political connectability and level-of-fit. Those sectors that are used to working with weather- and climate-related issues, are vulnerable to climate change, are already confronted with climate-driven problem pressure, and thus recognize that adaptation measures can help them in achieving problem solutions that are in their own sectoral self-interest are usually more active in adaptation than others (Clar & Steurer 2017, 2019). Mainstreaming in a voluntary, informal governance setting is thus strongly reliant on attractiveness of adaptation policy solutions to other sectors, i.e. on whether they perceive their own benefits, and on the compatibility with sectoral intervention logics. On the other hand, this also implies that adaptation coordinators have few opportunities to involve sectoral actors that are disinterested in adaptation, except if they are able to offer them financing (Clar & Steurer, 2019). Another facilitating factor is to involve sectors early on in co-development of adaptation policies and to balance the need for central coordination with giving sectors sufficient leeway to prioritise their own adaptation measures, thus allowing them to build ownership (Lexer et al., 2018).

Another challenge resulting from the absence of institutionalised horizontal coordination arrangements (reporting obligations, mandatory progress reports, permanent steering group, etc.) is a tendency towards decentralisation of the implementation process. This entails the risk that sectors develop too much autonomy and coordinators might lose their overview, resulting in uncoordinated policies (Clar & Steurer, 2017).

Integrated climate policies

As data presented in section 2.1 of this report demonstrate, and in correspondence with the strong bias of international climate financing volumes towards mitigation (see section 3), mitigation activities still clearly dominate over adaptation in cities across the globe, both in terms of planning and implemented actions. Available empirical evidence shows that **integrated approaches toward local climate action, which consider GHG reductions and adaptation to climate change in parallel, are even scarcer than stand-alone adaptation policies**, despite city networks such as CoM encouraging integrated climate action plans. **Cities mostly still pursue mitigation and adaptation in decoupled ways (EEA 2016), and ‘coordinated planning of mitigation and adaptation rarely occurs in Europe’ (EEA 2020a)**. In their analysis of 147 local adaptation strategies, Aguiar et al. (2018) identify a lack of operational

approaches toward cross-sectoral planning. Only about a quarter of all investigated cities that jointly address mitigation and adaptation goals in their action plans explicitly consider the synergies between both policy fields. An analysis of adaptation measures of 106 cities in 24 EEA member countries reporting to the CDP yielded that distinctly less than a quarter of all measures (52 of 220) also have positive mitigation effects (EEA 2020a). Reckien et al. (2018) concluded that just 17 % of 885 Urban Audit cities across the EU-28 had a joint adaptation and mitigation plan.

The reasons for lacking integration of mitigation and adaptation in cities are diverse and often linked to governance issues (e.g., EEA 2020a; Klein et al. 2007; Kern et al. 2001; Tews 2005; Landauer et al. 2019):

- ▶ national prioritization of mitigation policies;
- ▶ lacking national requirements;
- ▶ pre-existing local mitigation plans due to earlier agenda-setting;
- ▶ higher costs, administrative efforts and bureaucratic complexities of integrated programming;
- ▶ fears of demotivating actors and citizens that are already engaged in supporting mitigation;
- ▶ separated actor communities (in research, administration, practice) due to historical reasons and different structures of problems and solutions;
- ▶ organisational division of responsibilities.

Co-creation and transdisciplinary collaboration in mainstreaming

The following African case studies by the Urban Natural Assets (UNA) programme, implemented by ICLEI's Cities Biodiversity Center, demonstrate **how limitations in engagement among various sectors and governance levels can be overcome by means of transdisciplinary collaboration and co-production of knowledge** to mainstream nature-based solutions into practice (UNA 2020b).

Box 2: Case Study - Co-production of knowledge to effective mainstream nature-based solutions into urban planning in Kampala, Uganda, and Lilongwe, Malawi

- ▶ **Challenges:** The case study in **Kampala, Uganda**, displays the disconnect between national and local government levels. Even though NBS are defined within the national policy, actual implementation on the local level is hindered by the question which government tier is **responsible for enacting national policy requirements**. Despite Uganda's national policy, Kampala has developed at the cost of degrading the local urban environment, such as the city's surrounding wetlands. In Lilongwe, Malawi, little engagement between the city planners and environmental officers has led to **urban development decisions short of any regard to urban natural assets**.
- ▶ **Actions:** The UNA emphasized **capacity building** in both cities by connecting diverse stakeholders and **co-creating knowledge**, solutions, and improvement potentials. The workshops culminated in developing a mapping tool of natural asset hotspots and their ranking by priority to resilience and vulnerability. Both the methodology and final development of the maps engaged a diverse range of municipal teams and set the foundation

for cross-sectoral and transparent engagement. The tool has been **fully integrated into daily operations** and ensures putting nature-based solutions at the core of decision-making.

- ▶ **Outcomes:** The natural asset hotspot maps project in Kampala, Uganda, **improved information flows**, strengthened trust, and **clarified government-level roles and responsibilities**. The mainstreaming initiatives proved successful with integrating both maps and further recommendations into the Resilience Strategy of Kampala guideline. In Lilongwe, the local government has allocated a specific budget to NBS solutions in river restoration for city design. The Lilongwe City Council seeks to develop a co-production process as part of the ecological corridor restoration project.
- ▶ **Key learnings:** Both case studies highlight the **importance of knowledge co-production, learning, and relationship and process building** for effective mainstreaming. This requires a fundamental shift in the way planning and decision-making is carried out in cities. Simply presenting a plan or tool to city officials is insufficient and ignores the “complexities surrounding decision-making in African cities, as well as financial and political influences”. As more tangible system and process changes are time-consuming, i.a. because they require developing enabled people and incorporating information into city structures, equal attention should be directed at **softer measures to drive mainstreaming in practice**. These include relationship building, networking, capacity building, creating ownership through co-production, and breaking down power dynamics. These processes are time consuming and thus projects need to build in sufficient time to be successful (UNA 2020b).

City-to-city collaboration, city networks and initiatives

City networks - so-called transnational municipal networks - are non-hierarchical, horizontal structures, based on membership of local governments, which voluntarily collaborate to solve pressing environmental and societal issues. In the global environmental governance arena, they have become important drivers of local climate adaptation actions by bridging the gap between international (Paris Agreement, Global Biodiversity Framework) and European policies (European Green Deal, EU Climate Adaptation Strategy, etc.) and local action, i.e. the implementation of targets and agendas on the ground. Several networks of local governments and cities have emerged over the years, including C40, ICLEI Local Governments for Sustainability, Climate Alliance, Eurocities or United Cities and Local Governments (UCLG) (Frantzeskaki et al., 2019). They vary considerably in terms of membership numbers, financial contributions required, provided functions and services as well as the way they frame climate change and suggest actions.

Whilst they have varying roles, they contribute - to different extents - to capacity-building, mainstreaming climate adaptation in city planning processes, enabling cooperation between urban agents and its members, and policy learning.

Central functions of city networks are:

- **Knowledge brokerage** by translating scientific knowledge to policy practice and to policy solutions to enhance strategy development. By doing so, intermediary city networks make knowledge integration more effective at city level.
- **Capacity-building** through training, technical assistance and provision of guidance and toolkits to facilitate uptake and mainstreaming in policy and planning practises (i.e. urban greening plans). Capacity-building is also facilitated by peer-to-peer exchanges through platforms for sharing, learning, and aggregating knowledge and lessons across

scales (i.e. NetworkNature platform, CitiesWithNature platform, UrbanByNature programme, etc.).

- Fostering inclusivity of ideas and interest and the **co-creation of strategy development and implementation** by means of cooperation between different urban agents (different city departments, civil society, researchers, businesses).
- **Driving governance innovations and new paths of urban planning:** as partners in funded projects, municipal actors engage in small-scale pilots and experimentation. Perceived as non-threatening capacity building work, these can serve as stepping stones for new practises to be advocated and adopted in city-wide agenda topics like urban biodiversity (Frantzeskaki et al., 2019).
- Participation in city networks is valued for **improving access to external sources of funding** (Betsill & Bulkeley, 2004; Krause, 2012). City networks are used for fostering partnerships among members in order to jointly apply for EU project funding and fund pilot activities that often serve as an initial step-stone. It is up to the network members and how well they are able to make use of acquired skills to tap alternative funding sources from development banks and municipal budgets to sustain urban climate adaptation action in the long run (Brown et al., 2012).

Many countries also have long-standing **national networks of cities and municipalities**, whereby national governments often play a facilitating role in supporting city-to-city collaboration. Often, climate adaptation and support offers for municipalities are integrated into the array of topics of national Associations of Cities, Municipalities, or LRGs. Another form of city networks are thematic networks specialised in climate issues and usually consisting of committed frontrunner cities. The following Box 4 highlights some examples from European countries (EEA 2020a).

Box 3: Examples of national networks of local authorities collaborating on climate change issues

- ▶ Spain: dedicated network of climate-friendly municipalities.
- ▶ **Norway:** Front Runner Network of 14 cities, which aims to strengthen climate adaptation, locally and nationally, through developing new knowledge on climate change adaptation and exchanging expertise between participants
- ▶ **Netherlands:** City network Klimaatverbond, which works on climate change mitigation and adaptation, offers knowledge exchange on adaptation to over 160 Dutch members
- ▶ **Portugal:** Durable network of the Portuguese municipalities that participated in the ClimAdaPT.Local project

Source: EEA, 2020a

A.2.3 Multilevel governance of urban adaptation

A.3.3.1 International and European policy frameworks as enablers for local climate targets and action

From 2015 onwards, key **international policy frameworks** have been put into place that encourage adaptation to climate change at the local level, with emphasis on urban areas, and stress the importance of coherent and supportive multi-level governance frameworks for adaptation. The most international policy documents include: the Paris Agreement (UNFCCC, 2015), the Agenda 2030 for Sustainable Development - Sustainable Development Goals (SDGs) (UN 2015), with particularly SDG 11 and SDG 13, the New Urban Agenda (UN 2017), the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030 (UN 2015), the Global Research and Action Agenda on Cities and Climate Change Science (World Climate Research Programme 2019), and the forthcoming Post-2020 Global Biodiversity Framework, which states ecosystem-based (adaptation) approaches to contribute to climate mitigation and adaptation as one of its key targets.

These international frameworks tend to have an indirect impact on local adaptation, through regulation, funding and other instruments at the disposal of national states, as all of these agreements were negotiated and signed by national governments, with some consultation of city representatives, and most actions are to be implemented by national governments. The adoption of international frameworks does not necessarily directly prompt city action on adaptation (EEA, 2020a). For instance, in an analysis of the triggers leading to the development of 147 local adaptation plans in Europe, Aguiar et al. (2018) found that the United Nations Framework Convention on Climate Change process had prompted development of only 21 local adaptation plans (see chapter 2.3.2).

In the **European Union**, urban adaptation to climate change is firmly anchored in EU policy through the revised EU adaptation strategy (EC, 2021a), the EU Climate Law (EC, 2021b), the Regulation on the Governance of the Energy Union and Climate Action (EU, 2018) and a range of sectoral policies (such as the Floods Directive), funding systems and strategies that have indirect influence on adaptation in European cities and can play supportive roles.

The *New EU Strategy on Adaptation to Climate Change (EC 2021)* calls for a more systemic approach to adaptation, with a focus on local adaptation action among two other cross cutting priorities (integrating adaptation into macro-fiscal policy, nature-based solutions for adaptation). Under the heading “fostering local resilience” the strategy states that “the local level is the bedrock of adaptation, so EU support must help increase local resilience. (...) The Commission will support the local uptake of data, digital and smart solutions related to climate adaptation tailored to local and regional specificities”. More specifically, it is stated as an objective that “the Commission will step up support to planning and implementation of local adaptation and launch an adaptation support facility under the EU Covenant of Mayors”.

Further policy documents and initiatives that are to differing extents relevant to urban adaptation include the Territorial Agenda 2030, the New Urban Agenda for the EU, the New Leipzig Charta, the Green Infrastructure Strategy, and the Biodiversity Strategy for 2030.

Apart from EU sector policies, such as the Floods Directive, the aforementioned strategic policy documents are “soft policies” without any binding effects and with rather indirect influence on adaptation in cities (such as increasing political relevance at local level and providing motivation and legitimation to committed local actors).

A.3.3.2 Multilevel governance and vertical coordination

Adaptation is a typical multi-level governance task. Implementing adaptation across levels of governance in a coherent and effective way requires adequate mechanisms and arrangements for multilevel coordination and cooperation (see section 1.3). At least in theory, the national level has a central role in setting the country-wide policy framework and in supporting adaptation processes at lower-ranking levels. Multilevel governance in that sense entails providing a clear strategic and legal framework, funding and financing mechanisms, and a facilitating, enabling and empowering framework, including provision of information and other non-monetary forms of support (Lexer et al., 2018b; Climate-ADAPT, 2021a).

Vertical governance implies two directions and benefits: top-down, where enabling national frameworks empower subnational players, and bottom-up, where subnational initiatives influence national action (Sainz & Setzer, 2019).

Whilst climate commitments are often determined on national level, adaptation action - due to its strong local component - needs to take place to a large extent at local level. **According to a recent survey on laws and policies related to climate adaptation and DRR in countries of the Global South and Global North, about 50 percent of the local and subnational governments involved had responsibilities concerning climate adaptation** (Nachmany et al., 2019, cited in Sainz & Setzer, 2019). Depending on the degree of autonomy of local authorities, which can vary greatly between political-administrative state systems, local governments are responsible for - or have influence on, respectively - tasks and fields of competence that are directly or indirectly relevant for adaptation and represent entry points for adaptation measures. For instance, in many European countries with comparatively high levels of local self-government, municipalities are usually responsible for a broad range of adaptation-relevant tasks, in their role either as autonomous administrative bodies or as cooperation partners of higher-ranking government levels. These municipal fields of action often **include local spatial and urban planning, building acts and permits, civil protection and emergency response, management of local public infrastructure and service utilities (water supply, sewage disposal, energy supply, etc.), social and health infrastructure and services**, etc. (Lexer et al., 2018). National governments rely on subnational governments to plan and implement respective measures to adapt to the impacts of climate change, such as flooding, droughts or heat waves, and to fulfil international commitments and agreements such as the Paris Agreement (Sainz & Setzer, 2019).

Most countries have set up **vertical integration and coordination mechanisms** between administrative divisions and levels of governance. These range from predominantly soft and voluntary steering to an enabling governance framework with soft support measures including advisory services, decision-making tools, best practice exchange platforms and capacity-building, to monetary support in terms of national funding programs, or improving access to international funding (see Table 6).

Regarding collaboration between national and subnational level, the most frequent instruments are coordination meetings between national and subnational representatives, bilateral consultations, inter-ministerial committees, cross-level and/or cross-sector working groups or national adaptation steering committees (EEA, 2014, 2020a, 2020b). However, there are also examples of countries that employed stakeholder participation and temporary vertical coordination formats during national strategy development, but did not establish permanent and formal vertical coordination mechanisms for its implementation, e.g. in Austria (Lexer et al., 2018b).

The cooperation between national and local authorities depends greatly on a country's multi-level governance setup and culture, as well as available funding and priorities (EEA, 2020b). Adaptation scholars agree that national policies can play a key facilitating role. **Norway**, the **Netherlands**, and **Denmark**, for example, were successful by applying **centralised adaptation governance with the national state playing an active and coordinating role for small municipalities** (Rauken et al. 2015, van den Berg & Coenen 2012, Dannevig et al. 2012, Lonkila 2012, Amundsen et al. 2010). Countries like **Italy**, **Finland** or **Brazil** rely on **decentralized adaptation governance** with inclusive approaches towards local governments (Wamsler & Brink 2014, Juhola & Westerhoff 2011, Finan & Nelson 2009). **Sweden** operates **in between both models**, utilizing a strongly centralised governance approach that explicitly facilitates municipal autonomy and bottom-up involvement (Lonkila 2012). Although it becomes obvious that **national support of local adaptation does not follow a one-size-fits-all approach** (Buschmann & Steurer, 2020), yet regulatory requirements for local adaptation planning by the national level are effective at least in terms of producing a higher number of policy outputs (local adaptation plans), and especially if obligatory provisions are combined with higher-level support through funding and/or knowledge provision and capacity-building.

In the **Global North**, only **a minority of countries have chosen to make adaptation planning obligatory at local level through stipulation in national regulations** (Denmark, Ireland, Sweden, the UK). Territorial Climate and Energy Plans (covering adaptation and mitigation) have been mandatory for local authorities with more than 50 000 inhabitants in France since 2010. In 2016, when air quality was also incorporated into these plans, the obligation was extended to the French local authorities with more than 20 000 inhabitants. Local adaptation planning is also to be mandatory in Croatia. **While such top-down coercion does indeed produce a higher number of local adaptation policy documents, there is as of yet not sufficient empirical evidence that top-down legal requirements also result in more measures actually implemented on the ground** (EEA, 2020a). In Sweden, municipalities are obliged to carry out risk and vulnerability assessments (regarding risk of damage to the built environment by climate-related events). In contrast, in the Netherlands, Climate Stress Tests (as part of the Deltaplan Spatial Adaptation) are performed voluntarily by municipalities, whose results outline support needs towards the national government and support funding allocation to local authorities (EEA, 2020a).

Legal obligations can also originate from sectoral policies, including such at EU level. Some countries also consider it an option to include adaptation explicitly in the statutory tasks of municipalities. In any case, top-down requirements should go hand in hand with support for fulfilling this task, including provision of funding.

National-level support for cities and local authorities for adaptation involves **(topic-specific) funding** and a large potential **portfolio of 'soft' support measures**: capacity building (supporting staff education), policy counselling and advisory services, knowledge provision and brokerage as well as directing responsibilities for climate adaptation (see Table 6). Yet, type and amount of national-level support differs among countries.

According to a survey with subnational governments from the **Global South**, **the support received from national governments in the adaptation planning phase was of technical nature, followed by capacity building and financial support and investments. Other types of support were national guidelines for adaptation, information sharing (e.g. through platforms), monitoring and evaluation and participation in research programmes. However, more than 30% of the respondents reported little or no support.** Noteworthy, local and subnational requirements towards national support and thus support strategies vary

based on the phase of the policy process actors find themselves in. Actors in the first policy phase focus on laying the groundwork and aim at capacity-building, governance and policy change. More advanced adaptation planning processes aim to improve the existing knowledge base and look at implementation and monitoring systems to evaluate outcomes rather than policy implementation (Sainz & Setzer, 2019).

Table 6: Types and examples of national level support for local adaptation

Type of support	Description of mechanism, examples
Legal requirements for local adaptation planning	Regulatory obligations for cities and municipalities to engage in adaptation by stipulations at national level (e.g., Denmark, Ireland, Sweden, France, the UK)
Policy inputs from higher-ranking levels	Existence of national adaptation strategies and plans can provide legitimization, motivation, guidance, a knowledge base and reference frame for adaptation policy making at local levels
Knowledge generation, provision, brokerage	Online resources (adaptation portals, guides, tools, checklists, best practice examples, information materials), climate services, climate and adaptation research, climate scenarios, vulnerability/impact/risk assessments, involving local actors in co-design of information products to enhance their usability
Adaptation advisory services for municipalities	Personalised, face-to-face counselling and knowledge brokerage of municipal decision-makers by qualified staff; in some countries, such advisory services are at least partly funded and/or trained by the national Ministry or Agency; (e.g., mobile task force established by Danish Ministry to provide adaptation planning support for local authorities, focusing specifically on solutions regarding floods and erosion; training of adaptation advisors for municipalities co-funded by national Ministry and state governments in Austria).
Multi-level and cross-sectoral national task forces provide innovative support for municipalities	In Austria, an interdisciplinary and cross-level working group integrating climate adaptation and disaster risk officers from national and sub-national levels has been established at national level to jointly work towards implementation of cross-cutting action fields of the NAS. The WG on “Self-reponsible risk precaution” acted upon political mandate and developed a new policy counselling tool to strengthen risk preparedness of municipalities (Lexter et al. 2018b).
Training and education programs	Training courses and peer-to-peer learning formats on adaptation targeting local and regional adaptation actors.
Facilitating access to (external) funding	External funding (European Economic Area grants, etc.) for capacity-building measures for local authorities in adaptation planning is often channelled through national agencies. In Portugal, the ClimAdaPT.Local project supported the development of 27 local adaptation strategies, ensuring consistent coverage across the country (Aguiar et al., 2018). After the project concluded in 2016, the participating municipalities created a National Network of Municipalities for Adaptation to Climate Change, which has since continued knowledge exchange through, for example, annual seminars on local adaptation (Eionet, 2019). Municipal staff in Portugal are also offered training programmes on interpreting climate data and applying it in risk and vulnerability assessments.
Dedicated national funding (programs) for local and regional adaptation	Pilot or model region programs to support adaptation in regions and municipalities are in place, e.g., in Switzerland and Austria. The Austrian model region program invests in particular in funding of regional climate adaptation managers. Especially if such programs are embedded in the multilevel governance framework for adaptation, they can also fulfil important vertical coordination functions (e.g. by promoting coherent implementation of actions in the NAP).

Type of support	Description of mechanism, examples
National facilitation of municipal networking and of participation in (international) city networks	The national level can promote and support organisation of inter-municipal cooperation and regional municipality networks, and it can facilitate access and participation of cities in (international) city networks (e.g. Covenant of Mayors, ICLEI, etc.).

In general, higher level support is more important for smaller municipalities: 68 percent of smaller signatories to the CoM indicated the involvement of higher governance levels to be high, compared to 16 percent of larger signatories. This clearly indicates the importance of a multi-level approach in ensuring that the smaller local authorities engage in adaptation planning (EEA, 2020a). At the same time, there is evidence that the absence of higher level funding and other types of support for local climate adaptation actions can be compensated by other strategies, such as increased cooperation among departments or with external stakeholders (Wamsler & Pauleit, 2016).

Overall, it seems that countries have established stronger mechanisms for vertical than for horizontal coordination globally (Bauer et al., 2012; Sainz & Setzer, 2019). However, **vertical integration and collaboration still features as a frequently mentioned barrier when it comes to climate adaptation mainstreaming** (Runhaar et al., 2017). Next to the diversity of subnational governments' characteristics, interests and priorities, jurisdictional issues (no full jurisdiction on adaptation) and policy gaps between national and subnational policies are mentioned as constraints for effective vertical integration (Sainz & Setzer, 2019).

Clar (2018) analysed 14 multilevel adaptation processes involving six countries and six large cities in Europe, Australia, and Canada to investigate how adaptation strategy processes at the national and local level interact with each other, and how/if these interactions affect the implementation of adaptation actions. In contrast to the importance of coordinated multi-level governance emphasized by many researchers as well as in international and national policy documents, the study found surprisingly detached processes at different levels and a huge gap between theory and current practice. Overall, **vertical coordination between national and city levels** was found to be **predominantly informal, irregular, voluntary and unsystematic, or at best limited to single projects or the exchange of information. Neither at the national nor at the local level any institutionalised mechanisms for vertical integration - such as permanent coordination bodies, formal commitments, cyclical work plans, reporting obligations, mandatory progress report - were in place.** Similarly, pro-active attempts to shape or to be integrated into adaptation processes at other levels were lacking. Clar (2018) concludes that adaptation strategy processes are rather weak coordination hubs that are unable to force themselves onto local agendas. In the absence of binding regulations, this implies that instead of trying to force the coordination of adaptation across levels by means of strategies, coordination should rather take place in the context of concrete policies, projects or measures (Steurer et al., 2018). However, it has to be considered that these findings relate to large cities of the Global North (Copenhagen, Helsinki, London, Melbourne, Rotterdam, Vancouver). Larger cities with high adaptive capacity and sufficient financial resources are not dependent on 'help from above', but rather prefer to maintain autonomy over their measures and being independent from top-down influences and funding conditions.

In the Global North and South, financial issues in terms of limited staff and problems with access to funding are the highest ranking constraint identified by subnational

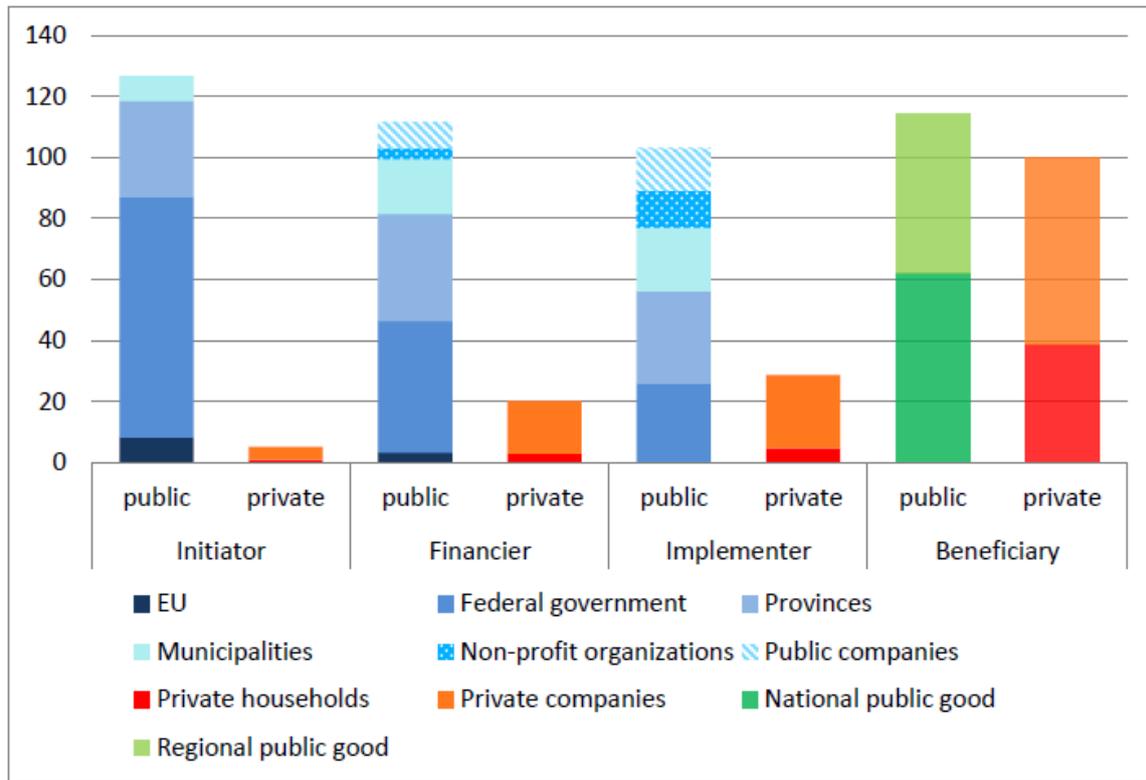
governments for implementing adaptation (over 90%), followed by absence of technical capacity (77%). Interestingly, the absence of legal frameworks and binding regulations is the lowest ranking barrier with only 40% (Sainz & Setzer, 2019). These findings suggest that national support programs should prioritise capacity-building for developing expertise on climate adaptation action as well as on access to funding. Since climate adaptation mainstreaming is in its infancy without substantial institutional embedding, **local climate adaptation measures are often implemented as part of pilot projects.** These are in essence lengthy and resource-intensive, face insufficient budget allocation and in turn, easy up- or out-scaling is not a given. A shift from small-scale projects to a more general focus on helping cities lay the foundation for better access to finance could be a potential solution to this challenge (UNA, 2020a).

Cities and municipalities are addressed in most NAS and NAP as key actors for adaptation.

In national adaptation strategies across Europe, spatial and urban planning is fifth in the order of priorities (after water, agriculture, forestry, and human health) (EEA 2014, 2016). Different approaches are taken to address urban adaptation in national strategies. The most frequently occurring models include: i) covering urban issues in a specific part of the NAS; ii) mainstreaming urban issues throughout the sectoral activity fields; iii) mainstreaming urban issues thematically in priority sectors, such as building and construction, spatial planning, health, transport or disaster risk management (Breil & Swart 2015; EEA, 2016). However, there are also countries that do not explicitly address adaptation in cities in their national policy frameworks at all.

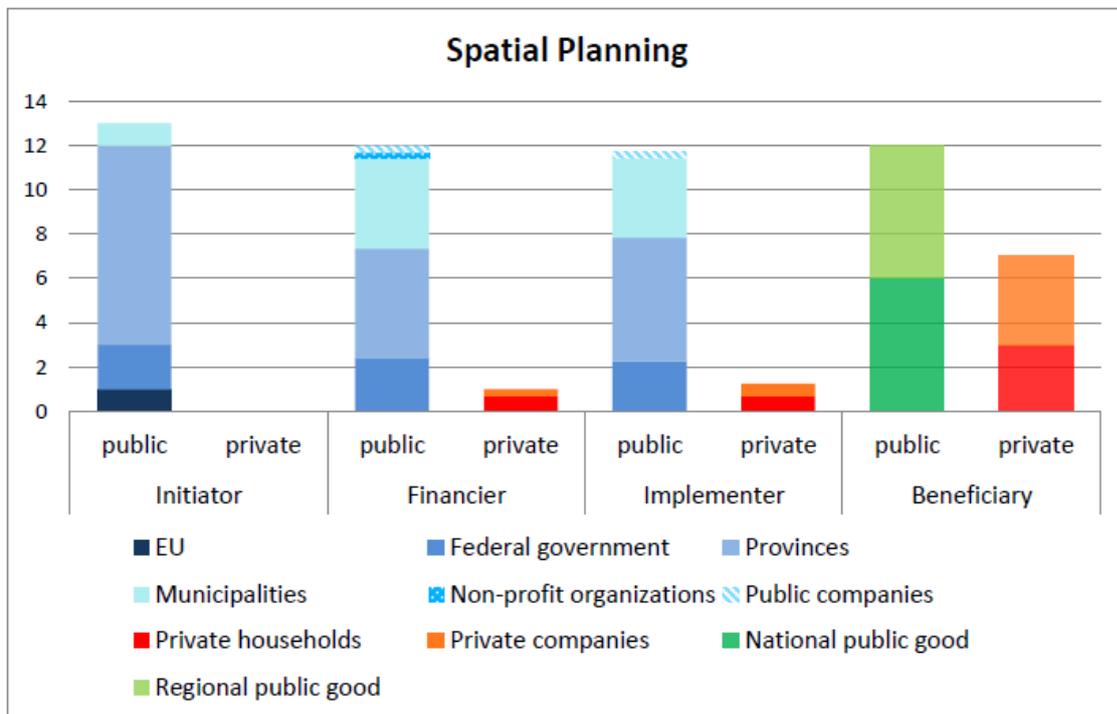
An analysis of the Austrian National Adaptation Action Plan according to actor categories, governance levels, and stages along the sequence of implementing measures (initiating, financing, implementing, benefitting) demonstrates the relative importance of local authorities in implementing adaptation measures formulated in the NAP (Knittel et al., 2016). Local authorities are explicitly addressed as implementing actors in 60 (out of 136) recommendations for action. The importance of local authorities tends to increase as implementation progresses from initiating towards actual implementation, while their role in the financing phase is slightly less pronounced (Figure 14). Overall, municipalities tend to have a less important role in financing and implementing adaptation than the higher-ranking government levels (federal, state/provincial), but the importance of the local government level is rather similar to the other levels in the activity fields natural hazards protection, disaster risk reduction, construction & housing, health, water management, and transport infrastructure. The two activity fields where municipalities have the comparatively strongest role are Spatial Planning (Figure 15) and Cities – Urban Green and Open Spaces. Not surprisingly, in the latter activity field local authorities are the actor most often responsible for initiating, financing and implementation (Knittel et al., 2016). The analysis also underlines the strong need for cooperation between levels and between public and private actors in implementing the measures of the NAP across levels.

Figure 14: Relative weight of public (incl. municipalities) and private actors along the sequence cascade of all measures in the Austrian NAP



Source: (Knittel et al. 2016)

Figure 15: Relative weight of public (incl. municipalities) and private actors along the sequence cascade of measures for activity field Spatial Planning in the Austrian NAP



Source: (Knittel et al. 2016)

Nearly all EU MS claim that they involve local authorities in the design and implementation of national adaptation policies, e.g. through involvement of associations of cities and municipalities in the policy development process (participation, consultation) (EEA, 2020a). **A survey conducted with 33 subnational governments from 18 countries in the Global North and South** yielded that national adaptation planning processes have been initiated in all 18 countries where the respondents are located, even though not every country has already adopted a National Adaptation Plan (NAP). When **asked about their participation in the developing process of the NAP, most subnational governments (71%) were involved, while 20% had no involvement in the development of the NAP.** Those who responded negatively generally have competences for planning and implementation of most sectoral policies related to adaptation, such as land-planning, disaster risk reduction, water management, agriculture or biodiversity. Literature suggests that the proportion of local governments with adaptation strategies tends to be higher in countries with longer-established national adaptation strategies (NASs) (Heidrich et al., 2016). Most respondents (75%) have or are developing their own Subnational Adaptation Plans (SAP). Half of the respondents reported that subnational characteristics and/or other aspects of the SAPs had been incorporated into NAPs, while the other half said these had not been considered (Sainz & Setzer, 2019).

Where NAPs exist, the prevalence of respective local or regional adaptation plans varies among world regions. This implies that higher-level adaptation plans do not necessarily prompt the issuing of a local or sub-national equivalent. **According to the CDP 57% of local and regional governments (LRGs) have developed a climate adaptation plan and 81% are engaged in climate actions in 2020, which represents more than 3,000 climate adaptation measures in place. Oceania and Europe take the lead with 76% and 74% of the local governments reporting a specific plan respectively. In Asia, 60% of the LRGs reported an adaptation plan, while in Latin America only 39% presented such a framework. Noteworthy, 43% (353) of the LRGs that represent a projected population of over 400 million people by 2030, do not yet have plans that tackle climate change and risks. They indicated barriers such as budget, housing issues and poverty challenges as the main obstacles to adaptation action (CDP 2021).**

National adaptation strategies and plans are mostly soft policies without direct legally binding effects, and as such **are neither necessary nor sufficient conditions for the implementation of concrete adaptation policies.** However, it has been shown that they can provide a knowledge base, reference frame and model for lower-ranking levels. They fulfil **important functions in terms of awareness-raising, agenda-setting, communication, motivation and capacity building, and they give legitimation to policy makers that want to set up adaptation plans at their own levels** (Steurer et al. 2018; Lexer et al., 2018a). Such policy inputs from higher-ranking levels have been identified as a complementary facilitating factor especially in smaller municipalities (Lexer et al., 2020). However, there are also strong indications that this effect may be limited: according to the survey of German municipalities by Hasse & Willen (2019), less than half of all municipalities were aware of the goals of the German NAS. In a case study of supposed Bavarian adaptation frontrunner municipalities, the vast majority of interviewees either never heard of the German NAS or were sceptical about its local applicability (Buschmann & Steurer, 2020).

Focusing on **smaller municipalities** (below 20-30,000 inhabitants), Buschmann & Steurer (2020) and Lexer et al. (2020) identified **barriers and success factors for agenda-setting and institutionalising local adaptation in a multi-level governance context.** Among all analysed influencing factors, the following ones have the strongest relation to cooperation with higher-ranking government levels:

Barriers:

- ▶ *Low political relevance and missing local political will:* although low political priority of adaptation in local authorities can have many reasons, e.g. tight and competitive municipal agendas with too many other obligatory tasks and short-term issues, it appears to partly result from low levels of political commitment and lacking binding effects of adaptation at higher-ranking levels.
- ▶ *Legally non-binding character of climate adaptation:* lacking regulatory requirements for local adaptation and perception of adaptation as an additional, voluntary municipal task.
- ▶ *Institutional resistance and desire for municipal autonomy:* in particular in state systems with strong local autonomy, top-down steering from the national level often meets upon scepticism and defensive attitudes.
- ▶ *Incoherent central provisions:* poorly coordinated or contradictory national regulations and policy instruments are perceived to often inhibit local adaptation efforts.
- ▶ *Difficult access to funding programs of higher levels:* small municipalities are lacking the capacities, expertise and skills to access national funding offers and are over-challenged with respective administrative requirements.
- ▶ *Lack of financing:* lacking eligibility of adaptation measures in general, investments for on-the-ground measures in particular, and specific personnel (adaptation coordinators) in national funding instruments

Success factors:

- ▶ *Strategies and political provisions for climate adaptation at higher-ranking levels (national, federal state):* legitimating, stimulating and guiding effects of policy inputs from national level.
- ▶ *Transfer and advisory agencies and networks operating close to municipalities:* intermediary organizations working at eye level with municipalities (e.g., Climate Alliance, regional energy agencies, regional development agencies, LEADER managements, etc.) can fulfil important functions in terms of information, advice, knowledge brokerage, contacts to experts and actor networks, funding support, etc. National financing of such intermediate agencies thus creates considerable added value.
- ▶ *Regional networks of municipalities:* facilitating roles of higher-level authorities in organizing and coordinating such networks.
- ▶ *Supportive and coordinating governance framework by higher-ranking levels (national, state level):* all non-monetary, ‘soft’ support measures aimed at building adaptive capacities at local level.
- ▶ *Public funding of climate adaptation in municipalities:* particularly effective in terms of vertical integration if financial incentives are coupled with binding funding conditions requiring, e.g., climate impact assessments and anticipatory adaptation planning, coherence with national adaptation policies, creation of long-term coordination functions, etc. (‘soft coercion’ governance mode).
- ▶ *Low-threshold access to funding programs:* small municipalities need clear and straightforward funding conditions as well as advice and support for application.

- ▶ *Legal obligations for climate adaptation by municipalities: e.g., by defining adaptation as a statutory task of local authorities.*

A.3.3.2 Subnational support and regional governance

As intermediary between the national and local level, **the regional level can be crucial in coordinating and supporting local climate action**. Regional governance frameworks can be operated by subnational governments, or they can be deployed as more informal, intermediate layers in between subnational and local authority levels. Having a rooted tradition especially in federal state systems, regional actors can play a pertinent role as vertical coordination and transfer agents, knowledge hubs as well as facilitators of access to funding or to inter-city networks. Especially for smaller municipalities with limited resources, capacities, and expertise, the regional level is an intermediate step between national and local adaptation in many countries. Regional-level adaptation planning is particularly important in adaptation planning in countries with federal structures (e.g. Belgium, Germany, Austria).

Not only can regional governments or regional management units provide capacity support. Adaptation strategies developed by federal states can also have a steering effect at the local level by raising motivation, providing orientation, legitimation and guidance to local authorities. In several countries, sub-national coordination mechanisms have been developed to provide capacity support to the local level: through region-specific guidance, or through coordinating local levels in their adaptation efforts (EEA, 2020a; Lexer et al. 2018b).

Box 4: Case study - Regional governance approach in federal funding program for climate adaptation model regions in Austria (KLAR!)

In Austria, a federal funding program for climate adaptation model regions successfully applies a deliberate regional governance approach. Key success factors that demonstrate the potential and added value of regional adaptation governance and are in principle transferable to other countries include the following (Lexer et al., 2018a; Lexer 2021a):

- ▶ Provision of public national funding for installing regional adaptation managers, who act as “change agents” and caretakers towards municipalities and as coordination hubs between national and state levels, on the one hand, and municipalities, on the other. Strengthening regional coordination capacities helps overcoming the omnipresent barrier of lacking municipal capacities (manpower, expertise) and difficulties in access to other funding sources;
- ▶ Mandatory development of a regional adaptation concept with concrete adaptation measures, responsible actors, and time horizons in participating municipalities;
- ▶ Combining bottom-up prioritization of climate risks and adaptation measures according to local contexts with requirement to demonstrate coherence with adaptation strategies at national and state level;
- ▶ Set-up of governance structures (steering group, municipal contact points) with clear roles in each model region;

- ▶ Creation of municipality networks for inter-municipal cooperation and peer-to-peer learning within each region, which allows pooling of resources, mutual learning and coordination of adaptation measures extending beyond municipal boundaries;
- ▶ Central service platform for all model regions at national level, which provides expertise, prepares and brokers knowledge, and links to higher-level adaptation strategies;
- ▶ Use of synergies with existing regional governance and management structures, e.g. for climate mitigation, energy issues or sustainable development, and alignment of respective strategies, goals and measures.

Box 5: Case study - Subnational adaptation action and planning capacities in Kazakhstan

In Kazakhstan, subnational adaptation action and planning capacities were enabled by **creating imperative strategic links between the national and provincial governance levels.**

- ▶ **First, policy coherence and integration across levels was safeguarded.** The close collaboration of the two national key players regarding climate adaptation has been a key determinant of enabling climate-resilient action at subnational level: the Ministry of Energy, which takes the lead of all climate-related efforts (agriculture, emergencies, water management, health) and the NAP process; and the Ministry of National Economy, which oversees the Territorial Development Program that integrates key priorities and guidelines of high-level strategic documents. It requires provincial governments to develop action plans based on specific guidelines and thus play a crucial role in linking national and provincial agendas.
- ▶ **Second, a cross-level coordination mechanism was developed to ensure the involvement of subnational actors in the development of the NAP process.** A round table was set in place gathering representatives from the two ministries and other stakeholders to determine key entry points for vertical integration of climate adaptation into subnational development planning. Two such entry points were identified: the integration of climate adaptation concerns and risks into high level 10-20 year strategic planning documents; and harnessing existing inter-agency working groups, set up for the SDG process, to steer cross-sectoral farming of climate action and thus, facilitate links to national priorities (Sainz & Setzer, 2019).

Another way of subnational support are **Regional Adaptation Partnerships** (representing network governance) which have been piloted in Canada and the UK (Bauer & Steurer, 2014). Their role is to facilitate climate change adaptation by coordinating activities across levels of government and societal domains. Such partnerships can be steered top-down or bottom-up. The former ones have a stronger focus on vertical coordination of adaptation policies, are government-led - with provincial and national level actors both playing key roles - with a hierarchical funding scheme from national level which pre-defines geographic and thematic scopes of partnerships (Canada). In the latter form, there is strong engagement of local authorities, interest groups, businesses, research organisations and public agencies, not only as partners in their activities but also as core partners in governance. National partners are hardly involved in steering. They focus on both vertical and horizontal coordination across societal domains.

Both types of Regional Adaptation Partnerships facilitate adaptation actions indirectly and directly. Indirectly through building adaptive capacities among decision-makers in the public and private domain, and directly by supporting the (re)formulation of policies

and plans. They also contribute to building knowledge through assessments, scenarios or case studies, and by providing decision-support and policy guidance tools such as handbooks, assessment instruments or training (Bauer & Steurer, 2014).

A.2.4 Conclusions and lessons learned

A.3.4.1 Governance of urban adaptation

- ▶ **Mind the implementation gap:** Local adaptation planning is time- and effort-intensive, and usually done by a very limited number of civil servants in local authorities, causing slow progress on the ground. Literature suggests, and empirical data confirm, that climate adaptation mainstreaming is still at an early stage. While integration of climate adaptation concerns into sectoral policies has accelerated, this progress in policy integration has however not yet translated into widespread implementation of on-the-ground measures. Higher-level requirements for cities to develop adaptation (or similar) plans result in a higher number of plans being produced, but it has not been confirmed that they are widely implemented. This indicates an implementation gap, which can be linked to several **barriers** experienced by local authorities and stakeholders groups when planning and implementing adaptation action.
- ▶ According to Runhaar et al. (2017), the most frequently mentioned **barriers** (starting from the highest ranking) are:
 - lack of cooperation and coordination among departments and policy domains
 - lack of financial resources,
 - the absence of clear mandates,
 - conflicting political interests, and
 - inert organisational structures, routines, and practices (path dependency).

These barriers are mostly governance-related and explain the slow progress in mainstreaming adaptation in terms of developing cross-sectoral adaptation plans and integrating adaptation in decisions, investments and actions of urban sector departments in a coordinated and coherent way. Overcoming these barriers calls for **directing adaptation funding towards strengthening of coordination capacities** in cities and at higher-ranking levels.

- ▶ **Departmentalism and ‘policy silos’:** Whilst the need for collaboration across departments (flood risk management, health, social care and housing, etc.) is often recognized by local authorities, **sectoral compartmentalization is a fundamental organizational problem for mainstreaming across the globe**, along with uncoordinated and fragmented institutional and organisational arrangements (He, 2013; Lebel et al., 2011; Oulo, 2011).
- ▶ **Availability and access to funding:** Whilst local budgets are the most widespread funding source for adaptation planning and implementation (EEA, 2020a), the analysed cases clearly emphasize the need for better access to and availability of financial resources. **Financial issues are among the highest-ranking barriers for local climate adaptation action, followed by (lack of) technical capacity, institutional capacity and regulation** (Sainz & Setzer, 2019). Dedicated civil servants working at the local level and acting as initiators, drivers, pushers, brokers of access to external funding can compensate for shortcomings in other areas, such as lack of (national or local) legislation or political support (Wamsler & Pauleit, 2016).

- ▶ **Unclear or lacking responsibilities:** Vague responsibilities have been identified as a decisive barrier in adaptation governance, resulting in a lack of climate adaptation action on the ground. Formally allocated responsibilities can help structure the collaboration between actors and provide them with legitimacy (Mees, 2016). Clear mandates confer a politically backed, stronger status, along with norm-setting and rule-making authority based on which budgetary requests can be made (Bauer & Steurer, 2014). Since responsibility for adaptation tends to be concentrated in a single department, usually urban planning or environment, **collaboration with other departments and stakeholders is key to safeguard adequate coverage of other policy domains in adaptation (i.e. health, social issues, etc.)** (EEA, 2020a). Early involvement of sector departments already in the stage of adaptation policy development fosters buy-in, and giving sectors adequate leeway for developing and prioritising their own adaptation measures strengthens ownership and readiness for implementation.
- ▶ **Previous experiences in environmental policy integration is a driver / precursor of adaptation mainstreaming:** Municipalities that have already successfully integrated other cross-cutting issues are more likely to make progress in adaptation mainstreaming. Previous creation of **decentralized structures that promote inter-departmental planning**, and the **appointment of officials who are responsible for horizontal coordination**, were also identified **to be crucial**. If such coordination structures and mechanisms (e.g. for mitigation of climate change or local sustainable development) already exist and are well-working, it may be beneficial to extend their scope and mandate and to integrate adaptation into these already established structures, rather than creating new ones. In contrast, mainstreaming that is not linked to existing planning structures and processes (as is often the case with externally funded engagement) shows limited success (Wamsler & Pauleit, 2016).
- ▶ **Size of local authority as contextual factor:** Literature suggests that the size of a municipality and resources available influence climate adaptation action. Literature (Thörn et al., 2016; Vogel & Henstra, 2015; Amundsen et al., 2010) and empirical studies (Bausch & Koziol, 2017; Buschmann & Steurer 2020) show that engagement in adaptation decreases in an almost linear manner with decreasing size of municipalities. **Smaller municipalities** are lacking capacities regarding all aspects (financial resources, municipal staff, worktime, expertise and know-how, contacts to relevant actor networks, science-practice interface, etc.) that are required to tackle adaptation. **Smaller municipalities are also less advanced in participatory mechanisms and stakeholder engagement** (citizens, research institutions, private sector) (EEA, 2020a). Only larger cities manage to develop and deliver adaptation strategies without wider support and guidance (Reckien et al., 2015). This creates a considerable gap between smaller and larger cities, which should be addressed by providing guidance and support for cities and towns of all sizes (Heidrich et al., 2016).

A.3.4.2 Research gaps, data and knowledge gaps, methodological limitations

- ▶ There is no single comprehensive overview of adaptation planning and action at the local government level, not even in Europe. Instead, information and state of play and progress in local adaptation needs to be extracted from a rather fragmented landscape of separate (and partly overlapping) databases with different coverage and scope, as well as from academic review studies with larger empirical samples. The paucity of coherent country reporting on local adaptation makes it difficult to draw definite conclusions on the preparedness of

European cities and towns for climate change and is an obstacle to understanding the status quo and taking further action at the European level (EEA, 2020a).

- ▶ A limited number of international databases and web portals, which gather, register and track data on adaptation in cities, represent an important knowledge resource. At the global level, prominent examples of more comprehensive databases include the NAZCA GCAP portal, the CDP-ICLEI Unified Reporting Platform, and the Global Covenant of Mayors (GCoM). At the European level, self-reported information about adaptation in cities is available at the Covenant of Mayors for Climate and Energy (CoM Europe). Analysis of information from these databases can provide an incomplete overview picture of status and trends in urban adaptation, but it cannot be a substitute for a comprehensive global stocktake, which has yet to be undertaken. Investigation of e.g. the Covenant of Mayors for Climate and Energy database and the CDP-ICLEI Unified Reporting Platform is a litmus test of the state of local adaptation, but it excludes the cities active in adaptation as a result of national regulations, within other international networks or on their own initiative. Regular national reporting on the proportion of cities with adaptation action plans and at the implementation stage would facilitate the understanding of the current situation in Europe. Knowledge gathered through such reporting would be particularly helpful to identify the need for support from higher governance levels (EEA, 2020a).
- ▶ More research is needed to evaluate which modes of governance are the most effective in stimulating implementation of adaptive actions on the ground (EEA, 2020a).
- ▶ Whilst locally led adaptation is an emerging priority for governments and donors, information about adaptation finance on local level (i.e. about how much finance reaches the local level and whether this finance is available to support locally led adaptation) is very limited, inaccessible, and difficult to produce (Coger et al., 2021).

A.2.5 Recommendations for enhancing the governance of urban adaptation

- ▶ Growing experiences in planning and implementation, especially of nature-based solutions, with the multitude of benefits they deliver to a variety of stakeholder groups (who are usually not the ones paying for the provision of the benefits), increasingly highlight the **importance of collaborative approaches**. Such approaches - summarized under the umbrella terms **co-governance and co-creation** - are pertinent in the context of limited resources and capacities, and serve as key enablers for successful implementation and long-term acceptance, through empowerment of (non-public) actors. **Especially in the Global South - where there is often a high dependency on higher levels and international funding - community-based, low-key interventions should be fostered and an emphasis placed on inclusion of vulnerable groups and equitable access to the benefits of interventions. Principles for social and climate justice should be recognised and incorporated in project design**, planning and implementation to ensure long-term sustainability and improvement of livelihoods (FEBA, 2021).
- ▶ **Collaborative approaches** challenge traditional governance approaches and institutional landscapes, and require the development of new skills, organisational structures and resources. However, low levels of collaboration across sectors and municipal departments (i.e. adoption of intra- and inter-organisational mainstreaming) highlight persistent barriers (Runhaar et al., 2017). Priority should therefore be given to **investing in and piloting such approaches to cross-departmental and cross-agency collaboration along the different**

stages of interventions (i.e. design, implementation, maintenance, monitoring). For instance through cross-departmental task forces in LRG chaired by Mayor and financed by departmental budgets, or by delivering training and resources for local communities and businesses to take on an increased role in co-governance (McQuaid et al., 2021).

- ▶ From an adaptation finance point of view, improvement of cooperation among municipal departments as well as with external actors seems especially salient in two respects. First, given that most of the adaptation actions are funded by local budgets, pooling municipal budgets across departments to complement limited financial resources (no dedicated department) should be further expanded. This requires overcoming operation in sectoral silos. Second, in light of innovative, multi-actor financial instruments on the rise for closing the adaptation finance gap. Displaying the attractiveness of adaptation solutions for other sectors based on their multiple benefits (cost savings, RoI) is key for getting actors to participate in horizontal governance processes, and thereby create ownership of adaptation policy and actions to accelerate their implementation (EEA, 2020b). Special focus should be put on smaller municipalities, which are less likely to engage the private sector in adaptation planning, pointing out the need for exposure to good practices and guidance (EEA, 2020a).
- ▶ The responsibility for climate adaptation usually resides in one public sector department with technical expertise on the design and implementation of measures, but there is a **lack of knowledge of financing and business models for climate adaptation**. This often results in path dependency on existing public sector funding channels and a lack of willingness to experiment with alternative, less tested financing arrangements (Mayor et al., 2021). Finance departments of public organisations, however, do have a good knowledge of financing mechanisms, but lack knowledge of the multiple value propositions of climate adaptation measures, especially ecosystem-based measures (based on diverse co-benefits, i.e. health, social cohesion, biodiversity) and the potential to capture these values. **Capacity-building tools to increase knowledge and awareness of business models for adaptation across public and private stakeholders are therefore crucial** (Mayor et al., 2021). Capacity building and the provision of technical assistance can support empowerment of local actors (not only local authorities, but also citizens) to better communicate adaptation needs, foster better access and use of available adaptation finance instruments. Lastly, capacity building can improve budget allocation structures and, subsequently, ensure the efficient implementation of steering methods (Restle-Steiner et al., 2019).
- ▶ Literature highlights that there is space for improvement for both horizontal and vertical integration of climate adaptation. The analysed cases show that integration tends to be more effective when existing successful decentralization processes and structures are piggybacked; not only does this save resources and capacities but it can also engender cross-sectoral framing of climate adaptation issues to pave the way for buy-in of different sectors and creating links with higher level objectives and agendas. If they do not exist, it is essential to establish cross-level mechanisms for coordination, dialogue and continuous information exchange, considering subnational level information needs (i.e. high-resolution datasets for climate risk and vulnerability assessments). Further, along the previously mentioned barrier of vague responsibilities, there is a strong need for clear roles and responsibilities to be embedded in formal mandates that confer required jurisdictional authority and competences, especially to local governments and authorities (Sainz & Setzer, 2019). Given the pronounced differences in adaptation planning capacity and efficiency based on the size of a municipality, smaller cities could benefit from a more prominent role of provincial administrations. Higher-level, regional planning units for climate change issues as well as

regional adaptation partnerships (top-down and bottom-up) prove effective in facilitating adaptation action through building adaptive capacities and knowledge at local level.

- ▶ The widespread ‘implementation gap’ and slow progress in cross-sectoral adaptation planning can to a considerable extent be attributed to lacking or ineffective coordination mechanisms, both in terms of horizontal and vertical coordination. At the same time, committed and pro-active persons in coordination roles and the presence of institutionalised coordination responsibilities are frequently identified as a key facilitating factor for local adaptation. To overcome the respective barrier and make use of the vital roles of ‘change agents’ (Kristof 2010) as initiators, drivers, and process managers, **funding should be directed towards strengthening of coordination capacities** in cities (and at higher-ranking levels, as well). Increasing coordination capacities requires **funding for dedicated personnel, cross-departmental coordination units, endowment of coordination structures with adequate resources, qualification and training of adaptation coordinators**, and it may involve **exploration of new and innovative governance models**. To achieve this, it is possible to couple funding for local adaptation to binding requirements for installing and institutionalising coordination positions and horizontal coordination mechanisms in the city administration, thus applying ‘soft coercion’. Building up and institutionalising governance capacities within city administration is likely to be more sustainable than funding for external experts.

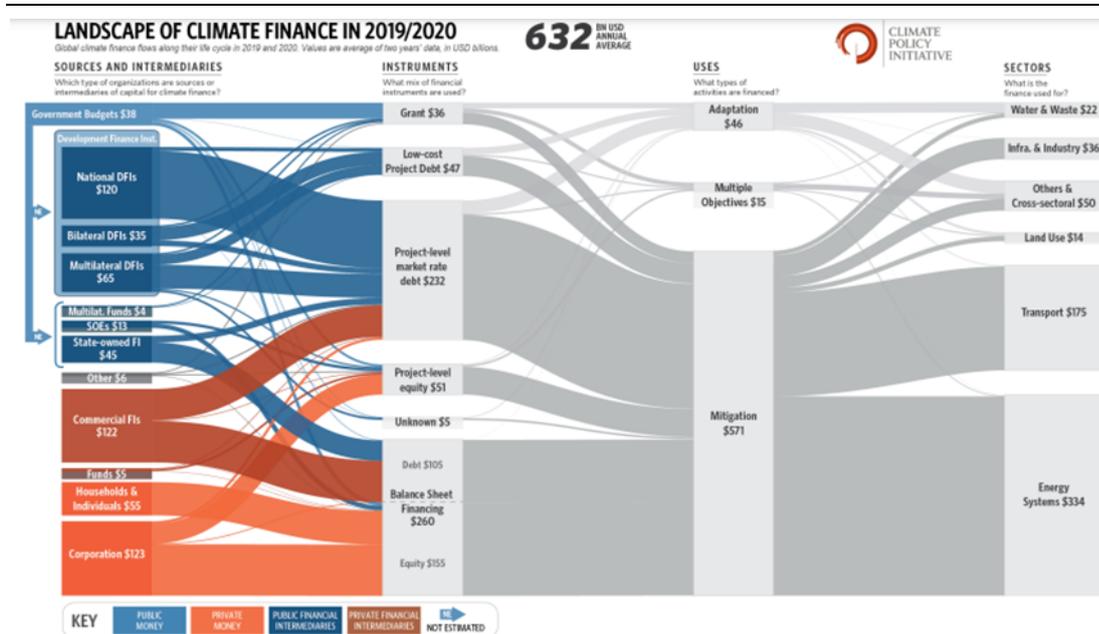
A.3 Financing urban adaptation

A.3.1 Overview of global adaptation finance flows

Urban climate finance is destined into mitigation and adaptation activities. Adaptation finance focuses on improving preparation and reducing climate-related risk and damage, for both human and natural systems, as short-term climate impacts will continue to exert economic, social, and environmental costs even if appropriate mitigation actions are taken. In this sense, urban adaptation finance can be understood as financial resources used to build or strengthen urban systems to withstand climate-related risks faced by cities and/or to build capacity to cope with and recover from those impacts (WRI 2013). Some measures have dual benefits, targeting both mitigation and adaptation outcomes (Climate Policy Initiative 2019).

According to the Cities Climate Finance Leadership Alliance (Climate Policy Initiative 2021), adaptation remains to have a marginal share and attention. **Only 7.4% of the tracked global climate finance flows were destined to adaptation between 2019 and 2020**, which corresponds to USD 46 billion, while mitigation concentrates most of the funds. Projects that tackle both measures were granted USD 15 billion. According to GCA (2020), **the estimated required funding for climate adaptation will have to increase ten-fold**, compared to the estimated global funding volume of 2017.

Figure 16: Global climate finance flows 2019-2020



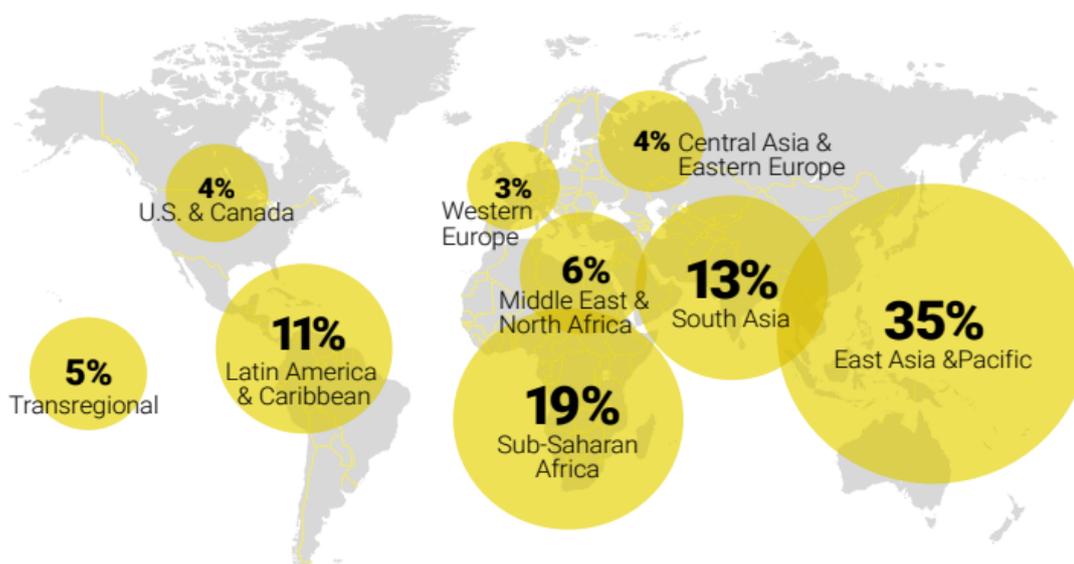
Source: The State of Cities Climate Finance (Climate Policy Initiative 2021)

Almost all adaptation finance was provided by public actors in 2019-2020, with Development Finance Institutions (DFIs) alone accounting for 80% in the period including a leading role of multilateral and national DFIs. On the other hand, **the private sector mobilized only USD 1 billion for adaptation.** Regarding geographic distribution, **Sub-Saharan Africa was the main recipient of international funding (25%), while East Asia and the Pacific received the largest domestic contribution to adaptation measures, 75% being financed by national sources** (Climate Policy Initiative 2021).

The small amount of private finance flows can partly be explained with the obstacles faced in tracking adaptation finance, as it is difficult to distinguish climate-related finance from regular business operations and broader development finance, as well as conceptual and accounting issues, confidentiality restrictions, and a lack of universally accepted impact metrics (UNFCCC, 2018; UNEP 2016b, CPI, 2019a).

As evidenced by Figure 17 below, **adaptation finance was targeted mostly to the Global South in 2017-2018. East Asia took the lead with 35%, followed by Sub-Saharan Africa (19%) and South Asia (13%).** This can be explained by different factors such as the high incidence of natural disasters and the lack of resources by the national governments in these regions. Despite being a historically water-stressed region, the Middle East did not receive a significant percentage of adaptation finance, which can be explained by political constraints (Global Center on Adaptation 2021b).

Figure 17: Adaptation finance flows destination, 2017-2018



Source: Global Center on Adaptation (2021b)

In recent years, the Covid-19 pandemic also increased the challenges to scale up the financial flows to adaptation. The USD 20.5 trillion estimated to recover from the pandemic did not focus on climate risks and less than one third of the countries included mitigation and adaptation activities in their recovery packages. The few climate-related recovery plans incorporated actions in food security, disaster prevention and infrastructure interventions (Global Center on Adaptation 2021).

Even though there is no evidence of the connection between climate change and the Covid-19 occurrence, it is commonly known that the effects of climate change and lack of resilience significantly contribute to health issues and the emergence of diseases. According to CDP (2021), 20% of the cities reported facing serious risks of infectious disease due to climate change.

The Covid-19 pandemic has exposed the necessity to establish a healthy and green recovery. A sustainable development that focuses on nature-based solutions, such as increasing the number of public green spaces, and access to water, can combine both health and climate benefits, enhancing the communities' life quality, mainly the ones living in unfavourable conditions.

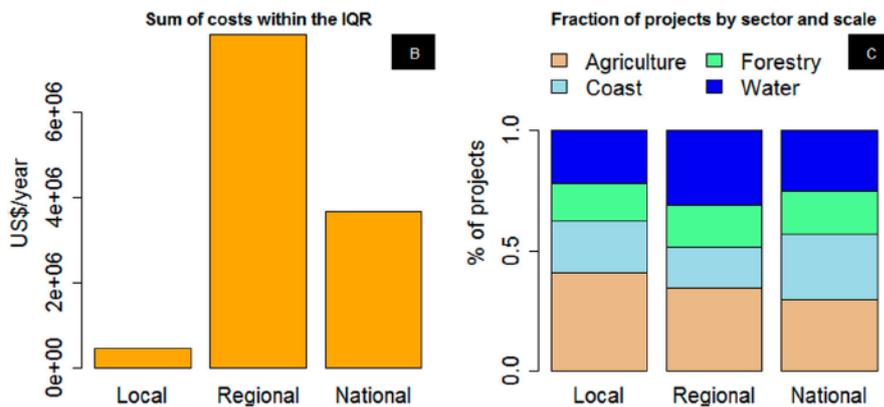
A.3.2 (Urban) Adaptation finance distribution

A.4.2.1 Adaptation finance distribution by phases of the adaptation process and by scale

Studies have shown that **the costs for adaptation in developing countries must be expected to be significantly higher when systematically considering the investments required for financing the early phases of adaptation processes**. Da Costa & Kropp (2019) have assessed the current costs and future investment needs for adaptation activities associated to building adaptation capacities by means of **knowledge and planning activities**. The cost-scaling study is based on an empirical collection of 385 adaptation-related projects (Ci:Grasp database, PIK 2022) spread across four main sectors (agriculture, forestry, water, and coast) in 32 developing countries in three World Bank geographic regions (Africa, Asia and Oceania, the Americas). Following the framework of Moser & Ekstrom (2010), da Costa & Kropp (2019) have allocated all projects to phases of the adaptation cycle, generating an illuminative empirical picture of the adaptation process. About 25% of the projects are associated with the ‘understanding’ phase (building the knowledge base, communication, information) and about 20% with the ‘planning’ phase (coordination, technical advise, training, development of adaptation options), leaving about 50% of documented projects to the ‘management’ phase (concrete implementation actions), including about 15% of projects dedicated to building and/or infrastructural options. This implies that **about half of the projects are linked to the necessary and early phases of the adaptation process and thus targeted at building the required capacity for adaptive action**. Da Costa & Kropp (2019) argue that costs of adaptation in the developing world have been mostly equated to those of climate proofing infrastructure under the assumption of unconstrained knowledge and planning capacities. **Knowledge- and planning-related activities are thus regularly underestimated or overlooked in traditional modelling-based cost estimations for adaptation financing needs**.

Referring to the projects within the investigated sample, Figure 18 shows the distribution of yearly costs of projects linked to the ‘understanding’ and ‘planning phases’ across spatial scales (left part) and the fraction of projects by sector for each scale. It becomes evident **that local projects emerge as least costly and regional projects as most expensive in the sample**, and that local projects have a sectoral bias toward the agriculture sector.

Figure 18: Distribution of yearly costs of adaptation project costs linked to knowledge and planning across spatial scales (left part) and fraction of projects by sector for each scale.

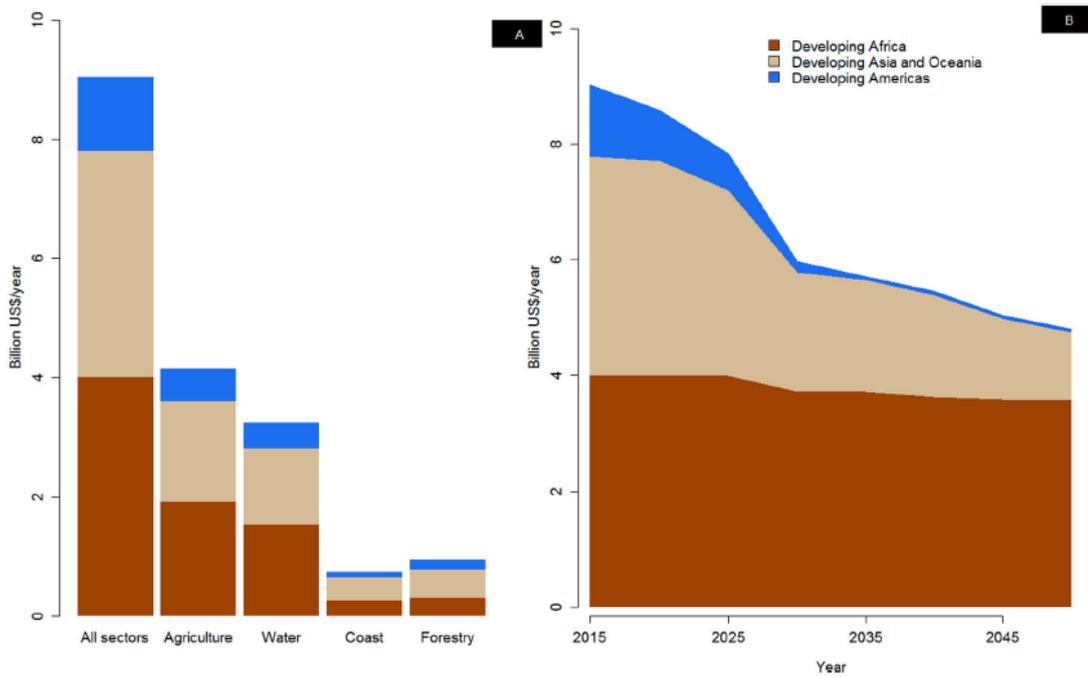


Source: da Costa & Kropp (2019)

According to the cost-scaling estimations of Costa & Kropp (2019), **the investments needed for knowledge- and planning-related adaptation activities alone in 86 developing countries in three world regions amount to about USD 9.2 billion in the year 2015.** This is a significant proportion when compared to the investment costs of implementation projects. For some sectors the total funding available for adaptation at global level in 2014 fell short of the estimated costs for building the required adaptive capacity. Average investments between 2015 and 2050 are projected at 7 billion USD per year – the largest fraction of which (4 billion) in Africa (Figure 19). Investments in this study were found to constitute approximately 40%, 20–60% and 5–15% of previous cost estimates to climate-proof infrastructure in the agricultural, water, and coastal sectors, respectively. **“The effort to finance the knowledge and planning capacities in developing countries is therefore not marginal relative to the costs of adapting infrastructure”** (da Costa & Kropp 2019).

As shown in Figure 19, the study also projected strong **reductions in annual costs associated with building the knowledge base and planning in developing countries up to 2030** (from 9.2 to approx. USD 6 billion per year). This is due to the **expected fast increase in Human Development Index (HDI)** projected for Asian, Oceanian and American countries and builds on the existence of an inverted-U relationship between HDI and climate-related disaster losses (Patt, Tadross, et al., 2010), meaning that there is a level of development beyond which hazard losses in a given country decrease with increasing values of HDI.

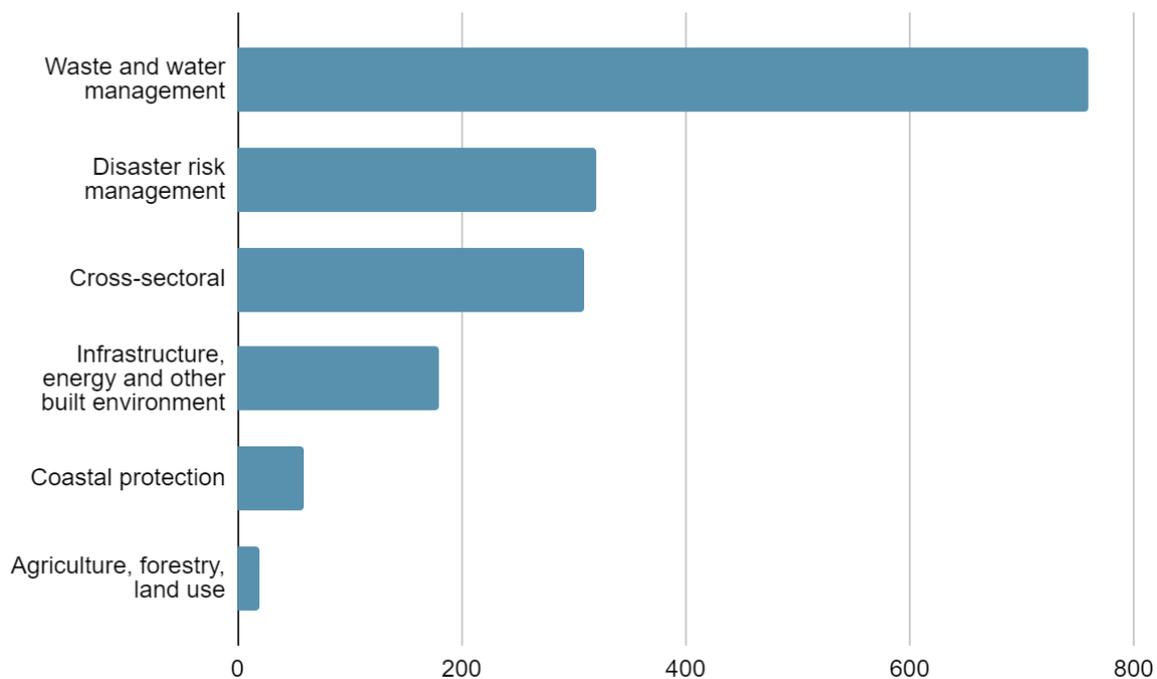
Figure 19: Current (2015) yearly investments associated with knowledge and planning of adaptation in developing countries (left part) and those projected for 2015–2050 period (right part)



Source: da Costa & Kropp (2019)

A.4.2.2 Urban adaptation finance distribution by sector

Urban adaptation finance flows were destined to key sectors tackling climate change. Figure 20 below shows that **most of the urban adaptation finance was channelled to water and waste management projects (USD 9.8 billion), followed by disaster risk management (USD 6.3 billion)**. Some projects involved more than one sector, corroborating the trend towards a more holistic approach in climate projects (CCFLA 2021a).

Figure 20: Urban adaptation finance - sector distribution 2017-18 (in USD million)

Source: CCFLA (2021a)

A.4.2.3 Transformative Actions Program (TAP): Urban adaptation finance distribution by sector and geographic region

First launched in 2015 the Transformative Actions Program (TAP), led by ICLEI and supported by its 16 partners⁸, aims to catalyse and improve capital flows to cities, towns, and regions through strengthening their capacity and help them to access climate finance and attract investment.

TAP supports projects globally from all sectors that play a critical role in sustainable urban development (energy, waste, water, transport, etc.), also encouraging consideration of a holistic, cross-cutting and inclusive approach, advocating to include adaptation aspects and benefits also in mitigation projects.

Since the beginning, more than 300 projects submitted their application to the Program, with projects that focus on adaptation or mitigation or both. As of October 2021, the pipeline counts 74 projects, out of which 30 are exclusively adaptation and additional 7 projects include both adaptation and mitigation scope.

Table 7 shows the evolution of adaptation projects, first confirming the trends of an increasing interest in addressing climate change through adaptation, but then a sharp decline in 2020. This

⁸ TAP partners as of October 2021 are: 1. bettervest, 2. UN-Habitat, 3. GIZ/FELICITY, 4. GIZ/CoM SSAIII, 5. Global Infrastructure Basel (GIB) Foundation, 6. Global Fund for Cities Development (FMDV), 7. European Investment Bank (EIB), 8. R20 Regions of Climate Action (R20), 9. Sustainable Infrastructure Foundation (SIF), 10. C40 Cities Climate Leadership Group (C40), 11. Cities Alliance, 12. UN Capital Development Fund (UNCDF), 13. 100% RE Platform, 14. United Cities and Local Governments (UCLG), 15. Global Covenant of Mayors (GCoM) 16. Lincoln Institute

was mostly due to the fact that in the past years the Program was successful only connecting mitigation projects with potential funders and investors as these have revenue generating potential, which guarantees the ability to pay back loans and be long term profitable.

Table 7: Number of adaptation projects in the TAP pipeline

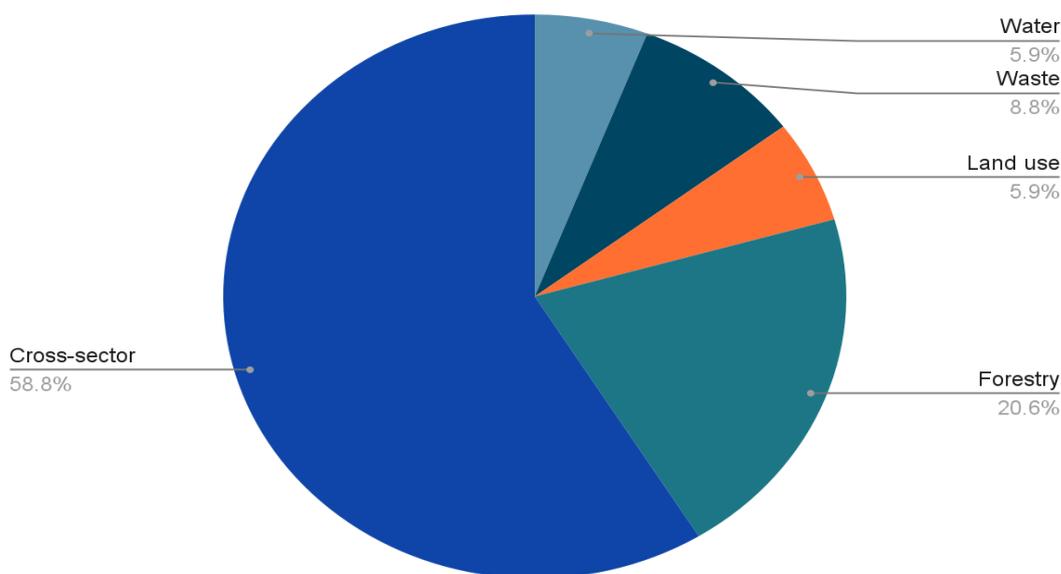
Year	Total number of applications	Number of adaptation projects	% of adaptation projects
2015	115	2	1.7%
2018	27	10	37%
2019	80	22	27,5%
2020	41	3	7,31%

Source: Transformative Actions Program (TAP 2021), analysed by authors

In terms of **regional distribution**, most of the adaptation projects seeking funding come from the Global South, **with Africa taking the lead (56,7%), followed by Latin America and the Caribbean (35,1%)**. In Southeast Asia, most of the projects focus on mitigation.

Figure 4 demonstrates the **distribution of TAP adaptation projects per sector**. **Forestry and land use**, two sectors that globally are the most unfunded (see Figure 21), have a strong presence in the TAP pipeline, demonstrating the demand and needs for investments. **The high level of cross-sector projects indicate a trend of a more holistic approach in adaptation projects, which needs an investment of approximately USD 374 million** (based on the TAP project documentation).

Figure 21: TAP adaptation pipeline - sector distribution (2021)



Source: Transformative Actions Program (TAP 2021), analysed by authors

A.3.3 Main financial actors and sources

A.4.3.1 Overview

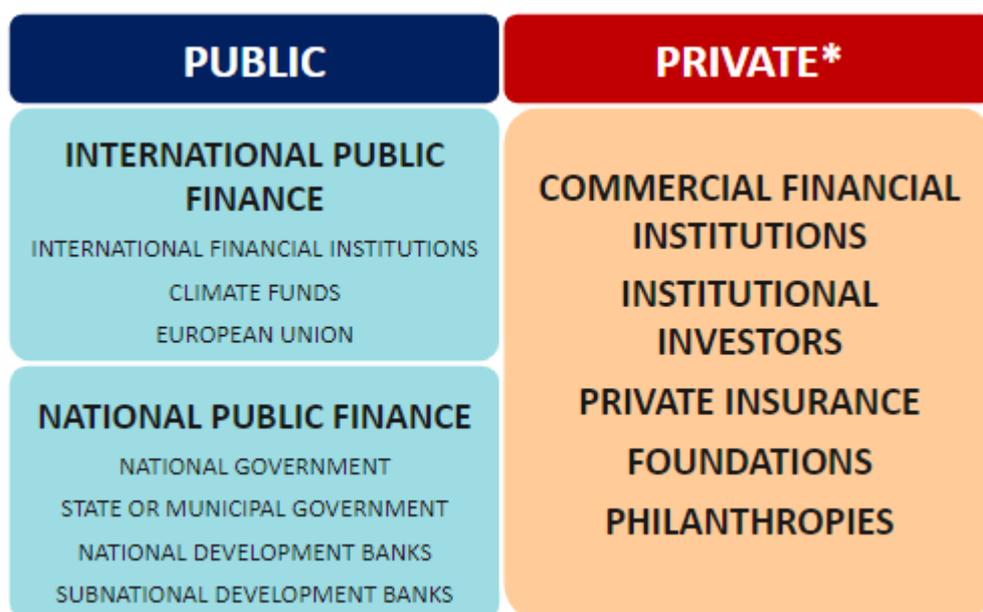
As Figure 16 on the climate finance flows 2019-2020 already outlined, climate finance can be channelled through different intermediates and instruments. Regarding the sources, funding can come from public and private, and within that from internal and external sources.

According to the most recent report from CDP-ICLEI, **cities reported that their adaptation actions are funded by regional, national governments or through bilateral country and inter-city collaboration.** Collaboration between the public and private sector is increasing, with 75% of local governments reported collaborating or intending to do so in the next two years. **The financial gap between the adaptation needs and investments for lower income countries remains around USD 70 billion (CDP-ICLEI 2021).**

The majority of adaptation finance arises from domestic and international public finance sources.

There are several approaches to group the key public and private actors being active in urban adaptation finance. Figure 22 below is a simplified illustration of the authors to feature the most typical funding sources.

Figure 22: Climate Finance Architecture



*This is a simplified list of the most typical private actors relevant to adaptation measures.

Source: Report authors

A.4.3.2 Public finance

A.4.3.2.1 International public finance

International public adaptation finance is slowly rising; however there is insufficient data to identify such a trend in domestic public or private finance flows. At the international level public finance flows through International Financial Institutions (IFIs), UN Financing Mechanism (climate funds), and other multi- and bilateral channels.

International Financial Institutions

Within the IFIs *Multilateral Development Banks (MDBs)*, supranational institutions set up by sovereign states, which are their shareholders, play a key role. They have the common task to foster economic and social progress in developing countries by financing projects, supporting investment and generating capital for the benefit of all global citizens (EIB 2019). Examples are The World Bank (WB); the Inter-American Development Bank (IADB); the European Bank for Reconstruction and Development (EBRD); and the Development Bank of Latin America (CAF).

MDBs normally do not have a direct interaction with LRGs but channel funds through sovereign loans, national banks, specific urban development funds, and private-sector lending and public-private partnerships (PPPs). Regarding adaptation, related financial resources flowing through MDBs are on a strong upward trend. **In 2019, MDBs committed more than USD 60 million to climate finance, out of which 24% (around USD 14.9 million) were destined to adaptation finance (EBRD 2020). Support for adaptation as a share of overall MDB climate finance has risen from 20 percent to 30 percent between 2015 and 2018.**

In terms of sectors, energy, transport and other built environment and infrastructure received 25.6% of the financial flows originated from MDBs, followed by water and wastewater systems (19.7%) and institutional capacity support or technical assistance (13.7%) which indicates a more concentrated action in urban landscape (European Investment Bank 2019).

There are also state owned *Bilateral Development Banks* like, among others, the German KfW Bankengruppe, the Agence Française de Développement (AFD) or the Japan Bank for International Cooperation (JBIC). These development banks are public financial institutions, owned by the government, but acting also internationally.

The *European Investment Bank (EIB)* (not an MDB, in contrast to the EBRD) is a publicly owned international financial institution and its shareholders are the EU member states. It is therefore both a bank and an EU Institution and supports projects that make a significant contribution to growth, employment, economic and social cohesion and environmental sustainability, both in the EU and beyond. EIB's role in financing climate projects in the European framework has increased in the last few years.

In April 2018, the Bank launched the *Climate Resilience Solutions Fund (CRAFT Fund)*, the first EIB-supported investment fund dedicated to climate change adaptation. In practice, it consists of a commercial instrument that focuses on climate intelligence and adaptation solutions for developing countries. Through CRAFT, EIB mobilizes EUR 24 million investment for adaptation.

In 2020, the Bank devoted EUR 24.1 billion to mitigation and adaptation activities, which corresponds to 37.4% of all its financing areas. Adaptation measures received 2.4 billion euros in 2020, which represents a 66% increase in comparison to the previous year, and the bank has established ambitious targets for the upcoming years. During COP 26, the EIB launched its first Adaptation Plan to support the EU Adaptation Strategy. The bank aims to support projects around the globe, pledging to increase the share of adaptation support to 15% of its general climate finance by 2025 (European Investment Bank 2021).

Climate Investment Funds (CIFs) are designed by developed and developing countries and are implemented with the multilateral development banks. These public resources are held in trust by the World Bank, and they are disbursed as grants, highly concessional loans, and risk mitigation instruments to recipient countries. CIFs are two distinct funds: the Clean Technology Fund and the Strategic Climate Fund. The Pilot Program for Climate Resilience (PPCR) is a funding mechanism under the CIF and helps developing countries to integrate climate resilience into their development planning. It supports the integration and implementation of climate risk

and resilience into national development planning and implementation through “catalytic” interventions. Furthermore, it supports countries to effectively build on their National Adaptation Programs of Action (NAPAs), which provide an instrument for LRGs to identify priority activities that respond to their urgent and immediate needs with regard to adaptation to climate change (Restle-Steinert et al 2019).

UNFCCC Climate Funds

The *Climate Funds* are another relevant source for local and regional governments to access climate finance. They are not directly accessible for local governments, but operate through accredited entities such as international organisations or national designated authorities.

The UNFCCC Climate Funds refer to the funds provided through the Financial Mechanism established by the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). The operation of the Financial Mechanism is entrusted to the *Global Environment Facility (GEF)* and the *Green Climate Fund (GCF)* as operating entities. Parties have established four special funds: the Special Climate Change Fund (SCCF), the Least Developed Countries Fund (LDCF), both managed by the GEF, the GCF; and the Adaptation Fund (AF). These global funds usually provide grants that come mainly from public donor contributions.

With a focus on adaptation, the GEF manages the LDCF and SCCF. The former was created to financially support least developed countries in the preparation and implementation of National Adaptation Plans of Actions and National Adaptation Programmes of Action (NAPAs). The SCCF finances projects related to adaptation and technology transfer in least developed countries in areas such as water resource management, land, agriculture, and health.

In recent years, sustainable urban development has become one of the most strategic areas supported by the GEF. In 2016, it launched the Sustainable Cities Integrated Approach Pilot as part of the GEF-6 phase (2014-2018) and supported 28 cities in 11 countries with integrated urban solutions for green mobility, clean energy, climate adaptation, and solid waste and chemicals management. Building on the GEF-6 phase, the Sustainable Cities Impact Program (SCIP) in GEF-7 (2018-2022) advances the integrated approach of urban planning and implementation. The program brings together global, national, and local stakeholders to work towards a common vision of sustainable, low carbon, inclusive, gender-sensitive, and resilient development, and is supporting 24 cities in nine countries.

Another important GEF instrument is the GEF Small Grants Programme (SGP), which provides grants up to USD 50,000 for local communities in different areas, including climate adaptation. It offers financial and technical support to projects from civil society organizations, non-governmental organizations or indigenous people’s organizations that conserve and restore the environment while enhancing people’s well-being and livelihoods. Local communities can engage directly in design and evaluation of climate projects. Between 2016 and 2020, adaptation was the primary focal area of 4% of the community-based projects, but it was also included in other climate change-related projects (Small Grants Programme 2020).

The GCF was established in 2010 during the COP16⁹ with the aim to approve projects for funding, ensuring a balance between adaptation and mitigation. GCF allocated USD 2.4 billion for adaptation projects in 2020. This corresponds to 80 projects, of which 20% had an urban focus.

⁹ COP stands for Convention of the Parties under the United Nations Framework Convention on Climate Change. It is the decision-making body that monitors the implementation of UNFCCC whose main objective is to stabilize greenhouse gas concentrations in the atmosphere. COP16 was held in 2010 in Mexico.

They received funds mostly in grants, representing almost half of its portfolio (Green Climate Fund 2020). The Fund recently published the sectoral guide *Cities, Buildings and Urban Systems* with the aim to support National Designated Authorities and Accredited Entities in developing and submitting proposals on sustainable urban development and adaptation. Furthermore, through its Enhanced Direct Access (EDA) mechanism, a central role is given to local intermediaries with the goal to reach communities and have better chances to access finance.

The *Adaptation Fund (AF)* is another climate fund under the Convention. Starting operations in 2008, it focuses on financing adaptation initiatives and is executed through accredited national and international entities. With a clear focus on adaptation projects, the AF supports their design and implementation through grants that reached USD 832 million in 2021, out of which USD 34 million were destined exclusively to urban development. Urban adaptation can be also included in other projects, such as on multi-sectoral issues, disaster risk reduction and innovation (Adaptation Fund 2021).

European Union

The European Union has established itself as a critical financing player and has fostered the importance of climate adaptation actions at the local level through the EU Adaptation Strategy. In February 2021, the EU further updated the strategy to align with the European Green Deal, establish international action to climate change, and pledged to ensure no one will be left behind in the adaptation efforts to climate change. **The EU and its Member States increased their overall climate finance support to third countries by 7.4% in 2019, reaching EUR 21.9 billion and within this predominantly focusing on climate change adaptation effort** (This includes finance that benefits adaptation alone, and mitigation and adaptation simultaneously) (EC 2021). The new EU Adaptation Strategy commits the European Union to provide targeted support to partner countries, particularly the most vulnerable communities, to help unlock existing and new financial resources towards climate adaptation.

The EU pursues mainstreaming of climate action in its financial framework and has political commitments in place to dedicate specified target shares of entire EU expenditure to climate action. Based on the Commission proposal that at least 25% of EU expenditure will contribute to climate action during 2021-27, the European Council has agreed to set an overall climate target of 30% applicable to the total amount of expenditure from the EU budget 2021-27 and Next Generation EU, the main instrument for implementing the post-Covid-19 recovery package. This commitment reflects the long-term ambition of the EU to achieve climate neutrality by 2050.

The following examples of how Member States make use of EU funding to finance adaptation on their own territories illustrate the role of EU co-funding models:

- ▶ *The European Structural and Investment Funds* (e.g. from European Regional Development Fund (ERDF) or the European Agricultural Fund for Rural Development (EAFRD)): provides funding allocated through national or regional operational programmes and operated by the respective authorities. Over 70 cities predominantly in Italy, Latvia, Lithuania and Portugal, accessed funding via the ERDF for the development and implementation of focused climate adaptation development plans.
- ▶ *The Cohesion Fund and the European Regional Development Fund* provide targeted funding to climate and environmental projects. The available investment volume is expected to amount to EUR 100 billion over the next 7 years (2021-2027), accounting for over 30% of the sector-wide total budget (EC, 2018a).

- ▶ *EU-funding of research projects* enable targeted research, information exchange of adaptation action and implementation at the local level. Various cities have participated in projects on adaptation action. About 128 cities have joined 33 Interreg projects focused on climate change adaptation. Through the LIFE programme, over 140 cities and other local governments could directly benefit and collaborate in 33 LIFE projects. These projects connected several local authorities; only 10 projects exclusively targeted individual cities and in turn, strengthened collaboration and knowledge exchange among participants.
- ▶ *Natural Capital Finance Facility (NCF) and URBIS* set up by the European Investment Bank (EIB). The NCF finances projects that focus on biodiversity and NBS and was launched as a pilot instrument in several European cities. As an urban advisory platform within the European Investment Advisory Hub (EIAH), URBIS aims to deliver advisory support to urban authorities. Their aim is to enable urban local government to facilitate, accelerate and unlock urban investment projects, programmes and platforms.
- ▶ *Horizon Europe* funds research and innovation missions to tackle climate change. In particular, efforts to support local-level adaptation focusing on societal transformation and climate-neutral and smart cities.

The upcoming *EU Taxonomy on Sustainable Finance* legislation further aims to integrate ecological factors into investments by measuring companies, investors, and economic activities' environmental and climate performance. At its core is a classification system for green investments and a catalogue of green economic activities that are assessed through technical screening criteria (reference). Part of the framework includes an assessment of activities' contribution to climate adaptation efforts (i.e., measures if climate risk is reduced and any adverse effects on competing adaptation efforts).

Project Preparation Facilities

There is also **an increasing recognition that supporting project preparation is critical to have bankable projects**. The project preparation facilities (PPFs) provided by the above listed actors and multi stakeholder global/regional partnerships aim to support project preparation, which mainly happens through the provision of technical assistance. This assistance includes, but is not limited to the development of technical and financial studies or support the project structuring and procurement. **The Cities Climate Finance Leadership Alliance (CCFLA) managed Green City Finance Directory helps subnational governments and stakeholders identify project preparation facilities that can support them in developing green and resilient infrastructure.**

As listed in Annex I (*Catalogue of International Adaptation Funding Sources*), International Financing Institutions, climate funds and the EU play an important role in adaptation finance. Still, it is not easy to access them. Obstacles like the size of the projects (considered too small in their scale) and restrictions to provide finance exclusively for national governments constrain the possibilities of local governments (ICLEI, C40 2018). The regulations are also not taking into consideration the local needs and capacities, the submission requirements are very complex, and the process is too long.

A.4.3.2.2 National public finance

Traditional national funding sources

The traditional funding sources of national public finance are: (i) national/federal government (ii) state/provincial government (iii) municipal/local government. Representing different governmental levels, they are responsible for a significant part of the funds destined to climate projects. According to the Climate Policy Initiative (2021), 51% of climate finance came from public actors, of which governments provided 11.8%.

National and Subnational Development Banks

There is a growing attention towards *National Development Banks (NDBs)*. These are financial institutions sponsored or supported by the government with a specific public policy mandate. These mandates contain the target sectors to foster the country's development and growth. NDBs can differ in terms of ownership structure, financial objectives, policy objectives, supervisory requirements, and financial instruments. As part of the public sector, these institutions can interact with different agencies, influencing policies and helping not only to address direct climate finance but also in leveraging private engagement (Inter-American Development Bank 2013).

With more than USD 5 trillion in assets and several comparative advantages relative to other financiers, NDBs are well-positioned to lead a transformational change at subnational level and enable local and regional governments to access funding. These institutions have several advantages compared to MDBs, which include their knowledge about the specific local context, barriers and opportunities, they provide finance in local currency, and have access to other international public financiers. However, their role needs to be strengthened as in the recent finance system they do not possess a clear climate mandate which undermines their capacity to identify and fund climate projects (CCFLA 2021).

Subnational Development Banks (SDBs) are national public or public-private institutions destined to provide funding and financing to LRGs for public services provision and investments in infrastructure projects through technical assistance, guarantees, credit enhancement, intergovernmental transfers, fiscal equalization, and debt; at concessional or market rates; directly or through commercial banks (Global Taskforce 2019).

National and Subnational Development Banks (SDBs) are also acknowledged by the framework initiative Leadership for Urban Climate Investment (LUCI), developed under the leadership of the German Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU), launched at UNSG Climate Action Summit 2019 and hosted by CCFLA. These institutions are key national stakeholders to facilitate access of LRGs to finance, and to catalyze external resources from donors or investors to channel them at local level to support local governments in financing their projects.

In 2017-2018, multilateral DFIs provided the majority of urban adaptation finance (USD 984 million). This is followed by government budgets and agency funding at USD 313 million and bilateral DFIs at USD 263 million annually. NDBs (National DFI) were not a source of any of the USD 1.69 billion tracked annually in urban adaptation finance, largely because the information tracked is not project level so it was not possible to assess the urban relevance of those flows (CCFLA 2021 a).

National funding for domestic adaptation in Europe

Member states can assign funds to complementary measures and, in turn, take advantage of already proven European and national funding instruments. This action of allocation budget towards climate objectives corresponds to green budgeting. It requires the integration of climate change (CCA) measures into sectoral and development plans and programs. The success of this effort will further depend on implementing selection criteria that verify that the project's budget is dedicated to adaptation action. The objective is to fully integrate climate change action into the entire process of expenditure planning, implementation, reporting, and periodic evaluation. "Public resources and private investment are needed to secure a climate-resilient economy, and MRE and the tracking of financial flows for CCA action is needed" (EEA, 2020b).

In practice, there is insufficient funding associated with national adaptation strategies and respective efforts. According to a stocktaking study commissioned by EEA, **data on finance for climate adaptation is generally less readily available than finance information for climate mitigation, reflecting the more dispersed and integrated character of adaptation measures** (EEA, 2017a). **The majority of existing NASs/NAPs do not have dedicated budgets for implementation and thus do not allocate financial resources for implementation of actions.** For example, the Austrian NAS states that financing of implementation has to be done by 'standard budgetary mechanisms' (i.e., shifting budget positions) within the regular budgets of public authorities. In the most recent country reportings under the EU Energy Union Governance Regulation, almost none of the countries reports on dedicated adaptation funds for financing implementation (EEA Reportnet3, 2022). An exception is the Climate Change Fund in Slovenia. According to EEA (2017a), only nine EU MSs (Denmark, Estonia, Germany, France, Lithuania, Portugal, Romania, Spain and Sweden) have dedicated budgets explicitly earmarked and readily available to strengthen climate adaptation actions (e.g., national scenarios and climate services, capacity building, websites). The lack of funding that is specifically labelled for adaptation is also reflected in the fact that only 14 Member States include budget allocations in their NAS or NAP (EC, 2018c).

Some EU countries report that they intend to employ EU co-funding instruments, in particular LIFE projects, as instruments for financing implementation of the NAS/NAP or for developing a monitoring and evaluation system (EEA Reportnet3, 2022).

National funding for local adaptation in Europe

As regards national funding for local adaptation in European countries, **a number of national governments have set up tailored programs to assist in the development of local adaptation plans.** In Poland, the Ministry of the Environment with the European Cohesion Funds launched project 44MPA to develop urban adaptation action plans for cities with more than 100,000 inhabitants. As of March 2020, 39 of the 44 participating cities had adopted their adaptation action plans (EEA, 2020a). In addition to national funding being directed at adaptation planning, most funds are available for capacity-building, external expertise, and coordinating task forces. Some countries, however, have more advanced approaches to trigger adaptation measures. Some national authorities directly fund infrastructure measures, as seen with the Danish Ministry for the Environment and Food providing DKK 34.4 million (approximately EUR 4.6 million) to municipal climate-proofing projects (EC, 2018b). Some countries, including Italy, Latvia, Poland, and Portugal, further use revenues from auctioning carbon allowances to fund local adaptation measures (EC, 2018b). Overall financing for actual on-the-ground implementation measures, however, is limited.

Overall, local governments are predominantly required to apply their own financial resources to finance implementation actions. This is evidenced by available data of city networks as well as by comprehensive meta-studies. According to the European CDP database and Aguiar et al. (2018), local authorities' own resources are by far the most frequently used source of funding for planning and implementing adaptation, followed by funding from national or subnational levels. This **dependence on own municipal budgets** highlights the overriding **importance of achieving mainstreaming at city level, i.e. of cross-sector coordination and horizontal integration of adaptation goals and concerns into the regular work of sector departments** (see chapter 2.3). Other funding sources, including the private sector, public-private partnerships, research projects, non-scientific projects, EU funds and international assistance play a comparatively modest role (Table 8 and Table 9).

Table 8: Sources of funding for development or implementation of local adaptation strategies across Europe

Funding source	Number of local adaptation strategies
Local authority	37
National level	26
Private sector	15
Research projects	10
Non-scientific projects	9
EU funds	8
Public-private partnerships	6
Property owners	5

Note: Based on the analysis of 147 local adaptation strategies across Europe.

Source: Based on Aguiar et al. (2018).

Source: EEA (2020a), based on Aguiar et al. (2018)

Table 9: Primary funding source for adaptation actions reported by cities to the CDP (2019)

Funding source	Number of actions
Local	189
National or subnational	49
Public-private partnership	14
International (official development assistance ^(*))	13
EU project (e.g. Horizon 2020, LIFE, Interreg)	10
Local public utility company ^(b)	3

Note: Based on responses of 71 cities from 23 EEA member and collaborating countries and the United Kingdom reporting to CDP.

^(*) Reported by cities in Greece, Latvia, Montenegro, Portugal and Romania.

^(b) Reported by cities in Denmark.

Source: Authors' compilation based on analysis of data from CDP (2019).

Source: EEA (2020a), based on analysis of data from CDP (2019)

Analysis of the Covenant of Mayors (CoM Europe) database allows estimating the **volume of cities' adaptation budgets**, based on self-reported information. A high number of the Covenant of Mayors signatories had **rather low budgets for implementation of adaptation** (median EUR 535 000; Table 10). The largest source of funding, in terms of mean value, was the EU funds, but only around 12 % of the signatories that reported on budgets had used them. The second largest pool of money was local authorities' own resources. The private sector was the third largest source of funding, with national funds playing a smaller role (EEA, 2020a).

The Covenant of Mayors signatories with larger total adaptation budgets tended to report a higher number of actions planned. Comparing the signatories with the smallest and largest total implementation budgets, the bottom 20 % of local authorities, with a mean total adaptation budget of EUR 16 000, had averaged 10 planned adaptation actions and had completed two of them, while the top 20 % of signatories with a mean total implementation budget of over EUR 51 million had averaged 16 planned actions and had completed five (EEA, 2020a).

Table 10: Funding for implementation of adaptation actions among Covenant of Mayors signatories in Europe (in EUR 1 000)

Source	Mean	Median	Maximum	Number of signatories
Local authority	3 424	314	133 715	208
National level	812	0	61 273	24
EU	4 038	0	343 199	28
Private	1 866	0	251 521	21
Overall (including other sources)	10 855	535	597 783	209

Note: Based on reporting by 209 signatories on adaptation to the Covenant of Mayors from 21 EEA member and collaborating countries and the United Kingdom.

Source: Authors' compilation based on analysis of data extracted from Covenant of Mayors for Climate and Energy database on 19 June 2019.

Source: EEA (2020a)

A.4.3.2.3 Private finance

There is a huge variety regarding both the sources and the mechanisms using private finance. **Typical sources are: commercial financial institutions, insurance companies, corporate actors, institutional investors, philanthropies and foundations.** Due to the risks climate change imposes to the continuity of their business, private actors finance not only climate initiatives, but also their own adaptation measures to climate change.

As Figure 16 indicates, almost the total amount of private money tracked in the last years went to mitigation. As CPI (2020) highlighted, **there are important barriers to track private finance such as confidentiality, the multiple categories employed by the private actors to define adaptation or the inclusion of adaptation flows into broader risk management and development fundings.**

It is possible to notice some particularities in the private participation in adaptation investments, which have focused on financial and business climate risks services. Regarding adaptation sectors, private actors devoted most of the funds (70%) to water and waste management. Energy and other infrastructure received only 17%. In terms of regions, investments were concentrated in high-income countries such as Canada and the United Arab Emirates (World Bank Group 2020).

Commercial Financial Institutions

According to CCFLA (2021), these institutions provided USD 122 million to climate change, mostly in the form of debts and balance sheet financing. All of these tracked resources went to mitigation.

Insurance companies

Mentioned during COP26 as the leading actor on the way to a greater resilience, insurance companies play a special role in adaptation since responses usually involve insurance solutions that help local governments and communities to carry on climate related risks. Insurance can increase risk awareness, and support in capital mobilisation, among other benefits. According to a recent report from CCFLA (2021c), the global insurance protection gap - the difference between the economic loss of a catastrophe and the amount that is covered by insurance -

reached a record high of USD 1.4 trillion in 2020, with 76% of natural catastrophe losses uninsured (Artemis, 2020).

Local and regional governments can rely on insurance capital not only to adapt to physical hazards, but also to reduce the climate-related losses. Some successful examples are already under operation such as the Philippine City Disaster Insurance Pool, which traces a local strategy to address the need for recovery finance. (CCFLA 2021c) This support can occur mainly through the issuance of catastrophe bonds that protect LRGs from the financial loss associated with natural disasters. (UNEP 2014)

The issuance of weather-indexes can be another attractive form of managing and reducing climate risks. Here, a weather index, such as rainfall, is employed to determine pay-outs, which can be made more quickly than conventional crop insurance (CCAFS 2013). On the other hand, climate insurance may also trigger other private investments due to risk reduction and provide a buffer against climate impacts. Munich Re, for example, offers micro-insurance schemes to developing countries that are vulnerable to climate disasters, while PT Asuransi Central Asia (ACA) developed a specific health insurance plan in Indonesia to deal with diseases that can be exacerbated by climate change effects.

Philanthropies and foundations

With a prominent action in discussing climate change and the establishment of joint groups that engage in political advocacy at the international level, philanthropies' participation in adaptation funding is slowly growing in the last few years. These individuals and institutions usually support climate action through grants, technical assistance and donations. Due to less bureaucratic procedures, when compared to governments and international financing institutions, they can be a key actor in funding recovery from urgent climate events.

Working in close connection with philanthropic institutions, foundations are also turning their attention to climate change and adaptation. Some of them devote part of their resources to climate projects, while others were designed with the specific purpose of tackling climate change.

Corporate actors

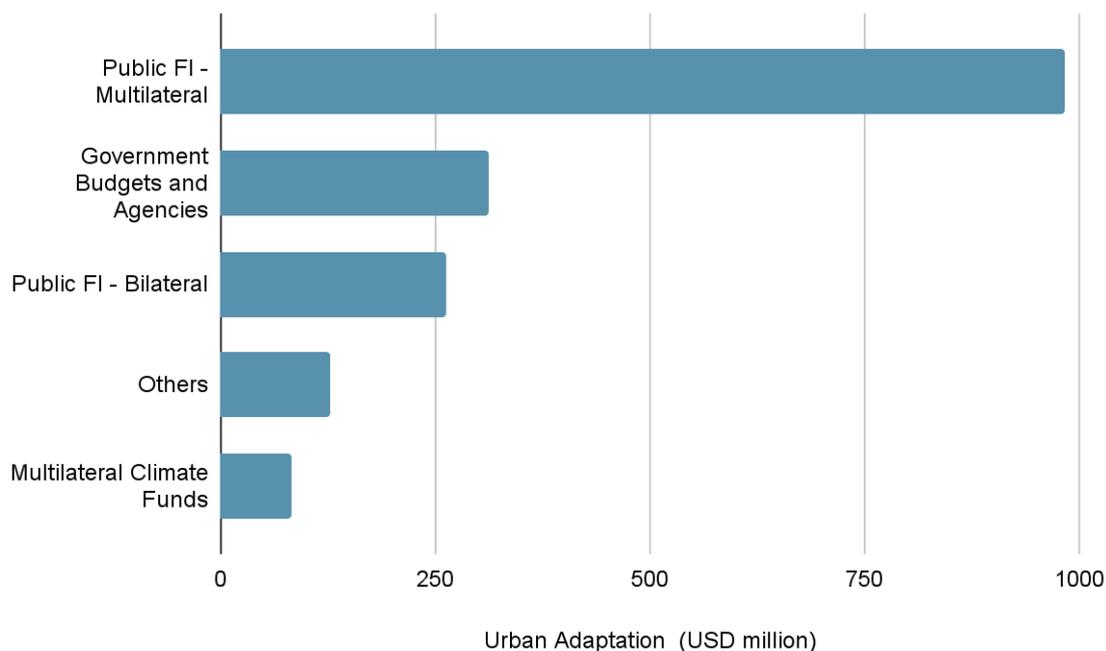
Corporate actors include a wide range of companies, differing by size, sector and location which can lead to different understanding and approaches to climate adaptation. Small and medium enterprises normally do not engage in climate financing due to the lack of resources. In this context, multinational corporations tend to have not only more financial capabilities, but also a clearer perspective on the importance of adaptation measures due to their geographical coverage. Still, these corporations usually tackle climate change from an inside perspective, by including adaptation measures in their own business plan, moving their offices to non-risky areas and engaging in financing adaptation externally only when they identify a physical or operational risk to their business or to exploit new market opportunities.

Institutional investors

Institutional investors include actors that invest on behalf of their clients such as pension funds, insurance companies and sovereign wealth funds. In a survey among international institutional investors on climate risk, 84% of respondents reported that they had taken climate-related engagement actions in the last five years (Krueger et al. 2020). The Institutional Investors Group on Climate Change launched a Paris Aligned Investment Initiative (PAII) in 2019 to support investors in aligning their portfolios with the goals established under the Paris Agreement.

As Figure 23 below illustrates, in spite of the **private sector** playing a significant role in climate finance in general (see Figure 16), when it comes to adaptation, **there is a huge untapped potential**. This is mainly **due to the unsupportive municipal policy and market environments for investments, unclear legal and regulatory infrastructure, uncertain benefits of technology, and limited technical capacity related to that technology**.

Figure 23: Urban adaptation finance by source



Source: Adapted from CCFLA (2021a)

Private sector funding for ecosystem-based adaptation

Further involvement of private sector funding and utilising various funding sources will be particularly critical in fostering ecosystem-based adaptation (EbA) measures. The features of EbA require strong collaboration across sectors and departments; thus, an essential part will be to mainstream EbA to adapt policies and budgets to maximise investment to meet adaptation goals. **Private investment as a critical source of funding may be attracted, for example, through payments for ecosystem services, product labelling and certification, bio-carbon markets, or biodiversity compensation funds** (CIS WFD Working Group Programme of Measures, 2014). Another potential example of driving private and public investment alike in adaptation measures is to spotlight **ecosystems' insurance value**. The value of EbA measures may translate to lower expected losses of the underlying risk, and insurers may factor the benefits of EbA measures into their offered insurance schemes. An option would be to adapt pricing to reflect implemented EbA and offer discounts to customers with associated lower risk factors (GIZ, 2018). Another potential example of **insurance-based financing** of EbA is **catastrophe bonds**, such as national green bonds, which are rising in popularity, partly as they provide long-term protection against risks that, for example, municipal governments seek and insurance companies have failed to provide (GIZ, 2018). In addition to innovative insurance schemes, incentives prove to be a useful instrument to boost overall investment. Support measures should exceed price mechanisms such as taxes and cap-and-trade-based mechanisms

for development rights and further include fostering nature-centered investment behaviour in public authorities (Droste et al., 2017).

A.4.3.2.4 Diversified sources

The financing of urban adaptation projects largely depends on local and regional governments' ability to mobilise revenue. If LRG cannot operate such an investment, it may seek to leverage other funding sources, such as public financing from a higher governmental level.

No single source of funding is sufficient to cover the anticipated costs of urban development. Local and regional governments need to blend a mix of public and private funding from international, national, local, and community sources. Diversified investment sources may have benefits, such as a better connection to local needs, initiatives designed upon existing structures and expertise, and a targeted approach at essential sectors.

There is a need to complement the local budgets, which are the most widespread source of funding, also in cities of the Global North. **“Given the scale of the adaptation challenge and the limited government budgets that are earmarked for adaptation, cities need multiple sources of funding”** (EEA 2020).

A.3.4 Financing instruments for adaptation measures

Local and regional governments can mobilise finance through two channels: external and internal. Internal means to generate financing through their own operations and revenues, while external sources can include equity, loans/debt, de-risking instruments and grants. However, **particularly in the Global South, local and regional governments often face restrictions by regulation, which undermine their ability to explore all the financing instruments.**

Types of financing instruments

Table 11 below gives a general overview of the typical financing instruments for adaptation, used by the actors as described in section 3.4.

Table 11: Financing instruments

Types of funding	Financing sources	Instrument	Sub-instrument
Public governmental institutions	Municipal government	Local revenues (fees, taxes)	Utility fees Open space funds/land value capture General obligation bonds Local property, income, and sales taxes
	State government	Intergovernmental transfers	Insurance Tax advantages
	National government	Grants Incentives/subsidies Guarantee Concessional loan	Low-cost project debt Infrastructure investment funds Shared taxes

		Technical assistance	Intergovernmental funding transfers/ revenue sharing
Public <i>Financial institutions</i>	IFIs National, bilateral and multilateral	Grants Loan De-risking instruments Technical assistance	Project level debt Project preparation facilities and other technical advisory Bilateral DF Insurance
	Climate Funds	Grants Loan Equity Guarantee	Dedicated climate funding (i.e., Adaptation Fund)
Private	Commercial financial institutions	Project debt Equity Guarantee	Internal climate risk mitigation PPP financing Corporate loans
	Institutional investors	Project debt Equity	Direct urban infrastructure investment Corporate debt and equity investments
	Private insurance	Insurance	Public and private risk mitigation Catastrophe bonds Parametric insurance
	Corporate actors	Balance sheet financing Project equity	Internal climate risk mitigation PPP
	Households	Balance sheet financing, equity	Internal climate risk mitigation
	Non-profits and foundations	Grants Technical assistance Donations	Microfinance Impact investment

Source: Adapted from CCFLA (2021a)

As Figure 24 shows further below, while traditional forms of municipal finance, including own-source revenues, like fees and taxes, loans, grants and subsidies retain their importance, the **role of new financial instruments and the private sector becomes vital** due to the high level of investment required for ensuring local sustainable development. **In the context of climate adaptation, grants, loans and equity emerge as the main financing instruments.** These three products are usually **combined with risk mitigation mechanisms such as insurance and guarantees**, which increases the chances that projects will obtain commercial financing. Table 12 below characterizes the above-mentioned main financing instruments more closely and indicates their respective advantages and disadvantages.

Table 12: Key attributes of main financing instruments

Type of finance	Description	Application	Advantages	Disadvantages
Grants	<ul style="list-style-type: none"> ● Funding provided without expectation of return ● Usually from public or philanthropic sources 	<ul style="list-style-type: none"> ● Early-stage project feasibility and design ● Projects without revenue, mostly adaptation 	<ul style="list-style-type: none"> ● There are no financing costs associated 	<ul style="list-style-type: none"> ● Grants are time limited and not always sustainable once the project ends. ● The eligibility criteria are always defined by the donors.
Equity	<ul style="list-style-type: none"> ● Share ownership ● Expects return from the increasing value of a project overtime and/or profits 	<ul style="list-style-type: none"> ● For early-stage projects 	<ul style="list-style-type: none"> ● Covers funding not covered by grants and debts ● Help incentivize project stakeholders ● Help attract private sector 	<ul style="list-style-type: none"> ● It can result in the loss of ownership
Debt	<ul style="list-style-type: none"> ● Loans and other instruments which involve an initial provision which needs repayment, usually overtime ● Can be provided at concessional (preferential) interest rates 	<ul style="list-style-type: none"> ● Mostly used for large-scale capital expenditures for infrastructure that is expected to create revenue streams ● Move helps provide liquidity/cash flow to column advantages. 	<ul style="list-style-type: none"> ● is borrowing money without giving up ownership ● in comparison to equity financing it is considered less risky (Equity capital is at-risk capital and is hence from an investor's point of view significantly riskier and the return expectations are higher. The access to equity capital therefore comes at a higher premium than for debt capital.) 	<ul style="list-style-type: none"> ● To apply for loans, creditworthiness of the borrowing entity or local government is usually a pre-condition. ● Creates dependency. ● Interest adds to the overall cost of the investment and can make the external funding more of a financial burden than originally planned.

<p>Risk mitigation (insurance & guarantee)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Insurance against climate or other risks ● Guarantees do not provide cash support or any kind of credit, but rather ensure that debt is paid back in case the original lender has financial difficulties and cannot repay. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Early-stage project 	<ul style="list-style-type: none"> ● helps attract more investors ● through risk mitigation the local government can grasp opportunities in the market which were earlier not available to it. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Benefitting from risk mitigation tools is preceded by a rigorous assessment of the applicant's creditworthiness and a financial analysis . Sometimes, this process becomes quite lengthy and complicated
---	---	---	--	--

Grants are usually conceded to finance project preparation and technical assistance, being provided through international and domestic public finance. Grants are relevant for climate projects that do not create stable revenues or cost reductions. They can also be used to reduce loan costs or function as additional collateral.

Loans are mostly provided by international public finance and either international or national private financial institutions. Loans and bonds, when possible, can allow LRGs to make larger investments than their own resources. However, due to the low level of creditworthiness of local governments, and their limited financial capacity, LRGs in the Global South can't take loans since most of them already have high debts and cannot compromise further. Equity is provided by national and international private financial institutions and impact investors.

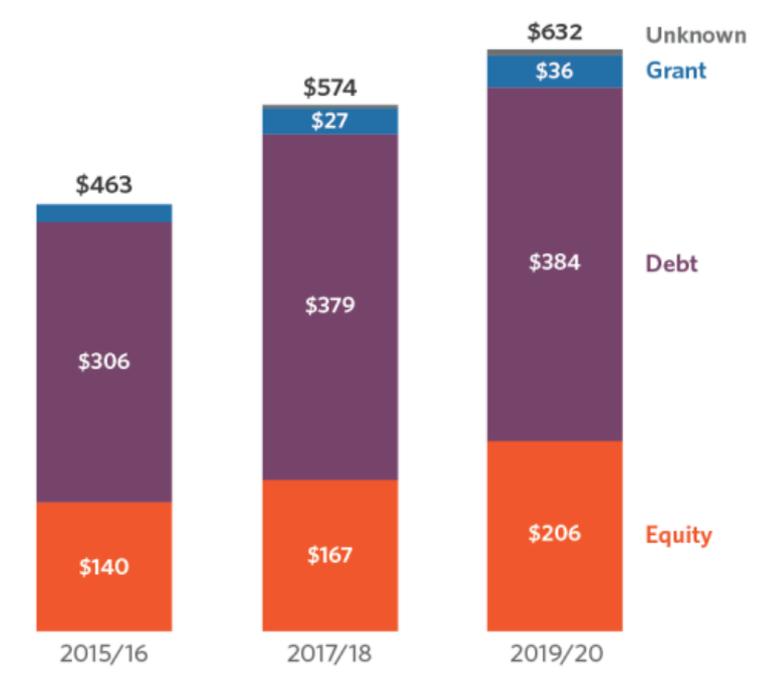
The international public finance provides funding through grants and loans, depending on the focus of the financing, whether technical assistance or more strategic goals like risk reduction. Regarding national public finance, grants and concessions on the national budget are more frequently used. Private finance applies different instruments such as loans, bonds, equity, etc. (Burmeister et. al 2019).

Blended finance can operate with multiple sources of funds (debt, equity, grants), and can employ a variety of uses of funds (grants, loans, equity and guarantees) to project or program facilities for both mitigation or adaptation projects. It can de-risk and catalyse private sector initiatives. International foundations also offer grants to urban climate projects, but very few are directed towards the local level (Green Climate Fund 2021).

Private actors normally opt for **equity** or **debt**. In the latter, the risks and rewards are shared with other stakeholders, while the former consists in borrowing capital that needs to be repaid with interest.

In terms of the use of these instruments, Figure 22 below shows that **instruments such as debts, equity and grants continue to be the most common tools to access climate finance in both mitigation and adaptation cases**. The application of the first two instruments grew significantly in the last couple of years, with debts taking the lead. There is a significant increase regarding using equity from 29 to 33% between 2015 and 2020. Grants still have a timid participation, corresponding to only 6% of total flows, but are slowly increasing in recent years.

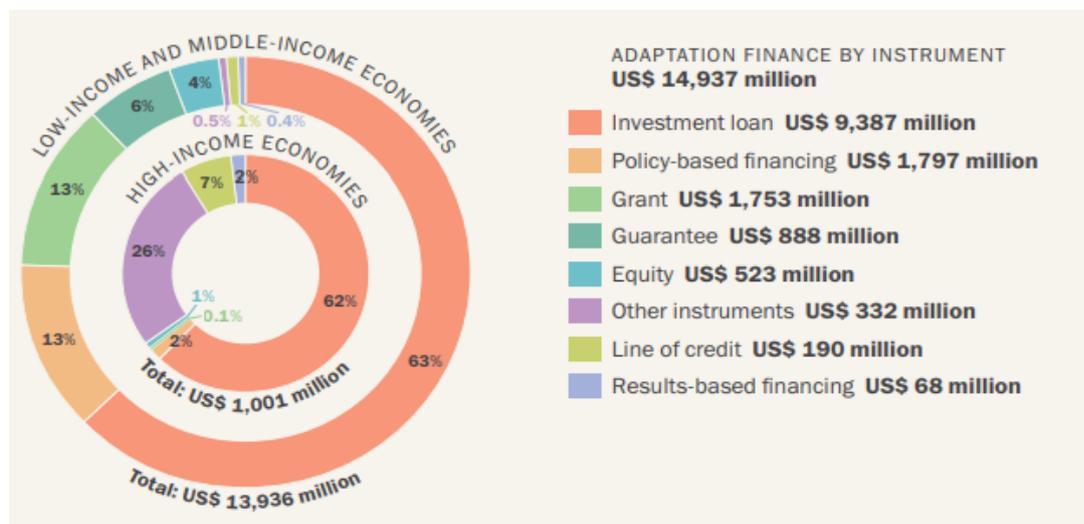
Figure 24: Climate Finance by Instrument (mitigation and adaptation)



Source: Climate Initiative Policy (2021)

Figure 25 below shows the findings of a report prepared by the European Bank for Reconstruction and Development (EBRD), where they collected data on the MDB’s adaptation finance per instrument in 2019. In the MDB portfolio, investment loans were the most common tool to channel funds to low-income and middle income economies. Policy-based financing and grants are the second main instruments for low-income and middle-income countries, while their participation in high-income economies remain timid.

Figure 25: MDBs adaptation finance by instrument 2019



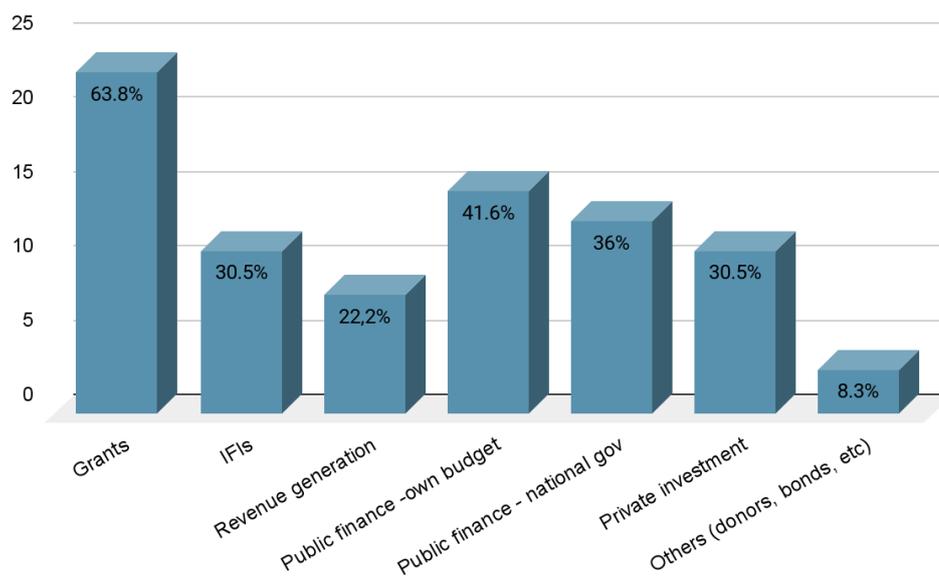
Source: European Bank for Reconstruction and Development (2020)

Financing instruments used in TAP

Regarding the TAP adaptation pipeline, Figure 26 (*TAP adaptation projects: Financing instruments*) presents the preference of TAP project developers in terms of financing instruments. The projects' submitters indicated more than one preferable option to access funds. Most of them (63.8%) indicated interest in accessing funding through grants, followed by using their own local government budget (41.6%). This confirms the barriers, which will be explored in Section 4, that local and regional governments tend to opt for these options, as due to challenges such as high bureaucracy and regulatory limitations, it is difficult to access international and private finance.

Private investment related instruments were mentioned by 30.5%, as well as loans from IFIs. Bonds and instruments from commercial banks did not receive significant attention.

Figure 26: TAP adaptation projects: financing instruments



Source: Transformative Actions Program (TAP 2021), analysed by authors

Adjustment of existing traditional financial mechanisms of local authorities

One method is to apply and **adjust the existing traditional financial mechanisms** of local authorities to support adaptation.

- Using **financial incentives** — such as **tax or fee abatement schemes** — can encourage property owners to invest in adaptation measures, thus reducing the financial burden on the local authority. Some practice examples of European cities include the following (EEA, 2020a):
 - Germany: reduced fees for stormwater management if rainwater from a given plot of land is re-used, captured or infiltrated into the ground
 - City of Bremen (DE): city offers financial contributions to homeowners for de-sealing and for installing or upgrading rainwater/grey water re-usage systems
 - Poland: reduced fees for rainwater drainage via public systems if retention tanks are installed on private property

- Lisbon: tax deductions if more than the minimum required percentage of areas in public courtyards is vegetated
- **Property development taxes or levies** can be used to help fund climate-resilient development investments (EEA, 2020a).
- **Tax increment financing** (TIF) is a form of value capture and a public financing method that is used by local authorities to borrow or issue bonds to generate the necessary capital for redevelopment, infrastructure and other community improvement projects, typically in districts in need of revitalisation. The TIF district creates a funding source for the project based on the assumption that the redevelopment will improve the general quality of the area and attract businesses and residents. In this way, property values and property taxes are increased, allowing the local authority to borrow capital needed for any upfront investment against the expected incremental tax increase. The loan is then paid back from the additional revenue generated through the increase in property taxes (Merk et al., 2012). However, property taxes in some European countries form a minor part of the municipal budgets (EEA, 2020a).
- Mechanisms can be supplemented with ad hoc ways of generating revenue, such as **donations** and **crowdfunding** (EEA, 2020a).

Emerging sustainable and green finance instruments

With the mainstreaming of **sustainable finance, new financial instruments** are evolving, and existing mechanisms are being adapted to the fulfilment of the Paris Agreement and broader sustainability objectives. So far, these financial instruments are predominantly applied to climate change mitigation activities, with adaptation added on (EEA, 2020a). Successful practice examples of applications in European cities and related experiences do exist. Box 7 below presents two selected practices cases.

However, overall these unconventional financing instruments are still rather a niche innovation and require further diffusion. It is a particular challenge that adaptation measures usually do not generate immediate financial gains; thus, coupling with mitigation measures may often be necessary, so that cost savings from e.g. energy saving measures can then be used to contribute to payback of costs for adaptation measures.

Box 6: Practice cases of applying green financing mechanisms to urban adaptation

- ▶ **Paris, France - Climate Bond:** The Paris Climate Bond was issued in November 2015 to finance projects in climate mitigation and adaptation. The total size of the bond is EUR 300 million, with a running time until May 2031. It combines two financing sources: private investors, and the public city budget. The bond targets private investors who consider it a secondary advantage to invest in the sustainability of the city of Paris. They will receive a profit rate of 1.75 % per year. Annual reporting ensures transparency, whereby the issuer has to justify the allocation of money to projects complying with the set criteria. A non-financial rating agency, reviews the process and report thereby providing investors with reassurance on the use of their funds. In a competitive tendering, the City of Paris selected two banks to accompany it in the process as partners. Twenty per cent of the bond funds have been assigned to adaptation projects. Currently, two projects with a climate adaptation objective are being implemented: planting 20 000 trees in the city and creating 30 hectares of new parks by 2020 (EEA 2017a).
- ▶ **Paris, France – Sustainability Bond Framework:** Paris developed the sustainability bond framework in 2017: a flexible platform that allows the issuance of climate, social or sustainability bonds. The sustainability bond follows a similar approach to the climate bond

issued in 2015, i.e. the financing of measures via an investment instrument with returns, and management of the bond by independent financial institutions. The Sustainability Bond Framework includes a resilience component specifically targeting extreme climate events (EEA 2020a).

- ▶ **Almada, Portugal – Revolving climate fund:** In 2009, the municipality of Almada established the Almada Less Carbon Climate Fund to boost the city's investment in the implementation of local measures to address climate change. Initially, investments were focused on climate mitigation, but the fund has since supported measures that enhance adaptive capacity and promote ecosystem resilience, particularly green and blue infrastructure. In 2016, the fund was given a revolving structure, ensuring that cost savings from the implemented measures (e.g. from reduced energy consumption) are fed back into the fund. This approach ensures the fund's longevity and leverages successful projects to scale up funding for further action. The mechanism facilitates the financing of climate adaptation projects, from which financial benefits may be seen only over long time periods; short-term financial gains from, for example, energy-saving measures can support adaptation that might not otherwise receive funding owing to their long payback times (EEA 2020a).

The following overview and description of more innovative green financial instruments is cited here from EEA (2020a: 133-135):

- ▶ **“Sustainable banking and green lending** are lending activities that use environmental criteria. Sustainable lending is a rapidly developing market which increasingly provides flexible solutions to individual borrowers [...]. In practice, sustainable provisions have been incorporated into loan agreements in several ways, such as purpose clauses, margin adjustment, third-party verification, level of green assets versus green liabilities, enforcement of covenants and breach of green contractual.”
- ▶ **“Green bonds** are fixed-income financial instruments that are issued to raise capital from domestic and international capital markets for the implementation of environmental projects. [...] Currently, green bonds tied to climate resilience projects account for only 3 to 5 % of total use of proceeds (Climate Bonds Initiative et al., 2019).” (133). In 2019, at global level 13% of all green bonds with relevance for climate resilience have been issued by cities.”
- ▶ **“Resilience bonds** involve insurance companies and are based on the idea that avoiding catastrophes is cheaper than compensating losses and rebuilding. It works together with the co-called catastrophe (CAT) bonds and can be used to fund the development of infrastructure to mitigate the effects of catastrophic events. CAT bonds can be underwritten by a local authority with an insurance company to insure the city in case of a catastrophic event. The pay-out happens as soon as a certain criterion is met (e.g. a storm surge reaches a certain height). The resilience bond plays on the premium of the CAT bond: since the insurer has modelled and quantified the economic losses of certain climate change-related disasters, it can also model the losses that an investment helps to avoid, e.g. a flood protection wall (Ruggeri, 2017). The impact of the planned investment is then considered to lower the premium on the CAT bond accordingly. With these savings on the premium, the city frees up budget to fund the necessary protection measures.”
- ▶ **“Impact investment funds** are investments made with the intention of generating positive, measurable social and environmental impact alongside a financial return. They can be used as an alternative to direct equity investments. [...] Depending on the structure of the equity fund, minimum investments might be a burden for private investors. Investment

management fees might reduce return on the fund. Impact Investments tend to have lower returns than traditional investments.”

- ▶ **“Results-based climate financing (RBCF)** is a financing approach under which a donor or investor disburses funds to a recipient upon the achievement of a pre-agreed set of results. [...] Even though RBCF does offer some security of future financing flows to the activities it supports, the recipient still runs the risk of certain activities underperforming or not delivering the predefined results. Therefore, RBCF involves a risk transfer, leaving the recipient with greater risks than in the case of upfront financing.”
- ▶ **“Social impact bonds (SIBs)** are multi-party, pay-for-performance/pay-for-success contracts that give investors financial returns based on the impact created by a (non-) profit organisation. They align the interests of non-profit service providers, investors and governments to improve the quality of life among individuals and communities. Their core feature is the provision of funding for upstream prevention or early intervention programmes that significantly reduce the need for subsequent and more costly remediation. Part of the savings achieved is passed on to the investors (Maduro et al., 2018). SIBs share features of both debt and equity and usually have a fixed term of 5-10 years. As the returns vary based on performance, investors bear a higher risk of losing their investment capital. In addition, there are no underlying securities, assets or secured cash flows to cover the principal.”
- ▶ **“Revolving climate fund:** The revolving structure ensures that cost savings from the implemented measures (e.g. from reduced energy consumption) are fed back into the fund. “This approach ensures the fund’s longevity and leverages successful projects to scale up funding for further action. The mechanism facilitates the financing of climate adaptation projects, from which financial benefits may be seen only over long time periods; short-term financial gains from, for example, energy-saving measures can support adaptation that might not otherwise receive funding owing to their long payback times.”

A.3.5 Data constraints, research gaps, methodological limitations

Data constraints at the global level

Although due diligence has been undertaken to use the best information available from the most credible sources, **data gaps in the coverage of sectors and sources of climate finance are significant**, particularly with regard to adaptation finance being context-specific and incremental.

Tracking subnational finance is in general challenging as **local governments, particularly in the Global South, rarely have a complete, consistent database and do not report in a transparent way**. Tracking, aggregating, and reporting adaptation finance also pose methodological challenges since different institutions apply multiple methodologies, e.g., The Common Principles for Climate Change Adaptation Finance Tracking launched by the Multilateral Development Banks and the International Development Finance Club (CPI 2020).

Tracking adaptation expenditures meets upon significant difficulties also in European cities. As case studies in Austria have shown (Loibl et al. 2017; see also Annex 4), the budget structure for assigning climate relevant costs lacks transparency, and municipalities do not have a clear overview of the direct costs caused by climate change. A distinction between pure damage repair after extreme events and further (reactive or anticipatory) adaptation measures is usually not

carried out in the cities. This makes it difficult to distinguish between repair and adaptation costs, and it has proven impossible to allocate annual expenditures to certain adaptation measures (Loibl et al. 2017).

Uncertainty is one major challenge in collecting climate data. In terms of **public investments**, limitations on geographical coverage and **differences in the way respective national governments track climate data undermine the capacity and reliability of tracking finance flows**. Regarding the climate finance flows related to the **private sector**, the **main barriers are the lack of transparency and differences in the classification of green finance**.

The CDP-ICLEI Unified Reporting System tries to mitigate this uncertainty at the public level by using a robust database, where local and regional governments report on an annual basis on their climate ambition and investment needs, but as of now the collected information on the financial indicators is limited and should be strengthened.

At the global level, the UNFCCC through a Biennial Assessment tracks and reports on the latest actions and activities of different actors related to climate finance flows. It provides comprehensive data collected from United Nations entities, multilateral initiatives, the civil society and the academic community (United Nations Framework Convention on Climate Change Standing Committee on Finance 2020).

Regarding adaptation, significant gaps still undermine data collection. First, there is a **lack of high quality data on sectors like water, waste, land use and forestry**. Information on adaptation finance is also challenging due to its context-specific character where **countries use different methodologies and definitions**. It is also challenging to differentiate urban climate finance since this categorization is not always considered. The absence of guidance on sectors, instruments and sources or uniformed information on what are the most relevant aspects to be observed also poses a constraint.

Monitoring, reporting and verification (MRV) mechanisms group together a set of rules and procedures for flow accounting methods. The use of **indicators** is necessary to evaluate financing and its impacts in terms of adaptation, but these are **often too far-reaching and not easy to handle**. **Silent adaptation**, which includes all adaptation actions that are not recognised as such, is **not quantified** and it is difficult to evaluate the adaptation 'part' in some projects.

Therefore, there is an **urgent need to improve tracking, methodologies and data on urban adaptation finance**. The strategies employed to track mitigation cannot be replicated to adaptation since it has an incremental aspect, which requires constant monitoring.

Knowledge gaps on estimating adaptation costs and expenditures in cities

Knowledge gaps in particular at the level of cities exist mainly in the following areas:

- ▶ Knowledge on the **adaptation demand** in cities, including preventive measures as well as more 'climate-proof' reconstruction after disasters
- ▶ **Information on costs of adaptation measures in cities** and about **their 'additionality'**, especially in relation to other municipal policies and tasks
- ▶ **Information on governance and the allocation of costs of adaptation relevant measures** (to actors, levels, sectors, financing sources), which has to be specific for each measure of the whole portfolio of needed activities
- ▶ Information and data on the financial capacities and the expected economic development of cities

A possible top-down approach to address these knowledge gaps is to examine the existing financial structure and data of cities at different levels of governance, from municipal cameralistics to international funds, in terms of aspects, factual indices and investment in adaptation. Another approach is to examine any measure of existing complete and implemented urban adaptation plans in terms of volume and timing of costs and their financing. This bottom-up approach also allows economic benefits and cost savings to be taken into account in addition to costs. If there is a sufficient sample number of cities in an economically and adaptively comparable region, robust data on adaptation and funding can be obtained. As the effort is considerable, alternatively only a selected ‘typical’ city representative of the region can be used for the study. As a rule, such a selected city that also has an implemented adaptation strategy will not be representative in all respects. Therefore, a simplified approach will lead to much greater uncertainty in some areas of adaptation.

In both the top-down and bottom-up approach, it should be taken into account that the budgeting and planning of measures and activities in cities is usually not limited to their own sphere of activity. Local pressure and local knowledge, on the one hand, legal-organisational entanglements in planning and implementation processes with other levels of governance, on the other hand, lead to uncertainties in the allocation of the expected cost ownership. These delimitation problems include ‘usual’ uncertainties due to deviations between planned costs and actual costs — especially for larger investments and long-term projects, as well as by cost definitions. The valorisation of costs is only one of many challenges. Another decisive factor for the financing needs is the expected economic situation or development of cities, but also of the region in question. Ultimately, possible future climate policy initiatives and programmes at all levels of governance that have an impact on municipal policies and activities also increase uncertainty in the allocation of costs.

Due to the wide variety of situations in a city (adaptation needs, financial resources, legal and policy frameworks) and the wide variety of possible policies and their implementation, generalised statements on municipal adaptation financing are more difficult for a region, the more diverse or larger the region is. It may be useful to form clusters of similar cities within an ‘economic’ region in terms of their socio-economic and legal situation, their geographical/adaptation-specific situation, their adaptation plans or their size, in order to reduce uncertainties.

Studies to investigate the expected short, medium and long-term financing needs of cities for climate adaptation must be aware of the uncertainties and address the above challenges.

Exemplary top-down and bottom-up studies on individual cities can be an important first step to improve knowledge, develop a methodology and build a database to increase system knowledge about the range of situations and possibilities of implementing measures. It is helpful to define certain basic assumptions for the investigation (e.g. definition of the adaptation measures considered, cost definition, time horizon under consideration). The aim should be to provide a useful knowledge base (completeness, expected costs and financing, uncertainty depending on factors) for an overall assessment of the financing (time progression of needs, promoters) of adaptation in cities in a region. In addition, systemic research is required to cope with complexity and dynamics.

A.3.6 Lesson learnt: barriers and facilitating factors

A.4.6.1 Barriers and challenges to scaling up financing of urban adaptation

- ▶ Local and regional governments in the Global South face in general multiple barriers to access climate finance, such as lack of fiscal and technical capacity, and weak political support. In terms of external factors, the priority of national policies and the complex procedures of international funding are additional challenges. In addition to this regarding adaptation, the main barriers are the limited knowledge of the topic and the absence of resources to strategically integrate climate adaptation measures into local budgeting and planning, and to access new sources of capital.
- ▶ The challenges that climate change poses to local governments include the fact that a large share of them are located in Global South countries, which often lack the means to implement adequate adaptation measures. Many of the countries with the largest urban populations living in the low-elevation coastal zone are highly populated developing countries including China, India, Indonesia, Brazil, Nigeria and Bangladesh. (GIZ 2017)
- ▶ Furthermore, LRGs, especially those in the Global South, face structural challenges. First, they do not possess a climate strategy with an overall perspective of adaptation needs at the local level. This limits their ability to prioritize projects and actions, as well as allocate budget accordingly. Moreover, limited budgetary resources undermine the capacity to finance large and long-term infrastructure projects that are necessary to adequate adaptation measures. Besides, most of the adaptation financing has to be managed and approved by the national level, which reduces the sub-national governments' manoeuvre hand.
- ▶ In the Global South, the dependence on the national government is a common constraint for LRGs that have no or limited access to international financing sources, due to constitutional limitations. Thus, they depend on national initiatives to obtain funding. Besides, some LRGs do not have the necessary expertise to identify and communicate their adaptation needs to the national government, nor position adaptation as a priority, which undermines their chances in applying and obtaining finance.
- ▶ Awareness of climate change and adaptation measures is usually low at the local level, especially in Global South countries that face other critical issues such as unemployment, school evasion, health crisis, etc. One consequence is that adaptation tends to be pushed from already over-crowded municipal agendas by other pressing issues that are perceived to be more urgent, attract more short-term attention and out-compete climate change in the competition over scarce resources.
- ▶ The process of receiving the funds remains a challenge. First, fundings from international sources are sometimes deviated due to corruptive practices or misappropriation. In other cases, the complexity of the administrative structure delays or blocks the LRGs direct access to these funds. The high levels of debt in developing countries keep their creditworthiness at low rates, putting them in a high risk category and making them ineligible for taking commercial or foreign debt (Restle-Steinert et al 2019).
- ▶ Besides, the private sector normally values stability and a government it can trust with strong institutions, protection of property rights and effective regulations. In developing countries, only a small portion of local governments are deemed creditworthy - about 4% in international financial markets and 20% in local markets (World Bank 2013). The situation in developing countries also includes lack of transparency, high level of corruption and uncertainty, making these LRGs unattractive to private investors.

- ▶ Large spatial scales often require interventions that involve multiple stakeholders. The cost of engaging and negotiating with multiple stakeholders, working across regulatory jurisdictions and collaborating with dispersed landowners can be time consuming and costly. In addition, those responsible for providing the adaptation service may not have the capacity or legal legitimacy to engage with landowners (Browder et al. 2019).
- ▶ Regarding institutional constraints, local and sub-national governments do not have the capacity to prepare adequate project proposals, either for the lack of data or technical ability. Usually, the project structure is not suitable or bankable for public and private investors, which is one of the factors that limit their chances to obtain financing. Besides, another barrier relates to the revenue aspect of adaptation projects. Since they usually do not generate revenue, there is no guarantee that they can pay back the loan, which makes them unattractive to investors.
- ▶ LRGs also face a data gap challenge in terms of sources of climate finance and the role of the private sector. Most of them do not have qualified information or expertise on the main tools available, or on how to explore these tools for their local adaptation projects. Besides, comparing adaptation and mitigation estimates can be problematic due to the context-specific and incremental aspect of adaptation (UNFCCC Standing Committee on Finance 2019).
- ▶ The costs of adaptation in the developing world have been mostly equated to those of climate proofing infrastructure under the assumption of unconstrained knowledge and planning capacities (da Costa & Kropp 2019). Adaptation costs in the Global South must be expected to be significantly higher when systematically considering the investments required for financing the early phases of adaptation processes, i.e. activities related to building the knowledge base and planning, including an adequate governance structure. The effort to finance the knowledge and planning capacities in developing countries is not marginal relative to the costs of adapting infrastructure, but it is often neglected or underestimated in cost estimations based on traditional economic/biophysical modelling approaches (da Costa & Kropp 2019). Underfinancing of activities for building the necessary adaptation capacity may offer one explanation for the slow progress in urban adaptation planning and the implementation gap, as documented in section 2 of this report.
- ▶ The disruptions caused by Covid-19 added a new constraint to the cities, especially in the Global South, that had to shell out more money on health, let alone decrease its revenue due to the subsequent economic crisis. The reduced revenue leads to cuts in the budget and hard financial choices, undermining the advance of climate change related projects. Some analysts see the moment as a critical juncture for the cities' ambitions in climate action, which will require the design of a broader alliance between the private sector, civil society, local and national governments (CCFLA 2021).
- ▶ Adaptation projects generate multiple social, economic and environmental co-benefits related to human health and livelihoods, food and energy security, ecosystem rehabilitation and maintenance and biodiversity. While these co-benefits can be of great interest to the general public, the government and affected communities, they are often not reflected in the benefits assessment of traditional infrastructure investments.

A.4.6.2 Lessons learnt and facilitating factors for scaling up financing of urban adaptation

There is no formula for the best urban adaptation strategy since it should consider the specific local context. However, its success is closely connected to the development of a dense network engaging public and private sector, civil society, minority groups and communities that act together. Without a strong system of governance that manages fund disbursement, project implementation and information sharing, the resources often do not arrive where they are needed most. Multi-level governance approaches can help in building structures and solutions that are oriented towards the local needs. It can also contribute to reduce knowledge gaps, leading to higher transparency and capacity building.

Enabled environment

- ▶ Adaptation projects in the Global South must include both (i) a change in the legal budget distribution mechanisms, to strengthen local finance capacities as well as (ii) efficient measures against corruption.
- ▶ National governments can also play a key role in assisting the LRGs in surpassing barriers in adaptation projects. First, local governments should be involved in development and implementation of National Adaptation Plans. The national administration should also strengthen regulations and data systems to support urban climate adaptation planning and carbon pricing mechanisms at the local level.

Enhanced revenue streams

- ▶ To be less dependent on external financing, **local governments should work on mechanisms to enhance their own revenue sources**, find seed money for the first investment steps and reach a level of maturity that would make them more attractive to climate investments. From these sources, **taxation** is the strongest instrument LRGs have and can be used in innovative ways, as outlined described in section 3.5. **Carbon pricing**, for instance, can be included into the investment planning since it not only helps LRGs in addressing regulatory requirements, but also creates a positive message to the private sector. As the local governments' financial needs grow, it is crucial to look beyond traditional ways of financing, increasing the private sector engagement. Tools that combine both public and private sources are becoming an alternative to public finance. This way, **land value capture (LVC)** also provides an alternative to local governments. Local governments can increase the value of a land by investing income from taxes, fees and zoning, on the land's infrastructure. **Combining the field of climate change adaptation and resilience with land policy to explore financing resilience is a new and promising concept to explore.** The LVC's benefits include the improvement of the financial performance of subnational authorities and the opportunity to access affordable and secure land, adequate housing and neighborhoods for the urban poor. When associated with good urban planning, land value capture can help governments advance positive fiscal, social, and environmental outcomes such as housing, sustainable urban infrastructure and water management systems.
- ▶ Adaptation projects should be prepared with attention to potential revenue generation opportunities. Due to the lack of revenue return, which is often the case of adaptation projects, **project aggregation** can be a useful solution, combining adaptation and mitigation benefits, as well as to reduce risk. Integration can lead to other co-benefits, reduce trade-offs and create synergies that increase the project's chances of success.
- ▶ LRGs may prefer to gather efforts to access climate finance. One option can be to **leverage the municipal bond market** through aggregating projects across multiple municipalities or countries into one bond issuance or fund, raising finance to all of them. Developing this

loan-aggregating mechanism can help to increase funding opportunities for smaller municipalities that lack credit ratings or track record.

- ▶ **Multilateral and regional insurance funds** became a useful tool in providing pay-outs linked to losses from a natural hazard, reducing the long term burden for local and regional governments. According to the Climate Funds Update (CFU) website, **multilateral climate funds** have approved a total of USD 136.15 million in grants and concessional loans to projects that entail an insurance component – including micro-insurance and sovereign risk pools – between 2008 and 2017 (Weingärtner et al 2018).
- ▶ **Blended finance** can also help in mitigating early-entrant costs or project risks, re-balance risk-reward profiles for pioneering investments and enabling them to happen. By mixing public and private funds through a common investment scheme, it enlarges the time horizons for capital providers, avoiding the risks associated with short-term capital flows faced by recipients of capital in emerging and frontier markets (ICLEI 2020).
- ▶ **Private sector investment, blended and co-finance** will be key to achieving resilient and climate proof urban centres and closing the climate adaptation finance gap. However, so far private sector engagement is limited. For attracting private sector finance, adaptation measures need to show a clear ROI going beyond mere risk reduction costs. Moving away from a mere adaptation focus to the wider environmental, societal and economic co-benefits, which should be reflected in performance-related indicators and evaluation, can be a pathway to steering private sector investment (Smith et al., 2014). Ecosystem-based adaptation and nature-based solutions have lower upfront costs but operational and maintenance costs that need to be considered in business models and in co-governance approaches; this requires planning for the whole lifecycle of infrastructure. The so far poor level of involvement of the private sector in the planning phase needs to increase by changing decision-making and planning approaches.
- ▶ Some developing countries such as Brazil, Bangladesh and South Africa have their dedicated **regional funds**. In Brazil's case, the Amazon Fund invests (in a non-reimbursable method) to prevent deforestation and to promote sustainable land and forest use in the Brazilian part of the Amazon. In South Africa, the Green Fund helps the country in the transition towards a more resilient development and the Bangladesh Climate Change Resilience Fund (BCCRF) finances climate adaptation, mitigation and disaster risk reduction measures.
- ▶ **Revolving funds** can be another way to finance adaptation measures by reinvesting the savings from mitigation projects. In Almada, for example, the Less Carbon Climate Fund was created to reduce Almada's carbon footprint by financing energy efficiency and renewable energy investments. This Fund was, then, turned into a revolving fund, which means that the cost savings resulting from implemented energy efficiency measures will directly be redirected to the fund, ensuring leverage and boosting further investments not only in the city's energy transition, but also in adaptation.
- ▶ **Carbon markets** are among the least employed instruments in climate policy implementation. Their potential to finance adaptation is still not fully explored, although the Adaptation Fund is financed through carbon credits. The Paris Agreement put carbon markets in evidence when it based most of the Nationally Determined Contributions (NDC) in international cooperation through such markets. Art 6 negotiations offer a historical opportunity to design a market-based vulnerability reduction crediting mechanism.

- ▶ As a result, countries like the United Kingdom and some states in the USA established mandatory carbon markets to cover specific sectors. On the other hand, as the demand to decarbonize economies around the globe increases, the **voluntary carbon market (VCM)** is also gaining momentum and presents an opportunity to finance climate adaptation. McKinsey estimates that in 2020, buyers retired carbon credits for some 95 million tons of carbon-dioxide equivalent (MtCO₂e), which would be more than twice as much as in 2017 (Blaufelder et. al 2021).

VCM were created to drive finance to GHG emissions reduction measures. Voluntary carbon markets allow carbon emitters to offset their emissions by purchasing carbon credits emitted by projects targeted at removing or reducing GHG from the atmosphere. Companies can join these markets individually or part of a sectoral group and use it as a complement of its internal emission reductions with the purchase of carbon offsets.

These markets have multiple advantages. Since they are not geographically limited and can be accessed by all the economic sectors, their scope of action is expanded, which also facilitates the mobilization of resources destined to the Global South. Besides, the credits provided by them can direct private finance to climate projects that otherwise would not be fostered (Favasuli and Sebastian 2021).

- ▶ To meet the financial needs of adaptation, it is important to reallocate capital from fossil fuels and polluting technologies to greener initiatives. The public sector cannot undertake this transition alone. In this sense, institutional investors can play a relevant role in supporting adaptation measures. Among these investors, **pension funds** can be a major source of funding. (Croce et al 2011)
- ▶ According to OECD (2021), these funds accumulated, by the end of 2020, more than USD 35 trillion assets in OECD countries. They normally focus on long-dated assets with inflation protection, a steady yield and with a low correction to the rest of their portfolio (Croce et al 2011). However, their assets on climate projects remain less than 1%, mainly due to institutional barriers, such as the lack of data and financial instruments that enable them to invest in climate initiatives and the low competitiveness of green investments.
- ▶ As pension funds still face multiple challenges to engage in climate projects, a more suitable alternative for current adaptation projects is to reach institutional investors through **green bonds**. Green bonds can be defined as fixed-income debt securities issued by governments, multinational banks or corporations in order to raise the necessary capital for a project, which contributes to a low carbon, climate resilient economy (Croce et al 2011).
- ▶ In this context, **climate bonds** are a type of green bond issued to raise capital for investments in projects that address mitigation or adaptation measures. It can help local governments to support adaptation by raising awareness and capital from the private sector. Since bonds are a dominant asset in OECD pension funds, green and climate bonds can be useful tools to channel this financing source.
- ▶ The **Paris Agreement** established provisions to increase adaptation ambition. Article 6 provides a framework for countries to voluntarily cooperate in addressing climate change, generate investment, and achieve sustainable development. This cooperation can be fostered by the following options (Environmental Defense Fund 2018):

- Bottom-up, bilateral or regional cooperative approaches (Article 6.2). In this case, the emission-trading schemes of two or more countries can be connected. It allows carbon credit transfers.
- A centralized crediting mechanism to contribute to mitigation and support sustainable development (Article 6.4). This article defines that the UN can trade credits from emissions generated in specific projects.
- Non-market approaches (Article 6.8). In this point, measures should be taken to discourage emissions.

However, the rules for its implementation were not finalised until November 2021, when COP 26 approved the Paris Agreement Rulebook. This approval helped to strengthen the Paris Agreement's compromise and the development of voluntary carbon trading markets, which is considered crucial to GHG emissions reduction and investment in related technologies. By exploring these ways, countries will be able to boost their GHG emission reduction targets and to increase investments in sustainable initiatives. This can also encourage private sector engagement.

Capacity building

- ▶ **Capacity building** is a crucial step of successful adaptation projects. It is important to guarantee that the local and regional governments have the knowledge on how to articulate these projects inside their governmental structure. **Training** representatives at the local level helps them in identifying the local needs, better allocating budget and finding the most suitable financing tool for specific projects. It also contributes to a more efficient and climate-oriented organizational structure, embedding adaptation to the local government's priorities.
- ▶ **Directing more international adaptation finance to the early, knowledge- and planning-related phases of the adaptation process** and integrating funding for these phases adequately into adaptation projects could contribute significantly to bridge the gaps from agenda-setting to planning and to implementation on the ground. Studies (da Costa & Kropp 2019) project a decrease in annual investments required for financing the building of adaptation capacities in developing countries up to 2030, due to the expected increase in Human Development Index (HDI).

Project preparation

- ▶ **Technical assistance** can focus on the project preparation stage to assist in elaborating strong applications for international calls, increasing the chances of financing. It can leverage the local employees' contribution to the initiative, and their independence in engaging in future projects.

Tracking finance flows

- ▶ Invest into **tracking of (climate) finance** and **sound monitoring, reporting and verification** of its impacts. Such tracking and monitoring does not have to be limited to climate finance as this is expected to be mainstreamed into regular development finance for municipalities. Rather, all investment plans should routinely be assessed regarding their contribution to climate change mitigation and adaptation (GIZ 2017).

Green recovery

- ▶ Green stimulus can be a relevant tool in encouraging adaptation at the local government level. Areas that are rapidly urbanizing, are vulnerable to climate change, or that were hit by the COVID-19 collateral effects can be granted green funds to help in their recovery, which would increase their resilience.

Lessons learnt from case studies in European cities

Municipalities across Europe — cities, towns and smaller districts — have found various innovative ways to overcome the challenge of accessing climate finance to fund adaptation. A cross-analysis of case studies from European cities (EEA, 2017a) yields valuable lessons that have good transfer potential also to the Global South. Upscaling any proposed measures will nevertheless require a deep look into local conditions to best customize these lessons learned.

- ▶ *Wise use of financial sources:* Successful financing of adaptation measures in Europe has "combined different types of financing from various sources in different sectors and from different governmental levels. Combining different sources may be useful regardless of whether sources are specifically dedicated to adaptation" (EEA, 2017a). Integrating climate concern and resilience into urban development may ease the implementation of financing transformational adaptation measures. Comprehensive mainstreaming can result in co-benefits across sectors and overall lower costs. 'Seed money' may further hold the potential to attract a range of financing sources from public or private stakeholders. "Some 'seed money' from a municipal government or other funding bodies can leverage adaptation measures by mobilizing much higher financing contributions" (EEA, 2017).
- ▶ *Need for critical capacities:* Identifying, applying for and negotiating the various financing streams requires substantial capacities in human capital and expertise (EEA 2017). At the local level, predominantly smaller municipalities and cities demonstrate a lack in these capacities relating to urban adaptation to climate change efforts. Moreover, "existing rules and regulations often hinder the implementation of certain types of adaptation measures [...] An evaluation of the policy framework [...] can help to identify the barriers and define solutions to overcome them. Often this requires a multi-level approach, involving the authorities at regional and national level" (EEA, 2017). The financing agent will deem available capacities for implementation, favourably during the evaluation process of the adaptation project. In general, receiving loans comes with the challenge of a project needing to generate a direct financial return, especially in the short-term. Integrating adaptation measures with larger infrastructure or urban renewal projects and further cooperating with neighboring municipalities promotes the overall reliability and bankability of the project (EEA, 2017).
- ▶ *Increase awareness and confidence among stakeholders:* Overall support and awareness among decision-makers is an essential part of driving the implementation of adaptation measures. "Stressing the many benefits of adaptation measures across various sectors, which include reduced risks, longer lifetime and greater resilience of infrastructure, leading to long-term payoffs, market advantage, and maintenance of or increase in property values, can help to mobilize funding from various sectoral budgets and from private sources or societal organizations" (EEA, 2017). It is through clear communication of cost advantages that will trigger access to funding and final implementation of adaptation actions.

Lessons learnt from the case study on Makati City (Philippines)

- ▶ Makati City can serve as an example for other local governments in the Global South due to its effective strategies in overcoming common barriers to access climate finance. First, Makati was able to create an enabling environment, which attracted the participation of stakeholders such as the private sector, guaranteeing support in the long-term sustainability and welfare of the community.
- ▶ Furthermore, the local government incorporated climate change and adaptation into its core administrative bodies and policies. This facilitated a more strategic planning on climate action, as well as anticipation of risks and obstacles that these policies might face.

A.3.7 Recommendations

A.4.7.1 General recommendations

Ambition

- ▶ Aufzählung Ambition is a relevant concept to be considered when looking into adaptation. It is important to raise ambition on adaptation - which means improving its planning, implementation and evaluation stages. This will enhance the quality of the policies delivered and reduce the vulnerability to climate risks, contributing to a wiser allocation of resources and more effective measures.
- ▶ Local governments shall adopt strategic and sectoral mid- and long-term targets with the necessary level of ambition.

Multilevel governance

- ▶ Directing international climate funding towards testing, establishing and deploying multilevel governance structures (cross-level coordination, steering or working groups; multilevel cooperation formats) and mechanisms (information flows, cyclical work plan, reporting procedures, provision of enabling framework, etc.) that effectively link the local level to subnational and national levels. This may require exploring new and innovative vertical governance models, learning from lessons and experiences in industrialized countries, or transferring and customizing field-tested approaches from Global North countries to the Global South, or from South to South. MLG mechanisms may include formal and informal, regulatory and 'soft', voluntary approaches. For some developing and emerging countries, establishing regional governance frameworks could be a promising approach, including elements and services such as providing knowledge and information to (smaller) municipalities, supporting adaptation planning of cities, facilitating access to funding, networking of local authorities, pooling of resources, coordinating adaptation actions for climate impacts of regional scale that exceed municipal boundaries etc.
- ▶ Support for multi-level governance frameworks should consider the following guidelines:
 - Adaptation planning must be coordinated and conducted across all levels of government. The potential of Local and Regional Governments (LRGs) in driving climate action shall be recognized. Local governments can play a prominent role in coordinating different stakeholder groups and ensure the local political buy-in and commitment.

- The involvement of local and regional governments in design, coordination and implementation of National Adaptation Plans can serve to explore not only the local governments' potential to scale up climate action, but also to overcome limited interpretations on adaptation, promoting a more integrated approach.
- Local governments shall be engaged in dialogues with national and other subnational levels of government to coordinate, and align policies and plans.
- It is also relevant to mainstream adaptation at the local and global levels. Locally, the infrastructure projects must feature adaptation measures. At the global stage, adaptation components must be included into other global agendas such as SDGs and biodiversity, enhancing political coherence between local, national and international projects.

Enabled environment

- ▶ Ensuring a clear climate action mandate is provided for all LRGs that enables regular assessment, planning, implementation, monitoring and reporting.
- ▶ Establishing strong and stable legal, regulatory and institutional frameworks to guide, support and enable LRGs in implementing their mandates, and provide the necessary resources (technical, financial, and information) to achieve success.

Finance

Financial institutions

- ▶ To scale up climate financing and mobilize investment in line with locally identified priorities and needs.
- ▶ Reinvest profit and return on capital investment into scaling up measures and assets with adaptation benefits.
- ▶ Enable faster access to diverse financial mechanisms, reducing unnecessary bureaucracy and enhancing subnational financial engineering capacity to facilitate direct access to finance and investment.
- ▶ Scale up technical assistance and finance project preparation facilities with a focus on subnational infrastructure projects, also from early-stage project development.
- ▶ Reinforce and scale up financing for adaptation activities related to building the knowledge base and planning, as the prerequisite for concrete actions toward climate-proofing infrastructure.

National governments

- ▶ Leverage national post-COVID stimulus and green recovery packages to “build back better” by mainstreaming local climate action across national plans, policies and by upscaling funds allocated for implementation.
- ▶ Ensure access to the necessary finance and opportunities for funding, also through the co-design of vertically integrated NDC implementation and investment plans, that embed local needs-based priorities and finance needs.

- ▶ Support local government to develop local priority projects into bankable projects and feed into functional project pipelines that deliver investment and implementation support.

Local governments

- ▶ Trace strategies to leverage their own revenue focusing on instruments that are exclusively dedicated to finance climate projects, such as carbon pricing and land value capture (LVC).
- ▶ Look at new sources of financing, such as municipal and regional funds, which are less dependent on external sources, but can attract additional funding, e.g through revolving funds.
- ▶ Search for partnerships with the private sector through blended finance and aggregated bond issuance to reduce project risks.
- ▶ Incorporate the global agenda at the local level and adopt a holistic non-market approach to facilitate multi-level cooperation in implementing the Nationally Determined Contributions. This can be fostered through the Local Governments and Municipal Authorities (LGMA) Constituency in the UNFCCC process, where ICLEI acts as the focal point, helping to increase climate ambition.
- ▶ Prioritize solutions that connect mitigation and adaptation by employing the revenue generated in mitigation to adaptation measures. This will allow local governments to curb climate change while coping with its impacts.
- ▶ Climate Adaptation Notes (CAN) need to be considered as a tool to attract commercial banks to finance projects in water and waste management.

Integrated climate action

- ▶ Increase financing for integrated urban climate projects, i.e. for projects that jointly address and consider mitigation and adaptation effects of actions. This is also a way to overcome competition between mitigation and adaptation for financial resources and political attention at both city and international level, and to reduce the (urban) adaptation finance gap by channelling funding into joint implementation initiatives.
- ▶ Consider in a more systematic way interactions and interdependencies, i.e. potential synergies and conflicts, between adaptation and mitigation measures. Making mitigation measures climate-resilient and exploiting GHG reduction effects of adaptation measures requires development of operational integrated frameworks that support policy makers and planners in coping with the complexities of systemic approaches. “Attention needs to be paid to [...] find integrative frameworks to support joint implementation of adaptation and mitigation in cities“ (Landauer et al. 2019).

Nature-based Solutions

- ▶ Raise awareness of the multiple and co-benefits of solutions like mangroves to increase resilience.
- ▶ Embed Nature-based Solutions into Climate Action Plans, which will allow the creation of economic and regulatory incentives.

- ▶ Reorientation of governmental incentives to encourage investments in adaptation projects and its nature based solutions.

A.4.7.2 Recommendations on the database and methodological aspects of estimating urban adaptation costs and tracking finance flows

- ▶ **Review of methodological approaches in use** for examining the financial architecture of adaptation by different aspects, e.g. by the different administrative sectors, by specific climate impact categories, by financial sources, or by the different governance levels, in order to get a complete picture of existing methods and their strengths and weaknesses.
- ▶ Development of **good practice requirements of metrics** (UNFCCC, 2018; UNEP 2016b, CPI, 2019a) **for tracking of funding** (EEA, 2017) **and for building useful databases** on adaptation costs and financing. This would contribute to generating better, more usable and more standardized knowledge and support deeper and more accurate analysis of implemented actions and associated financing. Such good practice requirements for metrics need to define adaptation-related costs well in technical terms, including with regard to variables such as:
 - clear definition of impact areas
 - allocation in time and space
 - governance responsibilities
 - financing sources
 - assigned instruments
 - categories of implemented measures
 - cost types (investment, operation, planning, administrative, financing costs, etc.)
 - cost type status (estimated, planned, opportunity costs, avoidance costs, actual costs incurred, etc.)
 - actors (local administration, regional authority, private households, local businesses, etc.).

Such mutually agreed requirements should be a Good Practice standard for large funding programs or international institutions dealing with climate change adaptation financing. The publication of costs and financing in a harmonized and traceable way would not only improve transparency, but would also be a great benefit for the learning curve on costs and financing for all involved actors, including international or national funds for adaptation.

Specific existing initiatives to raise the quality of cost data documentation could provide a good baseline, inter alia:

- United Nations Framework Convention on Climate Change Standing Committee on Finance 2020 (applied in the UNFCCC Biennial Assessment report)
- The Common Principles for Climate Change Adaptation Finance Tracking launched by the Multilateral Development Banks and the International Development Finance Club (CPI 2020)
- CDP-ICLEI Unified Reporting System

- Monitoring, reporting and verification (MRV) mechanisms group (setting up rules, procedures and indicators to monitor financing flows)
- ▶ For the present study, the authors tapped important existing international and European databases (e.g., NAZCA GCAP, GcoM, CoM Europe, TAP project pipeline) to gain information about adaptation, its governance and related funding in cities, but it has not been feasible within the scope of the given project to consult with database holders and do more in-depth analysis of available datasets. However, as the selective assessment of the cities dataset of the CDP Unified Reporting Platform and the re-analysis of previous, more detailed assessments has proven, **there is large potential to extract more and better information by investing efforts in data mining and analyses of existing databases.**
- ▶ The innovative cost estimation study by da Costa & Kropp (2019) has demonstrated the strong potential of **adaptation cost assessments based on empirical project samples.** Building on a database of 385 adaptation-related projects of the German Ci:Grasp web platform (PIK 2022), da Costa & Kropp (2019) were able to estimate the current and projected future costs for the early, knowledge- and planning-related phases of the adaptation process for four main sectors in three World Bank geographic regions at national, regional and local scales. The study underlined **the added value of cost-scaling methodologies based on empirical collections of adaptation projects** and showed that they are able to **compensate for shortcomings (such as the systematic underestimation of costs related to building the necessary adaptive capacity in terms of knowledge and planning) of more commonly used cost assessments based on quantitative modelling** (da Costa & Kropp 2019). It is recommended to further explore such methods and apply them specifically to urban adaptation as a complementary approach to traditional economic or biophysical modelling approaches.
- ▶ Further research is needed on how to **combine top-down and bottom-up approaches** to the estimation of costs and actual expenditures for adaptation to gain additional useful information about incurred, expected and required costs. Both approaches are used in different ways at international and national level. The top-down approach (e.g. by means of the OECD DAC 'climate markers'; see Annex 4 and Knittel et al. 2017) is based on identifying and categorizing adaptation-relevant expenditures in public budget plans and estimating their respective adaptation cost shares. On the other hand, the bottom-up approach is based on adaptation strategies/plans and involves assessing the costs for implementing measures with the help of expert elicitations. Joining the results of both approaches together strongly helps to quantify current and future adaptation costs, to track expenditures for adaptation activities in the budgets of public authorities, and to detect adaptation financing gaps.
- ▶ Due to the great variety of different situations for the determination of adaptation costs and financing structures of cities, it seems useful to **cluster** similar urban situations for analyses, for the reduction of uncertainties and for better transferability of results.
- ▶ Studies on adaptation costs of cities and their financing should take **uncertainties** into account and make them **transparent** in their results.
- ▶ In principle, methodological improvements in knowledge-building on the financing structure of urban climate adaptation are particularly necessary in four areas:
 - Forward-looking assessment of **local climate adaptation needs** for an assumed period of time and an assumed development of framework conditions, starting from the already achieved status quo of a city's resilience.

- Estimating the **expected costs of adaptation measures**, including by means of scenarios and at relevant levels of detail, and evaluating the ‘additionality’ of adaptation-related costs relative to measures under other municipal tasks and policies.
- The **expected financing structure** with regard to the **allocation of adaptation costs** to (public and private) actors at different governance levels. Synergies and counterproductive effects between adaptation measures and with other objectives and policies can have an influence on costs and financing structure, and should thus be considered.
- The **current and expected financing capacities** and **implementation risks**, which depend on the economic situation of a city, its actors, and the respective region and country. In particular, cooperation in the financing of adaptation, mitigation, disaster risk reduction and recovery should be strived for.
- In order to methodically deepen the understanding of the complexity and dynamics related to urban adaptation financing, including the diversity of measures, governance systems, and regional or local situations, and to derive validated insights e.g. for the planning of new financing options, it is recommended to **establish a multilevel learning process on monitoring urban climate change adaptation financing**. This should encompass a broad spectrum of concrete adaptation projects, funding sources and funding instruments in different regions.

In case of a large variety of urban situations within a region, clustering will be a useful approach to gain knowledge about influencing factors and on uncertainty of results. Fundamental uncertainties can only be reduced by an increasing number of participating cities or by improvement of the applied method. Results from such a learning process are transferable to cities in similar countries or regions with similar characteristics as regards infrastructure, socio-economic situation, climate change pressures, governance structure, societal awareness and political willingness. This would be a simplified starting point for many cities in countries or regions without sufficient data and without process-based experience on adaptation costs and financing. It is suggested to establish such multilevel learning processes region by region, e.g. in a region in the Global South with comparable cities.

A.4.7.3 Recommendations on strengthening urban adaptation in the German International Climate Initiative (IKI)

Context

The International Climate Initiative (IKI) is an important instrument utilised by the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety and Consumer Protection (BMUV) to support international action on climate and biodiversity. It supports solution strategies on a need-based and targeted manner in developing and emerging countries that seek to achieve sustainable change. IKI seeks to enable partner countries in the implementation of the Paris Agreement and their commitments under the Convention on Biological Diversity. Adapting to the impacts of climate is one of its four funding areas, the others being: mitigation of GHGs,

conserving natural carbon sinks and REDD+¹⁰, and conserving biological diversity. These funding areas have significant synergies, and projects that IKI supports often involve more than one funding area (IKI 2022a)¹¹. IKI's adaptation funding area has principally three priority topics (IKI 2022b)¹²:

- ▶ **Ecosystem-based Adaptation (EbA):** Promoting cost efficient adaptation that takes into account cost-benefit ratios, focuses on the interactions between people and ecosystems, and supplements efforts at preserving and restoring natural carbon sinks and adopting landscape-based approaches.
- ▶ **Supporting National Adaptation Plans (NAPs):** Seeks to build medium- and long-term adaptation needs into existing planning processes through integrative and cross-sectoral processes at all levels of government. It also aims at involving the private sector in adaptation measures, developing financing strategies to access climate finance, and engaging subnational governments and people in the NAP process through capacity building.
- ▶ **Instruments for risk management:** Supporting reliable planning processes for climate risk management and developing corresponding adaptation measures at all levels of political decision-making. It also seeks to reduce economic risks and promote innovative insurance solutions.

Given IKI's priorities, especially in terms of engaging all levels of government and the private sector, capacity building of subnational governments, the need for innovative financing strategies and mechanisms, and emphasis on EbA, the lessons outlined in this report can provide the BMUV with targeted recommendations on strengthening urban adaptation in its IKI program.

Recommendations

- ▶ **Encourage the active involvement of LRGs:** For the effective planning, conceptual design and implementation of NAPs that include medium- and long-term adaptation needs, local and regional governments are pivotal actors. Their involvement will serve to explore not only the local governments' potential to scale up climate action, but also to overcome limited interpretations on adaptation, promoting a more integrated approach.
- ▶ **Promote collaborative climate adaptation:** Adaptation planning and implementation is most effective when it is coordinated across all levels of government. Considering the pivotal role of LRGs, channeling IKI funding towards piloting multilevel governance mechanisms that generate collaborative climate adaptation would be an effective and efficient approach. The same applies to establishing horizontal, i.e. cross-sectoral or cross-departmental coordination mechanisms at the same governmental level. Dedicated funding should thus be directed to creating, strengthening and sustaining coordination capacities, both at city level and at higher-ranking levels, including the exploration and development of innovative governance models that are adequate to specific requirements of countries in the Global South. This would enable greater vertical and horizontal alignment in policies, programs and plans for the design, completion, and implementation of NAPs, as well as the wise use and sharing of financial and technical resources. Further, this process will facilitate the localizing

¹⁰ 'Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation and the Role of Conservation, Sustainable Management of Forests and Enhancement of Forest Carbon Stocks in Developing Countries' (UNFCCC framework for reducing emissions from deforestation and forest degradation)

¹¹ Adapted from: <https://www.international-climate-initiative.com/en/about-iki/iki-funding-instrument>

¹² Adapted from: <https://www.international-climate-initiative.com/en/issues/adaptation>

of the NAPs and NDCs, so that local actions can contribute towards meeting national goals while informing national adaptation strategies and plans.

- ▶ **Redirect climate finance flows to cities and scale up financing volumes for integrated urban climate action:** Urban areas are global main sources of greenhouse gas emissions and, due to their sheer concentration of people, built environment, economic activities, infrastructure, assets, capital flows, and the resulting accumulated damage potentials, at the same time highly exposed and vulnerable to the impacts of climate change. Due to rapid urbanization and ongoing growth dynamics, in particular in the Global South, the crucial role of cities in coping with climate change is destined to increase. The global success or failure of efforts to mitigate climate change and respond to its impacts will thus to a large extent be decided in urban areas across the globe. In contrast, evidence shows that progress in planning and implementing urban adaptation is still rather modest, slow and patchy, even in Europe. Channeling higher volumes of climate financing to cities will thus be needed to accelerate progress in local climate action, to put both adaptation and mitigation measures into effect at wider scale, and to progress beyond incremental measures towards more transformative changes. Due to abovementioned density effects, cost-effectiveness of climate-related measures in urban areas is likely to be significantly better than in sparsely developed areas. Increasing financing for integrated urban climate projects would help in closing financing gaps, overcoming competition for financial resources between mitigation and adaptation, and exploiting synergies, thus avoiding stranded investments due to maladaptation, lock-in and rebound effects.
- ▶ **Adopt a two-pronged approach for integrating adaptation in urban areas:** The analysis shows that integration of adaptation planning and implementation tends to be more effective when there are successful decentralization processes and structures. Therefore, firstly, it is recommended to focus IKI investments where such decentralized systems already exist in order to successfully demonstrate and realize the societal, economic, and policy impacts of effective adaptation measures, based on well-developed multi-level governance. This should be supplemented by support towards creating such decentralized processes and structures in LRGs as a foundation for successful climate adaptation planning and implementation.
- ▶ **Contribute towards closing the adaptation finance gap:** Financial issues are among the highest-ranking barriers for local climate adaptation action. The following recommendations are suggested to address this gap:
 - Channeling increased funds for the testing of a range of innovative financial instruments (e.g. insurance solutions, land value capture) at local levels and across scales to help tap into national and international climate finance opportunities and attract private sector financing
 - Boosting support for the development of a pool of local bankable projects by building capacities and mechanisms to do so.
 - Supporting the rededication of available funds towards activities that enhance the adaptive capacities of people, processes and infrastructure by mainstreaming adaptation across policies, programs and plans at all levels of government.

- Increased support for initiatives aiming to operationalize market and non-market mechanisms of Article 6¹³ at all levels of government by testing enabling processes that harmonize efforts across these levels.
- ▶ **Bridge the urban-rural divide:** Support the adoption of landscape-based approaches across the urban and rural continuum that leverages the flow of ecosystem services between these two domains. Pilot EbA measures that bridge the gap between the two while enhancing climate resilience in the functional area.
- ▶ **Support increased alignment in climate adaptation, green recovery and development at all levels of government:** With the ongoing COVID pandemic, this is on IKI's agenda. The findings from this report only reinforce the need for continued efforts along these lines in a post-COVID scenario. Such an integrated approach strikes at some of the core challenges exacerbated by climate change, development needs, and aspirations for economic growth. As engines of local economies and growth, it is crucial to engage local and regional governments in this process.
- ▶ **Invest in monitoring and accompanying measures:** The effectiveness and efficiency of investments in projects and programmes can be improved through systematic data collection, monitoring and accompanying support measures for planning, implementation, monitoring and evaluation. The goal is to enable and accelerate **learning processes** that support both funding agencies and the beneficiaries, i.e. the developers and implementers of strategies, action plans and measures in local, regional and national authorities. Such learning mechanisms benefit from data analysis, exchange of information and sharing of experiences between the responsible authorities in developing countries, funding programmes like IKI in donor countries, and between donors and beneficiaries.

¹³ Article 6 of the Paris Agreement provides a framework for countries to voluntarily cooperate in addressing climate change, generate investment, and achieve sustainable development.

A.4 Zooming in: Case Study Makati City, Philippines

A.4.1 Background

Asia holds 6 of the 10 most vulnerable cities to climate change in the world and by 2030, it is expected that 55% of its population will live in climate risk areas. The East Asia and Pacific region experience more than 70% of the world's storms and has the largest proportion of weather-related displacement in the world with more than 10 million people leaving their home annually due to climate risks (Sharma et al 2021). The region's vulnerability to climate change poses threats to agriculture and food security through drier conditions, higher temperatures, flooding, and sea-level rise. Nature-based solutions and investments in innovative technologies will be crucial to help the region in dealing with climate change impacts.

In this context, as one of the most disaster-prone areas in the world, with high risks of floods, droughts, earthquakes and volcanic eruptions, the Philippines became a hub of innovative instruments to tackle climate change. The country lost 23.9% of its GDP due to the adverse effects of climate change between 1998 and 2009, which surpasses USD 20 billion. (Global Center on Adaptation 2021b).

Local governments have a central role in the country's mitigation and adaptation strategies. The National Climate Change Action Plan 2011-2028 (NCCAP)¹⁴ defines local governments as the frontline actors in the formulation, planning and implementation of climate change action plans. In this sense, the Department of Finance, for example, developed the Philippine City disaster insurance pool with the support from Asian Development Bank, providing post-disaster funds for 10 cities.

In 2012, the National Treasury created the People's Survival Fund (PSF) which aims to provide long term finance to adaptation projects, increasing communities' resilience. These projects should be aligned with the country's National Framework Strategy on Climate Change (NFSCC) and the above-mentioned National Climate Change Action Plan. The Fund supports adaptation initiatives in water resources management, land management, agriculture and fisheries and health infrastructure development (Restle-Steinert et al 2019).

Local governments units and local/community organizations may access the fund, which foresees an annual 1 billion pesos (government funds) to finance their projects. This way, these units are able to manage project formulation, planning and implementation. The eligibility criteria includes presence of key biodiversity areas, presence of multiple hazards and poverty incidence. In the case of community organizations, it is also required that they provide any adaptation reference, which might include risk and vulnerabilities assessments and a local climate action plan. This increases the likelihood that projects will correspond to the local needs. LRGs must assess and report on climate-related hazards, scenarios and projections, as well as the amount of people and areas exposed to these risks.

A.4.2 The example of Makati City

Makati is one of the 17 local government units (LGUs) that comprise National Capital Region (NCR) bounded on the north by Pasig River, on the northwest by the City of Manila, and

¹⁴ The National Climate Change Action Plan 2011-2028 can be accessed at https://policy.asiapacificenergy.org/sites/default/files/NCCAP_TechDoc.pdf

southwest by the City of Pasay. With a total land area of 27.36 square kilometres, the city has a very compact urban environment with very limited expansion.

Currently known as the Financial Center of the country, Makati City is one of the successful examples of how the Philippines are tackling climate change and adaptation at the local level. The municipality tackles mitigation/adaptation measures in different levels of the administration, making sure that this topic is prioritized and considered in the decision-making processes. In regulatory terms, adaptation is a priority in Makati City and is closely aligned to the Philippines' climate strategy.

With the passage into law of Republic Act No. 9729 otherwise known as the Climate Change Act of 2009, Local Government Units (LGUs) were tasked to serve as frontline agencies in the formulation, planning and implementation of climate change action plans in their respective areas. In this context, Makati developed a Local Climate Change Adaptation Plan which shall follow the national climate plan. Designed in collaboration with ICLEI, the adaptation plan identified 8 vulnerable sectors and employed the ICLEI-- Asian Cities Climate Change Resilience Network (ACCCRN) Guidebook and Toolkit as a tool to build resilience to climate change.

The ICLEI – ACCCRN process consists of a streamlined and replicable process that cities can implement without the need for much external support. It maps the local government's existing urban systems and how climate change can impact the functions and services provided by these systems. The process consists of four phases namely engagement, climate research and impacts assessment, vulnerabilities assessment and resilience strategy.

The Regulatory Act 10121 signed in May 2010 aimed at strengthening the country's disaster risk reduction and management system, by installing a dedicated framework and funds for this area. The document established the National Disaster Risk Reduction and Management Plan (NDRRMP) to strengthen the capacity of the national government and the local government units (LGUs), together with partner stakeholders, to build the disaster resilience of communities. It defined roles for all governmental levels as well as horizontal and vertical coordination for disaster risk reduction actions which included pre and post-disaster phases.

The Act also designated a National Disaster Risk Reduction and Management Council (NDRRMC), composed of representatives of different ministries that would be responsible for policy-making, coordination and evaluation of disaster risk reduction activities. The importance of the local level was recognized through the designation of the Secretary of the Department of the Interior and Local Government (DILG) as a Vice Chairperson for Disaster Preparedness inside the NDRRMC. Besides, the Council should also guarantee a coherent implementation of the plan at the local level.

At the local level, the structure was complemented by Municipal Disaster Risk Reduction and Management Councils that would approve and monitor the implementation of disaster risk reduction and management plans by local and regional governments. The plan also installed a Local Disaster Risk Reduction and Management Fund (LDRRMF) to financially support disaster reduction related activities.

Governance structure

Makati's government established a Climate Core Team which is managed by the Department of Environmental Services (DES). The Makati Climate Change Committee is one of the main institutions under this framework. It was created to foster integration of climate change and disaster risk management in the government's development plans. Composed of members of diverse divisions from the local government such as environment, health and urban

development departments, the Committee is tasked to formulate Makati's Climate Change Action Plan, which also defines the adaptation agenda.

The Urban Development Department (UDD) is another important body in the local government's administration. It works as a secretariat that formulates the Local Climate Change Adaptation Plan policies. It is in charge of formulating integrated economic, social and physical development plans and policies; as well as developing and maintaining a comprehensive geographic information system necessary to produce maps and other computer-generated graphical information needed for planning and decision-making processes.

Regarding the private sector, UDD ensures an efficient implementation of the Comprehensive Land Use Plan and Zoning Ordinance by evaluating applications for business/building locations. UDD also monitors and evaluates the implementation of the different development programs, projects, activities in accordance with the approved urban development plan of the city and conducts studies, researches, and training programs necessary to evolve urban plans and programs for implementation.

The Department of Environmental Services is also part of Makati's Core Team to tackle climate change and works on managing the other bodies and formulating measures that will promote sound urban environmental management, as well as develop plans, programs and strategies that will contribute to urban areas conservation. It also coordinates the implementation of measures to prevent and control air, land and water pollution, along with other governmental agencies and non-governmental organizations.

Finally, the Committee's structure includes the Makati Disaster Risk Reduction and Management (DRRM) Office that helps in coordinating the different stakeholders involved in climate action. It sets the direction, development, implementation and coordination of disaster risk management (DRM) programs within their territorial jurisdiction. It also designs, programs, and coordinates DRRM activities consistent with the National Council's standards and guidelines, as well as facilitates and supports risk assessments and contingency planning activities at the local level. Regarding knowledge sharing, the Office consolidates local disaster risk information which includes natural hazards, vulnerabilities, and climate change risks, maintains a local risk map, organizes and conducts training, orientation and knowledge management activities at the local level.

Financing adaptation measures

In terms of financing instruments, Makati receives national finance through grants from the Department of Budget and Management (DBM) through Local Government Support Fund-Assistance to Cities and from the Climate Change Committee through the People Survival Fund, subject to project proposal evaluation and approval. Adaptation measures were identified with budget allocation through the approved Annual Investment Program of the City, which includes Disaster Risk Reduction Climate Change Adaptation (DRR-CCA) and Climate Change Expenditure Tagging (CCET).

Climate Change Adaptation measures, also considered as DRRM, can also be sourced from the Local DRRM Fund, which is at least 5% of the local revenues. 70% of the Fund is dedicated for disaster prevention, mitigation and preparedness and the remaining 30% for quick response that also includes disaster recovery and rehabilitation measures.

In this sense, adaptation is mostly funded by the local government's own resources, which includes public financing from the City Government of Makati and through the Local

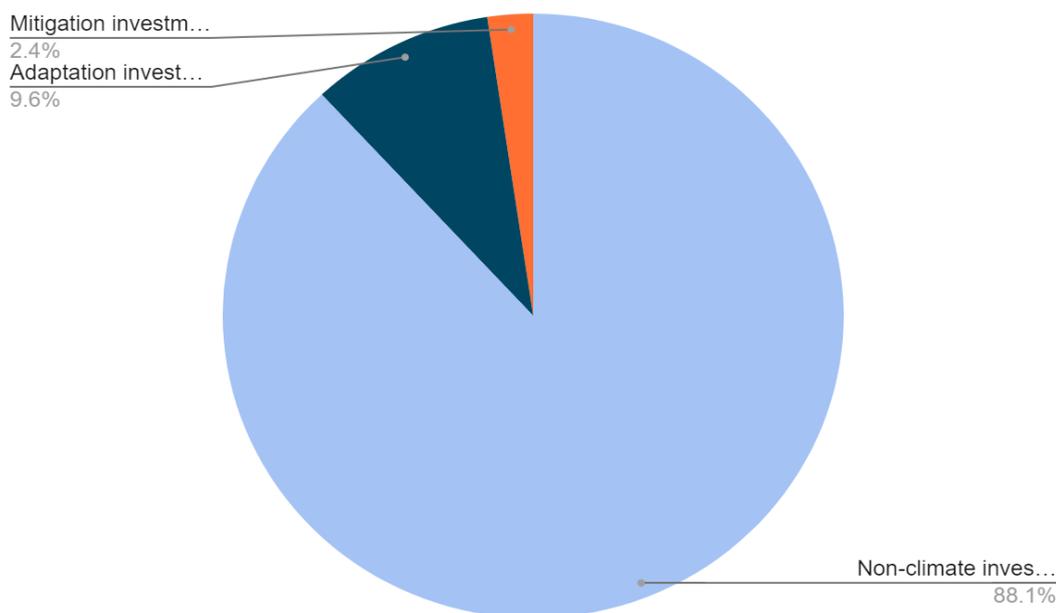
Government Support Fund-Assistance to Cities from the National Government. The private sector engages in project based investments.

The City Government of Makati encouraged the participation of stakeholders such as the private sector in order to strengthen the partnership and bond to achieve long term sustainability and welfare of the community. They are given a chance to share their views and opinions in the implementation of the Comprehensive Land Use Plan and the enforcement of the Zoning Ordinance and through membership in various local special bodies, like Disaster Risk Reduction and Management Council and Local Climate Change Committee.

Regarding international finance, Makati City is exploring various disaster risk (DRF) options and Environmental Social and Governance (ESG) financing options. The government recently expressed interest and submitted an application to be part of the development of a new, long term (10-15 years) insurance product led by the UN Capital Development Fund's.

As Figure 27 below shows, climate related investments are marginal when compared to non-climate related investments. However, adaptation projects received more attention in terms of investments than mitigation, contradicting the global trends.

Figure 27: Share of climate and non-climate related investment in Makati City



Stakeholder engagement

Makati City has developed diverse initiatives to encourage the engagement of the private sector in climate projects. As a result, the number of companies applying to the incentive strategies on land use and zoning has been increasing in the last 10 years. Business sector is also supporting the city's Solid Waste Management Code, which defines the ban on the use of plastic as packaging material, the ban on cigarette smoking, and the strict measures to control air pollution.

Regarding the initiatives to engage the community, the first one is the Bonus Incentives, an incentive strategy that can take the form of either additional increase in the allowable floor area ratio (FAR) or other incentives, for development applications with provision of facilities and amenities for public benefit and deemed desirable by the City. These can be in the form of:

network of green and open spaces, development employing land readjustment scheme; public art/heritage facilities; iconic spaces/landmarks, and green architecture and technology as certified by a reputable and recognized third party. At the moment, the initiative approved 7 projects.

Besides, the Innovative Technique is another strategy where developers can avail for projects that promote urban renewal and restoration work, or introduce flexibility and creativity in design or plan. This initiative counts today with 11 approved projects.

Private sector in adaptation

In terms of adaptation, Makati's local government makes sure to involve the private sector in programs and activities. The main private actors engaged in adaptation are:

Ayala Corporation is the first local conglomerate to commit to achieve Net Zero greenhouse gas emissions by 2050. It has aligned its business strategy with the Paris Agreement, setting science-aligned targets covering direct emissions from owned or controlled sources (scope 1), indirect emissions from generation of purchased electricity (scope 2), and other indirect emissions across the value chain (scope 3).

Inside this group, two companies deserve attention in terms of their activities related to adaptation. The first one is Ayala Land Inc (ALI) which is the largest real estate developer in the Philippines, started implementing measures to reduce its carbon footprint in 2008.

Its investments in renewable energy and energy efficiency, as well as natural regeneration efforts like tree planting, forest maintenance and reforestation have resulted in multiple environmental benefits. In 2020, Ayala Land reached 91 percent of carbon neutrality in its commercial properties.

Besides, more than 80 percent of total gross leasable area of ALI's commercial properties are using renewable energy and the company planted 25,000 trees in 24 hectares of carbon forests in 2020. In the same year, 28 metric tons of plastic waste were recycled.

ALI is also leading, since 2012, a Revitalization Master Plan for Makati, which the main objective is to make the city's streets green, walkable and bike-friendly. A new underpass called Paseo de Roxas- Villar was recently inaugurated to complement the city's pedestrian network, bringing Makati a step closer to its envisioned state as a "15-minute city", where everything can be accessed within a 15-minute trip by foot, bike or public transit.

In addition, bike lanes along Ayala Avenue and the new sharrows (shared bike lanes) in Salcedo and Legaspi Villages were launched to provide an alternative way to get around the city. Additional bike racks have been installed to support this initiative. The redevelopment of the Legazpi and Washington Sycip Parks has also been completed, providing much-needed breathing space. Finally, sidewalks in certain areas were enhanced sustainably using 160,000 pieces of eco-pavers made with shredded plastics from about 350,000 plastic bottles and cement.

The second company that has an outstanding adaptation performance is the energy platform of the Ayala Group, AC Energy Corporation (ACEN). It is also one of the largest solar farms in the country and the first local facility to have a storage hybrid. ACEN is currently installing 5 gigawatt of renewable energy, which should be completed by 2025.

Both companies have signed a long-term power supply agreement whose aim is to eliminate 102,540 metric tons of carbon dioxide emissions yearly, equivalent to 22,291 cars off the road annually.

Another key private actor in adaptation is Bank of the Philippine Islands (BPI). The first bank in the Philippines and Southeast Asia has stopped funding new coal-fired power generation projects to halve its coal loan exposure by 2036 and go down to zero by 2050.

Adaptation measures also reached the telecommunications sector. The Globe Telecom, a leading telecoms provider with the largest mobile network in the country (and Makati's PPP partner for the Makatizen Card), has shifted to buying energy directly from renewable energy producers for its offices and facilities. The Makatizen Card – which is a PPP project with Makati is another sample of PPP in adaptation, the use of the card reduces the carbon footprint of Makati residents.

Another adaptation example comes from the SM GROUP which is putting up solar facilities on the roof deck of its malls to generate renewable energy. The group is initiating collection programs in its malls all over the country to divert plastic waste from oceans and landfills.

Financing instruments

In terms of financing instruments, Makati City uses local funds and PPPs. The Makati Subway Project is a recent example of a successful PPP which aimed to generate social, economic and environmental benefits such as ease traffic congestion and air pollution reduction.

Several initiatives and programs require the support and participation of the local business community. The city's Solid Waste Management Code, the ban on the use of plastic as packaging material, the ban on cigarette smoking, and the strict measures to control air pollution are being undertaken with the support and cooperation of the business sector, as these cover activities mostly within the Central Business District.

Tracking adaptation finance

The tracking of adaptation finance flows is done under the concept of climate investment programming, which consists in a systematic identification of climate programs, projects and activities, and in matching these with financial resources. In this sense, the Climate Change Expenditure Tagging is the process of prioritizing and assigning codes to climate change programs, projects and activities.

Then, Makati's government tags its climate expenditure using a standardized climate change typology called Climate Change Expenditure Tagging Analysis Tool Framework and forwards it to the Climate Change Commission for revision. This way, adaptation finance is tracked, monitored and annually reported to the Commission. Programs are also being monitored through the Quarterly and Annual Monitoring Report and Budget Utilization.

Impacts of the Covid-19 pandemic

While the city continues to develop strategies to boost economic growth despite the pandemic, the government also tries to be mindful of the impact of unmanaged mobility, as well as business and commercial operations, on the environment. At City Hall, the old lighting fixtures and air-conditioning systems were replaced with ones that are more energy-efficient.

Challenges and barriers

Makati City faces different challenges in financing adaptation. First, the implementation of programs, projects and activities (PPAs) suffers from strict procedures and simultaneous compliance of permits.

In institutional terms, high investment costs, bureaucratic process and time constraints undermine the capacity to deliver quick and climate-smart projects. Besides, the local government still lacks manpower and technical expertise in addressing climate change related matters.

Regarding the access to climate finance, the local government also faces barriers in processing of requirements and drafting of proposals. Knowing what financing options are available and accessible for local governments is challenging. To overcome these barriers, the government counts on TAP support and expertise as a project preparation facility.

Lessons learned

Makati City can serve as an example for other local governments in the Global South due to its effective strategies in overcoming common barriers to access climate finance. First, Makati was able to create an enabling environment, which attracted the participation of stakeholders such as the private sector, guaranteeing support in the long term sustainability and welfare of the community.

Furthermore, the local government incorporated climate change and adaptation into its core administrative bodies and policies. This facilitated a more strategic planning on climate action, as well as anticipation of risks and obstacles that these policies might face.

A.5 Cost and financing estimation tool for practical analysis

Consortium partner Environment Agency Austria has developed an **EXCEL tool¹⁵ to support the practical analysis of the main factors influencing an assessment of the financing needs and the cost shares of a given city for adaptation to climate change for a specified time range**. Development of the tool is based on pre-existing expert knowledge and experience on the subject, integrating findings from WP7 as presented in this report. The tool **allows a gradual analysis of the financing shares of different financing actors for the most important fields of action**. The EXCEL tool is **annexed to this report (Annex 5)**.

The developed tool and methodological application procedure allow to explore a possible simple estimation approach and to investigate the information and data needed for estimating adaptation costs and their allocation. Additionally, it supports investigation of questions on the uncertainty of cost-related data and estimations and fosters their discussion.

The **basis and starting point** of an estimation are:

- ▶ Aufzählung a short description of the city including its structure, dynamics and situation;
- ▶ a definition of the scope of adaptation costs (e.g. with/without cost of reconstruction after disasters, planning costs, investment costs, operational costs, indirect costs, time frame of costs);
- ▶ the time range to be considered;
- ▶ a specification of key indicators and related structural data of the city;
- ▶ a description of the way the key indicators are applied to the key areas.

The general **procedure** of the estimation of costs and financing is a **structured expert judgment** on the financing demand and financial structure of urban adaptation **by a qualified assessment group**.

The assessment process should be adequate to the city size. The set-up of the assessment group could be composed as follows: 1/3 from city administration, 1/3 from region/country, 1/3 from macro-regional/international level. The total number of experts of the assessment group can depend on the size of the city. For example, the total number could be three participants in cities below 0.5 mio. inhabitants, nine members in cities with more than 5 mio. inhabitants, and six members in cities between 0.5 and 5 mio. inhabitants.

The members of the assessment group should be qualified and familiar with current and future adaptation demand, governance and costs of adaptation, financing structure as well as city planning in general, either for the investigated city itself or for cities in the given region, country or macro-region. A macro-region comprises similar countries – for example neighboring countries with a similar situation and governance system.

Overall process planning is needed for testing and improving the assessment tool, for establishing a pool of experts, for preparing the process including a Quality Management System as well as for coordinating accompanying studies. It is also recommended to set up a database to support the learning cycle as well as a training and exchange platform.

¹⁵ The EXCEL tool is annexed to this report (see Annex 5)

The estimation tool is structured into the following seven **impact areas or action fields**, in order to balance completeness in terms of coverage, on the one hand, and for reasons of simplicity, on the other hand:

- Flooding
- Urban climate (e.g. urban heat islands)
- Urban drainage and de-sealing
- Resilience of built infrastructure
- Water supply during drought
- Agriculture & forestry (including forest fire prevention and management)
- Cross-cutting and others

Especially the last field offers flexibility and allows including well-known specific actions with existing cost information, whereas the assessment of other fields is indicator-based. If this last category is used, it has to be taken into account in the related other areas by reducing their costs adequately.

The estimation delivers the financing need for adaptation for the following **four donor groups**:

- City/municipality
- Other (local) stakeholders
- National and international financing institutions and programs
- Sources without explicit labelling of 'Climate Adaptation'

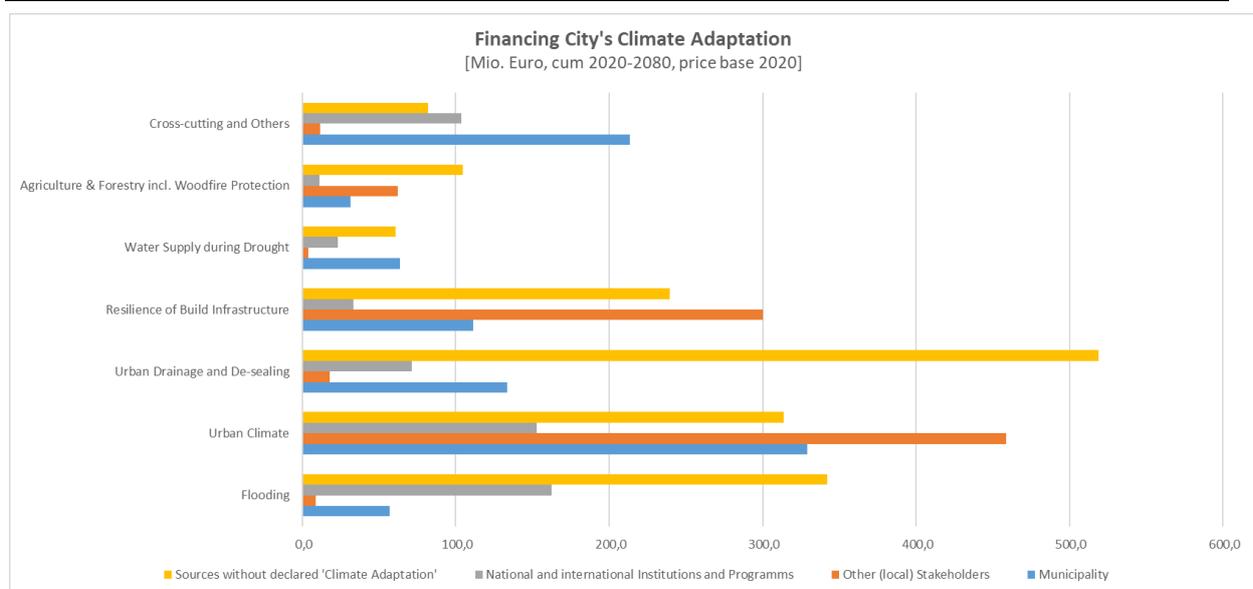
The **main elements** of the simplified process of cost estimation for each field of impact or action are:

- i. *Key indicator* of total implementation costs for six of the seven impact areas (specific for the city or region) and referring to local urban structural data. Within the “cross-cutting/other” category, the known costs shall either be entered directly or estimated based on an expected cost development per inhabitant over the time range.
- ii. *Rough classification of specific local effort level* to adapt fully within the time range starting from state of existing implementation.
- iii. Estimation of *allocation of costs* for 'climate adaptation' to municipality and to private stakeholders. Needed national and international resources in total and cost covered by sources without explicit labelling of 'Climate Adaptation' are considered, as well.

The following Figure 28 shows a fictitious example of how the estimation results could be presented in a diagram. Along the vertical axis are the seven impact areas or action fields. The colored four bars for each field show the estimated share of resources needed from each of the four donor groups within the defined time range. The picture is generated with 'dummy' data ranges, having a city in Germany in mind, but not a specific one. Because of high uncertainties, the dummy data ranges for input data are chosen relatively wide. This data ranges could be used for a simple uncertainty assessment of the results. Although we assume that the 'assessment' results shown in the figure may be reasonably plausible for a 'typical' German city, they are

mainly illustrative and serve the purpose of demonstrating possible visualization. The diagram has been generated with average values of the results to simplify the picture.

Figure 28: Cost and financing structure for adaptation of a city (example), by impact areas and donor groups



Source: Umweltbundesamt (Vienna), Alexander Storch

The tool has been pre-tested internally by the project team of consortium partner Environment Agency Austria, based on expert knowledge and with typical, but fictitious German-type cities in mind. It thus represents a first prototype, pilot or test version that has yet to undergo field-testing in practice. Practical testing for a real city with a real-world assessment group has not been possible within the frame of the given project, but it is recommended for potential follow-up studies.

Conclusions from the development and pre-test of the Excel-Tool are:

- It is not possible to perform a good estimation of the financial share of adaptation costs for a city and other donor groups without a cost estimation of the absolute costs based on the city-specific demand.
- Only a detailed structure of cost areas can take into account the very different governance of financing for different types of adaptation actions.
- The time horizon for the estimation should preferably be long-term, especially because of the life cycle period of infrastructure.
- Estimations have to be taken carefully and should take into account the following:
 - Expected development of city (inhabitants, structure, economy) and of risks within the time range
 - Governance of strategic and financial decision-making on adaptation
 - Uncertainty of municipal decisions, budgets and possible solutions to tackle climate change risks
 - Current state of implemented measures and investments

- Synergies with other (daily) municipal tasks, policies, and objectives, e.g. climate mitigation, security, recreation, environmental and nature protection, innovation, welfare, participation, fundamental rights
- When planning the assessment process, it is essential to secure a fair balance between local information about the city and region on the one hand and their financial interests within the assessment on the other hand.
- The effort for the assessment process should be adequate to the volume of needed funding and further support needs of the city, considering also the time horizon of the assessment.
- The general organizational framework for estimating the financing needs and structure of cities (or regions, or a country) should incorporate continuous learning cycles. However, for about the first 10 cities in a region or country that cover a broad spectrum of size and situations, preparatory work is definitely necessary before starting the actual assessment. At a later stage, the information and data from the pre-project phase can be used and capitalised on for additional cities. Thus, the assessment process, the tool and the regional database are expected to be 'self-learning'.
- For a fair and reliable assessment, estimations should be performed independently by members in two or more assessment rounds. Differences of assessments should be used as an additional insight into uncertainty.
- The process planning should include quality assurance as well as free comments and recommendations by the assessment group. There is a high chance that information used for, and generated by, the assessment can be used for other policies and strategies in synergy.

A.6 References

- Abdul-Manan, A.F., Gordillo Zavaleta, V., Agarwal, A.K., Kalghatgi, G. and Amer, A.A., 2022. Electrifying passenger road transport in India requires near-term electricity grid decarbonisation. *Nature Communications*, 13(1), p.2095.
- Abergel, T., Dulac, J., Hamilton, I., Jordan, M. and Pradeep, A., 2019. Global status report for buildings and construction—towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector. *Environment Programme, United Nations Environment Programme*.
- Asian Development Bank. Urban Metabolism of Six Asian Cities. Mandaluyong City, Philippines: Asian Development Bank, 2014. 978-92-9254-660-1 (e-ISBN)
- Allam, Z., Bibri, S. E., Chabaud, D., & Moreno, C. (2022). The ‘15-Minute City’ concept can shape a net-zero urban future. *Humanities and Social Sciences Communications*, 9(1), 1-5.
- ARL - Akademie für Raumentwicklung in der Leibniz-Gemeinschaft (2021): Im Zeichen der Pandemie – Raumentwicklung zwischen Unsicherheit und Resilienz (08.08.2023)
- Bai, X., Dawson, R. J., Ürge-Vorsatz, D., Delgado, G. C., Salisu Barau, A., Dhakal, S., ... & Schultz, S. (2018). Six research priorities for cities and climate change. *Nature*, 555(7694), 23-25.
- Batty, M., & Longley, P. A. (1994). *Fractal cities: a geometry of form and function*. Academic press.
- Bongardt, D. (2010): Mitigation potentials and technology needs of developing countries, Bridging the Gap presentation
- Burdett, R., Rode, P., Griffiths, P., Havener, R. and Gomes, A., 2018. Developing urban futures. *Developing Urban Futures*, pp.1-33.
- CDP-ICLEI Track. <https://www.cdp.net/en/cities> (08.08.2023)
- Chen, G., Shan, Y., Hu, Y., Tong, K., Wiedmann, T., Ramaswami, A., ... & Wang, Y. (2019). Review on city-level carbon accounting. *Environmental science & technology*, 53(10), 5545-5558.
- Churkina, G., Organschi, A., Reyer, C.P., Ruff, A., Vinke, K., Liu, Z., Reck, B.K., Graedel, T.E. and Schellnhuber, H.J., 2020. Buildings as a global carbon sink. *Nature Sustainability*, 3(4), pp.269-276.
- Creutzig, F., Mühlhoff, R. and Römer, J., 2012. Decarbonizing urban transport in European cities: four cases show possibly high co-benefits. *Environmental research letters*, 7(4), p.044042.
- Creutzig, F., Jochem, P., Edelenbosch, O. Y., Mattauch, L., Vuuren, D. P. V., McCollum, D., & Minx, J. (2015). Transport: A roadblock to climate change mitigation?. *Science*, 350(6263), 911-912.
- Destatis (2015): Zahlen & Fakten. Begriff Wohngebäude, <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Wohnen/Glossar/wohngebäude-mz.html> [Zugriff 06/2022]

Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK) et al.: EU Calculator
<https://www.european-calculator.eu/> (08.08.2023)

Finel, N., & Tapio, P. (2012). Decoupling transport CO₂ from GDP. *Finland Futures Research Centre, University of Turku*.

Geels, F. W. (2012). A socio-technical analysis of low-carbon transitions: introducing the multi-level perspective into transport studies. *Journal of transport geography*, 24, 471-482.

Geerlings, H., & Stead, D. (2003). The integration of land use planning, transport and environment in European policy and research. *Transport policy*, 10(3), 187-196.

Glaeser, E. L., & Kahn, M. E. (2010). The greenness of cities: Carbon dioxide emissions and urban development. *Journal of urban economics*, 67(3), 404-418.

Grimm, N.B., Faeth, S.H., Golubiewski, N.E., Redman, C.L., Wu, J., Bai, X. and Briggs, J.M., 2008. Global change and the ecology of cities. *science*, 319(5864), pp.756-760.

Gruhler, K. and Böhm, R., 2011. Auswirkungen des demografischen Wandels auf das Stofflager und die Stoffflüsse des Wohngebäudebestandes-Deutschland 2050. Fraunhofer-IRB-Verlag.

Gruhler, K.; Böhm, R.; Deilmann, C.; Schiller, G. (2002): Stofflich-energetische Gebäudesteckbriefe - Gebäudevergleiche und Hochrechnungen für Bebauungsstrukturen. Dresden: IÖR, 2002, S.307 (IÖR-Schriften; 38)

Gudipudi, R., Fluschnik, T., Ros, A.G.C., Walther, C. and Kropp, J.P., 2016. City density and CO₂ efficiency. *Energy Policy*, 91, pp.352-361.

Gudipudi, R., Lüdeke, M.K., Rybski, D. and Kropp, J.P., 2018. Benchmarking urban eco-efficiency and urbanites' perception. *Cities*, 74, pp.109-118.

Giuliano, G. and Small, K.A., 1993. Is the journey to work explained by urban structure?. *Urban studies*, 30(9), pp.1485-1500.

Guo, H., Liu, Y., Meng, Y., Huang, H., Sun, C. and Shao, Y., 2017. A comparison of the energy saving and carbon reduction performance between reinforced concrete and cross-laminated timber structures in residential buildings in the severe cold region of China. *Sustainability*, 9(8), p.1426.

Haaland, C., & van Den Bosch, C. K. (2015). Challenges and strategies for urban green-space planning in cities undergoing densification: A review. *Urban forestry & urban greening*, 14(4), 760-771.

Haas, W., Krausmann, F., Wiedenhofer, D., Heinz, M., 2015. How Circular is the Global Economy?: An Assessment of Material Flows, Waste Production, and Recycling in the European Union and the World in 2005: How Circular is the Global Economy? *J. Ind. Ecol.* 19, 765–777.
<https://doi.org/10.1111/jiec.12244>.

He, W., Goodkind, D. and Kowal, P.R., 2016. An aging world: 2015.

- Hidayati, I., Yamu, C. and Tan, W., 2019. The emergence of mobility inequality in greater Jakarta, Indonesia: A socio-spatial analysis of path dependencies in transport–land use policies. *Sustainability*, 11(18), p.5115.
- Himes, A., & Busby, G. (2020). Wood buildings as a climate solution. *Developments in the Built Environment*, 4, 100030.
- Hofmeister, Sabine; Warner, Barbara; Ott, Zora (Hrsg.) (2021): Nachhaltige Raumentwicklung für die große Transformation – Herausforderungen, Barrieren und Perspektiven für Raumwissenschaften und Raumplanung. Hannover. Forschungsberichte der ARL 15.
- Hu, Y., Tong, K., Fang, A., Boyer, D., Cui, S., Shi, L., Kalmykova, Y. and Ramaswami, A., 2016. Greenhouse gas emissions from key infrastructure sectors in larger and smaller Chinese cities: method development and benchmarking. *Carbon Management*, 7(1-2), pp.27-39.
- Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung: Informationssystem Gebaute Umwelt <http://www.ioer.de/projekte/informationssystem-gebaute-umwelt> (08.08.2023)
- Jaeger, A., et al. 2021. Policy Recommendations on Attractive, Acceptable and Affordable Deep Renovations. H2020 Project TripleA-reno. Freiburg im Breisgau, Germany.
- Jokusch, M., Will, M., Lässig, J., & Michler, R. (2015). Treibhausgasbilanz 2015-Stadt Zittau. Quitzdorf am See: INM Institut für Nachhaltigkeitsanalytik und -management.
- Kalra, R. and Bonner, R., 2012. Addressing climate change with low-cost green housing. *Washington, DC: World Bank*.
- Kang, C., G. Hua, (2007): Brownfield Redevelopment Toward Sustainable Urban Land Use in China, *Chinese Geographical Science*, 17(2), 127-134.
- Kenkmann, T.; Sieck, L. (2022). Klimaschutzmanagement und Treibhausgasneutralität in Kommunen. Ökoinstitut. Herausgeber: Umweltbundesamt.
- Kim, K. B. (2005). Towards sustainable neighborhood design: A sustainability evaluation framework and a case study of the Greenwich Millennium Village Project. *Journal of Architectural and Planning Research*, 181-203.
- Krausmann, F., Wiedenhofer, D., Lauk, C., Haas, W., Tanikawa, H., Fishman, T., Miatto, A., Schandl, H., Haberl, H., 2017. Global socioeconomic material stocks rise 23-fold over the 20th century and require half of annual resource use. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 114, 1880–1885. <https://doi.org/10.1073/pnas.1613773114>.
- Lackner C., Freudenschuß A., Schadauer K. [Red.] (2015): Treibhausgasbilanz der österreichischen Holzkette. BFW Praxisinformation 38/2015
- Lefèvre, B. (2009). Long-term energy consumptions of urban transportation: A prospective simulation of “transport–land uses” policies in Bangalore. *Energy Policy*, 37(3), 940-953.
- Li Y, Schubert S, Rybski D, Kropp JP (2020): On the influence of density and morphology on the Urban Heat Island intensity. *Nature Communications*, 11: 2647.

- Li Y, Rybski D, Kropp JP (2021): Singularity Cities. *Env. Plan. B*, 48(1):43-59
- B.S. Reddy, Metabolism of Mumbai-expectations impasse and the need for a new beginning, <http://www.igidr.ac.in/pdf/publication/WP-2013-002.pdf>, 2013.
- Mirabella, N., & Allacker, K. (2021). Urban GHG accounting: discrepancies, constraints and opportunities. *Buildings and Cities*, 2(1).
- Mishra, A., Humpenöder, F., Churkina, G., Reyer, C. P., Beier, F., Bodirsky, B. L., ... & Popp, A. (2022). Land use change and carbon emissions of a transformation to timber cities. *Nature communications*, 13(1), 4889.
- J.K.P. Ong, N.R.D. Arcilla, A.W.C. Oreta, Life cycle analysis of structural systems of residential housing units in the Philippines, 2017.
- ÖROK (2021): Österreichisches Raumentwicklungskonzept 2030 (ÖREK 2030).
- Parasram,V. (2003). Transportation: Efficient Transportation for Successful Urban Planning in Curitiba, Horizon Solutions Site.
- Penn-Bressel, G., 2005. „Urban, kompakt, durchgrünt“ –Strategien für eine nachhaltige Stadtentwicklung. *Umweltbundesamt (Pdf-Dokument, Stand 01.11. 2005)*. Zugriff, 8(2011), pp.21-32.
- Rabinovitch, J., & Leitman, J. (1996). Urban planning in Curitiba. *Scientific American*, 274(3), 46-53.
- Ramaswami, A., Bernard, M., Chavez, A., Hillman, T., Whitaker, M., Thomas, G. and Marshall, M., 2012. Quantifying carbon mitigation wedges in US cities: near-term strategy analysis and critical review. *Environmental science & technology*, 46(7), pp.3629-3642.
- Ramaswami, A., Hillman, T., Janson, B., Reiner, M. and Thomas, G., 2008. A demand-centered, hybrid life-cycle methodology for city-scale greenhouse gas inventories.
- Reitemeyer, F., Fritz, D., Jacobi, N., Díaz-Bone, L., Viteri, C.M. and Kropp, J.P., 2023. Quantification of urban mitigation potentials-coping with data heterogeneity. *Heliyon*.
- Ribeiro, H.V., Rybski, D. and Kropp, J.P., 2019. Effects of changing population or density on urban carbon dioxide emissions. *Nature communications*, 10(1), p.3204.
- Sims, R., Schaeffer, R., Creutzig, F., Cruz-Nunez, X., D’Agosto, M., Dimitriu, D., ... & Tiwari, G. (2014). Transport climate change 2014: Mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change ed O
- Solutions Plus. (2021). Factsheet Pasig Demonstration City. Accessed at http://www.solutionsplus.eu/uploads/4/8/9/5/48950199/factsheet_pasig_2.pdf
- Sperling, D. and Gordon, D., 2009. Two billion cars: driving toward sustainability. Oxford University Press.

Spickermann, A., Grienitz, V. and Von der Gracht, H.A., 2014. Heading towards a multimodal city of the future?: Multi-stakeholder scenarios for urban mobility. *Technological Forecasting and Social Change*, 89, pp.201-221.

Swilling, M., Hajer, M., Baynes, T., Bergesen, J., Labbé, F., Musango, J.K., Ramaswami, A., Robinson, B., Salat, S., Suh, S., Currie, P., Fang, A., Hanson, A. Kruit, K., Reiner, M., Smit, S., Tabory, S. (2018): *The Weight of Cities: Resource Requirements of Future Urbanization. A Report by the International Resource Panel. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya*

Sistra et al. (2018) *World Circular Economy Forum 2018 Report*
<https://www.sitra.fi/app/uploads/2018/11/sitramoejwcef2018report.pdf> (08.08.2023)

Tiwari, P., & Gulati, M. (2013). An analysis of trends in passenger and freight transport energy consumption in India. *Research in Transportation Economics*, 38(1), 84-90.

UN-Habitat. (2019). *Urban-Rural Linkages: Guiding Principles. Framework for Action to Advance Integrated Territorial Development.*
<https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/03/url-gp-1.pdf>

Habitat, U.N., 2020. *World Cities Report 2020: The value of sustainable urbanization. United Nations Human Settlements Programme.*

WWB der Bundesregierung, 2016. *Umweltveränderungen: Der Umzug der Menschheit–Die transformative Kraft der Städte. Zusammenfassung. Berlin.*

Westerink, J., Haase, D., Bauer, A., Ravetz, J., Jarrige, F., & Aalbers, C. B. (2013). Dealing with sustainability trade-offs of the compact city in peri-urban planning across European city regions. *European Planning Studies*, 21(4), 473-497.

B Anhang: Methode zur qualitativen Beschreibung von Stadt-Umland Beziehungen

B.1 Anwendungsleitfaden

Climate-oriented Urban Development: Greenhouse Gas Reduction Potential in Synergetic Fields of Action Urban-Rural Integration Analytical Framework

Guidance Note

This Urban-Rural Integration Analytical Framework was developed as part of the "Climate-oriented Urban Development - Greenhouse Gas Reduction Potential in Synergetic Fields of Action" project funded by the German Environment Agency (Umweltbundesamt). The project focuses on identifying the greenhouse gas reduction potential that exists in climate-oriented urban development and how these could be quantified and exploited in combination with climate adaptation strategies. The areas of focus are (1) densification, (b) sustainable construction, and (c) transportation. The project partners are ICLEI -Local Governments for Sustainability; Potsdam Institute for Climate Impact Research, Austrian Federal Environment Agency.

The quantification approach has already been implemented at an earlier stage in the project. The results for each of the case cities are available in the forthcoming scientific article *Quantification of urban mitigation potentials - coping with data heterogeneity*, a draft of which is made available as part of the background materials.

The purpose of the Urban-Rural Integration Analytical Framework is to add a qualitative lens to the quantification efforts relating to densification, construction, and transportation. The framework draws on the ten Urban-Rural Linkages Guiding Principles and Framework for Action developed by UNHabitat¹⁶. The framework is being applied through case studies to assess the interfaces and their impacts, provide an assessment, and inform future climate action.

As suggested by the donor, two flows/interfaces have been identified to allow a more focused examination of the rural-urban linkages within the project's parameters:

Table 38: Overview of action fields and linked topics to investigate

Field of action	Linkages under investigation
Densification	Green Infrastructure & Energy
Sustainable Construction	Sustainable Materials & Circular Waste Management System
Transportation	Transport Infrastructure & Transport Governance

¹⁶ UN-Habitat, 2019, Urban-Rural Linkages: Guiding Principles Framework for Action to Advance Integrated Territorial Development

Table 39: Key definitions in the context of the project

Urban-Rural Linkage	The reciprocal and repetitive flow of people, goods and financial and environmental services between specific rural, peri-urban and urban locations. (UN-Habitat, 2019).
Densification	Design and construction interventions that lead to an increase in residents per area unit.
Sustainable Construction	The use of regenerative materials with a lower carbon footprint in substitution of concrete in the existing building stock.
Transport	Modal split of different means to move people within the city

Steps for Applying the Framework

Step 1:

Add the required basic information on the case study to complete the initial profile.

Step 2:

Answer the initial qualitative questions relating to the governance structure and urban-rural context of the case study

Step 3:

For each of the areas of action, provide a summary of the quantitative findings

Step 4:

- ▶ Familiarize yourself with the adapted Urban-Rural Integration framework, with a special focus on the assessment criteria, indicators, and areas of focus.
- ▶ Through desktop research (and other methods within the parameters of the project), collect initial evidence and information related to local urban-rural governance and policies and reports relating to the three key interfaces.
- ▶ Categorize each indicator as “Well Addressed,” “Less Addressed” or “Information Unavailable” according to the collected information.
 - Well addressed: I found information and evidence for the main indicator and most listed sub-indicator bullet points.
 - Less addressed: I found information for some (less than half) of the main indicator and listed sub-indicator bullet points.
 - Information unavailable: I could not find information for any of the main indicator and sub-indicator bullet points.
 - Work systematically through the framework providing a qualitative performance assessment (summary of your findings) for each indicator. For each indicator, provide supporting evidence.

Step 5:

Following the completion of the framework, provide a summary of the qualitative findings and the overall performance in relation to urban-rural integration.

Step 6:

Based on the outcomes of the assessment and the summary (including quantitative findings), establish a list of suggested actions to address the gaps identified in the urban-rural integration assessment for the case study

B.2 Analytischer Rahmenansatz

Abbildung 10: Ausschnitt des entwickelten Analyserasters

Die Excel-Datei wurde dem Auftraggeber vollständig bereitgestellt

		Transport		
		Focus Area 1: Transport infrastructure		
Sl. No.	Indicators	Well-Addressed, Less Addressed, Information Unavailable	Qualitative Performance Assessment	Supporting Evidence
	Creating an enabling environment for strengthened urban-rural linkages			
A1	<i>Governance, legislation and capacity development (vertical integration)</i>			
	- Multi-level governance across the scales of government (e.g. strategy for policy cohesion from national to local level) - There is a coherence and harmonisation across relevant urban and rural policies (e.g. rural dimensions in urban policies and urban dimensions in rural policies)			
A2	<i>Integrated planning across the urban-rural continuum (horizontal integration)</i>			
	- Integrated plans to improve urban-rural integration with the objective of leveraging mitigation potentials (e.g. to develop people and place-based development plans, including the integration of environmental protection, climate resilience, land use, infrastructure and transport) are developed and implemented using appropriate instruments			

Quelle: Eigene Darstellung, ICLEI Weltsekretariat

C Anhang: Urban-Rural Relations – Case Studies

C.1 Case study: City of Pasig, Philippines

C.1.1 City profile

Name: Pasig City

Population: 803,159 in 2020 [1]

Location: Metro Manila, Philippines - located on the eastern border of Metro Manila.

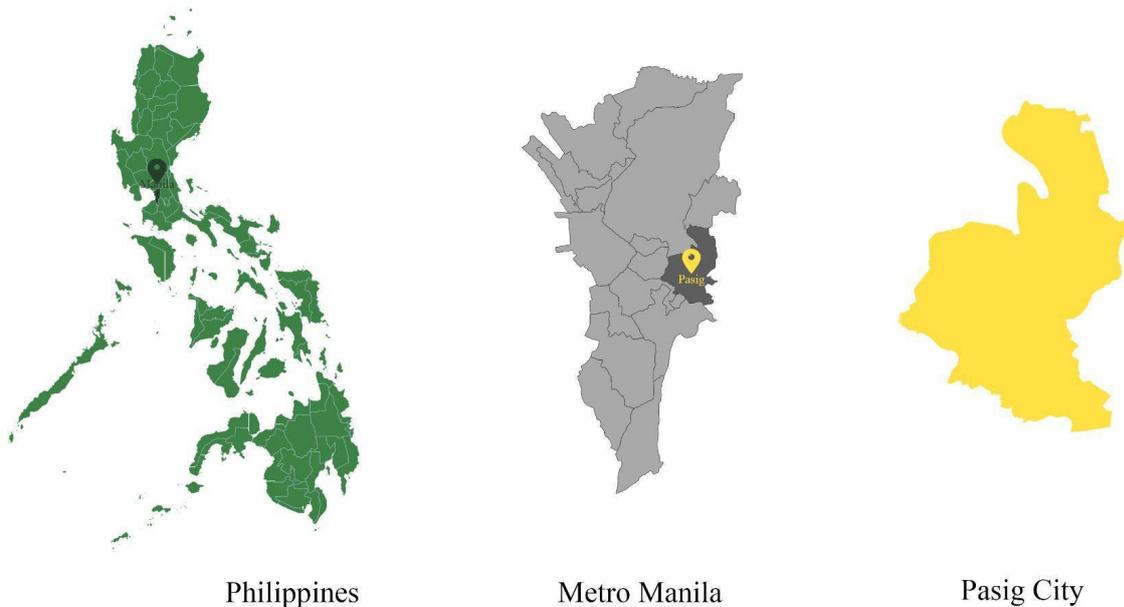
City Structure and Zoning: Pasig is a highly urbanized city, with mainly residential and commercial areas. Its industrial sector is in the southwest, and the business sector is in western Pasig. There are four rivers and a floodway that run through the city. Though rich in blue spaces, the zoning map shows a lack of green spaces, especially parks (image 2)[28].

Climate: Pasig City has a tropical monsoon climate with high temperatures and a large amount of rainfall throughout the year. The city is also prone to flooding, as it's located in a floodplain area. Therefore, it is especially vulnerable to the impacts of climate change [2].

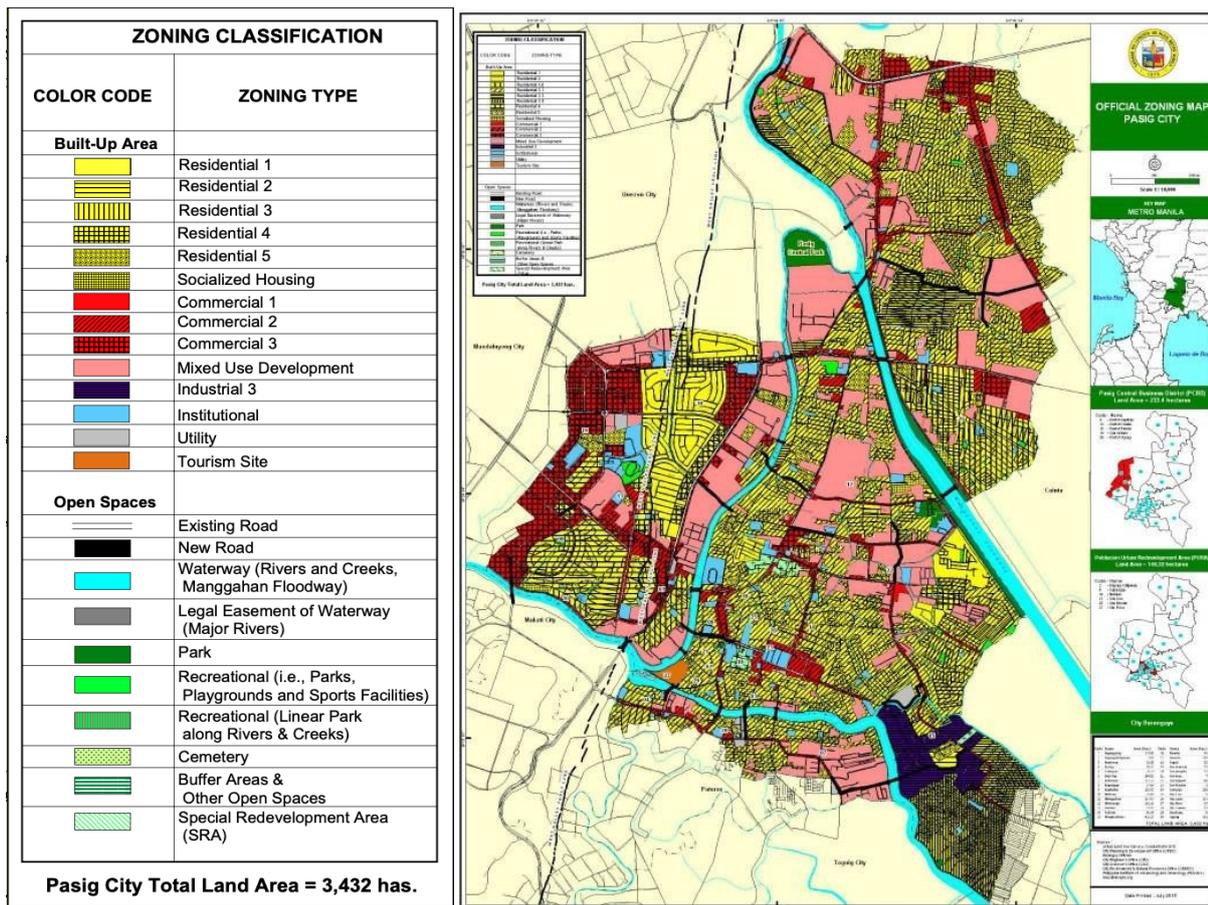
Published Mitigation Targets: 20% GHG emissions reduction by 2030 (compared to 2017)

Relevant information about the city's typology and hinterland:

Figure 11: The location of Manila in the Philippines (left), the location of Pasig city in Manila (center), and Pasig City in full (right).



Source: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pasig_in_Metro_Manila.svg, edited by ICLEI World Secretariat

Figure 12: 2015 Zoning map of the City of Pasig

Source: CiBiX, “Ambitious City Promises, Ideator Insights Report: Pasig City,” 2018. https://acp.iclei.org/wp-content/uploads/2019/11/CiBiX_ACP-Report-Pasig.pdf (accessed Jun. 21, 2023).

C.1.2 Multi-level and horizontal governance structures

Briefly describe the governance structure of the country in which the city is located. What competencies relevant to urban planning are held at what level of government?

The Philippine government follows a decentralized model, with powers and responsibilities devolved to Local Government Units (LGUs) as part of the devolution process. The LGUs are politically autonomous and mandated to deliver devolved services and manage local development plans. There are four levels of subnational government in the Philippines: provinces, cities, municipalities, and barangays or villages, all empowered under the Local Government Code [3]. As of March 2022, the Philippines has 1,488 municipalities and 146 cities (of which 33 are highly urbanized cities), and 81 provinces [4].

Under the Local Government Code of 1991, LGUs deliver basic services and functions in agriculture, environment, health, social services, and public works maintenance. They are also tasked with preparing medium-term Comprehensive Development Plans (CDPs) for sectoral planning and long-term Comprehensive Land Use Plans (CLUPs) for spatial planning. Local governments play a crucial role in achieving national targets, including climate change targets. They are also mandated to formulate a Local Climate Change Action Plan (LCCAP) that builds on

the National Climate Change Action Plan (NCCAP), which should be integrated into the CDP and CLUP [5].

The City Environment and Natural Resource Office (CENRO) is responsible for implementing and streamlining environment-related activities with stakeholder engagement [6]. The Local Development Investment Plan (LDIP) is the primary instrument for implementing City's Comprehensive Development Plan (CDP) into programs and projects eligible for LGU funding. LGUs must tag their climate change expenditure to ensure that their climate initiatives receive proper support and are used for their intended purpose [7].

What horizontal cooperation mechanisms between the city and surrounding entities at a comparable level (e. g. other local governments or comparable units) exist?

Local Government Units (LGUs) in the Philippines have autonomy over the governance of their jurisdictions. However, inter-LGU collaboration is necessary to address common issues such as traffic management and high levels of GHGs emissions. LGUs have the option to form alliances to address these concerns. Forming an alliance requires three essential components: legal, institutional, and financial. Legal instruments formalize the collaboration, institutional guidelines form its backbone, and financial resources enable the implementation of programs, projects, or activities [3].

Pasig City is one of 16 urbanized cities that comprise the Metropolitan Manila or National Capital Region (NCR) under the Metropolitan Manila Development Authority (MMDA). NCR is the largest conurbation or urban agglomeration in the Philippines, with the City of Manila serving as its regional capital. Pasig City is located at the eastern border of Metro Manila and is surrounded by eight other cities and municipalities [8]. It serves as a strategic access point to the metro. The city is bounded on the west by the cities of Quezon and Mandaluyong, to the north by the city of Marikina, to the south by the cities of Makati, Taguig, and the municipality of Pateros, and to the east by the municipalities of Cainta and Taytay, which are part of the province of Rizal.

C.1.3 Densification (Interfaces: Green Infrastructures & Energy)

C.1.3.1 Results from the quantitative approach

To assess the impact of land use change and densification on emissions, an urban scaling approach was used. This approach utilizes an equation to calculate the impact of different populations or areas on emissions. Two different scenarios were then analyzed in which the area and population were changed. The first scenario (S1) represents urban sprawl due to the increase in population or area, and the second scenario (S2) examines the impact of population growth without urban expansion.

The findings revealed that in both scenarios, emissions increase across all cities, although at a slightly slower rate in S2. It also revealed that if the population increases (S1), GHG emissions increase as well. With S2, on the other hand, the population grows, but the land area stays the same, leading to higher urban density and lower emissions compared to S1. The results for densification in already densely populated cities also show a low impact of land area on GHG emissions. This means that cities in the Global South are characterized by high urban density and the associated more efficient use of land. The already high urban density then leads to lower GHG emissions per capita. The environmental benefits of densification are why the compact city approach is a popular model for sustainable development, though it also poses challenges [29].

Regarding Pasig City, it had the highest savings in S2 compared to the other 5 case studies, it has the largest growth rates. However, it is important to consider the tradeoffs of high urban

density, such as the urban heat island effect, and to provide integrated design solutions and/or nature-based solutions to address them.

C.1.3.2 - Qualitative findings from the application of the rural-urban integration framework

The densification trend in the Philippines could be a potential driver of economic growth and increased productivity. In Metro Manila, a clear densification process has been underway since the 1990s, accompanied by a structural change in the urban economy. Industries are moving out of the central urban areas to the peripheral and secondary cities, with services replacing them. This change may lead to a more efficient urban system [9]. Pasig City's population has also steadily increased since 1980, due to favorable socioeconomic conditions and a high birth/fertility rate, which led to an increase in population density. Since 2010, the city's population density has been higher than the NCR average population density [10].

However, as reported by the World Bank in the Philippines Urbanization Review, the rapidly growing urban population and density were not accompanied by adequate investment in urban infrastructure, which was exacerbated by weak and fragmented institutions and governance for urban and metropolitan management. This has led to imbalances related to land scarcity and lack of basic services. Increased risk of natural disasters, pollution, and rising commuting costs, are most evident in Metro Manila.

The Philippines is taking steps towards utilizing green infrastructure and sustainable energy through several national programs and initiatives. The National Renewable Energy Roadmap 2020-2040 [11] outlines a goal to increase renewable energy installed capacity to at least 20GW by 2040, focusing on accelerating RE positioning, creating a conducive business environment, promoting research and development, and providing technical capacity building. The Plan also includes policy goals aimed at ensuring energy security, expanding energy access, promoting low-carbon energy, and strengthening collaboration among government agencies involved in energy.

However, there are challenges to achieving these goals, such as ensuring energy security, reliability, and affordability, passing energy-related bills, and harmonizing laws and policies. Social acceptance of energy resources and technologies is also an issue, as is the development of energy resources hindered by transnational and geographical boundaries. The Department of Energy addresses these challenges and promotes sustainable energy development [14].

In addition to promoting renewable energy, the Philippines is also prioritizing the creation of green spaces at the city and barangay levels. The Philippine Biodiversity Strategy and Action Plan 2015-2028 [12] advocates for increasing green spaces to enhance environmental quality, reduce urban heat, promote biodiversity, and improve health and overall well-being. Also, by initiating the "adopt-a-city" approach, the business sector is encouraged to support creating green spaces, with good practices replicated in more LGUs. It also outlines technical assistance and financial resources, which will be provided to LGUs to establish green spaces. Design standards for green space development will be included in environmental codes, although they might be difficult to enforce. Urban farming and community-based gardening will also be intensified to expand green urban spaces and contribute to ensuring food security [13].

Densification of cities poses a challenge to green urban spaces, often limiting space for parks and gardens. After conducting a thorough review of urban planning projects, Halland and Bosch found that densification is "a major challenge" to urban green space planning [29]. There are, however, solutions, such as preserving green spaces, constructing higher quality albeit smaller green spaces to alleviate the loss of larger ones, and allocating greenery in a way that increases

visibility [29]. Dense urban areas are more prone to food insecurity, increasing the need for community gardens and farms, so it is paramount that urban planners find a balance between densification and green spaces [30].

At the local level, the focus has been primarily on energy efficiency and conservation (EE&C), given the limited role of LGUs in implementing renewable energy systems and forecasting supply and demand [15]. GGGI's report, the Philippines Country Planning Framework 2021-2025 [16], states that despite its potential to be a viable and affordable alternative, solar energy “remains untapped by LGUs due to a weak enabling policy environment and lack of capacity to structure bankable projects”.

Pasig City's energy sector contributes 86% of its total GHG emissions, with most efforts to improve energy efficiency lacking government infrastructure. The city aims to reduce GHG emissions by 20% below 2017 values by 2030, covering residential, commercial, industrial, and institutional sub-sectors. The city accommodates energy-intensive businesses such as shopping malls, hotels, warehouses, and multi-use commercial complexes, which account for a significant portion of the city's electricity consumption. Stationary fuel consumption is also significant across all sectors. The city has taken steps since 2016 to reduce energy sector emissions, including energy-efficient lighting and solar panels on rooftops [5]. In 2017, Pasig City joined the Building Efficiency Accelerator program to take energy efficiency measures in buildings to improve air quality and reduce emissions [17].

The Green Building Program and Development Code, waste-to-energy projects, and solarization of schools and public buildings are successful measures the city of Pasig took to tackle climate change [5]. However, the city does not provide enough green open spaces for its citizens. In 2020, Pasig City reported only 40.9 hectares of parks, pocket parks, linear parks, and green open spaces, which is below the World Health Organization (WHO) standard of 9 square meters per person [10].

C.1.3.3 Assessment

The qualitative and quantitative findings indicate that the Philippines is taking steps towards utilizing green infrastructure and low-carbon energy through national programs and initiatives. This includes increasing renewable energy capacity and creating green spaces at the city and barangay levels. The results of the quantitative studies indicate that increasing urban density through densification can result in lower per capita emissions in Pasig City.

However, there are challenges, such as ensuring energy security, harmonizing laws and policies, and social acceptance of renewable energy resources. Pasig's energy sector contributes 86% of its total GHG emissions, and most efforts to improve energy efficiency are limited to government infrastructure. However, the City is trying to make progress in reducing emissions in the energy sector, including using energy-efficient lighting and solar panels on rooftops. The city has also implemented successful measures such as the Green Building Program and Development Code, waste-to-energy projects, and solarization of schools and public buildings. However, there is a need for more green open spaces in the city.

Overall, it seems that while there is some integration between urban and rural areas in terms of green infrastructure and energy, it is still limited, and there are challenges that need to be addressed.

C.1.4 Sustainable Transport (Interfaces: Transport Infrastructure & Governance)

C.1.4.1 Results from the quantitative approach

Please provide a synopsis of the main findings of the quantitative approach in WP2 for the case city in the field of Sustainable Transport

For quantitative analysis, there was a lack of detailed traffic indicators for the Philippine cities. Thus, since Pasig is located in the metro Manila region and Santa Rosa is close to it, values from the metro Manila region were used, then scaled down with local demographic data to calculate the daily GHG emissions for Pasig City.

A set of mitigation measures was identified to compare with the status quo and assess their impact on GHG reduction potential. These measures were:

1. Modal shift to non-motorized transport (NMT), 10% from Cars to NMT
2. Fewer trips, 10% fewer trips on average
3. Lower average trip length, 35% lower trip length on average, not applied to NMT
4. Efficiency gain in the fleet, 2% lower GHG emission factor
5. Speed restriction, 25% lower max. speed in the city border leads to fewer pkm by 2.5 %
6. Electrification of 50% of the public bus fleet, aligned with national targets,
7. 50% electrification of 2-and 3-wheelers, aligned with national targets

The results indicate that the measure to reduce average travel length has the highest mitigation potential emissions savings compared to the baseline. Philippine cities have the highest potential at 36.7%, with also having the highest average distances traveled. In the Philippine cities, a modal shift has a potential of 2%, and the electrification of two and three-wheelers would have an effect of 5,5%. When the public bus fleet in Philippine cities is electrified, it would reduce emissions by 2%.

The findings show that the mitigation potential of public transport electrification depends strongly on the existing share of electrified public transport and the share of renewable energy in the electricity grid.

C.1.4.2 Qualitative findings from the application of the rural-urban integration framework

Governance in the transport sector in the Philippines involves coordination and collaboration between national agencies, regional entities, and local government units (LGUs). At the national level, the National Transport Policy (NTP) was formulated in 2017 in response to the lack of a comprehensive policy document for the transport sector, with the vision of creating an integrated, sustainable, and people-oriented national transport system. As a blueprint for the country's transportation system, this document states that "National transportation agencies and local government units (LGUs) will work together to address transport sector needs" [18]. The Philippine Development Plan 2023-2028 [13] includes the "enhanced connectivity" strategy to link urban centers with rural areas, but this is the only explicit mention of urban-rural linkage in the context of transportation. The plan also mandates the formulation of a National Transportation Master Plan to guide the development of a network of intermodal transportation infrastructure addressing climate risks and linkages between different modes of transportation. At the regional level, a study titled Transport Infrastructure Development for Metro Manila and its Surrounding Areas (Region III and Region IV-A) [19], was conducted in 2014 by JICA in collaboration with the National Economic and Development Authority to develop a comprehensive roadmap for transport development in Metro Manila, Central Luzon, and Calabarzon. This plan is intended to improve short-, medium-, and long-term coordination among relevant agencies in Metro Manila and surrounding areas on transportation projects. At the local level, in Pasig City, there is the version of the Comprehensive Land Use and Water Use Plan (CLWUP) 2015-2023 [20], which enables long-term management of the city territory and the Comprehensive Development Plan of 2022-2027 which promotes the welfare of residents by

identifying multi-sectoral programs, projects, and activities. The Pasig City Transportation and Development Management Office (CTDMO), which was first established in 2017, has so far implemented a number of sustainable mobility projects. The main functions of the CTDMO are recommending and creating transport policies and plans, creating the Pasig City Transport Master Plan, promoting mass public transport, representing the city in public consultations, managing the implementation and monitoring of the transport master plan, coordinating with neighboring cities, and reviewing and proposing relevant city ordinances and resolutions [21].

Pasig City is located at the eastern border of Metro Manila and is surrounded by eight cities and municipalities, making it a strategic access point to the metro and thus vulnerable to transport-induced air pollution. In 2010, 60% of Pasig's air pollution was from transportation [27]. While the city implemented several transport policies and programs to improve its road traffic and air quality, their implementation met some criticism. Despite some success stories of LGU alliances in addressing such challenges, inter-local cooperation has proven to be an unpopular strategy for many reasons, such as lack of agreement on common priority areas and visions, ineffective financial management, and lack of clear structure in terms of mandates and capacities [3].

Regarding the infrastructure, according to the Philippine Development Plan (PDP) 2023-2028, the country's transportation infrastructure is still inadequate regarding accessibility, quality, safety, and affordability. Its vulnerability to climate change puts the infrastructure provision and operations at risk. At the regional level, the National Economic and Development Authority (NEDA), in collaboration with JICA, has developed the Roadmap for Transportation Infrastructure Development for Metro Manila and the surrounding areas, which serves as a guide for identifying priority areas and developing transportation infrastructure programs and projects. The plan also includes a section titled Transport Dream Plan For Mega Manila 2030 [19]. The main objective of the Dream Plan is to "move more people, not vehicles," and thus, the overall strategy and related projects centered on enhancing and developing public transportation. On a local level, Pasig is one of the few cities in the Philippines that have approved and implemented sustainable transport initiatives [21].

NEDA has identified three sets of issues that hinder the development of transport infrastructure in the country; Institutional, operational, and implementation problems. According to the Philippines WWF's research, all the investigated cities identified the same issues, including Pasig City. Highlighting the fact that a nation's transportation system can be judged by its cities. The institutional problems refer to a fragmented institutional structure and weak project planning, preparation, and development. The operational issues are related to a lack of synchronized planning, budgeting, uncoordinated policy planning, and program preparation. The implementation problems include low institutional absorptive capacity, which leads to weak execution, causing delays and changes in project scope [22]. According to the Pasig City CLWUP, one of the City's key development goals is to establish environmentally sustainable mass transit by "strengthening intra-city and inter-city connectivity that is vital to long-term growth." Also, the Pasig City Comprehensive Development Plan (CDP) [10] has included the establishment of an intra- and inter-city bicycle network to promote active transportation and inter-modal connectivity. The Pasig City Transportation and Development Management Office (CTDMO) has proactive management that allows it to develop programs such as the Pasig Bus Service (PBS), Pasig River Ferry, and Bike Share Program that promote non-motorized mobility and public transportation.

Moreover, the independent nature of each LGU makes it difficult for Pasig City to scale its transport initiatives and programs to adjacent cities and form partnerships. There is a need for inter-city collaboration on sustainable transport policies to ease administrative and regulatory barriers in operating in several municipalities within the Metro Manila region. Despite efforts by

Pasig City to expand mobility services to transport nodes in neighboring cities, the lack of support from other LGUs and higher-level government coordination have hindered progress. However, there are examples of successful city-business partnerships, such as with Robinsons Galleria, which helped Pasig overcome city boundary challenges linked to their bike-sharing scheme [23].

C.1.4.3 Assessment

The qualitative and quantitative findings indicate that while there are efforts toward urban-rural integration in Pasig City, there are also institutional, operational, and implementation problems that hinder the development of transport infrastructure throughout the country. The National Transport Policy (NTP) and Philippine Development Plan (PDP) 2023-2028 aim to create an integrated, sustainable, and people-oriented national transport system, including an enhanced connectivity strategy to link urban centers with rural areas. The Pasig City Transportation and Development Management Office (CTDMO) has implemented sustainable mobility projects, including a bike-sharing program, Pasig Bus Service (PBS), and Pasig River Ferry, to promote non-motorized mobility and public transportation. However, there are still challenges in scaling sustainable transport initiatives and programs to adjacent cities and forming public-private partnerships due to the independent nature of each LGU, administrative and regulatory barriers, and lack of support from other LGUs and higher-level government coordination. Therefore, overall, the degree of urban-rural integration in Pasig City is somewhat limited, and there is a need for inter-city collaboration on sustainable transport policies.

C.1.5 Sustainable Construction (Interfaces: Sustainable Building Materials & Circular Waste System)

C.1.5.1 Results from the quantitative approach

For the quantitative analysis, in addition to calculating GHG emissions from the embodied building stock in each city, two scenarios were analyzed to calculate GHG savings from replacing abiotic parts of building materials with increased use of timber at a 5% and 15% replacement rate. The results show that with a 5% increase, GHG savings in Pasig City are low (1.3%), while higher GHG savings of 8.6% are achieved with the 15% increase. The materials considered in the study were cement, sand, gravel, and steel.

The findings indicate that substituting conventional building materials (concrete and metals) with wood has the highest emission reduction potential among the three fields of action across all six cities. It should be noted that the mitigation potential depends on the material distribution in the base scenario.

C.1.5.2 Qualitative findings from the application of the rural-urban integration framework

According to the Philippine Center for International Relations and Strategic Studies [24], the overall state of the country's legal and policy frameworks on circular economy is characterized by a fragmented and ad hoc approach. It outlines that although current laws and policies provide adequate justification for promoting specific circular economy policies and regulations, proposals tend to be reactive to current events and lack adequate follow-through by the government, legislators, and civil society. There is also no concrete momentum driving the transition to a circular economy, but recent proposals for extended producer responsibility (EPR) could be a crucial starting point. Overall, the country's circular economy needs a more

comprehensive and sustainable approach to promote effective waste management practices and advance the transition to a circular economy.

The following are a few examples of collaborations to promote a circular economy in the country. The Philippine government, in collaboration with the Global Green Growth Institute (GGGI), intends to work with startups to adopt and facilitate investment in circular economy approaches. It also explores the potential of LGUs to facilitate investments in waste-to-energy as a new technology option for power generation if the technology option is feasible in the local context [16]. Another example is the partnership between Philipines Shell and Green Antz Builders in constructing the country's first retail station in Plaridel, Bulacan, using eco-bricks made from recycled plastic waste. While the eco-brick is more expensive per unit than traditional brick, buildings using this alternative can reduce overall construction and operating costs due to its greater insulating capacity and durability [25]. The success of this initiative, which represents a step toward a circular economy, could serve as an inspiration for Pasig City to explore similar partnerships and projects that promote circular economy principles and the utilization of sustainable materials.

In Pasig City, Green Antz Builders, Inc. launched the EcoHub pilot project in 2021, which aims to promote sustainable 3R/SWM practices. This cost-effective hub will provide on-site solutions for composting and upcycling plastics and other materials. By implementing the EcoHub model, Green Antz will create a community-level waste management plan that will be supported by the facility. This project is part of the Clean Cities, Blue Ocean Program of the United States Agency for International Development (USAID), which aims to reduce plastic waste in oceans by targeting waste at the source. The recycling facility in Pasig City will process biodegradable waste to compost and plastics into eco-bricks and pavers. Ultimately, the EcoHub will be turned over to the LGU with specific conditions to ensure its continuity [26].

Pasig City has set the goal of reducing waste generation in the City by 20% by 2030 and 80% by 2024, as stated in its 10-year Solid Waste Management Plan (2015-2024) [6]. Among the city's remarkable initiatives are the Greenheart Savers Program (a program to promote the 3Rs for its young population by bringing non-biodegradable waste to school in exchange for rewards), Green Livelihood Project (where beneficiaries learn to make recycled slippers from water lily harvesting), Mobile Recycling Redemption Centre, and Integrated Composting Facility. These projects support the city's goals to reduce waste generation, popularize waste segregation, promote recycling, and instill the proper values for protecting the local environment, particularly among youth.

In addition, there are organizations such as the KILUS Foundation, whose mission is to transform collected plastic waste into useful products such as purses and bags through upcycling. The City Government of Pasig also actively supports and promotes these organizations in marketing their products. These strategies of promoting the reduction of waste generation and waste diversion enable the city government to reduce its GHG emissions in the waste sector. Moreover, with the support of the Ambitious City Promises (ACP) project, Pasig City has codified its building codes, environmental laws, and practices in the Green Building Code to ensure that construction projects meet sustainability and low carbon guidelines [5].

Although current circular economy practices in the City are limited, and the urban-rural linkages in this regard seem non-existence, the 2022-2027 CDP [10] outlines that the City has set a goal to "decrease solid waste pollution (Urban Areas, Rivers, Creeks, Open Spaces) by 100% by 2027, through minimizing observed solid waste pollution, submission of compliance audit to DILG, and conduct a feasibility study on the establishment of a waste to energy facility." The CDP also outlines the environmental sector strategy to develop an incentive program for businesses that

practice waste reduction and recycling and to develop a local environmental law/ordinance that includes a waste reduction commitment.

C.1.5.3 Assessment

The findings from the qualitative and quantitative methods reveal that the overall degree of urban-rural integration in Pasig City seems to be in its early stages in terms of sustainable construction. While there are some initiatives and partnerships with the government, private sector, and civil society organizations aimed at promoting circular economy principles, these efforts are still limited in scale and scope. Despite these initiatives, there is a need for a more comprehensive and sustainable approach to promote effective waste management practices and advance the transition to a circular economy in Pasig City.

Overall, while there are some promising initiatives and partnerships in Pasig City regarding circular waste management systems and sustainable materials, there is still a need for a more comprehensive and coordinated approach to integrating circular economy practices across different sectors and stakeholders in the city.

C.1.6 Summary and list of recommended actions

Based on the qualitative and quantitative analysis, a list of policy recommendations for strengthening urban-rural linkages in Pasig City is provided below:

1. Promote public-private partnerships as a means to foster local sustainable development

Enhance the capacity of the local government of Pasig City to develop urban-rural partnerships. Although, in general, local governments have greater decision-making power in transportation planning, cities still face many institutional challenges in the mobility sector. Enhancing the institutional capacity of the cities will help overcome the problems such as fragmented institutional structure, uncoordinated policy planning, and program preparation

2. Develop/Strengthen multi-level governance processes

Encourage the formation of alliances among local governments. In the city of Pasig, in fact, Local Government Units (LGUs) have autonomy in the governance of their jurisdictions, but collaboration among LGUs is necessary to address common problems such as traffic management and high levels of greenhouse gas emissions and foster the development of a shared vision and common priority areas through regular consultations.

3. Consolidate and support the local food production and consumption supply chain

In line with the Philippine Biodiversity Strategy and Action Plan 2015-2028, which advocates increasing green spaces to improve environmental quality, reduce urban heat, promote biodiversity, and improve overall health and well-being, the city of Pasig could implement policy measures that incentivize or support the development of local food systems and value chains, while also emphasizing urban agriculture and community gardening, which, if intensified, will ensure the expansion of urban green spaces and food security.

4. Foster a sustainable future through the compact city approach

Our results indicate that the densification of Pasig City will greatly reduce its per capita emissions, as well as promote sustainable land use. Therefore, Pasig City should consider using the compact city approach in tandem with prioritizing green spaces, as one of its many tools to support sustainable development.

5. Enable participatory multi-stakeholder engagement processes

Sustainable transportation initiatives and programs for the city of Pasig have yet to be extended to adjacent cities, and the formation of public-private partnerships could mitigate each LGU's independent nature, administrative, and regulatory barriers. Partnerships and innovation sharing could also aid in reducing average travel lengths, which is the focal area with the greatest potential to decrease the Philippines' GHG emissions. Intercity collaboration on sustainable transportation policies is therefore needed.

C.1.7 References

- [1] Philippine Statistics Authority, "National Capital Region (NCR). Total Population by Province, City, Municipality and Barangay," 2021.
- [2] UNFCCC, "Pasig City: A Smart City with a Green Heart," UNFCCC. <https://unfccc.int/climate-action/momentum-for-change/activity-database/pasig-city-a-sma-city-with-a-green-heart> (accessed Mar. 15, 2023).
- [3] ICLEI, "Inter-Local Cooperation to Address Transboundary Urban Environmental Issues. Philippines Policy Brief No. 03," 2020.
- [4] Philippine Statistics Authority, "Regional and Provincial Summary - Number of Provinces, Cities, Municipalities and Barangays as of 31 March 2022," 2022.
- [5] ICLEI, "Promise Of Pasig: Low Emission Development Strategies 2020-2030," 2021.
- [6] Pasig City, "Pasig City Solid Waste Management Plan (2015-2024)," 2014.
- [7] Adelphi & UN-Habitat, "Multi-Level Climate Governance in the Philippines," 2018.
- [8] Metropolitan Manila Development Authority, "NCR Regional Development Plan 2017-2022," 2017.
- [9] World Bank, "Philippines Urbanization Review Fostering Competitive, Sustainable And Inclusive Cities," 2017.
- [10] Planning and Development Research Foundation, Inc., "Pasig City Comprehensive Development Plan 2022-2027," 2021.
- [11] Department of Energy, "Philippine Energy Plan 2020-2040," 2020.
- [12] Department of Environment and Natural Resources – Biodiversity Management Bureau, UNDP, Global Environment Facility, Foundation for the Philippine Environment, "Philippine Biodiversity Strategy and Action Plan 2015-2028," 2016.
- [13] National Economic and Development Authority, "Philippines Development Plan 2023-2028," 2022.
- [14] Department of Energy, "Energy Situation Philippine," 2016.
- [15] ICLEI, "Pasig City: Assessment Of Existing Climate Policies. Philippines Policy Brief No. 01," 2019.
- [16] GGGI, "Philippines Country Planning Framework 2021 -2025," 2021.
- [17] B. E. Accelerator, "Pasig City, Philippines," *Building Efficiency Accelerator*. <https://buildingefficiencyaccelerator.org/bea-cities/pasig/> (accessed Mar. 16, 2023).
- [18] National Economic and Development Authority, "National Transport Policy and its Implementing Rules and Regulations," 2017.
- [19] Japan International Cooperation Agency (JICA), "Roadmap for Transport Infrastructure Development for Metro Manila and its Surrounding Areas (Region III and Region IV-A)," 2014.

- [20] Pasig City, “Comprehensive Land and Water Use Plan (CLWUP) 2015-2023,” 2014.
- [21] WWF-Philippines, “Sustainable urban mobility: a case study on Philippine Cities’ Initiatives,” 2017.
- [22] National Economic and Development Authority, “Transport infrastructure development under the Philippine development plan 2017-2022,” 2017.
- [23] ICLEI, “CiBiX Ideator Insights Report: Pasig City,” 2018.
- [24] Center for International Relations and Strategic Studies, “A Review of Circular Economy-related Laws and Policies in the Philippines,” 2022.
- [25] “First retail station using upcycled plastic waste in Bulacan,” *Shell Philippines*, Jan. 20, 2021. <https://www.shell.com.ph/media/media-releases/2021-media-releases/first-retail-station-using-upcycled-plastic-waste-in-bulacan.html> (accessed Mar. 22, 2023).
- [26] USAID, “Clean Cities, Blue Ocean Quarterly Progress Report,” 2022.
- [27] CiBiX, “Ambitious City Promises, Ideator Insights Report: Pasig City,” 2018. https://acp.iclei.org/wp-content/uploads/2019/11/CiBiX_ACP-Report-Pasig.pdf (accessed Jun. 21, 2023).
- [28] NCR, “Pasig City Zoning Ordinance, Setback and zoning map” 2015. <https://www.foi.gov.ph/requests/aglzfmVmb2k2kGhyHgsSB0NvbnRlbnQiEVVTQVAtMDI4MTczMzk2MjgyDA> (accessed Jun. 21, 2023).
- [29] Haaland, C. and Bosch c. “Challenges and strategies for urban green-space planning in cities undergoing densification: A review,” 2015. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S161886671500103X> (accessed Jun. 21, 2023).
- [30] Szabo, S. Urbanisation and Food Insecurity Risks: Assessing the Role of Human Development,” 2015. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13600818.2015.1067292>)accessed Jun. 21, 2023).

C.2 Case study: City of Santa Rosa, Philippines

C.2.1 City profile

Population: 414,812 in 2020 [1]

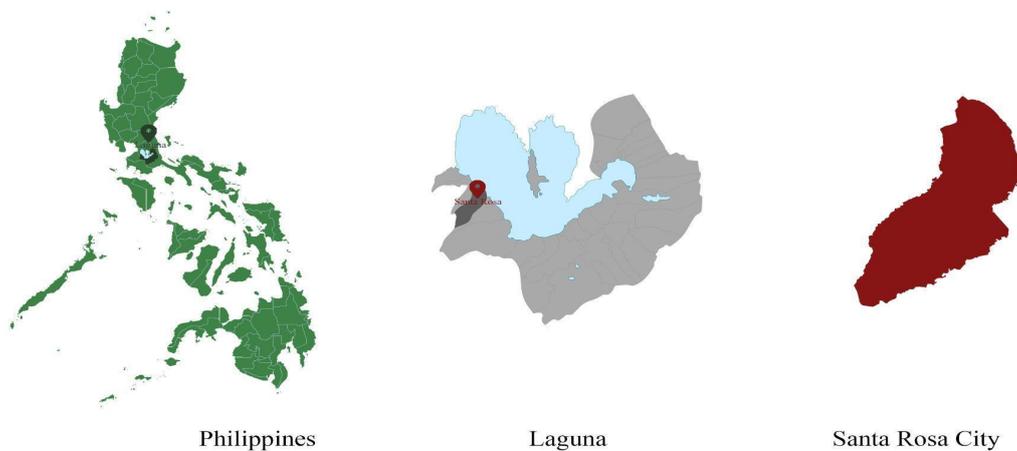
Location: Laguna, Philippines - located 40 kilometers south of Metro Manila. The city of Santa Rosa is considered the "Lion City of Southern Luzon" and the "Motor City of the Philippines" due to its competitive economy and the presence of several automobile manufacturers in the city. In the Laguna Province Development Framework Plan, the city is considered a main growth center, demonstrating its importance as a regional hub for industrial and technological growth [8].

Santa Rosa is home to Laguna Technopark, the country's first industrial park. Other evolving parks are Nuvali, Eton City, Greenfield City, and Ascendas Business Park. Major enterprises include the automakers Toyota Motor Phils. Corp., Honda Cars Phils. Inc., Ford Group of Companies, Pilipinas Nissan Inc, Columbian Motors, and Star Motors. Coca-Cola Bottlers Philippines, the largest plant in the Far East, and Monde Nissin Corp., one of the world's largest food conglomerates and manufacturing companies.

Climate: Santa Rosa City has a tropical monsoon climate with high average temperatures and humidity year-round. The city has a distinct rainy season from May to December and a dry season from January to April, with a sizeable flood-prone area. The City's 2010 greenhouse gas (GHG) inventory reports that the city had an estimated total emission of 1,935,342.29 tCO₂e, more than half of which was attributed to the industrial sector. As for climate change laws and plans, Santa Rosa has The Philippine Climate Change Law RA 9729, the Climate Change Act of 2009, the National Climate Change Action Plan (NCCAP), and the National Framework Strategy on Climate Change (NSFCC).

Published Mitigation Targets: 30% reduction in emissions based on the 2010 baseline [2]

Figure 13: The geographic location of the City of Santa Rosa



Source: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ph_locator_laguna_santa_rosa.png, edited by ICLEI World Secretariat

C.2.2 Multi-level and horizontal governance structures

The Philippine government follows a decentralized model, with powers and responsibilities devolved to Local Government Units (LGUs) as part of the devolution process. The LGUs are

politically autonomous and mandated to deliver devolved services and manage local development plans. There are four levels of subnational government in the Philippines: provinces, cities, municipalities, and barangays or villages, all empowered under the Local Government Code [3]. As of March 2022, the Philippines has 1,488 municipalities and 146 cities (of which 33 are highly urbanized cities), and 81 provinces [4].

Under the Local Government Code of 1991, LGUs are responsible for delivering basic services and functions in agriculture and environment, health, social services, and maintenance of public works. They are also tasked to prepare medium-term Comprehensive Development Plans (CDPs) for sectoral planning and long-term Comprehensive Land Use Plans (CLUPs) for spatial planning. Local governments play a crucial role in achieving national targets, including those related to climate change. They are also mandated to formulate a Local Climate Change Action Plan (LCCAP) that builds on the National Climate Change Action Plan (NCCAP), which should be integrated into the CDP and CLUP [5].

The City Environment and Natural Resource Office (CENRO) is responsible for implementing and streamlining environment-related activities with stakeholder engagement [6]. The Local Development Investment Plan (LDIP) is the primary instrument for implementing City's Comprehensive Development Plan (CDP) into programs and projects eligible for LGU funding. LGUs must also tag their climate change expenditure to ensure that their initiatives receive proper support and are used for their intended purpose [7].

What horizontal cooperation mechanisms between the city and surrounding entities at a comparable level (e. g. other local governments or comparable units) exist?

Local Government Units (LGUs) in the Philippines have autonomy over the governance of their jurisdictions. However, inter-LGU collaboration is necessary to address common issues such as traffic management and high levels of GHGs emissions. LGUs have the option to form alliances to address these concerns. The formation of an alliance requires three essential components: legal, institutional, and financial. Legal instruments formalize the alliance, institutional guidelines form its backbone, and financial resources enable implementation programs, projects, or activities [3].

C.2.3 Densification (Interfaces: Green Infrastructures & Energy)

C.2.3.1 Results from the quantitative approach

To assess the impact of land use change and densification on emissions, an urban scaling approach was used. It used an equation to calculate the impact of different populations or areas on emissions. Two different scenarios were then analyzed in which the area and population were changed. The first scenario (S1) represents urban sprawl due to the increase in population or area, and the second scenario (S2) examines the impact of population growth without urban expansion.

The findings revealed that in both scenarios, emissions increase across all cities, although at a slightly slower rate in S2. It also revealed that if the population increases (S1), GHG emissions increase as well. With S2, on the other hand, the population grows, but the land area stays the same, leading to higher urban density and lower emissions compared to S1. The results for densification in already densely populated cities also show a low impact of land area on GHG emissions. This means that cities in the Global South (in this case, Santa Rosa) are characterized by high urban density and the associated more efficient use of land. The already high urban density then leads to lower GHG emissions per capita. However, it is important to consider the

tradeoffs of high urban density, such as the urban heat island effect, and to provide integrated design solutions and/or nature-based solutions to address them.

C.2.3.2 Qualitative findings from the application of the rural-urban integration framework

In Santa Rosa City, Laguna, urbanization and industrialization have increased rapidly due to the influx of investors and proximity to the metropolis of Manila. These led to an increase in the impermeable surface area of the soil, altering the water balance in the subwatershed. The economic developments also lead to the entry of immigrants, thereby increasing the number of residents in the region. To the west, the city is emerging as a strong residential neighborhood. Under construction is the famous Eton City, which covers nearly 1,000 hectares and is envisioned as the "Makati of the South." It is the first island-lot residential development in the Philippines. This mixed-use township project will provide residential facilities, a world-class business district, and a wide range of resort-style commercial and recreational facilities. Due to rapid urbanization and conversion of agricultural areas to build-up areas, land use has changed dramatically: We have gone from 3.93% build-up use areas in 1946 to 79.76% in 2010. In contrast, from 96.07% of agricultural use areas in 1946 to 20.24% in 2010 [17].

Figure 14: Map of Laguna de Bay in the Philippines, showing the location of Santa Rosa City



Source: Adelina Santos-Borja, *Laguna de Bay Experience and Lessons, Learned Brief*

According to the Global Footprint Network, Ecological Footprint Report, the Laguna Lake watershed has undergone LULC changes during the last 30 years, wherein large rural areas have been converted into commercial, residential, and industrial areas. Between 2003 and 2010, the

built-up areas increased by 116%. During this period, the closed forests, observed mostly in the west, northwest, and southern parts of the lake, were reduced by 35% [19].

The lake's water quality has deteriorated owing to increases in agricultural, industrial, and domestic pollution. The city of Santa Rosa in the Philippines is taking steps toward energy efficiency and clean/renewable energy with several initiatives. For instance, the city was selected as the Luzon demonstration site for the Access to Sustainable Energy Programme - Clean Energy Living Laboratories (ASEP-CELLs) project. The project, which is a joint initiative of the European Union and the Philippine Department of Energy, provides funding to help the Philippine government achieve its goals for rural electrification with renewable energy and energy efficiency and to promote sustainable production and consumption. The project will assist the city in incorporating national energy policy, building the capacity of local government staff to develop a local energy plan, preparing a project proposal for an energy project with an energy efficiency and renewable energy component, and participating in learning sessions through inter-governmental (LGU to LGU) collaboration or expert guidance [8].

According to the SDG 7 Localisation Snapshot prepared by UNEP and UN ESCAP [9], an overview of the implementation of Sustainable Goal 7 ("ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all") at the local level in the City of Santa Rosa is presented, drawing from the responses of local officials to a questionnaire. This document outlines that the City is applying the targets at the national level related to GHG emissions and air pollution at the local level. In addition, while some energy efficiency and energy intensity reduction targets have been implemented, these targets lack support from the energy efficiency policy framework at the national level and cover only a limited number of energy-consuming sectors. The renewable energy targets at the national level are not currently implemented at the local level.

C.2.3.3 Assessment

The old rural landscape has been transformed into a center of human activity since the 1980s, spurred by the constant drive to attract foreign investment, generated job opportunities, and decongest the population of Manila. The western side of the lake region, which is located close to Metro Manila, is largely industrialized, while other areas in the southern and eastern parts are eastern are mainly devoted to agriculture. As a result, a convergence between rural and urban is evident in the lakeshore municipalities adjacent to the western side of the lake region [18].

Apart from this, there is insufficient data on urban-rural integration related to densification in Santa Rosa to make an informed assessment at this stage. However, the findings indicate that the city has a high urban density, which leads to more efficient use of land and lower GHG emissions per capita. Additionally, the city has several initiatives in place to promote energy efficiency and clean/renewable energy, such as the ASEP-CELLs project, which demonstrates the city's commitment to sustainable development. However, the renewable energy targets at the national level are not yet implemented at the local level, indicating a need for more policy support for energy efficiency and renewable energy in the city. Overall, while the city has made progress, there is still room for improvement in policy support and addressing the consequences of high urban density.

C.2.4 Sustainable Transport (Interfaces: Transport Infrastructure & Governance)

C.2.4.1 Results from the quantitative approach

For quantitative analysis, there was a lack of detailed traffic indicators for the Philippine cities. Thus, since Santa Rosa is close to the metro Manila region, values from the metro Manila region

were used, which were then scaled down with local demographic data, and eventually, the daily GHG emissions for Santa Rosa City were calculated.

A set of mitigation measures was identified to compare with the status quo and assess their impact on GHG reduction potential. These measures were:

1. Modal shift to non-motorized transport (NMT), 10% from Cars to NMT
2. Fewer trips, 10% fewer trips on average
3. Lower average trip length, 35% lower trip length on average, not applied to NMT
4. Efficiency gain in the fleet, 2% lower GHG emission factor
5. Speed restriction, 25% lower max. speed in the city border leads to fewer pkm by 2.5 %
6. Electrification of 50% of the public bus fleet, aligned with national targets
7. 50% electrification of 2-and 3-wheelers, aligned with national targets

The results indicate that the measure to reduce average travel length has the highest mitigation potential emissions savings compared to the baseline. Philippine cities have the highest potential at 36.7%, with also having the highest average distances traveled. In the Philippine cities, a modal shift has a potential of 2%, and the electrification of two and three-wheelers would have an effect of 5,5%. When the public bus fleet in Philippine cities is electrified, it will reduce emissions by 2%.

The findings show that the mitigation potential of public transport electrification depends strongly on the existing share of electrified public transport and the share of renewable energy in the electricity grid.

C.2.4.2 Qualitative findings from the application of the rural-urban integration framework

According to the Comprehensive land use plan (CLUP) 2018-2026 of Santa Rosa City [10], the city faces various transportation challenges that hinder its sustainable development. Some of the problems include “lack of traffic masterplan; minimal use of bicycles; lack of a dedicated public transport system linking the east (old city area) to the west part of the city (NUVALI area); lack of ferries traveling from one LGU to another using the Laguna de Bay route; improved capability and safety of CTMEO staff; lack of impounding area; lack of traffic signs; and lack of pedestrian overpass in heavy traffic and accident-prone areas.” The city's road transportation system is also seriously affected by flooding every year, particularly in the northern half of the city, where most tricycle, jeepney, and bus terminals are located.

The CLUP outlines possible solutions to address these issues. The CLUP also establishes physical development goals to create an efficient transportation network by implementing proposed national and regional road projects and enhancing the existing road network. Other goals include strengthening the City's connectivity to other areas and improving accessibility within the City. In addition, water transportation is to be promoted as an alternative mode of transportation to reduce deteriorating traffic conditions. The CLUP also provides a list of prioritized programs and projects with the aim of accelerating the City's spatial-sectoral development, including the Santa Rosa Elevated Pedestrian and Bike Lane and connecting different roads together.

Santa Rosa City is also one of the pilot cities in the Low Carbon Urban Transport Systems (LCT) project implemented by the Philippine Department of Transportation (DOTr) and the United Nations Development Programme (UNDP). The project aims “to create an enabling environment for the commercialization of low carbon urban transport systems (e.g., electric and hybrid

vehicles) in the Philippines.” The LCT Project also seeks to increase private sector participation and investment in low-carbon transport systems. Along with Baguio, Iloilo, and Pasig, Santa Rosa City is one of the four cities where the project is being implemented. The goal is to reduce greenhouse gas emissions by 69,013 tCO₂e during the project period [11].

C.2.4.3 Assessment

The qualitative and quantitative findings indicate that Santa Rosa faces several transportation challenges that hinder its sustainable development. Despite these challenges, the City has taken steps to address these issues and promote sustainable transportation. In particular, Santa Rosa City is a pilot city under the Low Carbon Urban Transport Systems (LCT) project, which aims to create an enabling environment for the commercialization of low-carbon urban transport systems in the Philippines.

However, it is not clear from the available data how far Santa Rosa City has come regarding urban-rural integration. While the CLUP mentions improving connectivity and accessibility both within the city and to other areas, there is no indication of specific initiatives or programs aimed at bridging the gap between rural and urban areas. Overall, more information is needed to fully analyze the level of integration between urban and rural areas in Santa Rosa City.

C.2.5 Sustainable Construction (Interfaces: Sustainable Building Materials & Circular Waste System)

C.2.5.1 Results from the quantitative approach

For the quantitative analysis, in addition to calculating GHG emissions from the embodied building stock in each city, two scenarios were analyzed to calculate GHG savings from replacing abiotic parts of building materials with increased use of timber at a 5% and 15% replacement rate. The results show that with a 5% increase, GHG savings in Santa Rosa City are low (1.3%), while higher GHG savings of 8.6% are achieved with the 15% increase. The materials considered in the study were cement, sand, gravel, and steel.

The findings indicate that substituting conventional building materials (concrete and metals) with wood has the highest emission reduction potential among the three fields of action across all six cities. It should be noted that the mitigation potential depends on the material distribution in the base scenario.

C.2.5.2 Qualitative findings from the application of the rural-urban integration framework

Santa Rosa is facing an increase in waste generation and pollution due to industrialization and population growth. To address these issues, the city has developed a comprehensive 10-year solid waste management plan (SWM Plan) and established partnerships with private sectors for garbage collection and disposal. In 2016, the city updated its solid waste management plan for 2016-2025, in response to the increasing volume of waste generated by the city, mainly due to rapid development and massive in-migration. The Waste Analysis and Characterization Study (WACS), conducted in 2004 and updated in 2015, served as the primary reference for updating the plan [12]. The government has no significant programme in place to treat domestic wastes. No centralized sewerage system exists, except for newly developed housing and commercial subdivisions. Although primary treatment via septic tanks is common in urban residential areas, it does not exist in rural areas and informal settlements (which usually develop along river banks and the lakeshore). Waste segregation and recycling are practiced in some places,

although indiscriminate open dumping of wastes is a common practice. Laguna de Bay serves as the receptacle of treated, partially treated and untreated liquid waste[20].

The city also aims to improve waste management technologies and enforce stricter implementation of environmental policies to comply with the Ecological Solid Waste Management Act. Furthermore, the city will establish material recovery facilities (MRFs) in each barangay to encourage waste segregation and compliance with the act [12].

In 2010, Santa Rosa undertook a greenhouse gas (GHG) inventory that revealed substantial carbon emissions from the region's dominant heavy and technical industries[13]. The city thus has committed to a 30% reduction in community emissions on the 2010 baseline and has been inducted into the UN's Building Efficiency Accelerator program to achieve 25-50% reductions in energy demand in existing and new buildings [2] [14].

Some actions for meeting these ambitious targets are converting street lights to solar power, using LED lighting in government offices, and providing urban farming on vacant sites as part of its climate adaptation efforts. One of Santa Rosa's notable achievements is the low-carbon community housing project supported by the urban greening project. It integrates solid waste, wastewater, and urban agriculture through a vacuum-based wastewater treatment system, making this water available specifically for on-site agriculture [2].

Santa Rosa's focus on the nexus of food, waste, and land use has also yielded positive results as part of the Integrated resource management in Asian cities: the urban nexus project led by UN ESCAP and funded by the German government. Two projects, the charcoal briquette project, and the centralized composting facility, convert waste into usable materials, reducing landfill, carbon emissions, and water pollution. The briquette project produces charcoal from waste coconut husks and water hyacinths, while the composting facility creates soil fertilizer for urban agriculture from food waste [15].

However, Santa Rosa still faces challenges in waste management. The SWM Plan notes that Santa Rosa is unsuitable for building a sanitary landfill due to area availability and soil type. As a result, domestic waste is collected by a private hauler and disposed of at their landfill in the neighboring city of San Pedro, Laguna. The plan also includes incentive programs for waste reduction and recycling, the establishment of a solid waste management database, and the implementation of stricter environmental policies to comply with the Ecological Solid Waste Management Act.

Overall, Santa Rosa's sustainable construction efforts demonstrate a level of commitment to reducing carbon emissions and promoting circular waste management. The city's partnerships with the private sector and technical assistance from government agencies have enabled it to implement effective, sustainable development strategies. However, continued efforts are needed to address challenges such as waste management and to further improve sustainability and circular economy in the city.

C.2.5.3 Assessment

The findings indicate that Santa Rosa City has demonstrated commitment to sustainable construction efforts, particularly in the area of waste management. The city has committed to reducing carbon emissions, implementing energy-efficient building practices, and promoting a circular economy through projects such as low-carbon community housing, urban agriculture, and waste-to-product conversion.

However, Santa Rosa still faces challenges in waste management, particularly due to the unavailability of land to build a sanitary landfill. The city has implemented incentive programs

for waste reduction and recycling and stricter environmental policies, but continued efforts are needed to further improve sustainability and circular economy in the city.

Regarding urban-rural integration in Santa Rosa City, limited information is available on specific efforts to promote integration between urban and rural areas. However, the focus on urban agriculture, the low-carbon community housing project, and the Integrated resource management project could promote rural-urban integration by providing opportunities for collaboration and connecting stakeholders from different sectors and areas.

While there is limited information on the degree of urban-rural integration, the city has made progress in sustainable building, yet further efforts are needed to achieve the ambitious goals and address the current challenges.

C.2.6 Summary and list of recommended actions

Based on the qualitative and quantitative analysis, a list of policy recommendations for strengthening urban-rural linkages in Santa Rosa City is provided below:

1. Promote sustainable construction practices through the establishment of regulatory frameworks and incentives

The city of Santa Rosa is particularly committed to the transition to the circular economy, and the low-carbon community building project, as well as the integrated resource management project, are evidence of this. They could potentially promote urban-rural integration by providing opportunities for collaboration and connecting stakeholders from different sectors and areas.

2. Develop comprehensive and multi-modal integrated transport networks effectively connecting rural and urban areas

In the city of Santa Rosa, urban-rural integration, especially in terms of sustainable transport, is not yet accomplished. Therefore, information gathering is needed to analyze the nexus between the two parts and develop an integrated transportation plan

3. Promote collaboration among local governments to implement proactive resource management strategies

In the case of Santa Rosa, precisely because of its geographical features, developing an integrated approach to watershed management would be necessary. Continued climate events, and soil and water pollution, will have a major impact on the incomes, health, and food security of communities living near the lagoon.

4. Enhance and invest in capacity building at the inter- and intra-governmental levels based on local needs

Considering that not only the city of Santa Rosa but also the city of Pasig are part of Laguna de Bay, it would be important to consider a collaboration between local governments, and the national government agency Laguna Lake Development Authority to develop a strategy that covers the entire Laguna. One could also systematize the National Greening Program the government and rethink the sprawl development model, reconsidering reforestation so as to curb the loss of biodiversity, patches, and corridors for wildlife.

C.2.7 References

- [1] Philippine Statistics Authority, “Region IV-A (Calabarzon). Total Population by Province, City, Municipality, and Barangay,” 2021.
- [2] J. Manoochehri, “Santa Rosa: Sustainable Calm Under Industrial Pressure,” *WWF*, Mar. 15, 2017. <https://wwf.panda.org/projects/one-planet-cities/what-we-do/urban-solutions/santa-rosa-us-2016/> (accessed Mar. 07, 2023).
- [3] ICLEI, “Inter-Local Cooperation to Address Transboundary Urban Environmental Issues. Philippines Policy Brief No. 03,” 2020.
- [4] Philippine Statistics Authority, “Regional and Provincial Summary - Number of Provinces, Cities, Municipalities, and Barangays as of 31 March 2022,” 2022.
- [5] ICLEI, “Promise Of Pasig: Low Emission Development Strategies 2020-2030,” 2021.
- [6] Pasig City, “Pasig City Solid Waste Management Plan (2015-2024),” 2014.
- [7] Adelphi & UN-Habitat, “Multi-Level Climate Governance in the Philippines,” 2018.
- [8] Y. C. M. C. Kim, “Recipro: City - Circular Cities Fostering Green Urbanization,” 2021.
- [9] U. & U. N. Escap, “SDG 7 Localization Snapshot - Santa Rosa City, Philippines,” 2021.
- [10] The City of Santa Rosa, “Comprehensive Land Use Plan (CLUP) 2018-2026,” 2018.
- [11] UNDP, “Promotion of low carbon urban transport systems in the Philippines [Project document],” 2017.
- [12] Santa Rosa City, “Santa Rosa City Solid Waste Management Plan 2016 – 2025,” 2016.
- [13] USAID, “Good Practices on GHG Inventory,” 2018.
- [14] B. E. Accelerator, “Santa Rosa, Philippines,” *Building Efficiency Accelerator*. <https://buildingefficiencyaccelerator.org/bea-cities/santa-rosa/> (accessed Mar. 09, 2023).
- [15] UNESCAP, “Integrated Resource Management in Asian Cities: The Urban Nexus.”
- [16] UNESCAP, Case study Santa Rosa, Nexus, GIZ, <https://www.unescap.org/sites/default/files/Santa%20Rosa%20Case%20Study.pdf>
- [17] https://www.unescap.org/sites/default/files/Day%20%20Session%206_Santa%20Rosa%20city.pdf
- [18] Kathreena G. Engay-Gutierrez, (June 2015), *Land Cover Change in the Silang-Santa Rosa River Subwatershed, Laguna, Philippines*, *Journal of Environmental Science and Management* 18(1): 34-46
- [19] Iizuka, Kotaro, Brian A. Johnson, Akio Onishi, Damasa B. Magcale-Macandog, Isao Endo, and Milben Bragais (2017) *Modeling Future Urban Sprawl and Landscape Change in the Laguna de Bay Area, Philippines Land* 6, no. 2: 26. <https://doi.org/10.3390/land6020026>
- [20] Santos-Borja, A., & Nepomuceno, D. N. (2006). *Laguna de Bay: Institutional development and change for lake basin management*. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, 11(4), 257–269

C.3 Case study: City of Rajkot, India

C.3.1 City profile

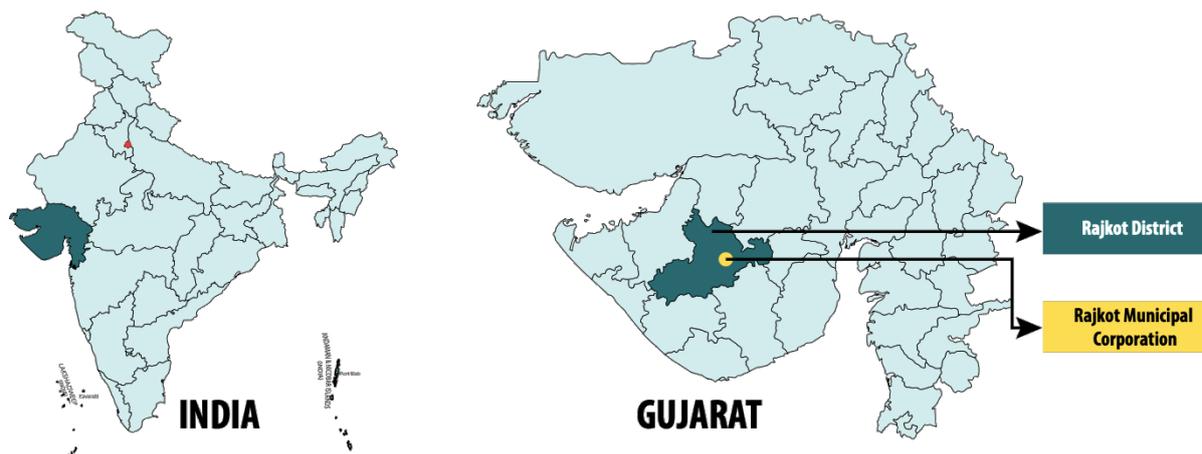
Population: 2,043,000 in 2023, a 2.71% increase from 2022 (Macrotrends).

Location: Rajkot district is situated in the center of the Saurashtra Region of Gujarat State. The Amreli and Botad Districts surround the district to the North, Junagadh, and Gir Somnath Districts to the West, and Bhavnagar District to the East. Rajkot City is the administrative headquarters of Rajkot district, and its significance is because it's one of the prime industrial centers of Gujarat.

Climate: Rajkot climate is semi-arid, with hot, dry summers with a wet monsoon from mid-June to October receiving up to 590 mm of rain on average, and a dry season from October to mid-June. The region is prone to drought and flood events. It is also essential to highlight the cyclone phenomena associated with the city of Rajkot. The cyclones generally occur in the Arabian Sea in the following months of the monsoon season, bringing a lot of rainfall and high-speed winds during this time of the year. Additionally, thunderstorms are frequently present during June and July. Regarding the temperature, it ranges between 24°C and 42°C in summer and between 10°C and 22°C in winter.

Rajkot city's GHG emissions amounted to 2.01 million tonnes of carbon dioxide equivalent (CO₂eq.) in 2015-16, with the average per capita GHG emission at 1.40 tonnes of CO₂eq.

Figure 15: Map showing the location of Gujarat and Rajkot in India



Source: Swiss Agency for Development and Cooperation SDC, Rajkot Municipal Corporation, CapaCITIES, Rajkot GHG emission (2020-2021), ICLEI - Local Governments for Sustainability, South Asia

C.3.2 Multi-level and horizontal governance structures

The Indian government is federal. It contains some of the features of the Unitary Government. India has three levels of government: national, state, and local. There has been a trend towards devolution of union and state power to local government. The three-tier system is divided into:

- ▶ Central Government: which handles the issues of the entire country and is responsible for foreign matters.

- ▶ State Government: which handles the issues and affairs of the given state in India.
- ▶ Panchayati Raj: which handles issues within villages and rural areas, and Municipalities have local governments in districts and towns.

There are quite a few challenges that the three-tier system of government has to face. It includes overlapping jurisdiction, concurrent list, residuary powers, and local government level. In India, the urban unit (or town) is defined as all places with a municipality, corporation, cantonment board or notified town area committee, etc. (known as Statutory Town) and all other places which satisfy the following criteria (known as Census Town):

- ▶ a minimum population of 5,000;
- ▶ at least 75 percent of the male workers engaged in non-agricultural pursuits
- ▶ a density of population of at least 400 per sq. km.

All areas which are not categorized as Urban areas are considered Rural Areas. The number of Rural Units (or Villages) in India by the Census 2011 is 6,40,867 [1]. Rajkot is the fourth-largest city in the state of Gujarat, encompassing around 104 sq km. There are two governing bodies within the Rajkot urban agglomeration area, the Rajkot Municipal Corporation (RMC), the Rajkot Urban Development Authority (RUDA), and a Special Purpose Vehicle (SPV) the Rajkot Smart City Development Ltd (RSCDL):

- ▶ **RMC:** The RMC is the central planning authority for the city of Rajkot. The RMC is responsible for providing essential infrastructure services, including water supply, drainage, roads, street lights, waste management, slum management planning for economic and social development, development planning, regulation, control, and coordination of urban growth within the city's territorial jurisdiction. Zoning and mandating the type of land use over its entire jurisdiction is one of its essential functions. RMC is also responsible for providing citizens with basic services and civic amenities, along with the preparation and execution of infrastructural development projects. The RMC is a planner, controller, and implementer within its jurisdiction.
- ▶ **RUDA:** The RUDA oversees the planning and development of the larger Rajkot Urban Agglomeration area (including Rajkot city), including long-term planning, promotion of new growth centers, implementation of strategic projects, and financing infrastructure development for the Rajkot Urban Agglomeration area. The RUDA is responsible for preparing a physical plan for the development of the Rajkot Urban Agglomeration, preparing and implementing town planning schemes, and monitoring and controlling of the development activities in accordance with the Development Plan.
- ▶ **RSDL:** The key responsibility of RSDL is to oversee the planning and execution of the Smart City plan for Rajkot City. This includes implementing proposed smart and sustainable solutions throughout the city and in the area-based development. RSDL's main focus is improving urban infrastructure and governance while addressing priority areas outlined in the Smart City plan [3].

In terms of local governance, Gujarat has been working on the empowerment of village-level institutions through capacity building, and it has been implementing a decentralized district planning program with greater district autonomy [3].

Parliament enacted the Constitution (74th Amendment) Act relating to municipalities in 1992. The Act provided the constitution of three types of Municipalities, i.e., Nagar Panchayats for areas in transition from rural to urban, Municipal Councils for smaller urban areas, and Municipal Corporations for large urban areas. Panchayats is the generic term used to describe rural local governments. Municipalities is the term associated with urban local bodies. Local governments govern the regional population of their respective units. The primary government unit in rural and urban areas is constitutionally mandated local government bodies. Local governments are not only a branch of the central government but also provide a space to articulate the political demands of society. A form of cooperation between citizens and local government helps to provide better services, existing at the grassroots level in fact, they also have the responsibility to take care of people's daily needs, such as an adequate supply of water, sanitation, and electricity. Local governments are not necessarily limited to rural areas. The degree of participation in local government depends largely on how citizens participate in decision-making. The joint work of local and state governments can lead to better execution of policies and programs. The District Planning Committee is the only platform where the elected representatives of municipalities (urban) and the district panchayats (rural) interact. This, however, is a tenuous, discontinuous, and limited arrangement. The rural-urban character of any district must be reflected in the district-level panchayat itself.

The towns and cities in India have urban local bodies (municipal bodies) for administration and governance, a decentralized form of governance. Powers and responsibilities are assigned to these municipal bodies through the 74th Amendment Act of 1992, which is an amendment in the Constitution of India relating to the administration and governance of towns and cities. The urban local bodies with elected representatives have functions delegated to them by the state governments under municipal legislation. They are liable to provide public health, welfare, regulatory functions, public safety, public infrastructure works, and development activities (Ministry of Urban Development, Government of India 2017). For better governance, administration, and provision of services, Indian cities are divided into several zones, which are again subdivided into smaller units called wards (tracts). An elected member, through general elections, represents each ward. Each ward has one seat on the ward committee that administers the city (for taxation, service delivery, and so on). The population is the only criterion for forming a ward, and its delineation is based on the uniformity of population across wards (Government of Maharashtra 2013; Government of India 2014). The focus on developmental activities and fund allocations are as per individual ward as the basic administrative unit. Depending on the city's total population, the number of wards is decided and formed. Therefore, the number of councilors is a function of a city's population. As the city grows and population size changes, the number of wards and delineation also change. Therefore, ward delineation is not based on the city's built attributes or socioeconomic composition within the city. However, since the basis of the delineation of wards is only population, much diversity exists in spatial structure and other nonphysical parameters, such as socioeconomic ones, within the wards [4].

A major outcome of the 73rd and the 74th Constitution Amendments is the enormous increase in the number of elected representatives from the rural and urban local bodies as a distinct level of representative bodies, e.g., in some states with bicameral legislatures, a good number of seats are filled by people elected by local governments. This demonstrates the extent to which the needs and views of urban and rural communities should be adequately reflected in the policies and programs of the state itself. Representative democracy and multilevel governance, as envisioned by the 73rd and 74th Amendments, require that organic linkages be created between different elected bodies. The bicameral legislatures of the states seem to be a good mechanism to do this[5].

C.3.3 Densification (interfaces: green infrastructures & energy)

C.3.3.1 Results from the quantitative approach

To assess the impact of land use change and densification on emissions, an urban scaling approach was used. It used an equation to calculate the impact of different populations or areas on emissions. Two different scenarios were then analyzed in which the area and population were changed. The first scenario (S1) represents urban sprawl due to the increase in population or area, and the second scenario (S2) examines the impact of population growth without urban expansion. The findings revealed that emissions increase across all cities in both scenarios, although at a slightly slower rate in S2. It also revealed that if the population increases (S1), GHG emissions also increase. With S2, on the other hand, the population grows, but the land area stays the same, leading to higher urban density and lower emissions compared to S1. The results for densification in already densely populated cities also show a low impact of land area on GHG emissions. This means that cities in the Global South are characterized by high urban density and the associated more efficient land use. The already high urban density then leads to lower GHG emissions per capita. The findings revealed that compared to the German cities, the Asian cities had a β_A (GHG emissions coefficient) that was five times lower. This means that cities in the Global South are characterized by high urban densities and the associated more efficient use of land. It was then possible to illustrate the CO₂ effects of increased population or land area and, implicitly, urban density. If the population increases, without reducing the urban area, the city moves horizontally toward the next isoline, increasing CO₂ emissions. A common trend in population increase is the simultaneous expansion of settlement areas. In this case, the city moves vertically up the isoline, increasing emissions. One of the parameters (area or population) must be reduced for a reduction in emissions, and a reduction in area is considered more practical. If the urban population increases, the area must decrease so emissions do not increase. The city would move vertically downward. The German cities have the lowest population growth, followed by Rajkot and Nagpur cities and the Philippine cities with the highest population growth.

C.3.3.2 Qualitative Findings from the Application of the rural-urban integration framework

The state of Gujarat has established its leadership through policies and programs tackling climate change challenges and simultaneously addressing sustainable development goals. It has implemented policies for developing wind and solar energy, introduced a bus rapid transit system, green credit scheme, and urban greening programs[3]. Rajkot Municipal Corporation (RMC), with deep-dive technical support from ICLEI South Asia, is working towards EV-ready buildings and electrification of intermediate public transport and is actively putting in place EV supply equipment[5]. The Aji water treatment plant's 145 kWp solar photovoltaic plant was implemented as a co-finance project during CapaCITIES phase I. Operational since the 8th of July 2018, the plant is being monitored through a monitoring, reporting, and verification framework, and its contribution towards reducing the consumption of grid-based energy is being measured. Since its commissioning, the plant has generated 682,740 units (kWh) of renewable energy that has prevented 546.19 tCo₂e of emissions. Following the project's successful operation, the Rajkot Municipal Corporation has scaled it up by adding a 250 kWp grid-connected solar PV system to the Raiyadhar wastewater treatment facility[6].

With levels of urbanization of about 42.58%, Gujarat is one of the most urbanized states in India. More than half (53 percent) of the total urban population of Gujarat lives in the following four metropolitan cities: Ahmedabad, Surat, Vadodara, and Rajkot. Ahmedabad reported more than 60 percent of urbanization, while Vadodara, Surat, Jamnagar, and Rajkot present between 40 to 60 percent levels of urbanization. These five districts have higher urbanization development than the national and state averages. Due to recent industrialization, Rajkot and Jamnagar have attracted more migrant populations from within the state and outside the major urban centers of these districts. Gujarat is considered to be an industry-led urban development. The least urbanized districts in Gujarat are located in the east, holding less than 20 percent of the urban population. Concerning migration in the urban context, Gujarat stands within the major states that attract inter-state migration to urban areas in India. It is mainly inter-state (35 percent) registered migration, followed by intra-state migration (20 percent) due to the pull factor of the increasing job opportunities in manufacturing and service sectors offered by manufacturing industries and oil refineries. The growing urbanization in the case of Gujarat has followed district-level urbanization led by migration. Rajkot has registered a net contribution of migration to urbanization in the 30-40% range.

With all these, sub-urbanization is expected to be characteristic of urban development in the state. Also, the urbanization trends show to be inclined towards a colonial pathway of urbanization in which urban development is induced primarily through industrialization. Following this, investors and planners have come to promote industrial clusters as migration magnets and considering the peripheral land areas are relatively cheaper than their respective core industrial areas such as Rajkot manufacturing, food processing, and petrochemical industries are emerging industrial agglomerations in Gujarat which will probably lead to higher levels of urbanization [6].

Regarding rural dynamics, there is a significant influence of Mahatma Gandhi's concept of Gram Swaraj, which emphasizes self-governance and self-sufficiency in rural areas, as he spent a considerable portion of his life in Rajkot, Gujarat, where his principles hold great value. His influence has helped to empower rural communities, increase self-sufficiency, preserve knowledge, and encourage balanced development. The latter incorporation can be observed by the nature of the development initiatives being promoted, including the following: emphasizing decentralized government through the strengthening of local governance structures, such as Gram Panchayats (village-level councils) and Ward committees for ensuring community participation; participatory development of local communities in infrastructure planning, sanitation campaigns, and community-driven initiatives; rural development initiatives including livelihood promotion, education, and healthcare; and through the promotion of sustainable practices such as sustainable agriculture, environmental conservation and the use of renewable energy. Following this, Model Villages were developed with the collaboration of the government and non-profit organizations to transform selected villages into ideal development models in several aspects, such as infrastructure, sanitation, livelihood, education, and healthcare, to be replicated in other villages. These Model Villages are considered to be the micro embodiment of the concept of rural development applied in the local context. In the case of the Gujarat region, where Rajkot is located, the Punsari village in the north of the region is a recognized Model Village [7]. It is relevant in Rajkot's context as the Members of Parliament embrace the Model Village's rural development guidelines across the region through the Sansad Adarsh Gram Yojana (SAGY). The latter intends to transform villages into what is termed Model Villages or

Adarsh Grams, together with the framing of a developing model for replication in other villages. Each Member of Parliament will implement it. It is aimed to be developed three villages by the end of 2019 and another five by 2024 at the rate of one per year [8].

Gujarat has established several laws and initiatives to combat climate change issues and advance sustainable development. These encompass the creation of environmentally friendly transportation options, urban greening initiatives, and the development of renewable energy sources like wind and solar. The state of Gujarat has established its leadership through policies and programs tackling climate change challenges and simultaneously addressing sustainable development goals. It has implemented policies for developing wind and solar energy, introduced a bus rapid transit system, green credit scheme, and urban greening programs[3]. Rajkot Municipal Corporation (RMC), with deep-dive technical support from ICLEI South Asia, is working towards EV-ready buildings and electrification of intermediate public transport and is actively installing EV supply equipment[5]. The Aji water treatment plant's 145 kWp solar photovoltaic plant was implemented as a co-finance project during CapaCITIES phase I. Operational since the 8th of July 2018, the plant is being monitored through a monitoring, reporting, and verification framework, and its contribution towards reducing the consumption of grid-based energy is being measured. Since its commissioning, the plant has generated 682,740 units (kWh) of renewable energy that has prevented 546.19 tCo_{2e} of emissions. Following the project's successful operation, the Rajkot Municipal Corporation has scaled it up by adding a 250 kWp grid-connected solar PV system to the Raiyadhar wastewater treatment facility[9].

Overall, the Rajkot, Gujarat, rural-urban integration framework emphasizes the interconnectedness between rural and urban areas, the significance of sustainable development practices, and the promotion of renewable energy sources for a more balanced and environmentally friendly urbanization process.

Population growth in the city and surrounding areas suggests a general increase in density. As a result, the demand for energy supply increases. It is, therefore, necessary to implement shared projects with surrounding municipalities or cities to cope with this increase. It appears from the analysis that the quantitative and qualitative results are aligned. The quantitative results suggest that density is increasing, and the qualitative results show projects (in the energy field) to cope with the increased pressure of the growing population.

Overall, the influence of migration flow from rural to urban areas on the significant levels of urbanization in Gujarat suggests a flow of population and resources between these two areas. On one side, growing densification is decreasing the GHG emissions impacts due to land use. Still, on the other, considering the rapid rate of urbanization, there is an urgent need to provide the correspondent infrastructure to cope with the increased pressure. Green infrastructure and sustainable forms of energy can play a significant role in the sustainable development of functional urban areas such as the emerging industrial clusters mentioned above. In addition, implementing the SAGY guidelines, together with green infrastructure and energy in both rural and emerging sub-urban areas, can have a positive impact in reducing the ecological impacts and GHG emissions. At the same time, employment opportunities and economic linkages between urban and rural sectors evolve. Finally, the Model Villages and SAGY reflect the current intention and attempt to bridge the urban-rural divide gap.

C.3.4 Sustainable transport (interfaces: transport infrastructure & governance)

C.3.4.1 Results from the quantitative approach

In the less populous and smaller city of Rajkot, two-wheelers also have a high modal share (35%). However, walking is the most used form of mobility at 38%. The car (2%) and the bus (3%) do not have large modal shares. At 1.4 trips/person/day, they have a similar value to Nagpur, but these are significantly shorter at 3.5km (Nagpur 7.6km). On the other hand, the electrification of two- and three-wheelers would be most noticeable in the Indian and Philippine cities. Despite an electricity grid with a low share of renewables, Indian cities show the highest emission savings in 2- and 3-wheeler electrification, at 6.7% (Rajkot) and 6.2% (Nagpur). The high emission factor of the power grid in India resulted in a 0.1 to 0.3% increase in emissions when the public bus fleet is electrified. For the Indian cities, the high modal share of 2- and 3-wheelers is expected to increase. The measure to reduce average travel length has the highest mitigation potential emissions savings compared to the baseline. Rajkot has the lowest saving potential of the cities at 34.5%.

In terms of transport infrastructure, Rajkot is currently considering proposals for road widening, incorporation of pedestrian footpaths, and other road infrastructure facilities. The city has already started constructing a Bus Rapid Transit (BRT) system using Jawaharlal Nehru National Urban Renewal Mission (JnNURM) funding, and 10.7 km of the system is operational.

Jobs have spread out with residential sprawl, so the overall trip lengths are relatively short. However, the city is rapidly expanding in all directions with very little transport infrastructure in peripheral areas. Moreover, many trips (around half), use Non-Motorized Transport (NMT) modes. On the upside, footpaths are present on all major roads. However, in most areas, the footpaths are less than 1.5 meters wide, and walking is often difficult due to the encroachment of motorized vehicles. While Rajkot has a dedicated cycle lane on one stretch along the BRT corridor, bicycle use is difficult on most other city roads. BRT is the only public transit system in the city, as there is currently no city bus service. As in most other Indian cities, the two-wheeled motorcycle is the most preferred mode, and the share of trips made by car is comparatively low. The city's average trip length, including walking trips, is approximately 3.8 km.

The UNEP (United Nations Environmental Program), together with the CEPT (Center for Environmental Planning and Technology) University, have developed a Low-Carbon Comprehensive Mobility Plan for Rajkot (LCMP) facing the year 2031. In this LCMP for Rajkot, two urban development scenarios were analyzed, the Business As Usual (BAU) and the Sustainable Urban Transport Scenario (SS). In the BAU scenario, it is assumed that urban development will follow past trends with no change in urban development policy. In this scenario, by 2031, the modal share for NMT would drop to less than 30%, and if the planned public transport system becomes operational, 14% of trips will be made by public transport. The SS scenario relies on four broad strategies to achieve lower CO₂ emissions, improved mobility, accessibility, safety, and environmental quality, namely land use, NMT, public transport, and improved technology[7].

Assessment and plan for ensuring last-mile connectivity along the BRT stretch, including pre-feasibility of potential electrification of the corridor: The study explored the feasibility of improving ridership and sustainability of the existing 10.7 km BRT corridor by improving its accessibility[10].

C.3.4.2 Assessment

The quantitative data show that the transport modes shown are all short-distance, which could mean a greater focus on developing transport within the city than in the surrounding areas. Qualitative research has shown projects to increase bus connections in urban-rural connections. However, these projects are still in their infancy, and the scope of the network is limited. Overall, the quantitative and qualitative results are consistent with the idea that there is still an opportunity to improve urban transport infrastructure and connectivity with peripheral areas in Nagpur. In particular, the focus should be on increasing the options for long-distance transport.

C.3.5 Sustainable construction (interfaces: sustainable building materials & circular waste system)

C.3.5.1 Results from the quantitative approach

The quantitative findings from WP2 for India refer to Mumbai and Bangalore. Therefore no compositions can be given for Rajkot and Nagpur. The construction of an average building in Bangalore consumes 16.7 tons of building materials, the lowest of all cities. Stone, steel, and wood are the most commonly used materials in Bangalore. In Mumbai, it is concrete, steel, and sand. A distinction between single and multi-family houses could not be made for the Indian cities due to a lack of data. The what-if analysis in sustainable construction involved calculating two scenarios to quantify the emission-saving potential of timber in construction: substituting 5- and 15-% of construction material with timber. With a 5% increase in the use of wood as a building material, the potential savings range between 1.6 and 3.2%. Indian cities such as Rajkot have only slightly higher potential (1.6%). With a 15% increase in substituting conventional building materials with sustainably managed wood, the GHG savings range between 5 and 9.5%. The two Indian cities have increased their GHG savings by 5%, whereby the two cities have the lowest savings potentials of the six.

C.3.5.2 Qualitative findings from the application of the rural-urban integration framework

In India, residential buildings have the highest contribution to GHG emissions (33%), followed by the transportation sector (27%), manufacturing industries and construction (17%), waste sector (13%), and commercial and institutional buildings/ facilities sector (10%). The RMC is incorporating green building concepts in terms of building design, orientation, and use of green building materials in all of its affordable housing projects. The choice of building materials is important in sustainable design because of the extensive network of activities such as extraction, processing, and transportation steps required for making a material, and activities involved thereafter till building construction and even thereafter. These activities may pollute the air, soil, and water, destroy natural habitats, and deplete natural resources. One of the most effective strategies for minimizing the environmental impacts of material usage is to reuse existing buildings. Rehabilitation of existing building stock reduces the volume of solid waste generated

and its subsequent diversion to landfills and the environmental impacts associated with the production, delivery, and use or installation of new building materials. However, using sustainable building materials is one of the best strategies for pursuing sustainable buildings.

An ideal sustainable building material is not only environment-friendly but also causes no adverse impact on the health of occupants, is readily available, can be reclaimed and recycled, and is not only made from renewable raw materials but also uses predominantly renewable energy in its extraction, production, transportation, fixing and ultimate disposal. Examples of new/alternative materials include ferrocement, decorative concrete, polymer concrete, micro-concrete repair materials, dry-mix mortar, non-shrink grout, optical fibers, special materials for bankers/blast-resistant structures, artificial stones used in the restoration of heritage structures, nanotechnology-based advanced materials, aluminum composite panels, vermiculate based boards, exfoliated perlite, geopolymer cement, pervious concrete, OPVC doors and windows, stainless steel insulated water tanks[11]. The fast-developing city has an urban fabric of mainly high-density low-rise construction (ground + one floor).

Rajkot is an industrial town with numerous small-scale industrial units. The city can be divided into five areas based on its urban fabric and type of development. The core of Rajkot City follows a typical pre-colonial period development with attached buildings, narrow streets, and high residential and commercial density. To the west of the core city area (Rajkot West) is the most affluent area in the city of Rajkot, with a good road network and civic amenities (along Kalavad Road and Raiya Road). There is a mixed-income population in the northern part of the city, and the quality of infrastructure and amenities is slightly lower than in Rajkot West. Rajkot also has two distinct industrial areas, and the residential development around these areas mainly comprises slums. Due to the fact that the development of the slums is organic, the mixing of land use is diverse, but the provision of civic amenities like public green spaces, etc., is inadequate and insufficient. The government of India's policy of improving accessibility is to use mixed-used high-density development along the transit line. Planners should aim at providing good and equitable infrastructure across the city, which, in the end, will rationalize the land values. These values might seem discouraging for low-cost housing, but as the impacts are substantial, part of the impact fee collected could be offset as housing provided by the state[12].

The preparation of an Integrated Solid Waste Management Action Plan for RMC for a 20-year planning horizon includes a baseline assessment and analysis to develop a comprehensive implementation/action plan that considers the impact of waste management technology choices on greenhouse gas emissions from the waste sector to ensure climate-sensitive solid waste management in the city[13].

Sustainable resourcing and disposal of building materials are methods designed to reduce the environmental impact of the extraction, production, transportation, use, and disposal of building materials. It entails using sustainable practices for all stages of the lifecycle of construction materials. The followings are some recommendations and key aspects of sustainable resourcing and disposal of construction materials:

- ▶ **Resource Efficiency:** To prioritize resource conservation is the first step in sustainable construction. This involves optimizing the use of materials, cutting back on waste production, and minimizing the use of natural resources. Resource efficiency can be

maximized by applying recycling or recovered material approaches, modular construction methods, and lean construction techniques.

- ▶ **Sustainable Material Selection:** Selecting environmentally friendly and sustainable materials is vital. This means using locally sourced materials to minimize the effects of transportation and materials with low embodied energy, such as those manufactured using renewable energy sources. Additionally, considering the materials' life cycle assessment (LCA) can be useful in determining the overall environmental impact.
- ▶ **Recycling and Reusing:** It is recommended to separate construction materials on-site. For this, it is necessary to establish recycling facilities and encourage alliances with recycling facilities.
- ▶ **Circular Economy Approach:** To design for deconstruction and encouraging the reuse and recycling of building materials are also aspects of the circular economy concept. This entails using easily recyclable and demountable components, putting in place reverse logistics systems to recover and recycle materials, and developing markets for rescued goods.
- ▶ **Disposal Techniques:** In the case of materials that cannot be reused or recycled, disposal techniques should be employed. This involves transferring waste to licensed landfills or waste-to-energy facilities that give non-recyclable material energy recovery priority.
- ▶ **Monitoring and Certification:** Implementing monitoring systems and earning certifications such as LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) or BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) can help guarantee adherence to sustainable construction principles.

C.3.5.3 Assessment

The quantitative results support that the use of sustainable building materials in the case of Rajkot has the potential to lower GHG emissions. The qualitative research showed that there is already a high density of buildings in Rajkot. The government intends to use the transport network to guide future densification. If these arterial roads include linkages to surrounding rural areas and satellite cities, then it could also encourage increases in density outside of the city.

C.3.6 Summary and list of recommended actions

Based on the qualitative and quantitative analysis, a list of policy recommendations for strengthening urban-rural linkages in Rajkot City is provided below:

1. Promote sustainable construction practices through the establishment of regulatory frameworks and incentives.

There are no policies for the maintenance and availability of data on domestic and industrial wastewater in Rajkot. There is a need to develop a policy mandate for transparency and availability of data on waste and wastewater generation, treatment, and discharge of wastewater for the industrial sector in addition to 100% closed and

underground sewerage collection network coverage of rural areas and urban areas of the district.

2. Promote collaboration among local governments to implement proactive resource management strategies.

Improve the city of Rajkot, the governance of village-level institutions through capacity building, and implement a decentralized district planning program with greater district autonomy

3. Develop comprehensive and multi-modal integrated transport networks effectively connecting rural and urban areas.

Ensure good land use blending to improve accessibility to amenities using high-density mixed-use development along the transit line

C.3.7 References

- [1] Census of India 2011 - Rural Urban Distribution of population (Provisional Population Totals), Dr C. Chandramouli Registrar General & Census Commissioner, India Ministry of Home Affairs, New Delhi, 15th July 2011
- [2] Chen, Z., Korsepatil, N., Makvana, A., Chaturvedula, S., Kumar, E., Hickman, B., Mohanty, P., & Riahi, L. (2021). District energy in cities initiative: Rapid assessments of five Indian cities - Rajkot.
- [3] Multilevel governance for local climate action. Examining multilevel climate governance in the Indian cities of Rajkot, Thane and Nagpur, IIIIEE, Ramya Mandyam Anandampillai, Lund University, Sweden 2020
- [4] Kotharkar, Rajashree; Pallapu, Anusha Vaddiraj; Bahadure, Pankaj (2019). Urban Cluster–Based Sustainability Assessment of an Indian City: Case of Nagpur. *Journal of Urban Planning and Development*, 145(4).
- [5] National Commission to review the working of the Constitution. *A Consultation Paper on Decentralization and Municipalities*, New Delhi, September 26, 2001, <https://legalliaffairs.gov.in/sites/default/files/Decentralization%20and%20Municipalities.pdf>
- [6] Roy AK and Saha M (2023) Emerging trend and pattern of urbanization and its contribution from migration in Gujarat: Evidence from district level analysis. *Front. Sustain. Cities* 5:985278. doi: 10.3389/frsc.2023.985278
- [7] Bhattacharyya, S., Burman, R. R., Sharma, J. P., Padaria, R. N., Paul, S., & Singh, A. K. (2018). Model Villages Led Rural Development: A Review of Conceptual Framework and Development Indicators. *Journal of Community Mobilization and Sustainable Development*, Vol. 13(3), 513-526
- [8] Kumar, G. (2017). The prospect of Co-ordinated co-operatives in India's newly launched SAGY: A concept model village to develop rural India. *International Journal of Advanced Science and Research*, 2(3), 82-90. Retrieved from www.allsciencejournal.com
- [9] Climate Mainstreaming: SDC Delegation Visits Rajkot's E-Bus Depot, Solar Plant, Iclei South Asia, 13 march 2023, <https://southasia.iclei.org/news/climate-mainstreaming-sdc-delegation-visits-rajkots-e-bus-depot-solar-plant/>
- [10] United Nations Environment Programme, *Low-carbon comprehensive mobility plan for Rajkot: sustainable mobility with lower emissions*, Reports, Books and Booklets, 2012, <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/31378/Rajkot.pdf?sequence=1>

- [11] Nation Building Code 2016 of India,
https://www.academia.edu/37343761/india_national_building_code_nbc_2016_vol_1_pdf
- [12] Talat Munshi, *Accessibility, Infrastructure Provision and Residential Land Value: Modeling the Relation Using Geographic Weighted Regression in the City of Rajkot, India*, UNEP-DTU Partnership, Department of Management Engineering, Technical University of Denmark, Marmorvej, Denmark 2020
- [13] Climate Resilient City Action Plan - Rajkot, 31 July 2018, CapaCITIES, https://www.capacitiesindia.org/wp-content/uploads/2020/10/CRCAP_Rajkot_July-2018.pdf
- [14] Éric Denis, *Depicting strongly growing urban areas in the Global South. Positioning according to works on Asian cities expansion*, *L'Espace géographique* (English Edition) , Vol. 44, No. 4 (October-November- December 2015), pp. 1-18
- [15] Anjali Mahendram, Karen Seto, *Upward and Outward Growth: Managing Urban Expansion for More Equitable Cities in the Global South*, World Resources Institute, 2019 https://files.wri.org/d8/s3fs-public/upward-outward-growth_2.pdf

C.4 Case study: City of Nagpur, India

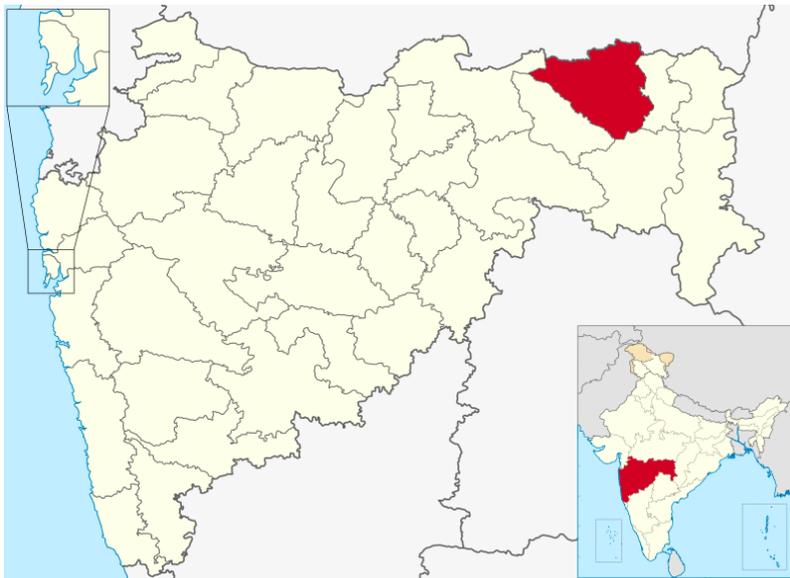
C.4.1 City profile

Population: 3,047,00 in 2023, a 1.87% increase from 2022 (Macrotrends)

Location: Nagpur, often called the heart of India, is at the country's geographical center. Due to its strategic location, it is recognized as a major commercial and political center of the Vidarbha region of Maharashtra. It is known in India as the “City of Oranges” because of the large production of oranges in the region. The name Nagpur is derived from the Nag River, which flows through the city. The peripheral areas of Nagpur are home to various industries such as chemicals, cement, electrical, electronics, textile, ceramics, pharmaceuticals, food processing, wood, and paper-based industries. These contribute to the city's economy and support local economic development.

Climate: Nagpur has a tropical climate with dry weather for most of the year. The climate of Nagpur follows a typical seasonal monsoon weather pattern. Around 90% of total rainfall happens during the June to September period. The highest rainfall is reported in the month of July[20]. For 2017-18, Nagpur's total GHG emissions stand at 3.03 million tonnes of carbon dioxide equivalent (tCO₂ e), which translates to average per capita GHG emissions of 1.13 tCO₂ e. The Climate Resilient City Action Plan (2021-25) proposed actions with an annual GHG emission mitigation potential of 20% by 2025-26 over the 2017-18 baseline.

Figure 16: Map of Maharashtra region in India



Source: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nagpur_in_Maharashtra_%28India%29.svg and Thapa, K., Sukhwani, V., Harshitha, N., Deshkar, S., Mitra, B.K., Shaw, R. and Yan, W. 2020. Building Resilient Cities through Urban-Rural Partnership, Applying Regional-Circular & Ecological Sphere (R-CES) perspectives in Nagpur, India: VNIT. pp 25.

C.4.2 Multi-level and horizontal governance structures

Briefly describe the governance structure of the country in which the city is located. What competencies relevant to urban planning are held at what level of government?

The Indian government is federal. It contains some of the features of the Unitary Government. India has three levels of government: national, state, and local. There has been a trend towards devolution of union and state power to local government. The three-tier system is divided into:

- ▶ Central Government handles the issues of the entire country and is responsible for foreign matters
- ▶ State Government handles the issues and affairs of the given state in India
- ▶ Panchayati Raj handles issues within villages and rural areas, and Municipalities have local governments in districts and towns

There are quite a few challenges that the three-tier system of government faces: it includes overlapping jurisdictions, concurrent lists, residuary powers, and grass-roots levels. In India, the urban unit (or town) is defined as all places with a municipality, corporation, cantonment board or notified town area committee, etc. (known as Statutory Town) and all other places which satisfied the following criteria (known as Census Town):

- ▶ a minimum population of 5,000
- ▶ at least 75 percent of the main male workers engaged in non-agricultural pursuits
- ▶ a density of population of at least 400 per sq. km

All areas which are not categorized as urban areas are considered rural areas. The number of Rural Units (or Villages) in India by the Census 2011 is 6,40,867 [1].

Nagpur is the third largest city in the state of Maharashtra after Mumbai and Pune and is the largest city in central India. Nagpur is also being developed as a Smart City under the Government of India Smart City program. Nagpur is the country's geographical center and is the region's major trade center and is well connected. The city is now among the fastest-growing cities in India and is rapidly emerging as a commercial, retailing, and logistic hub[20]. Nagpur is administered by the Nagpur Municipal Corporation (NMC) since March 1951, which is the city's democratically elected civic governing body and the primary agency responsible for its urban governance. NMC is the only corporation in the district with a jurisdictional area of about 227.38 sq. km and is divided into 136 administrative wards. These 136 wards fall under 10 administrative zones. The administrative head of the Corporation is the Municipal Commissioner supported by Addl. Commissioner, along with the Deputy Municipal Commissioners, carries out various activities related to engineering, health and sanitation, taxation, and its recovery. Its zonal offices administer the activities of NMC. There are 10 zonal offices in Nagpur – Laxmi Nagar, Dharampeth, Hanuman Nagar, Dhantoli, Nehru Nagar, Gandhi Baugh, Sataranjipura, Lakkadganj, Ashi Nagar, and Mangalwari. The Nagpur Improvement Trust (NIT) and Nagpur Metropolitan Region Development Authority (NMRDA) are the local planning authorities responsible for developing the larger metropolitan area, including Nagpur City and its surrounding areas[20]. NIT is responsible for carrying out developmental works to improve civic infrastructure across the metropolitan area and for new urban areas within NMC's jurisdiction. NIT ensures conformity of new building development with Development Control

Regulations (DCRs). In cases where NIT develops building layouts and schemes, it also oversees the planning and development of core civic functions such as water supply and construction of roads[2].

Parliament enacted the Constitution (74th Amendment) Act relating to municipalities in 1992. The Act provided the constitution of three types of Municipalities, i.e., Nagar Panchayats for areas in transition from rural areas to urban areas, Municipal Councils for smaller urban areas, and Municipal Corporations for large urban areas. Panchayats is the generic term used to describe rural local governments. Municipalities is the term associated with urban local bodies. The recognition and constitutional status of local governments have made it possible to meet the political, socio-economic, and cultural needs of citizens. Local governments govern the regional population of their respective units. The primary unit of government in rural and urban areas is constitutionally mandated local government bodies. Local governments are not only a branch of the central government but also provide a space to articulate the political demands of society. A form of cooperation between citizens and local government helps to provide better services, existing at the grassroots level in fact, they also have the responsibility to take care of people's daily needs, such as an adequate supply of water, sanitation, and electricity. Local governments are not necessarily limited to rural areas. The degree of participation in local government depends largely on how citizens participate in decision-making. The joint work of local and state governments can lead to better execution of policies and programs. To manage the haphazard growth of urban agglomeration outside the Nagpur city limits, the Government of Maharashtra created the Nagpur Metropolitan Area (NMA) in 1999. With the notified boundary, the NMA comprises nine tehsils or blocks, namely, Nagpur Rural, Hingna, Kamptee, Parshivni, Mauda, Saoner, Umred, Kalmeshwar, and Kuhl. The NMA further consists of 24 census towns and 726 villages within these blocks. As per Nagpur Metropolitan Area Development Plan, the NMA has a total population of 1,037,172 persons, 62 percent of whom are concentrated in rural areas. The region has consistently experienced a positive decadal growth rate in urban areas, especially in Saoner, Kamptee, and Mauda, due to the reclassification of rural areas into census towns. Moreover, due to its central location, Nagpur City continues to serve as the main economic and cultural center in the NMA. However, the urban and rural areas in the NMA are discreetly governed under separate administrative jurisdictions regarding planning and development [3].

The towns and cities in India have urban local bodies (municipal bodies) for administration and governance, which is a decentralized form of governance. Powers, as well as responsibilities, are assigned to these municipal bodies through the 74th Amendment Act of 1992, which is an amendment in the Constitution of India relating to the administration and governance of towns and cities. The urban local bodies with elected representatives have functions delegated to them by the state governments under municipal legislation. They are liable to provide public health, welfare, regulatory functions, public safety, public infrastructure works, and development activities (Ministry of Urban Development, Government of India 2017). For better governance, administration, and provision of services, Indian cities are divided into several zones, which are again subdivided into smaller units called wards (tracts). An elected member, through general elections, represents each ward. Each ward has one seat on the ward committee that administers the city (for taxation, service delivery, and so on). The population is the only criterion for forming a ward, and its delineation is based on the uniformity of population across wards (Government of Maharashtra 2013; Government of India 2014). The focus on

developmental activities and fund allocations are as per individual ward as the basic administrative unit. Depending on the total population of the city, the number of wards is decided and formed. Therefore, the number of councilors is a function of a city's population. As the city grows and population size changes, the number of wards and their delineation too change. Therefore, ward delineation is not based on built attributes or socioeconomic composition within the city. However, since the basis of the delineation of wards is only population, a lot of diversity exists in spatial structure as well as other nonphysical parameters, such as socioeconomic ones, within the wards [21].

C.4.3 Densification (interfaces: green infrastructures & energy)

C.4.3.1 Results from the quantitative approach

To assess the impact of land use change and densification on emissions, an urban scaling approach was used. It used an equation to calculate the impact of different populations or areas on emissions. Two different scenarios were then analyzed in which the area and population were changed. The first scenario (S1) represents urban sprawl due to the increase in population or area, and the second scenario (S2) examines the impact of population growth without urban expansion. The findings revealed that in both scenarios, emissions increase across all cities, although at a slightly slower rate in S2. It also revealed that if the population increases (S1), GHG emissions increase as well. With S2, on the other hand, the population grows, but the land area stays the same, leading to higher urban density and lower emissions compared to S1. The results for densification in already densely populated cities also show a low impact of land area on GHG emissions. This means that cities in the Global South are characterized by high urban density and the associated more efficient use of land. The already high urban density then leads to lower GHG emissions per capita.

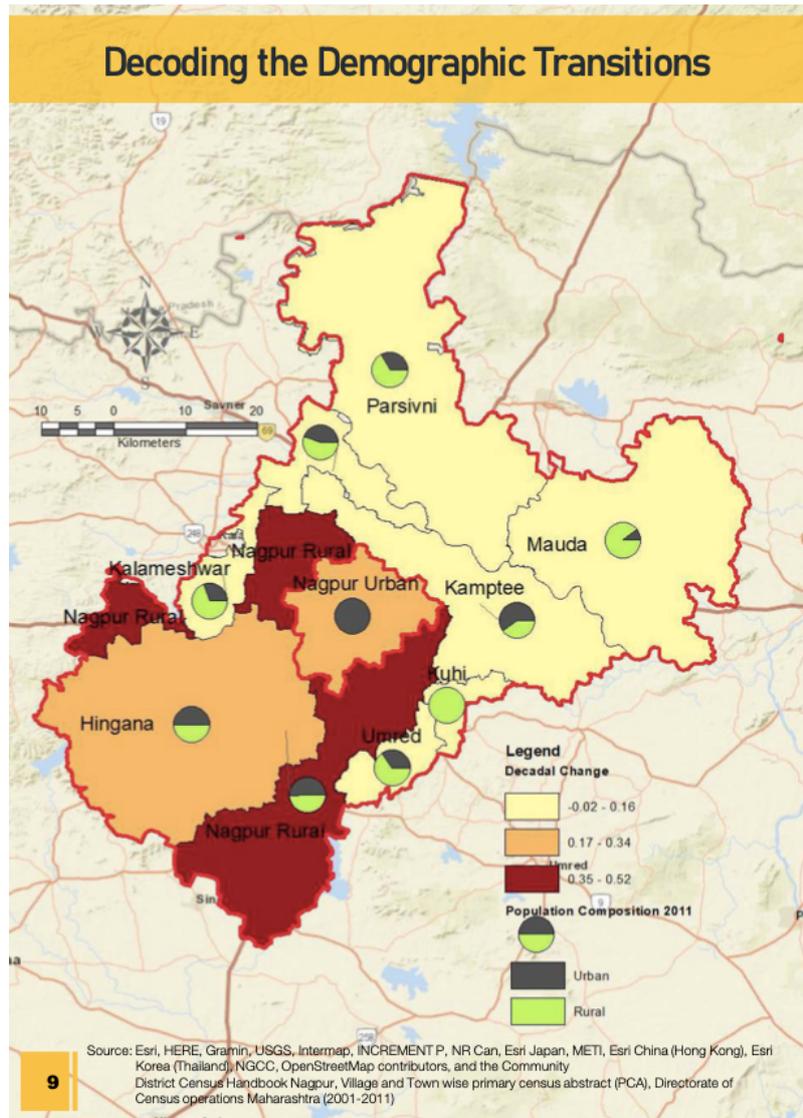
It was possible to illustrate the CO₂ effects of an increase in population or land area and, implicitly, urban density. If the population increases, without a reduction in the urban area, the city moves horizontally toward the next isoline, increasing CO₂ emissions. A common trend in population increase is the concomitant expansion of settlement area. In the case of Nagpur, the city moves vertically up the isoline, and emissions also increase. One of the parameters (area or population) must decrease for a reduction in emissions, and a reduction in area is considered more practical. If the urban population increases, the area must decrease so that the emissions do not increase. The city would move vertically downward. The German cities have the lowest population growth, followed by the Indian cities and the Philippine cities with the highest population growth.

C.4.3.2 Qualitative findings from the application of the rural-urban integration framework

The city has different types of segregated and mixed land use. The older areas have a vibrant mixed-use environment that has evolved over time. The Central Business District (CBD) and sub-CBD (stretching around the central core) are located along major interchanges, i.e., the train station, intercity and intra-city bus stations and have predominantly commercial land use. They represent an important interface between the eastern and western parts of the city. The inner city areas have high land values and rents and consist of a mix of commercial and residential development. The city of Nagpur is a monocentric city with the main commercial areas in the

center and a few sub-centers scattered around the city. Population density in the central areas is very high and lower in the peripheral suburban areas.

The Ministry of Rural Development (MRD) launched the Shyama Prasad Mukherji Rurban Mission (SPMRM) in 2016, identifying 300 clusters of 20 villages each across India with a population of between 25,000 and 50,000 in lowland and coastal areas and between 5,000 and 15,000 in desert, hill, or tribal areas. The goal of the Mission is to develop rural areas through the provision of economic, social and physical infrastructure. Thus, the Mission aims to develop 300 rural clusters which will impact Nagpur. These clusters have growth potential, are characterized by economic drivers and locational and competitive advantages. These "Rurban Villages" will be developed as economic hubs for skilled rural youth to find jobs near their villages. However, it is unclear how the supply of economic activity, skill development, and local entrepreneurship will lead to a demand for these skills in these rural clusters. Although these census towns have urban characteristics, they are administered by panchayats or rural councils. This allows these regions to benefit from state-funded rural development programs and be exempt from property taxes. It also remains to be seen how the Mission will integrate and draw synergies with existing programs, such as the Prime Minister's Rural Roads Program, Housing for All, the National Skill Development Corporation (a public-private partnership that aims to involve the private sector in the qualification of 150 million Indians by 2022), Skill India, and the National Rural Livelihoods Mission. Rural should not be seen as a replica of urban, but rather as an asset for creating a contextual future that is forward-looking, sustainable, livelihood-centered, and attentive to existing socioeconomic conditions.

Figure 17: Map “decoding the demographic transitions”

Source: Thapa, K., Sukhwani, V., Harshitha, N., Deshkar, S., Mitra, B.K., Shaw, R. and Yan, W. 2020. Building Resilient Cities through Urban-Rural Partnership, Applying Regional-Circular & Ecological Sphere (R-CES) perspectives in Nagpur, India: VNIT. pp 25.

It can be seen from the map that migration is concentrated mostly to the southwest. On the other hand, density is increasing, especially in the rural areas of Nagpur surrounding the city. In the areas experiencing the most significant population change, the percentage of urban-rural development is 50-50 or higher (urban). This population growth means more pressure on services, transportation networks, etc., in these areas.

Neighborhood One (NH1) Buldi: Buldi, a 150-year-old neighborhood, represents the central core, compact, organic, characterized by medium and high density, heritage, and retail market.

Neighborhood Two (NH2) Buddha Nagar is the CBD, the city center, compact, organic, with medium and high density.

Neighborhood Three (NH3): Aahuja Nagar is an administrative and residential area in the west, planned with low density.

Neighborhood Four (NH4) Kukreja Nagar is a growth center to the west with moderate density, low and medium height planned development (larger lots) with low and medium density development.

Neighborhood five (NH5) Kalpana Nagar is located north of Nagpur, along the ring road, and has moderate density, low to medium height planned development (smaller lots).

Neighborhood six (NH6) Shambhu Nagar and Dhobale Layout has had sprawling development in the southern fringe, in the former green zone with a partly planned and partly unplanned low height and low-density development pattern, without the entry of any commercial or other land use, where basic social and physical infrastructure is lacking [5].

Nagpur City has identified planning and enhancing biodiversity and green spaces as a key action in its low-emission development strategy. Therefore, the city has commenced a baseline assessment of its floral and faunal wealth and will develop a Local Biodiversity Strategy and Action Plan (LBSAP). The LBSAP will provide strategic guidance to the city government to achieve inclusive governance and support the effective management of biodiversity and ecosystem services [6]. The project Urban-LEDS II has supported the piloting of rainwater harvesting systems at two public schools, which have been equipped with smart sensors to monitor groundwater recharge and quality. The Urban-LEDS II project helped Nagpur in the development of a Local Biodiversity Strategy Action Plan along with a pilot-scale census and mapping of the city's trees, the creation of a city-wide Natural Asset Map, and the preparation of a pictorial tree handbook.

C.4.3.3 Assessment

Neighborhood-level policies should be an integral part of urban planning and should vary according to neighborhood location. NH1 has an overload of physical and social infrastructure. It lacks open space, natural light, and ventilation. The main problem is noise and air pollution caused by the floating population. A major problem is NH6, which lacks basic infrastructure such as municipal water supply, sewer lines, and street lighting. NH6 also lacks social infrastructure such as health, educational and recreational facilities, making it more vulnerable to anti-social activities such as crime and theft. Although these areas have many open spaces due to vacant lots, there is a lack of quality green or community spaces [7].

C.4.4 Sustainable transport (interfaces: transport infrastructure & governance)

C.4.4.1 Results from the quantitative approach

Please provide a synopsis of the main findings of the quantitative approach in WP2 for the case city in the field of Sustainable Transport

The car has only a small share of 5.7% in Nagpur's transport system. Two-wheelers have the largest share, with 42.6%, followed by auto-rickshaws, with 19.8%. Active transport (walking and cycling) is less pronounced than in German cities at 15.9%. Public transport consists mainly of different types of buses (school bus, minibus, regular bus, chartered bus) and also characterizes the transport network with 15.5%. On average, the population in Nagpur travels 1.3 trips/person/day with an average length of 9.3 km. In Nagpur, a modal shift has a potential of only 0.4%. Electrification of two and three-wheelers would have a significant effect in the

Indian cities (Rajkot 6,7%, Nagpur 6,2%). Despite an electricity grid with a low share of renewables, Indian cities show the highest emission savings in 2- and 3-wheeler electrification, at 6.7% (Rajkot) and 6.2% (Nagpur). The high emission factor of the power grid in India resulted in a 0.1 to 0.3% increase in emissions when the public bus fleet is electrified. The number of registered cars in the city of Nagpur increased between 2014 and 2017 by 71%, whereas the population increased by 10%. For the Indian case study cities, the high modal share of 2- and 3-wheelers is expected to increase.

C.4.4.2 Qualitative findings from the application of the rural-urban integration framework

The growth of Nagpur city is mainly due to the presence of industries and the MIHAN Cargo Hub in the transition area between Nagpur city and Hingna tahsil. The Maharashtra State Highway, which passes directly through the Hingna tahsil, and National Highways 6 and 7, which is the broad gauge railway line that passes in close proximity to the tahsil, promote rural-urban interactions. The city of Nagpur largely receives agricultural products, including cotton, soybean, ragi, jowar, and gram, followed by toor and wheat, and industrial labor from Hingna. The concentration of towns in Hingna Tahsil near the Nagpur city limits indicates that the rural-urban boundaries of Hingna Tahsil and Nagpur city foster significant interchanges. The relatively short commute, which was not a problem during the pre-pandemic situation but was an essential part of their day-to-day lives, saw a drastic change during the pandemic with the implementation of lockdowns during which the movement of individuals from their homes was limited. As the villages were overly dependent on the urban areas for medical facilities as well as for employment and to sell their produce, the implementation of lockdowns had exponential effects on the losses that were incurred. During the COVID-19 pandemic, it was found that direct access to transportation options, such as buses and other para-transportation options, was available in less than 35 percent of villages, meaning that private transportation options had to be used to reach cities or towns. It was observed that about 30 percent of villages required residents to travel more than 10 km to go to work, to access health care or to reach market intermediaries, and so on. Since there were no intermediate service stations, residents had to directly access the urban borders [8]. Many of the roads have been developed as a part of the integrated road development project (IRDP). IRDP has revolutionized the roads in the city, which now enjoy an excellent status, in terms of both coverage and quality [9].

Mumbai to Nagpur in just 8 hours via a new super expressway called the Maharashtra Samruddhi Mahamarg, a super communication expressway, is expected to be ready by the end of 2020. One of the major highlights of the expressway project is that it is a greenfield project which is built from scratch without removing any existing structure. The super communication expressway will reduce the Mumbai and Nagpur journey time to 8 hours, Mumbai to Aurangabad to 4 hours, and Aurangabad to Nagpur to 4 hours. Nagpur station is a junction station, catering to North-South & East-West streams of traffic, with a passenger route of 988.336 km and a Goods Traffic route of 176.912 km. It caters to nearly 94,962 passengers daily, which has a significant economic impact.

As per the city's 2019 data, the total length of roads maintained by ULB is about 2950 km. Nagpur's internal road network is robust in terms of quality and connectivity. There are two ring roads, the inner and outer ring roads, which justify the city's radial growth. As per the Comprehensive Mobility Plan (CMP), most roads (almost 80%) have footpaths, but these are unsuitable for pedestrians due to encroachments. Further, the lack of dedicated cycle tracks and

pedestrian crossings, and unauthorized parking, add to the congestion. Nagpur has a bus-based public transport system with a fleet size of 470 buses of varying capacities. The public transport system was managed and operated by MSRTC in Nagpur until 2007. Public transport has good coverage, in almost all the areas of the city. The total fleet in operation consists of 254 buses, which means the operational efficiency of public transport is only 54%.

C.4.4.3 Assessment

Problems with the current institutional set-up include the lack of clear separation between planning and implementing bodies in addition to the lack of coordination among all urban transportation departments. This results in most departments related to urban transport not functioning coherently. Road projects are being implemented in isolation from other projects that should be an integral part of road development, such as trails, bike paths, pedestrian facilities, etc. There is also limited regulation on the proliferation of IPT (Intermediate Public Transit, the vehicles used on hire for short-distance trips that do not have a fixed route or a pre-defined schedule) modes in the city, which consequently lead to problems of congestion and competition with buses for passengers. There are also problems with the operation of public transportation due to poor planning of routes and services. Finally, there is no dedicated organization in charge of long-term urban transportation planning for the city [11].

C.4.5 Sustainable construction (interfaces: sustainable building materials & circular waste system)

C.4.5.1 Results from the quantitative approach

The material compositions in India refer to Mumbai and Bangalore, therefore no compositions can be given for Rajkot and Nagpur. The construction of an average building in Bangalore consumes 16.7 tons of building materials, which is the lowest of all cities. Stone, steel, and wood are the most commonly used materials in Bangalore. In Mumbai, it is concrete, steel, and sand. A distinction between single and multi-family houses could not be made for the Indian cities due to a lack of data.

C.4.5.2 Qualitative findings from the application of the rural-urban integration framework

Please describe the main findings of your desk research in the field of Sustainable Construction

Smart street lighting is a cost-effective solution in an urban environment that comprises advanced wireless communication techniques, low-cost LED lights and additional sensors which control the intensity of light. This new system has high cost and energy savings over the conventional switching ON-OFF method. **The smart lighting system in Nagpur smart city** where one of the goals was to reduce the carbon footprint by reducing energy consumption. This was achieved by replacing the outdated 320 street luminaries and integrating additional 63 LED lights with motion-detection smart lighting systems. The deployed intelligent street lighting system of Nagpur smart city has drastically reduced energy consumption by approximately 55 % per month, while maintaining the lighting norms for pedestrians and vehicles [12].

Nagpur city had successfully implemented energy-efficient improvements in the design of its upcoming affordable housing buildings, energy benchmarking and audits of different building typologies, and had prepared guidelines to promote the adoption of climate-responsive homes

under the **Building Energy Accelerator (BEA) project (2018-2020)**. The Building Efficiency Accelerator (BEA) partnership is one of 6 Accelerators launched in 2015 at the Climate Summit, focusing on subnational action. The program is designed to support city action through the strong capabilities and presence of public-private collaboration. Partners like ICLEI, GBPN, and the World Green Building Council, provide a broad set of technical competencies ranging from building design to equipment options to retrofit experience. In Phase II (2018-2020), the BEA scaled from 30 to 60 cities. Its objective was to close the gap between inefficient and best practices by linking private sector market implementation experience with local policy action and capacity building. It supported the rapid scaling up of energy-efficient new and existing buildings, worked with cities and subnational governments in their pursuit of building efficiency improvements, and connected national and subnational governments in increasing the ambition and impact of building efficiency [13].

The city continues to advance its goals and actions on the decarbonization of buildings under the **‘Zero Carbon Buildings Accelerator’ (ZCBA) project**, which builds on the ambitions and outcomes of the BEA program. The ZCBA project was launched by WRI in 2021 and is supported by the Global Environment Facility and United Nations Environment Programme. ICLEI South Asia is a regional partner of ZCBA and has been working closely with the NSSCDCL and NMC to develop a Zero Carbon Buildings Action Plan for Nagpur. Nagpur received deep-dive support in 2019 for energy benchmarking and audits to identify potential energy savings in existing public and private buildings, as well as for the development of locally tailored low-carbon building design recommendations and guidelines for municipal affordable housing. After performing a citywide greenhouse gas emissions inventory, Nagpur found that its buildings sector, comprising residential, commercial, and public buildings, is still a major energy consumer and driver of the city’s carbon emissions. Recently committing to the Race to Zero, the city will need to transform its building sector to achieve its climate goals. Nagpur plans to identify the actions it needs to enable deep carbon reduction in its buildings through alignment with national and subnational policies and building codes like ECO-Niwas Samhita (the energy conservation building code for residential buildings) and the promotion of efficiency and decarbonization at every stage of the building lifecycle [13].

The total daily waste generated in Nagpur is approximately 1,200 MT/ day for 2019-20. Nagpur is called the Bin-Free city as previous administrative heads eradicated bins because of the adverse effect on health and liveability. NMC contracts with a private entity responsible for door-to-door waste collection and transportation. The entire vehicle fleet has separate compartments for dry, wet, hazardous waste, etc., that ensure segregated waste collection. At present, 20% of waste is being segregated in Nagpur. Although there are no bye-laws mandating waste segregation for households, NMC has been creating awareness among people regarding waste segregation at source through citywide awareness programs under the Swachh Bharat Scheme. However, despite all efforts, the problem of waste segregation at the source persists [2].

C.4.5.3 Assessment

Starting from the lack of quantitative information, it became clear that many cities in the South do not have comprehensive databases of spatial data. When conducted, most urban remote sensing studies use optical data. Radar remote sensing offers a unique advantage over optical data because it can characterize the three-dimensional structure of the terrain. Qualitative analyses revealed that Nagpur City has been committed to waste management and has long

made efforts to reduce energy consumption in municipal services, particularly street lighting, which is the second highest energy-consuming sector in municipal services. This is accompanied by projects to support energy efficiency improvements and decarbonization of buildings.

C.4.6 Summary and list of recommended actions

Based on the qualitative and quantitative analysis, a list of policy recommendations for strengthening urban-rural linkages in Nagpur City is provided below:

1. Implement benefit-sharing mechanisms to strengthen urban-rural linkages

In its low-emission development strategy, the city of Nagpur has identified planning and enhancing biodiversity and green spaces as a key action. This is also related to the presence of public open spaces (POS) that often do not encourage sustainable practices that include the use of renewable energy resources.

2. Increase the use of civic technologies to gather information and regulate urban expansion

Focus on coordinated development of small and intermediate towns in Nagpur so as to improve urban-rural connections and also localize the flow of people. Decentralization to the local level for resource management could be used to achieve effective development transitions. The capacity of intermediate cities to act as response and coordination nodes could be developed. These cities can also be developed as commercial and educational centers with markets and recreational facilities. These nodes not only act as service intermediaries but also create job opportunities that lead to less pressure on primary cities, thus alleviating urban poverty.

3. Develop comprehensive and multi-modal integrated transport networks effectively connecting rural and urban areas

Considering the increase of IPT (Intermediate Public Transit) causing congestion problems and competition with public transportation in Nagpur city, one of the strategic points concerns efficient route planning. This can be ensured through improved flow of data and the creation of alliances among private, public, and community stakeholders so as to increase integrated transportation systems.

4. Develop/Strengthen multi-level governance processes

Increase collaboration and coordination between local governments and surrounding local, regional, and national government actors, particularly in Nagpur city where there is a lack of separation between implementing and planning bodies

C.4.7 References

- [1] Census of India 2011 - Rural Urban Distribution of population (Provisional Population Totals), Dr C. Chandramouli Registrar General & Census Commissioner, India Ministry of Home Affairs, New Delhi, 15th July 2011
- [2] Climate Resilient City Action Plan - Nagpur, ICLEI South Asia, November 2021
- [3] Kamakshi Thapa & Vibhas Sukhwani & Sameer Deshkar & Rajib Shaw & Bijon Kumer Mitra, 2020. Strengthening Urban-Rural Resource Flow through Regional Circular and Ecological Sphere (R-CES) Approach in Nagpur, India, Sustainability, MDPI, vol. 12 (20), pages 1-18, October.

- [4] City Development Plan for Nagpur City – 2041 (Final Report), Supported under Capacity Building for Urban Development project (CBUD) A Joint Partnership Program between Ministry of Urban Development, Government of India and The World Bank, March 2015
- [5] India Sarika Bahadure and Rajashree Kotharkar, Social Sustainability and Mixed Landuse, Case Study of Neighborhoods in Nagpur, Bonfring International Journal of Industrial Engineering and Management Science, Vol. 2, No. 4, December 2012, <http://www.journal.bonfring.org/papers/iems/volume2/BIJ-002-1744.pdf>
- [6] Urban-LEDS II cities continue progress on climate planning, commence implementation of climate-resilient actions, ICLEI South Asia, 24 May, 2020 <https://southasia.iclei.org/news/urban-leds-ii-cities-continue-progress-on-climate-planning-commence-implementation-of-climate-resilient-actions-2/>
- [7] India Sarika Bahadure and Rajashree Kotharkar, *Social Sustainability and Mixed Landuse, Case Study of Neighborhoods in Nagpur*, Bonfring International Journal of Industrial Engineering and Management Science, Vol. 2, No. 4, December 2012, <http://www.journal.bonfring.org/papers/iems/volume2/BIJ-002-1744.pdf>]
- [8] Applying Circulating and Ecological Sphere (CES) Concept for Post-Pandemic Development: A Case of Hingna Tahsil, Nagpur (India) Joshi, Shreya; Morey, Bhumika; Deshkar, Sameer; Bijon Kumer Mitra. Sustainability; Basel Vol. 14, Fasc. 15, (2022)
- [9] City Development Plan for Nagpur City – 2041 (Final Report), Supported under Capacity Building for Urban Development project (CBUD) A Joint Partnership Program between Ministry of Urban Development, Government of India and The World Bank, March 2015
- [10] Environment Status Report: Nagpur City 2019-20, CSIR- National Environmental Engineering Research Institute, Nagpur
- [11] Comprehensive Mobility Plan for Nagpur –Draft Final Report, Nagpur Improvement Trust (NIT), p. 189 https://www.nitnagpur.org/pdf/Nagpur_CMP_Draft_Final_Report.pdf
- [12] R. Prasad, Energy Efficient Smart Street Lighting System in Nagpur Smart City using IoT-A Case Study, 2020 Fifth International Conference on Fog and Mobile Edge Computing (FMEC), Paris, France, 2020, pp. 100-103
- [13] Building Efficiency Accelerator , Global Climate Action Nazca, <https://climateaction.unfccc.int/Initiatives?id=95>
- Building Efficiency Accelerator, june 30, 2022, <https://buildingefficiencyaccelerator.org/news/6-cities-and-local-governments-accelerating-zero-carbon-buildings/>
- [14] Thapa, K., Sukhwani, V., Harshitha, N., Deshkar, S., Mitra, B.K., Shaw, R. and Yan, W. 2020. Building Resilient Cities through Urban-Rural Partnership, Applying Regional-Circular & Ecological Sphere (R-CES) perspectives in Nagpur, India: VNIT. pp 25. <https://indiajapanlab.org/wpIj/wp-content/uploads/2020/10/4.-Report.-Urban-Rural-Linkages-in-Nagpur.pdf>
- [15] Éric Denis, *Depicting strongly growing urban areas in the Global South. Positioning according to works on Asian cities expansion*, L'Espace géographique (English Edition) , Vol. 44, No. 4 (October-November- December 2015), pp. 1-18
- [16] Anjali Mahendram, Karen Seto, *Upward and Outward Growth: Managing Urban Expansion for More Equitable Cities in the Global South*, World Resources Institute, 2019 https://files.wri.org/d8/s3fs-public/upward-outward-growth_2.pdf
- [17] Bahadure Sarika, Kamble Tanushri, *Transition of Urban Neighbourhoods: Case of Nagpur, India*, Studies of Transition States and Societies, [S.I.], v. 14, n. 2, dec. 2022 <http://publications.tlu.ee/index.php/stss/article/view/1021/848>

- [18] Kotharkar Rajashree, Pankaj Bahadure, Neha Sarda, *Measuring Compact Urban Form: A Case of Nagpur City, India*, Sustainability, 6, 4246-4272, 2014 <https://doi.org/10.3390/su6074246>
- [19] Singh Chandni, Rahman Andaleeb, *ecosUrbanising the Rural: Reflections on India's National Rurban Mission*, Asia & the Pacific Policy Studies, Issue 2, Volume 5, pages 370-377, Crawford School of Public Policy, The Australian National University, April 20, 2018 <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/app5.234>
- [20] SOLID WASTE MANAGEMENT FOR NAGPUR FEASIBILITY STUDY (July 2017), German Cooperation, GIZ, The Urban Nexus https://uploads.water-energy-food.org/legacy/solid_waste_management_for_nagpur_nov_2017_17112017.pdf
- [21] Kotharkar, Rajashree; Pallapu, Anusha Vaddiraj; Bahadure, Pankaj (2019). *Urban Cluster-Based Sustainability Assessment of an Indian City: Case of Nagpur*. Journal of Urban Planning and Development, 145(4)
- [22] Kotharkar, Rajashree ; Bahadure, Pankaj ; Sarda, Neha, Basel (2014) *Measuring Compact Urban Form: A Case of Nagpur City, India*, Sustainability (Basel, Switzerland), 2014, Vol.6 (7), p.4246-4272

regular and moderate rainfall. Climate classifications place the city of Essen in different zones: according to an updated Köppen-Geiger¹⁷¹⁸^[xii] classification, the city is in the zone Cfb (warm temperatures, regular rains and warm summers), whilst others^[xiii] locate Essen in between a mild maritime zone and a transition zone (towards a milder continental climate). Climate change is already being felt in the region: in the last 5 years alone, a number of hot and dry summers have broken heat records. Precipitation patterns have also been observed to be changing, with increasingly frequent and intense extreme weather events being responsible for substantial building and infrastructure damage.^[xiv]

Published Mitigation Targets: The sustainability strategy of the City of Essen includes a range of climate-related targets and subgoals. Essen is charting a pathway towards net-zero carbon emissions with intermediary reduction goals of 25% by 2025 and 50% by 2030. Efforts by the city are foreseen to be bolstered via the commitment of at least 100 businesses in the to adopt the city’s 2030 reduction target. Moreover, the city and city-owned businesses will incorporate CO₂ pricing in economic feasibility studies, PV systems with a capacity of 8000 kW are to be fitted on building roofs, public buildings will be built in a climate neutral manner (adopting a lifecycle approach) with a focus on the use of timber and a renovation strategy for public buildings will be adopted. In relation to mobility, efforts to achieve the abovementioned emissions targets will focus on interventions to reduce the modal split of motorised vehicles and promoting their electrification as well as by enabling a “city of short paths”.^[xv]

C.5.2 Multi-level and horizontal governance structures

The administrative structure of Germany’s national government and federal states (*Bund* and *Länder*, respectively) is laid out in the country’s constitution (*Grundgesetz*). The national federal government is led by the Federal Chancellery and the Federal Ministries. The 16 federal states are governed by their own political institutions (governing bodies such as parliaments, ministries, etc.). It is important to note, however, that governance must adhere to stipulations of the German constitution and that federal laws may not stand in conflict with national laws.^[xvi]

Spatial planning is performed at multiple levels of governance and at different spatial scales. The Federal Ministry of Housing, Urban Development and Built Environment (BMWSB) and the *Raumordnungsgesetz* (spatial planning law) are the key national body and legislative act, respectively. Further national laws of relevance, which create the framework for federal law-making in relation to spatial planning, include the *Baugesetzbuch* (building code), the *Raumordnungsverordnung* (the spatial planning regulation) and the *Baunutzungsverordnung* (building use regulation). Further planning levels include the federal state, which develops laws related to spatial planning / transposes national laws and regional bodies that develop overarching regional development plans on the basis of federal laws and guidelines. Local governments develop overarching land-use plans as well as more granular development plans for their administrative areas. The cohesion of plans is general ensured by means of consultation processes.^[xvii]

¹⁷ In the period from 1981 to 2010, Essen recorded an average of 28.4 summer days (≥ 25 °C), 4.7 hot days (≥ 30 °C), 48.7 frost days ($T_{\min} < 0$ °C) and 10.3 ice days ($T_{\max} < 0$ °C) [[Source: German Weather Service](#)].

¹⁸ Annual average height of 973mm between 1981 and 2010, according to the [German Weather Service](#).

Public administration in the federal state NRW is divided into three levels. At the highest level are the so-called supreme state authorities, such as the state government, the prime minister, the 12 state ministries and the (independent) state audit office. The higher state authorities include a number of offices with state-wide areas of responsibility, such as the State Office for Nature, Environment and Consumer Protection.^[xiv] At the highest state level, the Ministry of Home Affairs, Municipal Affairs, Building and Digitalisation acts as the supreme state municipal supervisory authority (including state supervision of regional associations and the Ruhr Regional Association) and the authority to issue instructions over the five district governments. Other state ministries, such as the Ministry of the Environment, Nature Conservation and Transport^[xv] or the Ministry of Economic Affairs, Industry, Climate Protection and Energy, have a direct influence on the sustainable development (planning) of municipalities in NRW due to the thematic focus of their work.

The NRW district governments, which act as state authorities and derive their legitimacy through state elections, are responsible as state authorities for the supervision of the independent cities and districts, and ^[xvi]^[xvii] represent a link between the state and the municipalities. The independent City of Essen is located on the edge of the administrative district of Düsseldorf. With regard to the coordination of urban-rural relations, it should be emphasized that within the district government there is a municipal-staffed regional council, in whose area of responsibility regional planning falls. However, this does not apply to regional planning in the area of the Ruhr Regional Association, in which Essen is located. The lower state authorities include tax offices, district police authorities and other authorities that are not directly involved in local and regional sustainable development planning.^[xviii]

The state of North Rhine-Westphalia is divided into 31 districts, each of which consists of 7-24 cities and municipalities belonging to the district. Municipalities are local authorities that are self-governing bodies elected by the citizenry (local elections). They are demarcated from state authorities, but they can also be given mandatory tasks by law.^[xix]^[xx]

As a municipal umbrella organization, the *Landkreistag* represents the concerns of the districts vis-à-vis the NRW state parliament and the state government. Among other things, the district council deals with topics such as transport, environment and construction (including settlement development) within the framework of technical committees. To ensure an effective and resource-saving administration, districts can share certain tasks with independent cities (there are a total of 22, including the City of Essen,).^[xxi]

The administration of the City of Essen is headed by a Lord Mayor, with an elected council acting as the supreme administrative body. The city is divided into 9 districts, which are represented by a district council with 19 elected members. The work of the district representatives concentrates on administrative tasks, most of which take place within the respective districts. As the administrative level closest to the population, representatives are also consulted in deliberations of the Council and within the framework of committees (e.g. in development or infrastructure planning). Below is a list of areas of work of the municipal administration in Essen:^[xxii]^[xxiii]

- ▶ **Sustainable construction:** design and construction; construction supervision, construction consulting and structural analysis; structural analysis, building physics, flying structures and special tasks; development plan processing, XPlanning, TUIV coordination; real estate industry; recycling centers (eating and becoming for the elderly); project coordination unit; rehabilitation agency and urban development funding as well as urban land use planning and development plan processing (both also directly related to urban development);
- ▶ **Sustainable mobility:** department of roads and transport; transport planning; road planning and transport; road construction; traffic management; street lighting and road operation; citizens' and tourist associations in Essen, the city association; ruhr railway.
- ▶ **Urban Development and Planning:** general urban planning; general urban planning; district development; environment agency; environmental protection, environmental planning (e.g. climate adaptation, environmental concerns in real estate traffic, air pollution control, etc.); green development; green areas; urban forest; real estate cadastre; office for European affairs, international affairs and sustainable development; urban research; office of urban renewal and land management; urban renewal and reallocation in urban renewal areas (Essen north and east as well as west, central, south);
- ▶ **Regional development and planning:** national and regional planning; ruhr regional association; the Ruhrverband; district government of Düsseldorf; association of German cities;

C.5.3 Densification (interfaces: green infrastructures & energy)

C.5.3.1 Results from the quantitative approach

The assessment of impacts of land use change and densification on emissions conducted in the context of the research project revealed that the City of Essen would face low emissions increases (4.5%) if low population growth and limited urban expansion rate were recorded. In a scenario that assumes population growth of 5% whilst halting urban spatial expansion altogether, slight emission reductions for the City of Essen could be achieved (-0.39%).

C.5.3.2 Qualitative findings from the application of the rural-urban integration framework

Innenentwicklung, a term that connotes (re-)densification, plays a central role at all levels of governance in Germany. Guidance on prioritising brownfield development over urban sprawl is anchored in the national spatial planning law as well as at state level in NRW, with the latter even setting a binding goal for space-saving and needs-based settlement development in its state development plan.^{[xxiv][xxv]}

At federal state level, efforts to promote urban (re-)densification are further evidenced by the 2021 building land mobilisation law, the 2015 biodiversity strategy, funding programmes to counteract fragmented development and support for the economic revitalisation of rural communities. Moving to the regional level, the development plan for the metropolitan agglomeration Ruhr (2023 draft)^[xxvi] provides a solid basis for efforts to protect and enhance green space, linking this amongst other to biodiversity and climate adaptation. The City of Essen itself has successfully steered the redevelopment of brownfield site over the past years. Whilst

most large, former industrial sites have been re-developed, a study commissioned by the local government estimates that a densification potential of 2 million square metres (200 hectares) remains within the city's administrative boundaries. The local government is endeavoring to unlock this potential through the activation of real estate developers and building owners, as well as by actively exploring vertical expansion opportunities.^[xxvii] Lastly it should be noted that environmental monitoring and impact assessments as well as data gathering and the use of geographic information systems are well-established and robust by international standards.

C.5.3.3 Assessment

Vertical as well as horizontal institutional arrangements and the remits of governmental institutions and agencies can be assessed as mature. This finding is likely explained by the historical and present functional / spatial interdependencies of the agglomeration area in which the City of Essen is located. Whilst cooperation amongst cities in the region has been hampered by competitive behaviour (vying for private sector economic investment, re-zoning green space to increase tax revenues, etc.), a strengthening of collaborative efforts has been observed over the past years.^[xxviii] The role of the *Regionalverband Ruhr* (the Ruhr Regional Association) deserves to be highlighted in particular - having supported coordinated development planning across the urban-rural / urban-urban interface in the region for over 100 years.^[xxix]

Whilst public consultation processes at city-level appear well established, engagement at the regional and state level might be considered as an area for potential improvement. Furthermore, it is noteworthy that, whilst goals on reducing urban sprawl are enshrined at state level, corresponding targets at regional level are currently lacking. The definition of quantitative thresholds for the zoning of new development land or, better yet, a complete net-freeze of greenfield land development would send a strong impulse for densification and rehabilitation efforts of existing districts and neighbourhoods.

C.5.4 Sustainable transport (interfaces: transport infrastructure & governance)

C.5.4.1 Results from the quantitative approach

Examining the transport modal share reveals that a considerable proportion of trips are taken by car in the City of Essen (54%). Active transport was found to have a lower share of 25 per cent whilst the modal share of local public transport stands at 19 per cent. Approximately 3.6 trips are taken per person and day, with the average distance being 8.7 km.

Research into emission reduction potentials associated with sustainable transport interventions revealed that reducing the average trip length has the highest mitigation potential (35%) in cities such as Essen. A reduction in the number of trips was also found to have significant emissions savings potential (10%). A modal shift from cars to non-motorized transport in the German cities of Leipzig and Essen would deliver higher reductions (8%) than would be the case for Global South counterparts. Measures such as speed restrictions and efficiency gains of fleets could deliver smaller emissions reductions of under 5 per cent each.

C.5.4.2 Qualitative findings from the application of the rural-urban integration framework

Roles and responsibilities pertaining to sustainable mobility planning are largely well defined across the various levels of governance in the state of NRW, although some overlap can be observed (e.g. Ministry of Economy, Industry, Climate Protection and Energy and Ministry of Environment, Conservation and Transport).

Integrated plans and concepts exist at state and local level. The central coordination of large, cross-regional infrastructure investments at federal state level, the polycentric regional planning approach of the *Regionalverband Ruhr* Rhein-Ruhr and the collaboration of regional transport associations in an umbrella association represent a satisfactory departure point for improved multimodal mobility planning. Measures in the 2013 mobility master plan of the city of Essen focus on P+R facilities as well as the expansion of cycle paths and urban public transport, whilst the 2018 mobility master plan of the City of Essen also addresses the challenges of demographic change and mobility links with the surrounding area. The planning is based on household surveys, whilst documentation pertaining to the expansiveness of public participation in the city and the surrounding area was not found.

A model for "local public transport suitable for metropolitan areas" is being developed by the Ruhr Regional Association.^{[xxx][xxxi]} Funding for the sustainable mobility transition is available and accessible at EU, national and state level.^[xxxi] To what extent this funding is sufficient to enable truly transformative actions – particularly against the backdrop of limited local finances and the economic impacts of the pandemic – lies beyond the scope of the analysis. With regard to the monitoring and impact analyses related to mobility trends and schemes, the state, region and city can be seen to have solid data collection and analysis capabilities as well as robust environmental impact assessment procedures.^[xxxi]

C.5.4.3 Assessment

The high proportion of trips taken by car in Essen and surrounds suggests that alternative options may not yet be sufficiently attractive. Addressing last-mile bottlenecks, enhanced multimodal offerings (particularly for north-south connections) and the reduction of private vehicle parking could contribute to a shift toward public or non-motorised transport. In addition to simplifying planning processes and legal barriers to sustainable mobility interventions in general, it may also be prudent to scale up funding at national and state level to support measures linked to reducing average trip lengths and the number of trips taken per day. The unlocking of additional funds for mixed-use development and regeneration schemes in subcentres across Essen's administrative area and the hinterland could serve help strengthen local access to shopping for daily needs, other essential services, recreation and employment (e.g. 15-minute city concept).

C.5.5 Sustainable construction (interfaces: sustainable building materials & circular waste system)

C.5.5.1 Results from the quantitative approach

Data and estimates underpinning the modelling of building stock material composition revealed that in the City of Essen a typical single-family house is composed of approx. 309 tons of building materials, with the largest shares being concrete, other mineral materials and bricks.

Multifamily houses were found to typically use an average of 1272 tons of materials, with a similar mix of materials although concrete was more heavily used in the lead up to the 1990s,

before decreasing again. Overall, single-family homes were found to require less construction materials per square meter than multifamily homes (1,19 t/m² and 1,37 t/m²) in Essen.

The modelled substitution of current building materials with wood in Essen's building stock resulted in estimated emissions reductions of 3.2% in the case of a 5% substitution rate and 9.3% in the case of a 15% substitution rate.

C.5.5.1 Qualitative findings from the application of the rural-urban integration framework

The state building regulations, tasks for land use planning, the processing of applications and quality assurance are clearly defined across the vertical governance and administrative structure in NRW. At state level, building with timber has been made easier via the 2018 Building Law Modernization Act, allowing the erection of timber buildings up to a height of 22 meters (building classes 1 to 5).^[xxxiv] The state building regulations and national regulations apply equally to the city of Essen and to neighbouring local authorities.^[xxxv] The City of Essen has limited possibilities to go beyond the minimum standards and specificities of the overarching regulatory framework – with one main opportunity for pushing timber construction being via purchasing or leasing contracts of publicly owned development land. With regard to public buildings themselves, it is noteworthy that construction must adhere to the state-level Sustainable Building Rating System (BNB), which allows the use of timber but places restrictions on the use of subtropical and unsustainably harvested wood.^[xxxvi]

Financing and advisory services for sustainable construction and renovation projects can be availed of at national level. The state company for energy and climate protection is also committing resources to the topic, with a competence centre for climate-friendly and sustainable building to be established. Moreover, the state-wide environmental monitoring and regional planning processes as well as NRW's building cadastre can be seen to support the policy design and readjustment of strategies and measures in relation to sustainable buildings. At the local level, a number of offices and departments deal with the subject of construction (see selection on p. 3 of this case study).

C.5.5.3 Assessment

As many of the remits for building policy lie at the national and state level, the City of Essen itself can be seen to have somewhat limited influence with regard to catalyzing the use of timber in construction and renovation. The establishment of local One-Stop-Shops could be explored to provide (prospective) homeowners with advice regarding good practice approaches and funding opportunities, amongst others. At the same time, efforts to strengthen the supply-side could be considered, such as the roll-out of training and certification schemes for SMEs, micro-enterprises and other stakeholders in the construction and renovation market value chain (e.g. using innovative materials and products, whole-lifecycle design, etc.)

Neither regional initiatives for the promotion or financing of circular economy approaches in the construction industry could be identified, nor could regional building material and component exchanges be found in the course of preparing the case study. With the caveat that the circularity of building materials has only gained traction in recent times, efforts to better understand embodied materials and carbon in the local and regional building stock, mapping construction material flows and scope 3 emissions, and initiatives to enable the reduction, reuse, and recycling of building materials should be intensified.

C.5.6 Summary and list of recommended actions

Overall, and validated by being awarded the 2017 Green Capital Award, the City of Essen demonstrates a strong commitment to enact sustainability transitions across sectors as well as in collaboration with neighbouring semi-rural and urban settlements. The city is embedded in a densely populated metropolitan region that has necessitated the formation of robust horizontal cooperation structures. The city has invested great efforts in redeveloping or revitalising brownfield land that is part of its coal mining and industrial heritage. Against this backdrop, and in light of the region's population dynamics, densification efforts can be expected to be continue, resulting in positive climate change mitigation impacts. City-level and urban-rural efforts would be supported further, if quantitative targets on limiting greenfield development were agreed at regional level. Whilst private motorised vehicle use remains stubbornly high, investments in bicycle highways and inter-city and regional public transport deserve commendation. The study touches upon possible recommendations to catalyze the sustainability transformation of the mobility sector, with the strengthening of subcenters around the 15-minute city concept arguably promising the greatest emissions reductions.

In relation to the sustainability of the city and environs' building stock, state actors are possibly the most able to influence construction and renovation practices. Nevertheless, the city could support the use of timber – and achieve emissions reductions – when it comes to public building projects, in cases where the city is the landowner, or by establishing one-stop-shops to tackle local supply- and demand-side fragmentation. Efforts to enhance the circularity of building materials are perhaps the area in which most action is needed and it is recommended that support schemes are set up at state-level to support the local government in understanding building material use, material flows and articulate action plans to reduce and enable the better re-use as well as recycling of building materials.

C.5.7 References

- [ii] https://essen.de/dasistessen/essen_in_zahlen/bevoelkerung.de.html
- [iii] https://essen.de/dasistessen/essen_in_zahlen/bevoelkerung.de.html
- [iiii] <https://www.handelsblatt.com/politik/deutschland/ranking-2022-das-sind-die-zehn-groessten-staedte-deutschlands/24407466.html>
- [iv] https://media.essen.de/media/wwwessende/aemter/41/stadtarchiv/Stadtchronik_Essen.pdf
- [v] <https://www.presseportal.de/pm/6586/3267235>
- [vi] <https://www.verbaende.com/verband-tagung/artikel/die-metropole-ruhr-tagen-mit-den-machern-im-westen-3820/>
- [vii] <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/>
- [viii] https://www.eea.europa.eu/publications/report_2002_0524_154909
- [ix] Climate Report NRW (2021) Climate change and its consequences – Results from climate impact and adaptation monitoring. LANUV Technical Report 120.
- [x] https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/1_infoblaetter/LANUV_Info_41_Klimaanalyse_WEB.pdf
- [xi] https://www.essen.de/leben/umwelt/nachhaltigkeit/global_nachhaltige_kommune_.de.html
- [xii] <https://diercke.de/content/deutschland-verwaltungsgliederung-978-3-14-100850-0-24-1-1>
- [xiii] <https://www.umweltbundesamt.de/themen/nachhaltigkeit-strategien-internationales/planungsinstrumente/planungsebenen-planungsraeume-stufen-der#bundesebene>
- [xiv] <https://www.land.nrw/landesverwaltung-nordrhein-westfalen>
- [xv] <https://www.juracademy.de/kommunalrecht-nrw/kommunen-nrw.html>
- [xvi] <https://www.land.nrw/landesverwaltung-nordrhein-westfalen>

- ^[xvii] https://recht.nrw.de/lmi/owa/br_show_historie?p_id=23579
- ^[xviii] <https://www.land.nrw/landesverwaltung-nordrhein-westfalen>
- ^[xix] <https://www.lkt-nrw.de/wir-ueber-uns/mitglieder/kreise/nrw-kreise-in-zahlen/>
- ^[xx] https://recht.nrw.de/lmi/owa/br_show_historie?p_id=23579
- ^[xxi] <https://www.lkt-nrw.de/wir-ueber-uns/aufgaben/>
- ^[xxii] https://www.essen.de/rathaus/rat/rat_der_stadt.de.html
- ^[xxiii] <https://www.essen.de/rathaus/bezirksvertretungen/bezirksvertretungen.de.html>
- ^[xxiv] <https://www.umweltbundesamt.de/themenordrheinwestfalen/nachhaltigkeit-strategien-internationales/planungsinstrumente/planungsebenen-planungsraeume-stufen-der#bundesebene>
- ^[xxv] <https://www.lb-naturschutz-nrw.de/fachthemen/bauleitplanung/wichtige-themen-fuer-die-bauleitplanung/flaechenverbrauch-und-doppelte-innenentwicklung.html>
- ^[xxvi] <https://www.lb-naturschutz-nrw.de/fachthemen/aktuell-neue-regionalplaene-fuer-nrw/regionalplan-ruhr.html>
- ^[xxvii] https://www.essen.de/leben/planen_bauen_und_wohnen/essen_plant_und_baut_/stadtplanung/konzept_foerderung_wohnungsbau_1/baupotenziale_innerhalb_essens_erkennen_und_entwickeln.de.html
- ^[xxviii] https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/izr/2008/9_10/Inhalt/DL_JasperScholz.pdf?_blob=publicationFile&v=1
- ^[xxix] <https://www.rvr.ruhr/politik-regionalverband/ueber-uns/>
- ^[xxx] https://www.vm.nrw.de/verkehr/verkehr_allgemein/IGVP/index.php
- ^[xxxi] <https://www.essen.de/leben/mobilitaet/mobilitaetsplan/mobilitaetsplan.de.html>
- ^[xxxii] <https://www.eib.org/en/essays/sustainable-transport-investment> | <https://www.horizon-europe.gouv.fr/sites/default/files/2022-05/eit-urban-mobility-pdf-6188.pdf> | <https://www.nrwbank.de/de/foerderung/foerderprodukte/60111/investitionskredit-nachhaltige-mobilitaet--individualvariante.html> | <https://www.brd.nrw.de/services/foerderprogramme/foerderung-des-kommunalen-strassen-und-radwegebaus> | <https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Bund/BMVI/elektromobilitaet-bund.html> | EU LEADER: <https://www.engagiert-in-nrw.de/nrw-programm-laendlicher-raum-leader> | <https://infoportal.mobil.nrw/projekte/mobilitaetsmanagement.html>
- ^[xxxiii] https://www.essen.de/organisationen/detail_1188431.de.html | <https://mobilitaetwerkstadt.de/daten-zur-mobilitaet/> | <https://www.umwelt.nrw.de/umwelt/umwelt-und-ressourcenschutz/planungsrecht/umweltvertraeglichkeitspruefung>
- ^[xxxiv] https://www.aknw.de/fileadmin/user_upload/Regeln_und_Arbeitshilfen/Synopse_BauO_NRW_2000-GesetzEntwurf_2018-Begruendung_mit_Inhaltsverzeichnis-180712.pdf
- ^[xxxv] https://recht.nrw.de/lmi/owa/br_text_anzeigen?v_id=74820170630142752068
- ^[xxxvi] <https://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/RunderTisch/steckbriefe-2010/117.pdf>

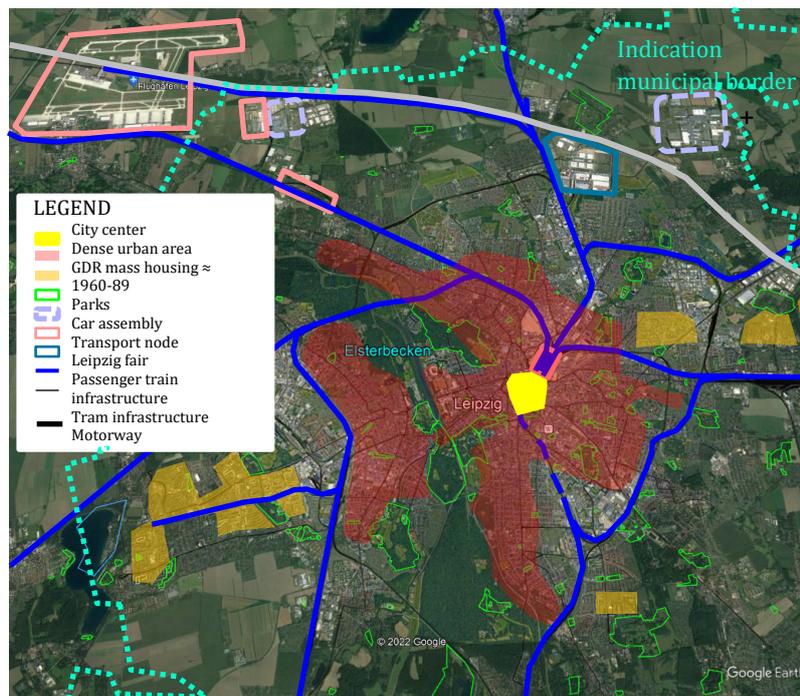
C.6 Case study: City of Leipzig, Germany

C.6.1 City profile

Leipzig is the largest city (about 600,000 inhabitants) behind Berlin in the eastern part of Germany. It was an important trade, production and cultural town already centuries ago. The Leipzig fair dates back to medieval times and today is accommodated in a large complex of exhibition and conference halls. Leipzig until 1945 had a large publishing and editing sector, some of which is still flourishing. Due to the large-scale industrialisation in the 19th century Leipzig has a substantive dense residential belt around the city centre (both, the centre and the belt have about 3500 inhabitants per km²), outside of which the densities gradually decrease, ending in single house areas in the city's fringes. The fringe, however, also includes a number of suburbs hosting large housing complexes, stomped out of the ground during the GDR-period (1945-1989). These areas have a density comparable with the belt. The city is divided by a green corridor, today hosting recreational functions in a forest and along a small river.

The industrial activities of some large parts of the 19th century industrial areas have moved to other places in the world, but their many buildings have been or are being repurposed giving home to young enterprises, housing and culture. After the unification of West and East Germany there have been substantial investments by large employers in transport and logistics (airport, DHL freight hub) and car assembly factories (BMW, Porsche) along the northern edge of the city. Leipzig has the largest train station building in Germany, part of which still accommodates national and regional trains. The local public transport network includes a dense network of rather fast tramlines which access the dense residential areas and also go beyond these. Quite some Leipzig residential areas including the mass housing on the westside of the city are accessed by regional train.

Figure 19: Map showing key urban characteristics of the City of Leipzig



Source: Google Earth with annotations by the Potsdam Institute for Climate Impact Research

Figure 20: Photographic impressions of the City of Leipzig

Quelle: Photographs by Fabian Reitemeyer

Climate goals

Leipzig's climate policies have become ambitious. After the Climate emergency decree in October 2019 the city's climate aim was climate-neutrality in 2050. The *draft Energy and Climate Protection Programme 2040 (EKSP 2040)*, launched and discussed in the city council in the autumn of 2022, aims for climate-neutrality by 2040¹⁹. Given a linear interpolation the reduction to be achieved in 2035 is 77% (climate neutrality in 2040), and would have been 53% (climate neutrality in 2050).

This is a challenge, also in the light of the expected population growth. While total (all sectors) CO_{2e} emissions were 5,3t/inhabitant in 2019, the Leipzig now aims for 1,9t in 2030 and 0,25t in 2040. For mobility the corresponding emissions are 1,35t per inhabitant in 2019 and 0,71t in 2035 (no value mentioned for 2050). The municipal activities (offices, logistics etc.) are to become climate-neutral by 2030.

C.6.2 Multi-level and horizontal governance structures

The public administration in Saxony is divided into three levels. At the highest level are the so-called supreme state authorities, such as the state government, the prime minister, the 10 state ministries and the (independent) state audit office. The higher state authorities include several offices with state-wide areas of responsibility, such as the Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. At the highest state level, the Saxony State Directorate acts as the supreme legal supervisor of the districts, the independent cities (Chemnitz, Dresden, Leipzig) and the inter-district special-purpose associations.²⁰ Other state ministries, such as the Sächsische Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft or the

¹⁹ <https://www.leipzig.de/news/news/leipzig-auf-dem-weg-zur-klimaneutralen-stadt-bis-zum-jahr-2040>

²⁰ https://www.lids.sachsen.de/kommunal21/?ID=3&art_param=3

Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr, have a direct influence on the sustainable development (planning) of municipalities in Saxony due to the thematic focus of their work.

The Saxon district governments, which function as central state authorities and derive their legitimacy from state parliamentary elections, are responsible as state authorities for the supervision of the independent cities and districts and represent a link between the state and the municipalities. With regard to the coordination of urban-rural relations, it should be emphasised that the regional association "Leipzig-West Sachsen" is one of three bodies responsible for regional planning in Saxony and is responsible for drawing up the Leipzig-West Sachsen regional plan and the region's lignite plans²¹.

The state of Saxony is divided into 10 districts, to which three independent cities are added. Municipalities are territorial authorities which are self-governing bodies elected by the citizens (municipal elections)²². They are distinct from state authorities, but compulsory tasks can also be imposed on them by law. As the leading municipal association, the Landkreistag represents the concerns of the districts vis-à-vis the Saxon state parliament and the state government.

The administration of the city of Leipzig is headed by a mayor, with a council, also elected, acting as the supreme administrative body. The city is divided into 9 districts, which are represented by a district council with 11 elected members²³. The work of the district representatives focuses on administrative tasks, which largely take place within the respective districts. As the administrative level closest to the population, representatives are also consulted in council deliberations and in the framework of committees (e.g. on development or infrastructure planning).

C.6.3 Densification (interfaces: green infrastructures & energy)

C.6.3.1 Results from the quantitative approach

Leipzig is an example of a city with stable population growth and established administration. Over the decades, a cohesive infrastructure has developed, with a focus on renovating old infrastructure and increasing resource efficiency. The city can only be rebuilt selectively, strategic densification project with the effect of increasing the city density, seem to make sense. With a moderate increase in urban density of 7%, which is only due to the population growth expected by 2035 and no expansion of the area, around 23 thousand tonnes of CO₂ (0.5% of total emissions) can be saved. This indicates that there is certainly the potential for strategic and specific redensification in Leipzig. This is particularly evident in comparison with the cities of the Global South also considered in the project. The potentials were significantly lower for the Asian cities than for the German ones. This means that the cities of the Global South are characterised by an already existing high urban density and the associated more efficient use of land.

C.6.3.1 Qualitative findings from the application of the rural-urban integration framework

In the area of green infrastructure Leipzig is developing a "Master Plan Green Leipzig 2030". The focus was on the question of which functions the individual components and the city-wide system of green infrastructure must and can assume in the future at all levels that are decisive for urban development. In the process, green lines are identified that are also to be prioritized outside the direct urban area. The network consists of landscape lines and their associated connected landscape spaces, which are to be qualified in the sense of a multifunctional green-

²¹ <https://www.rpv-west-sachsen.de/>

²² <https://www.statistik.sachsen.de/html/verwaltungsgliederung.html>

²³ <https://www.leipzig.de/buergerservice-und-verwaltung/stadtrat/stadtbezirksbeiraete>

blue infrastructure. Particularly valuable and high-performance open spaces within this network, which are to be protected from further detrimental use. Furthermore, through participation in the European Energy Award, close and continuous cooperation took place at all levels of the city administration with the municipal businesses, associations, institutions and clubs, new synergies were created. In regular meetings, new potentials for energy saving and energy efficiency are discussed and energy savings and energy efficiency are discussed, prioritized and concrete measures for the coming years are for the coming years. More than 100 individual measures identifying new fields of action were implemented between 2011 to 2013 were implemented

C.6.3.2 Assessment

A fundamentally good integration of the surrounding area into the urban planning processes. This is reflected in detailed considerations in the regional planning documents. External projects further intensify the involvement of the surrounding area. Associations such as the Leipzig-West Saxony Planning Association also play an important role.

C.6.4 Sustainable transport (interfaces: transport infrastructure & governance)

C.6.4.1 Results from the quantitative approach

In Leipzig, the car (driver and passenger only) has the highest modal share with 36.5%. Active transport, consisting of walking and cycling also has a high share with 46%. Public transport has a similar modal share (17.5%) as the bicycle with 18.7%. On average, 3.6 trips/person/day are made, each with an average length of 6.4 km. The measure to reduce average travel length has the highest mitigation potential emissions savings compared to the baseline. This measure is followed by the fewer trips with 10%. With a modal shift from cars to non-motorised transport, Leipzig has high mitigation potentials with 8% emission savings based on their high share of cars.

The multimodal transport measures showed varying GHG impacts. If Leipzig as one of the 100 climate-neutral cities would adopt all the transport-specific measures considered in this study, they would halve their transport emissions. Both German Cities Leipzig and Essen, show a significant share of individual transport via cars, therefore a modal shift to fewer cars leads to higher mitigation potential, compared to the other cities.

The mitigation potential of public transport electrification depends strongly on the current share of electrified public transport and the share of renewable energy in the electricity grid. Particularly in the transport sector, however, it is more effective to aim for a mix of measures: like modal shift, avoidance of trips, electrification and also compact densification measures, rather than concentrating on a single measure.

C.6.4.2 Qualitative findings from the application of the rural-urban integration framework

The foundation for a rural-urban integration framework is provided by traffic analyses carried out for the city centre, but also for the surrounding area. On the basis of this, commuters should be able to get to the city, if possible, by public transport. For this purpose, park and ride spaces will also be provided at the city limits. The aim is to integrate the surrounding communities into a traffic-saving settlement strategy in terms of urban planning and spatial planning. The guiding principle is a "region of short distances". The Leipzig Public Transport Company (LVB), the Central German Transport Association (MDV) and the City of Leipzig formulated together the Mobility Action Plan Leipzig North Area. A set of almost 90 measures is clustered in 14 packages focusing on horizontal measures.

C.6.4.3 Assessment

Especially in recent years, the focus has been on strengthening the economy of the Leipzig metropolitan region. The basis for this is a well-developed and coordinated mobility with the surrounding region. This development is reflected in the city's mobility plans. The problem is rather the availability of data and the exchange of this with the entire metropolitan region, which would make even more efficient planning possible.

C.6.5 Sustainable construction (interfaces: sustainable building materials & circular waste system)

C.6.5.1 Results from the quantitative approach

Leipzig has the highest reduction potentials in both scenarios of more intensive use of wood in the building sector. In the scenario of 5% more wood use, Leipzig shows the highest reduction potential with 3.2% and in the scenario of 15% with 9.5%. The mitigation potential depends on the material distribution in the base scenario. As Leipzig has a high share of cement (due to GDR construction style) in the building sector, and cement has a good substitution ratio with timber, the potentials are also the highest.

C.6.5.2 Qualitative findings from the application of the rural-urban integration framework

The building owner's folder of the Saxon Energy Agency (SAENA) provides information on the most effective ways of supplying energy and heat as well as on the way to apply for and obtain building permits. It also addresses issues of subsidies and financing for sustainable building projects. In general, however, there is very little information on how the city of Leipzig uses sustainable building materials in its construction activities. The Saxon government has founded the Holzbau Kompetenz Sachsen, which is to strengthen the building with wood in Saxony. Furthermore Wooden skyscraper projects are currently being promoted in their development by the Free State of Saxony under the heading of experimental construction. This funding is only available for a limited period of time. However, there is no information on how timber construction is to be linked to the city and surrounding area in a strategic concept. There is also no information on this in the integrated urban concept.

C.6.5.3 Assessment

There is little information on an urban-rural strategy regarding sustainable building. Most strategic plans in the building sector are at the quarter scale. Building projects with sustainable materials are mostly experimental projects that are not embedded in a unified strategy.

C.6.6 Summary and list of recommended actions

In summary, the city of Leipzig has recognised the advantages of urban development that thinks along with the urban hinterland and reinforces each other. There is a fundamentally good integration of the surrounding area into the urban development processes. This is reflected in detailed considerations in the spatial planning documents. External associations play an important role and strongly influence horizontal governance mechanisms. A special focus was placed on strengthening the Leipzig metropolitan region. The basis for this is well-developed and coordinated mobility with the surrounding area. This development is also reflected in the city's mobility plans. The problem lies rather in the availability of data and its exchange with the entire metropolitan region, which would enable even more efficient planning. Progressive digitisation of transport data use should be implemented. This also refers to an urban-rural

strategy regarding the use of sustainable materials. It would be important to build up the data basis for such a strategy.

D Anhang: Bestandsaufnahme, Kategorisierung und Beschreibung von Wechselwirkungen städtischer Maßnahmen zur Treibhausgasminderung

Nachstehend werden die Detailergebnisse der strukturierten Bestandsaufnahme (Mapping), qualitativen Analyse und Bewertung von Einflüssen und Wirkungszusammenhängen, die von städtischen Treibhausgas-Minderungsmaßnahmen in den Handlungsfeldern der Studie auf Ziele der Klimaanpassung, Maßnahmen der Klimaanpassung und sozialökologische Ziele bzw. Umwelt(schutz)güter einer nachhaltigen Stadtentwicklung ausgehen können, vollständig dokumentiert. Die Darstellung erfolgt für jedes der vier untersuchten Handlungsfelder (Nachhaltiges Bauen; Urbane Verdichtung; Urbane Verkehrssysteme; Energieinfrastrukturen) getrennt nach den unterschiedlichen Kategorien von Wirkungszusammenhängen: i) Co-Benefits und ii) Trade-offs für die Klimaanpassung; iii) Synergien und iv) Konflikte mit Maßnahmen der Klimaanpassung; sowie v) Co-Benefits und vi) Trade-offs mit Umwelt- und Nachhaltigkeitszielen von Stadtpolitiken.

Die Tabellen enthalten qualitative Beschreibungen der identifizierten Wirkungszusammenhänge mit Charakterisierungen der Effekte, Wirkungslogiken und -mechanismen. Dabei wurden Hinweise auf mögliche und plausible Rückwirkungen von Wechselwirkungseffekten auf die Treibhausgasminderung (*mitigation co-benefits, mitigation trade-offs*) oder auf Kaskadenwirkungen für die Klimaanpassung (*adaptation co-benefits, adaptation trade-offs*) mit festgehalten, soweit hierzu aus der ausgewerteten Literatur Befunde verfügbar waren. Vorhandene empirische Evidenzen, die sich auf konkrete Städte beziehen, sind teils in die Beschreibungen integriert.

Definitionen, Konzepte, angewandte Kategorien und Methoden werden in Kapitel 5 dieses Berichts näher beschrieben.

Das Screening und die Erfassung von Wechselwirkungen basieren auf einer umfangreichen Literatursuche, wobei hier ein Fokus auf metaanalytische Studien, Reviewartikel und vergleichende Fallbeispielanalysen mit jeweils möglichst globalem Untersuchungsrahmen (globaler Süden und globaler Norden) gelegt wurde. Literaturbasierte Befunde wurden durch die kollektive Expertise des Projektkonsortiums bestmöglich ergänzt. Die für die Untersuchung von Wechselwirkungen verwendete Literatur ist in Anhang D.5 zusammengestellt.

D.1 Handlungsfeld: Nachhaltiges Bauen

D.1.1 Co-Benefits und Trade-offs mit Klimaanpassung

Tabelle 40: Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“: Co-Benefits von THG-Minderungsmaßnahmen für Ziele der Klimaanpassung

Positive Auswirkungen von städtischen THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“ auf Ziele der Klimaanpassung

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmenbündel	Anpassung: Klimafolgenbereich	Co-Benefit	Wertung
1.1 Nachhaltige, klimafreundliche	Biobasierte Materialien	A: Hitze	Der UHI-Effekt wird vor allem durch Materialien mit hoher thermischer Kapazität (wie Beton) verstärkt. Die Nutzung von nachwachsenden	1

Klimaschutz: Handlungs- strategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Co-Benefit	Wertung
gerechte Baustoffe			Rohstoffen (Holz, Bambus) verringert aufgrund der geringeren Kapazität die Speicherung und Entfaltung dieser Hitze. Zusätzlich dient z.B. Bambus zur Kühlung der Innentemperatur (7,5% im Vergleich zu konventionellen Bauweisen). Ein potenzieller Nachteil besteht in der Gefahr des "Barackenklimas" bei Leichtbauweise ohne Innendämmung und mit zu wenig gebäudeinterner Speichermasse. Dadurch kann es in Abhängigkeit von der Außentemperatur zu großen Temperaturschwankungen im Gebäudeinneren kommen, was ev. zu hohem Stromeinsatz zur Klimatisierung führt.	
1.1 Nachhaltige, klima- gerechte Baustoffe	Regionale mineralische bzw. geogene Rohstoffe	A: Hitze D: Sonstige Extremwetter- & Natur- gefahren- ereignisse	Die Verwendung mineralischer Baustoffe (Lehm, Steine) aus regionaler Gewinnung unterstützt die gebäudeinterne Wärmepufferung (Reduktion der Kühllast) und damit die Anpassung an Hitze. Gleichzeitig erhöht sich die Resistenz gegen physikalische Belastungen durch Extremwetterereignisse (z.B. Sturm) und Feuer.	1
1.2 Nachhaltige, klima- gerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): passives Gebäude- design	A: Hitze	Viele Maßnahmen im Rahmen von Green Building- und Gebäudesanierungs-Programmen (wie passives Gebäudedesign, passive Kühlung in Kombination mit Nachtlüftung, optimierte Gebäudeausrichtung, Fensterleistung, Wärmedämmung, Dächer und Gebäudehüllen mit hoher Albedo, Roof Ponds, etc.), die zur Erhöhung der Energieeffizienz und Senkung des Energieverbrauchs beitragen, können gleichzeitig den thermischen Innenkomfort bei Hitzewellen (sowie bei Kälte) verbessern und Hitzestress mindern.	3
1.2 Nachhaltige, klima- gerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): passives Gebäude- design	A: Hitze E: Über- greifend, übergeordnet	Höhere Energieeffizienz und geringerer Energiebedarf von Gebäuden durch nachhaltige, klimagerechte Bauweisen ermöglichen es, thermischen Innenkomfort auf energieeffiziente Weise aufrechtzuerhalten. Dies verringert die Vulnerabilität der Energieversorgung und erhöht die Resilienz von Bewohner*innen gegenüber Extremhitzeereignissen. Zum einen, weil die Energiekosten von Haushalten geringer sind und dies zur Vermeidung von Energiearmut beiträgt; zum anderen, weil durch geringere Belastung der Energiesysteme das Risiko von Blackouts sinkt und die Energieversorgung bei Extremwetterereignissen und anderen Katastrophen leichter aufrechterhalten werden kann. Zudem kann durch verbesserte thermische Eigenschaften von Gebäuden auch bei	3

Klimaschutz: Handlungs- strategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Co-Benefit	Wertung
			Stromausfällen ein gewisser Grad an thermischem Komfort aufrecht erhalten werden.	
1.2 Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): passives Gebäudedesign	A: Hitze	Stadterneuerungsprogramme (urban regeneration, urban retrofitting) erlauben es, passive Designmaßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden mit klimasensitivem Gebäudedesign zur Förderung von thermischem Komfort und Reduktion von Hitzestress zu kombinieren. Beispiel: Steigerung der Energieeffizienz durch passive Kühlung von Gebäuden.	3
1.2 Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): passives und aktives Gebäudedesign	C: Trockenheit	Ökologischer Neubau und Sanierung können dazu beitragen, die Wassernutzungseffizienz von Gebäuden zu verbessern. Auch Möglichkeiten zur Regenwassernutzung können genutzt werden. Geringerer Wasserverbrauch trägt in Regionen, die für Trockenheit anfällig sind, zur Verringerung von Wasserstress bei (Fallbeispiel: Climate Action Plan Chicago). <i>Mitigation Co-Benefit:</i> Geringerer Wasserbedarf reduziert in weiterer Folge auch den Energiebedarf für die Wasserversorgung (Pumpen, Warmwasserbereitung, Verteilung) und damit verbundene THG-Emissionen.	3
1.2 Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Gebäudebegrünung (Gründächer, Fassadenbegrünung)	B: Überflutungen (fluvial, pluvial, Küsten) D: Sonstige Extremwetter- & Naturgefahrenereignisse	Aus Energieeffizienzgründen angelegte Dachgärten und Fassadenbegrünungen reduzieren den Wasserabfluss und das Überflutungsrisiko bei Starkregen. Durch Dezentralisierung der Wasserinfrastruktur erhöhen sie gleichzeitig die Extremwetterresilienz (z.B. gegenüber Stürmen) von Städten. Gesteigerte dezentrale Wasserrückhaltefähigkeit trägt zur Entkoppelung der Regenwasserbewirtschaftung von zentralen Systemen bei; ein zusätzlicher Ausbau des zentralen Systems, um klimawandelbedingt erhöhte Regenwasservolumina entwässern zu können, kann dadurch vermieden werden (Fallbeispiele: Climate Action Plans Vancouver, Berlin). <i>Mitigation Co-Benefit:</i> Reduktion des Energiebedarfs und damit von THG-Emissionen für Errichtung, Ausbau, Betrieb (Pumpenanlagen, Kläranlagen) und Instandhaltung von zentraler Entwässerungsinfrastruktur.	3
1.2 Nachhaltige, klimagerechte	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting):	A: Hitze D: Sonstige Extremwetter- & Natur-	Geeignete energieeffiziente Materialien zur Gebäudedämmung tragen bei korrekter Installation gleichzeitig zur Verringerung von Wärmeverlusten (Klimaschutz: Energieeinsparung)	2

Klimaschutz: Handlungs- strategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Co-Benefit	Wertung
Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	Wärme- dämmung	gefahren- ereignisse	und zur Verringerung außeninduzierter Wärmelasten (Klimaanpassung: Aufheizung, Überhitzung) bei. Einige Formen hocheffizienter Isolierung (z. B. Sprühschaum, strukturell isolierte Paneele - SIPs) machen Gebäude widerstandsfähiger gegen extreme Winde. <i>Mitigation Trade-off:</i> Konventionelle Dämmmaterialien basieren auf petrochemischen Substanzen.	
1.2 Nachhaltige, klima- gerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Dach- begrünung, Roof Ponds	B: Über- flutungen (fluvial, pluvial, Küsten) C: Trockenheit	Dachgärten und Roof Pond-Anlagen, die als passive Heiz- und Kühlsysteme dienen, tragen gleichzeitig zum Regenwasserrückhalt bei und verringern das lokale Überflutungsrisiko bei Starkregen. Zudem schaffen sie Speicherkapazität für Brauchwasser, was in Trockenperioden Wasserknappheit reduzieren kann.	2
1.2 Nachhaltige, klima- gerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Gebäude- begrünung (Gründächer, Fassaden- begrünung)	A: Hitze	Begrünung von Gebäudehüllen reduziert den Energiebedarf für Heizen und Kühlung und bindet Kohlenstoff (Klimaschutz). Gleichzeitig bewirkt Gebäudebegrünung die Absenkung der Luft- und Oberflächentemperatur, Verbesserung des thermischen Komforts (in Innen- und Außenräumen) und Minderung des UHI-Effekts. Gründächer haben im Mittel den höchsten Kühlungseffekt in trockenen Klimaten (3°C) und den niedrigsten Kühleffekt in heißen, feuchten Klimaten (1°C) (Jamei et al. 2021). Das Temperaturreduktionspotenzial im Vergleich zu konventionellen Dächern kann rd. 4°C im Winter und rd. 12°C im Sommer betragen (Bevilacqua et al. 2016). Grüne Wände oder Fassaden können die Lufttemperatur zwischen außen und innen um bis zu 10° C reduzieren, in mediterranen Kontexten im Durchschnitt um 5°C (Perini et al. 2017).	2
1.2 Nachhaltige, klima- gerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): passives und aktives Gebäude- design	D: Sonstige Extremwetter- & Natur- gefahren- ereignisse	Baumaterialien und Gestaltungsmerkmale der Gebäudehülle, die die energetische Performance von Gebäuden verbessern, können gleichzeitig deren Resistenz gegenüber Extremwettereinflüssen (Sturm, Hagel, Eis, Temperaturschwankungen, etc.) verbessern.	2
1.2 Nachhaltige, klima- gerechte Bauweisen	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Cool Roofs	A: Hitze	Energieeffizienzmaßnahme (jährliche Energieeinsparung von bis zu 30% in mediterranen Klimaten nachgewiesen), die durch erhöhte Reflexion von Sonnenstrahlung gleichzeitig effektiv zur Vermeidung von Überhitzung im	2

Klimaschutz: Handlungs- strategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Co-Benefit	Wertung
(Architektur, Konstruktion, Design)			Gebäudeinneren sowie in der Außenumgebung beiträgt. <i>Mitigation Trade-off:</i> Cool Roofs können in der kalten Jahreszeit zu erheblicher Steigerung des Heizbedarfs beitragen; daher nicht in kalten Klimaten geeignet.	
1.3 Kreislaufwirt- schaftliches Bauen	Errichtung, Instand- haltung, Sanierung, Abbruch & Recycling von Gebäuden	E: Über- greifend, übergeordnet	Der verminderte Bedarf primärer Ressourcen über den gesamten Lebenszyklus unterstützt Ziele der Klimaanpassung, weil es den Flächendruck durch Gewinnung, Transport, Verarbeitung, Ablagerung, etc. auf natürliche Räume mit ihren klimatischen Pufferwirkungen deutlich senkt. Die unmittelbare lokale Wiederverwendung von Baumaterialien hat das stärkste Synergiepotenzial von Klimaschutz und Anpassung.	2

Die Wertungen resultieren aus qualitativen Experteneinschätzungen des Projektkonsortiums, arithmetischer Mittelwertbildung der Einzelbewertungen (n = 6) mit Rundung sowie Plausibilisierung in Workshops. Die Wertungsstufen beziehen sich auf die Stärke, Intensität, Enge, Wahrscheinlichkeit und Plausibilität der Wirkungszusammenhänge auf einer dreistufigen Skala: 1 ... gering, schwach, lose, eher unwahrscheinlich, unsicher; 2 ... mäßig, mittel; 3 ... hoch, stark, eng, sehr wahrscheinlich, mehrfache positive Effekte.

Tabelle 41: Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“: Trade-offs von THG-Minderungsmaßnahmen für Ziele der Klimaanpassung

Negative Auswirkungen von städtischen THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“ auf Ziele der Klimaanpassung

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmenbündel	Anpassung: Klimafolgenbereich	Trade-off	Wertung
1.1 Nachhaltige, klimagerechte Baustoffe	Biobasierte Materialien	D: Sonstige Extremwetter- & Naturgefahrenereignisse	Biobasierte Materialien, wie Holz und Bambus, sind anfälliger gegenüber Verschleiß durch erhöhte (Luft)Feuchtigkeit, verursacht z.B. durch mehr Niederschlag, windverfrachteten Regen, Schnee oder Überflutung. Klimatisch bedingte Biodegradation solcher Materialien kann auch die Innenluftqualität und die Gesundheit von Bewohner*innen beeinträchtigen.	2
1.2 Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Cool Roofs	Kälte	Kühle Dächer (helle Oberflächen, reflektierende Materialien mit geringer Wärmeaufnahme) können in der kalten Jahreszeit den thermischen Innenkomfort beeinträchtigen und eine signifikante Steigerung des Heizbedarfs verursachen (<i>mitigation trade-off</i>). Maßnahme ist daher in kalten Klimaten nicht geeignet.	2
1.2 Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Wärmedämmung	A: Hitze	Maßnahmen im Rahmen des Retrofittings von Gebäuden zur Steigerung der Energieeffizienz (Verringerung des Raumwärmebedarfs) durch Wärmedämmung, Luftdichtheit und ähnlichen Maßnahmen an der Gebäudehülle, die Anforderungen an sommertaugliches Bauen (z.B. Materialien mit geringer Wärmespeicherung, geringen solaren Wärmeeinträgen ins Gebäudeinnere und guter Wärmeabstrahlung nach außen) nicht erfüllen, können im Zuge eines sich erwärmenden Klimas das Risiko der Überhitzung im Gebäudeinneren erhöhen, den thermischen Komfort während Hitzeperioden beeinträchtigen und gesundheitlichen Hitzestress verursachen. Dieser Trade-off ist besonders relevant in temperierten Klimazonen mit Jahreszeitenklima. Bestehende Energierichtlinien und Effizienzvorschriften für Gebäude basieren im Regelfall auf historischen Klimadaten und Kosten-Nutzen-Überlegungen. Unter sich ändernden Klimabedingungen kann verschlechterter thermischer Komfort resultieren. <i>Mitigation Trade-off:</i> Gesteigerter Bedarf nach technischer Kühlung sowie Rebound-Effekte (Überkompensation von Energieeinsparungen durch höheren Verbrauch).	2

Klimaschutz: Handlungs- strategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Trade-off	Wertung
1.2 Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting)	E: Übergreifend, übergeordnet	Verringerung der Klimaresistenz von Gebäuden und deren Komponenten, wenn Klimaveränderungen zum Planungs- und Errichtungszeitpunkt nicht vorausschauend bei Konstruktion, Gestaltung und Baumaterialwahl berücksichtigt werden. Negative Einflüsse auf Haltbarkeit/Lebensdauer, Performanz und Sicherheit von Gebäuden können sich aus Änderungen von Temperatur, Feuchtigkeit, Wind, sowie Chlorid- und CO ₂ -Konzentrationen der Luft ergeben. Bestehende Bauordnungen und Normen zur Energieeffizienz berücksichtigen im Regelfall keine zukünftigen klimatischen Veränderungen. Historische Gebäude und solche in Küstengebiete tendieren dazu, gegenüber den Veränderungen der genannten klimatischen Parameter vulnerabler zu sein.	2
1.2 Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Grüne Wände und Fassaden	E: Übergreifend, übergeordnet	Begrünte Außenhüllen von Gebäuden sind ein Habitat für Stechmücken und andere Insekten, die als Krankheitserreger fungieren und durch den Klimawandel begünstigt sein können.	1
1.2 Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Roof Ponds	E: Übergreifend, übergeordnet	Roof Ponds schränken die Nutzbarkeit von Dächern für andere, auch anpassungswirksame Zwecke ein und sind aus baulichen Gründen nur eingeschränkt mit anderen gebäudebezogenen Anpassungsmaßnahmen kombinierbar.	1
1.2 Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Kühlende Materialien und Oberflächen (Gebäude, Oberflächenbeläge)	C: Trockenheit	Effektive Abminderung des UHI-Effekts (Anpassung) sowie gleichzeitige Senkung des Energiebedarfs und damit verbundener THG-Emissionen für technische Kühlung (Klimaschutz). In bestimmten Klimaten sind aber auch eine Verringerung von sommerlichen Niederschlagsmengen und Verstärkung sommerlicher Trockenheit durch kühlendes Dachdesign möglich. Dies wird von Regionen im Südwesten der USA berichtet. <i>Mitigation Trade-off:</i> Modellierungen für unterschiedliche Regionen in den USA haben unerwünschte Kühleffekte und erhöhten Heizenergiebedarf im Winter ergeben.	1

Klimaschutz: Handlungs- strategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Trade-off	Wertung
1.2 Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Wärmedämmung	D: Sonstige Extremwetter- & Naturgefahrenereignisse	Bei Beschädigung der Wärmedämmung von Gebäudeaußenhüllen durch Extremwettereinflüsse können thermische Brücken entstehen, die die Regulation der Gebäudetemperatur im Sinne der Anpassung an Hitze unwirksam machen kann. Es bestehen teils Unsicherheiten, ob eingesetzte Dämmstoffe einem zukünftigen Anstieg von Niederschlag und Feuchtigkeit standhalten können.	1
1.2 Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Trombewände	A: Hitze	Trombewände (in der Solararchitektur verwendete Kombination aus Kollektor- und Speicherwand zur passiven Nutzung der Sonnenenergie) können in Regionen mit milden Wintern und heißen Sommern zu Problemen mit Überhitzung des Gebäudeinneren führen. Aufgrund von Fluktuationen der Solarintensität ist das Ausmaß von Wärmegewinnen nicht vorhersehbar. In allen anderen Klimaten scheinen die Vorteile, und auch der Nutzen für den thermischen Innenkomfort, deutlich zu überwiegen.	1

Die Wertungen resultieren aus qualitativen Experteneinschätzungen des Projektkonsortiums, arithmetischer Mittelwertbildung der Einzelbewertungen (n = 6) mit Rundung sowie Plausibilisierung in Workshops. Die Wertungsstufen beziehen sich auf die Stärke, Intensität, Enge, Wahrscheinlichkeit und Plausibilität der Wirkungszusammenhänge auf einer dreistufigen Skala: 1 ... gering, schwach, lose, eher unwahrscheinlich, unsicher; 2 ... mäßig, mittel; 3 ... hoch, stark, eng, sehr wahrscheinlich, mehrfache negative Effekte.

D.1.2 Synergien und Konflikte mit Klimaanpassung

Tabelle 42: Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“: Synergien von THG-Minderungsmaßnahmen mit Maßnahmen zur Klimaanpassung

Positive Auswirkungen von städtischen THG-Minderungsmaßnahmen auf Maßnahmen der Klimaanpassung im Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Anpassung: Maßnahmenbündel	Synergien	Wertung
1.2 Nachhaltige, klima-gerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Aktives und passives Gebäudedesign	A: Hitze	A2: Begrünung von Gebäuden (Dächer, Fassaden)	Gebäudebezogene Sanierungs- und Nachrüstungsmaßnahmen zur Senkung von Energieverbrauch und Steigerung der Energieeffizienz lassen sich gut mit der Begrünung von Dächern und Fassaden kombinieren und können gut in Programme zur Stadterneuerung (urban regeneration, urban retrofitting) integriert werden. Gründächer tragen zur Wärmedämmung bei und verbessern durch ihre thermischen Eigenschaften den thermischen Innenkomfort, reduzieren den UHI-Effekt und senken gleichzeitig den Energieverbrauch für Raumwärme und Kühlung. Die Kühlungswirkung von Gründächern ist stark variabel und hängt vom Wassergehalt des Gründachsubstrats ab; Trockenvegetation wirkt schlecht. Gründächer haben im Mittel den höchsten Kühlungseffekt in trockenen Klimaten (3°C) und den niedrigsten Kühleffekt in heißen, feuchten Klimaten (1°C) (Jamei et al. 2021). Das Temperaturreduktionspotenzial im Vergleich zu konventionellen Dächern kann rd. 4°C im Winter und rd. 12°C im Sommer betragen (Bevilacqua et al. 2016). Grüne Wände oder Fassaden können die Lufttemperatur zwischen außen und innen um bis zu 10° C reduzieren, in mediterranen Kontexten im Durchschnitt um 5°C (Perini et al. 2017). <i>Mitigation Co-Benefits:</i> Energieeinsparung durch natürliche Kühlung; Kohlenstoffbindung durch Vegetation.	3

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Anpassung: Maßnahmenbündel	Synergien	Wertung
1.2 Nachhaltige, klima-gerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Aktives und passives Gebäudedesign	A: Hitze	A3: Kühlende Materialien und Oberflächen A4: Verschattung von Gebäuden und städtischen Außenräumen A5: Klimatisch optimierte Konfiguration der Bebauung A6: Passive Kühlung und alternative (energieeffiziente und klimaneutrale) aktive Kühlung von Gebäuden (thermischer Innenkomfort)	Viele gebäude- bzw. bebauungsbezogene Maßnahmen zur Anpassung an Hitze können gut mit Maßnahmen zur Senkung von Energieverbrauch und Steigerung der Energieeffizienz im Rahmen von Sanierung, Nachrüstung und Neubau von Gebäuden kombiniert und in entsprechende Programme zur Stadterneuerung (urban regeneration, urban retrofitting) integriert werden. Dies umfasst insbesondere Maßnahmen wie: Wahl von kühlenden Baumaterialien, sommertaugliche Gebäudedämmung, Aufhellen von Dächern und Gebäudehüllen ("weiße Stadt"), Reduktion des Glasanteils an Fassaden, aktive (technische) und passive (Bäume, Gehölze) Verschattung von Gebäuden und Außenräumen, passives Gebäudedesign (Lage, Exposition, Ausrichtung), passive und alternative Kühlungssysteme (Fallbeispiel: Klimaschutzstrategie Kopenhagen, 2012). <i>Mitigation co-benefit:</i> Energieeinsparung durch natürliche Kühlung.	3
1.2 Nachhaltige, klima-gerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Cool Roofs	A: Hitze	A3: Kühlende Materialien und Oberflächen A6: Passive Kühlung und alternative (energieeffiziente und klimaneutrale) aktive Kühlung von Gebäuden (thermischer Innenkomfort)	Kühle Dächer sind eine Maßnahme, die einerseits die Energieeffizienz von Gebäuden durch thermische Regulation verbessert und andererseits durch erhöhte Reflexion von Sonnenstrahlung effektiv zur Vermeidung von Überhitzung im Gebäudeinneren sowie in der Außenumgebung beiträgt.	3

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Anpassung: Maßnahmenbündel	Synergien	Wertung
1.2 Nachhaltige, klima-gerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Gebäudebegrünung (Gründächer, Fassadenbegrünung)	B: Überflutungen (fluvial, pluvial, Küsten) D: Sonstige Extremwetter- & Naturgefahrenereignisse	B4: Naturbasiertes dezentrales städtisches Regenwassermanagement A2: Begrünung von Gebäuden (Dächer, Fassaden)	Gebäudebezogene Sanierungs- und Nachrüstungsmaßnahmen zur Senkung von Energieverbrauch und Steigerung der Energieeffizienz lassen sich gut mit der Begrünung von Dächern und Fassaden kombinieren und können gut in Programme zur Stadterneuerung (<i>urban regeneration, urban retrofitting</i>) integriert werden. Gründächer und vertikale Begrünungen senken einerseits den Energieverbrauch von Gebäuden (Klimaschutz). Andererseits speichern sie gleichzeitig Wasser, verringern den Oberflächenabfluss und sind daher bei entsprechender Ausgestaltung gleichzeitig eine Maßnahme zur Anpassung an Starkniederschläge und Überflutungen. Damit tragen v.a. Gründächer zur Dezentralisierung der Entwässerungsinfrastruktur bei und erhöhen dadurch die städtische Resilienz gegenüber Extremwetterereignissen wie Stürmen (Fallbeispiel: Climate Action Plan Vancouver). Das Potenzial zur Abflussreduktion von Gründächern wurde in einer Metastudie (Zheng et al. 2021) mit durchschnittlich 62% ermittelt (aber mit hoher Spannweite). In einer hydrologischen Modellierungsstudie für ein italienisches Fallbeispiel wurde in einem 100%igen Gründachszenario die stadtweite Reduktion von Spitzenabflüssen und Wasservolumen mit bis zu 35% berechnet (Masseroni & Cislighi 2016). <i>Mitigation Co-Benefits:</i> Energieeinsparung für technische Regenentwässerung; Kohlenstoffbindung durch Vegetation.	3
1.2 Nachhaltige, klima-gerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Aktives und	C: Trockenheit B: Überflutungen (fluvial, pluvial, Küsten)	C3: Regenwassermanagement und Regenwassernutzung B4: Naturbasiertes dezentrales städtisches Regenwassermanagement	"Grüner" Neubau bzw. Sanierung von Gebäuden kann gut als "window of opportunity" zur Errichtung von Anlagen zum Sammeln von Regenwasser (Rainwater Harvesting), z.B. mittels Dachtanks oder Zisternen, genutzt werden. Die Nutzung von Regenwasser als Brauchwasser trägt zur Anpassung der Wasserversorgung sowie zum Schutz von natürlichen	2

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Anpassung: Maßnahmenbündel	Synergien	Wertung
	passives Gebäudedesign			<p>Wasserressourcen vor Übererschließung in trockenheitsanfälligen Regionen oder während Dürreperioden bei. Die Anwendung auf Haushalts- oder Gebäudeebene trägt zur Dezentralisierung und damit Resilienzsteigerung der Wasserversorgung bei. Gleichzeitig wird bei Starkniederschlagsereignissen der Oberflächenabfluss von Regenwasser reduziert und dadurch das Überflutungsrisiko von Siedlungsräumen vermindert.</p> <p><i>Mitigation Co-Benefit:</i> Regenwassernutzung trägt dazu bei, Energie für die Frischwasseraufbereitung einzusparen. Für München wurden jährliche Energieeinsparungspotenziale von 5,5 kWh / Kopf durch Regenwassernutzung errechnet.</p>	
1.2 Nachhaltige, klima-gerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Aktives und passives Gebäudedesign	B: Überflutungen (fluvial, pluvial, Küsten)	B2: Hochwasserangepasste Bauweisen und technischer Objektschutz	Sanierung und Neubau von Gebäuden können dazu genutzt werden, gleichzeitig technische Schutzmaßnahmen an Liegenschaften und Gebäuden gegen Überschwemmungen umzusetzen oder hochwasserangepasste Bauweisen zu implementieren (Fallbeispiel: Copenhagen Adaptation Plan, 2011)..	2
1.2 Nachhaltige, klima-gerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Wärmedämmung	A: Hitze	A6: Passive Kühlung und alternative (energieeffiziente und klimaneutrale) aktive Kühlung von Gebäuden (thermischer Innenkomfort)	Bei Gebäudesanierungen zur Verbesserung der Energieeffizienz stehen Wärmedämmungslösungen zur Verfügung, die gleichzeitig die optimierte Regulation von Gebäudetemperaturen im Sommer und bei Hitze ermöglichen (Fallbeispiele: Climate Change Adaptation Plans Vancouver und Wellington).	2

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Anpassung: Maßnahmenbündel	Synergien	Wertung
1.2 Nachhaltige, klima-gerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Roof Ponds	A: Hitze	A6: Passive Kühlung und alternative (energieeffiziente und klimaneutrale) aktive Kühlung von Gebäuden (thermischer Innenkomfort)	Maßnahme zur Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden, die gleichzeitig für passive Kühlung im Sommer und bei Hitzeeinwirkung sorgt. <i>Mitigation co-benefit:</i> Roof Ponds sind gleichzeitig für passives Heizen im Winter geeignet und tragen damit zur ganzjährigen Energieeinsparung bei.	2
1.2 Nachhaltige, klima-gerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Aktives und passives Gebäudedesign	D: Sonstige Extremwetter- & Naturgefahrenereignisse	D1: Bauliche Maßnahmen zur Erhöhung der Resistenz von Gebäuden und Infrastrukturanlagen gegen Extremwetterereignisse (Sturm, Hagel, Blitz, Schnee- und Eislast, gravitative Naturgefahren)	Wahl von multifunktionalen Baumaterialien, Bauausführung und Gestaltung der Gebäudehülle (inkl. Anbauten), um die energetische Performance von Gebäuden zu verbessern und gleichzeitig deren Resistenz gegenüber Extremwettereinflüssen (Sturm, Hagel, Eis, Temperaturschwankungen, etc.) zu erhöhen.	2

Die Wertungen resultieren aus qualitativen Experteneinschätzungen des Projektkonsortiums, arithmetischer Mittelwertbildung der Einzelbewertungen (n = 6) mit Rundung sowie Plausibilisierung in Workshops. Die Wertungsstufen beziehen sich auf die Stärke, Intensität, Enge, Wahrscheinlichkeit und Plausibilität der Wirkungszusammenhänge auf einer dreistufigen Skala: 1 ... gering, schwach, lose, eher unwahrscheinlich, unsicher; 2 ... mäßig, mittel; 3 ... hoch, stark, eng, sehr wahrscheinlich, betrifft mehrere Anpassungsbereiche bzw. -maßnahmen.

Tabelle 43: Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“: Konflikte von THG-Minderungsmaßnahmen mit Maßnahmen zur Klimaanpassung

Negative Auswirkungen von städtischen THG-Minderungsmaßnahmen auf Maßnahmen der Klimaanpassung im Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Anpassung: Maßnahmenbündel	Konflikte	Wertung
1.1 Nachhaltige, klima-gerechte Baustoffe	Biobasierte Materialien	D: Sonstige Extremwetter- & Naturgefahrenereignisse	D1: Bauliche Maßnahmen zur Erhöhung der Resistenz von Gebäuden und Infrastrukturanlagen gegen Extremwetterereignisse (Sturm, Hagel, Blitz, Schnee- und Eislast, gravitative Naturgefahren)	Biobasierte Baumaterialien, wie Holz und Bambus, weisen eine höhere Anfälligkeit für Verschleiß unter erhöhter (Luft)Feuchtigkeit auf, die durch mehr Niederschlag, windgetriebenen Regen, Schnee oder Überflutungen auftreten kann. Dadurch verringert sich die Klimaresistenz von Gebäuden gegenüber Extremwettereinflüssen und werden zusätzliche Maßnahmen zur Erhöhung der Extremwetterresistenz von Gebäuden erschwert.	1
1.2 Nachhaltige, klima-gerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Aktives und passives Gebäudedesign	D: Sonstige Extremwetter- & Naturgefahrenereignisse	D1: Bauliche Maßnahmen zur Erhöhung der Resistenz von Gebäuden und Infrastrukturanlagen gegen Extremwetterereignisse (Sturm, Hagel, Blitz, Schnee- und Eislast, gravitative Naturgefahren)	Bestehende Bauordnungen und Energieeffizienzstandards für Gebäude berücksichtigen im Regelfall noch keine künftigen Klimaveränderungen. In der Gegenwart sanierte oder neu errichtete Gebäude sind damit nicht auf erhöhte physikalische Beanspruchungen durch zunehmende Extremwettereinflüsse ausgelegt.	2
1.2 Nachhaltige, klima-gerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Cool Roofs	Kälte	A3: Kühlende Materialien und Oberflächen A6: Passive Kühlung und alternative (energieeffiziente und klimaneutrale) aktive Kühlung von Gebäuden (thermischer Innenkomfort)	Kühle Dächer (helle Oberflächen, reflektierende Materialien mit geringer Wärmeaufnahme) können in der kalten Jahreszeit den thermischen Innenkomfort beeinträchtigen und eine signifikante Steigerung des Heizbedarfs verursachen. Die Maßnahme ist daher zur Anpassung in kalten Klimaten nicht geeignet.	1

Die Wertungen resultieren aus qualitativen Experteneinschätzungen des Projektkonsortiums, arithmetischer Mittelwertbildung der Einzelbewertungen (n = 6) mit Rundung sowie Plausibilisierung in Workshops. Die Wertungsstufen beziehen sich auf die Stärke, Intensität, Enge, Wahrscheinlichkeit und Plausibilität der Wirkungszusammenhänge auf einer dreistufigen Skala: 1 ... gering, schwach, lose, eher unwahrscheinlich, unsicher; 2 ... mäßig, mittel; 3 ... hoch, stark, eng, sehr wahrscheinlich, betrifft mehrere Anpassungsbereiche bzw. -maßnahmen.

D.1.3 Co-Benefits und Trade-offs mit Umwelt- und Nachhaltigkeitszielen

Tabelle 44: Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“: Co-Benefits von THG-Minderungsmaßnahmen für Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele

Positive Auswirkungen von städtischen THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“ auf die Umweltqualität und sozialökologische Ziele einer nachhaltigen Stadtentwicklung

Klimaschutz: Handlungs- strategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Stadtpolitik: Zielbereich	Co-Benefit	Wertung
1.1 Nachhaltige, klimagerechte Baustoffe	Biobasierte Materialien	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte	Die Verwendung regionaler, nachwachsender Rohstoffe kann zum Aufbau neuer grüner Bioökonomien und regionaler Versorgungsketten beitragen, die Arbeitsplätze und Einkommen schaffen und Armut verringern können.	2
1.2 Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Aktives und passives Gebäudedesign	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte	Alle Maßnahmen im Rahmen von Green Building- und Gebäudesanierungs-Programmen (wie passives Gebäudedesign, passive Kühlung in Kombination mit Nachtlüftung, optimierte Gebäudeausrichtung, Fensterleistung, Wärmedämmung, roof ponds, etc.), die den thermischen Innenkomfort bei Hitzewellen (sowie bei Kälte) verbessern, reduzieren gesundheitliche Risiken und entlasten das Gesundheitssystem.	3
1.2 Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Aktives und passives Gebäudedesign	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte	Alle Maßnahmen im Rahmen von Green Building- und Gebäudesanierungs-Programmen (wie passives Gebäudedesign, passive Kühlung in Kombination mit Nachtlüftung, optimierte Gebäudeausrichtung, Fensterleistung, Wärmedämmung, roof ponds, etc.), die auf Erhöhung der Energieeffizienz und Senkung des Energieverbrauchs abzielen, tragen zur Senkung der Energiekosten von Haushalten und damit zur Vermeidung von Energiearmut bei. Insbesondere einkommensschwachen Haushalten wird es dadurch leichter möglich, thermischen Innenkomfort auf energieeffiziente und leistbare Weise aufrechtzuerhalten und gesundheitliche Beeinträchtigungen zu reduzieren.	3
1.2 Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Aktives und passives Gebäudedesign	Wasser	Ökologischer Neubau und Sanierung können dazu beitragen, die Wassernutzungseffizienz von Gebäuden zu verbessern. Dachgärten und Roof Pond-Anlagen ermöglichen das Speichern von Regenwasser bzw. Recyceln von gespeichertem Grauwasser. Beides trägt zur Reduktion von Wasserverbrauch und zur Schonung von Wasserressourcen bei.	2
1.2 Nachhaltige, klimagerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	Erhaltung und energetische	Gesundheit, Lebensqualität,	Baudenkmale und sonstige besonders erhaltenswerte Bausubstanz haben auch eine soziale und kulturelle Wirkung, sie sind Zeitzeugnis	1

Klimaschutz: Handlungs- strategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Stadtpolitik: Zielbereich	Co-Benefit	Wertung
gerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	Optimierung von denkmalgeschütztem Bestand	soziale Aspekte	regionaler Bautradition und -stile, sie prägen in ihrem räumlichen Zusammenhang die städtebauliche Struktur, sie bestimmen typische Ortsbilder und sie sind durch ihre Nutzung zum festen Bestandteil der Stadtgeschichte geworden.	

Die Wertungen resultieren aus qualitativen Experteneinschätzungen des Projektkonsortiums, arithmetischer Mittelwertbildung der Einzelbewertungen (n = 6) mit Rundung sowie Plausibilisierung in Workshops. Die Wertungsstufen beziehen sich auf die Stärke, Intensität, Enge, Wahrscheinlichkeit und Plausibilität der Wirkungszusammenhänge auf einer dreistufigen Skala: 1 ... gering, schwach, lose, eher unwahrscheinlich, unsicher; 2 ... mäßig, mittel; 3 ... hoch, stark, eng, sehr wahrscheinlich, mehrfache positive Effekte.

Tabelle 45: Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“: Trade-offs von THG-Minderungsmaßnahmen für Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele

Negative Auswirkungen von städtischen THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Nachhaltiges Bauen“ auf die Umweltqualität und sozialökologische Ziele einer nachhaltigen Stadtentwicklung

Klimaschutz: Handlungs- strategie	Klimaschutz: Maßnahmen -bündel	Stadtpolitik: Zielbereich	Co-Benefit	Wertung
1.1 Nachhaltige, klimagerechte Baustoffe	Biobasierte Materialien	Übergreifend, übergeordnet	Großmaßstäbliche Substitution von konventionellen Baustoffen durch biomassebasierte Baumaterialien, wie insbesondere holzbasierte Produkte (laminiertes Bauholz, etc.), kann zu starker Steigerung der Holznachfrage und zu zunehmender Flächenkonkurrenz zwischen land- und forstwirtschaftlichen Landnutzungen führen. Die Präferenz für forstliche Monokulturen zur Holzproduktion geht mit negativen Auswirkungen auf die Biodiversität einher; der Einsatz von Düngemitteln und Bewässerung kann zu Umweltbelastungen und Konkurrenz um knappe Wasserressourcen führen. Negative Auswirkungen auf Ökosysteme und deren Leistungen können in Regionen mit geringem Waldanteil sowie bei nicht nachhaltiger Waldbewirtschaftung in Herkunftsregionen besonders gravierend sein. Als Klimaschutzstrategie kann die Transition zu holzbasierten Baumaterialien nur erfolgreich sein, wenn das Holz aus nachhaltig bewirtschafteten Wäldern stammt (Churkina et al., 2020)	2
1.1 Nachhaltige, klimagerechte Baustoffe	Biobasierte Materialien	Biodiversität, Naturräume	Verstärkte Nachfrage nach biobasierten Baumaterialien, wie Holz oder Bambus, kann zu Übernutzung und nicht nachhaltigen Produktionsmethoden führen, die Ökosysteme degradieren und Biodiversitätsverluste verursachen. Negative Auswirkungen auf Ökosysteme, Naturräume und die Biodiversität können - je nach Herkunftsgebieten der Rohstoffe - sowohl im regionalen Stadtumland als auch gänzlich anderswo entstehen.	2
1.1 Nachhaltige, klimagerechte Baustoffe	Regionale mineralische bzw. geogene Rohstoffe	Übergreifend, übergeordnet	Fortschreitende globale Urbanisierung und Stadtwachstum sowie Erneuerung und Sanierung des Bestands verursachen hohen Bedarf an geogenen, mineralisch basierten Rohstoffen, auch zur Erzeugung von Baumaterialien wie Beton, Stahl, Aluminium und Glas. Dies benötigt hohe Mengen an Sand, der natürlichen Ökosystemen entnommen wird, und die Gewinnung von Erzen führt zu lokaler Entwaldung und Bodendegradation. Die Extraktion der für Bautätigkeiten benötigten Ressourcen verursacht daher Umweltdegradation im Stadtumland bzw. in anderen Ländern und Weltregionen.	2

Klimaschutz: Handlungs- strategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Stadtpolitik: Zielbereich	Co-Benefit	Wertung
1.1 Nachhaltige, klima- gerechte Baustoffe	Biobasierte Materialien	Gesundheit, Lebens- qualität, soziale Aspekte	Neuartige organische/nachhaltige Wärmedämmstoffe sind teurer als konventionelle Materialien. Damit steht ihre Leistbarkeit für einkommensschwache Gruppen in Frage bzw. können sich Miet-/Wohnkosten für vulnerable Gruppen erhöhen.	2
1.1 Nachhaltige, klima- gerechte Baustoffe	Biobasierte Materialien	Gesundheit, Lebens- qualität, soziale Aspekte	Klebstoffe und Stoffe zur Erhöhung der Haltbarkeit (Anstriche, Brandschutzmittel, Insektenschutzmittel, etc.), die bei der Verarbeitung von biobasierten Materialien, wie Holz und Bambus, verwendet werden, können Gesundheitsprobleme verursachen.	2
1.2 Nachhaltige, klima- gerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Aktives und passives Gebäude- design	Gesundheit, Lebens- qualität, soziale Aspekte	Neubau und Sanierung im Bestand sind kostenaufwändig. Hieraus können negative Auswirkungen auf soziale Gerechtigkeit resultieren, wenn Maßnahmen und deren Nutzen nur einkommensstärkeren Gruppen zugute kommen bzw. erhöhte Wohn- und Betriebskosten für einkommensschwache Stadtbewohner:innen verursachen. <i>Mitigation trade-off:</i> Es braucht oft Jahrzehnte, bis die zusätzlichen THG-Emissionen, die bei Neubau oder Sanierung durch Baumaterialien, Lieferketten und Baustellenbetrieb entstehen, durch Energieeinsparungen beim effizienteren Betrieb kompensiert sind.	2
1.2 Nachhaltige, klima- gerechte Bauweisen (Architektur, Konstruktion, Design)	Nachhaltiger Neubau und Sanierung (Retrofitting): Gebäude- begrünung (Gründächer, Fassaden- begrünung)	Wasser	Die Anpassungswirkung von begrünten Gebäudehüllen (Fassaden, Dachgärten) und Roof Ponds gegen Hitze hängt von deren Wasserversorgung bzw. Wassergehalt ab. Dies verursacht erhöhten Bedarf nach Bewässerung.	1

Die Wertungen resultieren aus qualitativen Experteneinschätzungen des Projektkonsortiums, arithmetischer Mittelwertbildung der Einzelbewertungen (n = 6) mit Rundung sowie Plausibilisierung in Workshops. Die Wertungsstufen beziehen sich auf die Stärke, Intensität, Enge, Wahrscheinlichkeit und Plausibilität der Wirkungszusammenhänge auf einer dreistufigen Skala: 1 ... gering, schwach, lose, eher unwahrscheinlich, unsicher; 2 ... mäßig, mittel; 3 ... hoch, stark, eng, sehr wahrscheinlich, mehrfache negative Effekte.

D.2 Handlungsfeld: Urbane Verdichtung

D.2.1 Co-Benefits und Trade-offs mit Klimaanpassung

Tabelle 46: Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“: Co-Benefits von THG-Minderungsmaßnahmen für Ziele der Klimaanpassung

Positive Auswirkungen von städtischen THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“ auf Ziele der Klimaanpassung

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmenbündel	Anpassung: Klimafolgenbereich	Co-Benefit	Wertung
2.1 Horizontale Verdichtung	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung	E: Übergreifend, übergeordnet	Verringerte Flächeninanspruchnahme für Stadterweiterung und Siedlungstätigkeiten im Umland trägt zum Erhalt von Ökosystemen (Wald, Feuchtgebiete, Kaltluftentstehungsgebiete, Küstenökosysteme, etc.) und von deren ökosystem-/naturbasierten Anpassungsleistungen (Wasserrückhalt, Versickerung und Grundwasserneubildung, Kaltluftproduktion und -leitung, Naturgefahrenschutz, Lebensraumvernetzung, Küstenschutz, etc.) bei. <i>Mitigation co-benefits:</i> Durch die Erhaltung der Kohlenstoff-Senkenfunktion von Naturräumen im Stadtumland und die Freihaltung von Flächenpotenzialen für die erneuerbare Energieerzeugung (PV, Windkraft, biogene Energieträger) entsteht Zusatznutzen für den Klimaschutz.	3
2.1 Horizontale Verdichtung	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung	E: Übergreifend, übergeordnet	Kompakte Städte benötigen eine weniger flächengreifende Infrastrukturentwicklung. Dies reduziert Kosten und Aufwände für Errichtung, Betrieb und Erhaltung von technischer Ver- und Entsorgungsinfrastruktur (Elektrizität, Wasser, Abwasser, Abfall, Straßen, Telekommunikation). Hierdurch freiwerdende Finanzmittel stärken potenziell die generische Resilienz und Anpassungskapazität von Städten. <i>Mitigation co-benefit:</i> Gleichzeitig entsteht Zusatznutzen für den Klimaschutz, weil durch geringeren Bedarf an neuer Infrastruktur substanzielle Einsparungen von Energie und THG-Emissionen ermöglicht werden.	3
2.1 Horizontale Verdichtung	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung	B: Überflutungen (fluvial, pluvial, Küsten) D: Sonstige Extremwetter- & Natur-	Kompakte, nach innen orientierte Stadtentwicklung verringert die Flächeninanspruchnahme im Stadtumland und vermeidet disperse, flächenintensive Siedlungsentwicklung (Suburbanisierung/Zersiedelung). Dies trägt zur Verringerung der Exposition gegenüber klimagetriebenen Hochwasser-, Naturgefahren-	2

Klimaschutz: Handlungs- strategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Co-Benefit	Wertung
		gefahren- ereignisse	und Extremwetterrisiken (inkl. Waldbrand) im Stadtumland bei und ermöglicht die Risikovermeidung und -reduktion durch Freihaltung von Gefährdungsbereichen und Restrisikozonen. Die Erhaltung oder Wiederherstellung von funktionsfähigen Hochwasserrückhalte- und Abflussräumen in Stadtumland sowie von naturnahen Küstenhabitaten zum Schutz vor Meeresspiegelanstieg und Springfluten stärkt generell die Klima- und Katastrophenresilienz von Städten.	
2.1 Horizontale Verdichtung	Urbane Kompaktheit, flächen- effiziente Innen- entwicklung	E: Über- greifend, übergeordnet	Urbane Dichte begünstigt einen niedrigeren Energiebedarf für Betrieb und thermischen Komfort von Gebäuden (Effizienzgewinne). Dies trägt indirekt dazu bei, die Vulnerabilität von Städten gegenüber Energieschocks zu reduzieren und damit die Krisenresilienz zu erhöhen. Geringerer Energieverbrauch reduziert weiters die Netzbelastung, erhöht die Resilienz der Energieversorgung gegenüber Hitzebelastung und Extremwetterereignissen, und verringert damit das Risiko von Black-outs.	2
2.1 Horizontale Verdichtung	Bauland- reserven- management	E: Über- greifend, übergeordnet	Das strategische Management von Baulandreserven kann sich positiv auf die Anpassung an Klimafolgen wie Hitze, Überflutung und Trockenheit auswirken, wenn dieses unter entsprechenden Gesichtspunkten erfolgt. Die Mobilisierung von Baulandreserven in gering klimarisikoexponierten und raumstrukturell günstigen Lagen (im bereits bebauten Stadtgebiet, mit unmittelbarer Anbindung an bestehendes Siedlungsgebiet) verringert den Neuwidmungsdruck in potenziell ungünstigeren (peripheren) Lagen und verringert so neue Flächeninanspruchnahme und Zersiedelung. Durch Abbau (Rückwidmung) von überhöhten und nicht verfügbaren Baulandreserven in risikoexponierten und siedlungsstrukturell ungünstigen Lagen können die Exposition gegenüber Klimarisiken (Hochwasser, Extremereignisse) verringert sowie anpassungswirksame Naturräume freigehalten werden (Erhöhung der Anpassungskapazität).	2
2.1 Horizontale Verdichtung	Brachflächen- recycling	E: Über- greifend, übergeordnet	Flächenkonversion, Reaktivierung und Renaturierung von Brachflächen bieten prinzipiell die Chance für Interventionen in Richtung klimaorientierte Stadtentwicklung, inklusive Klimaanpassung. Zum Beispiel für die Schaffung von Grünflächen, dezentralen	2

Klimaschutz: Handlungs- strategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Co-Benefit	Wertung
			Regenentwässerungs-/ Versickerungsflächen und Regenwassersammelanlagen.	
2.1 Horizontale Verdichtung	Brachflächen- recycling, Schließen von Baulücken	B: Über- flutungen (fluvial, pluvial, Küsten)	Baulückenschließung und Flächenrecycling ermöglichen durch effizientere Flächennutzung im Stadtinneren die Einschränkung neuer Flächeninanspruchnahme im Stadtumland. Dies trägt zur Vermeidung zusätzlicher Hochwasserrisiken bei (Vermeidung von städtischem Flächenwachstum in überflutungsgefährdete Gebiete).	2
2.1 Horizontale Verdichtung	Leerstands- aktivierung, Erhöhung der Nutzungs- dichte im Gebäude- bestand	A: Hitze B: Über- flutungen (fluvial, pluvial, Küsten) E: Über- greifend, übergeordnet	Leerstandsaktivierung kann eine Verringerung des notwendigen Zubaus (etwa durch Bevölkerungswachstum) bewirken und somit überhöhte, klimatisch ungünstige horizontale Verdichtung vermeiden, was sich potenziell positiv auf den UHI-Effekt sowie das Überflutungsrisiko auswirkt. Zudem trägt die Aktivierung von Leerständen zur Vermeidung neuer Flächeninanspruchnahme und von Zersiedelung im Stadtumland bei, wodurch Anpassungsleistungen von unbebauten Naturräumen erhalten und zusätzliche Klimarisikoeexposition vermieden werden kann.	2
2.1 Horizontale Verdichtung	Urbane Kompaktheit, flächen- effiziente Innen- entwicklung	A: Hitze	Extreme Hitzewellen treten teilweise in kompakten Städten mit angemessenen Dichteniveaus weniger häufig auf als in stark suburbanisierten, zersiedelten und flächenintensiven Stadttypen (begrenzte wissenschaftliche Evidenz, Effekt vermutlich stark kontextabhängig).	1
2.1 Horizontale Verdichtung	Urbane Kompaktheit, flächen- effiziente Innen- entwicklung	C: Trockenheit	Urbane Kompaktheit und Dichte begünstigen einen niedrigeren Wasserverbrauch pro Kopf und können so in trockenheitsanfälligen Regionen zur Verringerung von Wasserstress beitragen.	1
2.2 Vertikale Verdichtung	Neubau bzw. Sanierung mit größeren Gebäude- höhen, Aufstockung, Dachboden-/ Kellerausbau	A: Hitze B: Über- flutungen (fluvial, pluvial, Küsten)	Durch höhere Baulandnutzungseffizienz und höhere Einwohnerdichten kann vertikale Verdichtung den Bedarf nach horizontaler Erhöhung der Bebauungsdichte mindern. Dies trägt dazu bei, Flächenpotenziale für grüne Infrastruktur zur Anpassung an Hitze und Starkregen innerhalb der Stadt zu erhalten bzw. Entsiegelungspotenziale besser ausschöpfen zu können.	2
2.2 Vertikale Verdichtung	Neubau bzw. Sanierung mit größeren	A: Hitze	Höhere Gebäude erzeugen zusätzliche Schattenwirkung und können so bei entsprechendem städtischem Design lokal den UHI-Effekt und Hitzestress mindern.	2

Klimaschutz: Handlungs- strategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Co-Benefit	Wertung
	Gebäude- höhen		<i>Mitigation trade-off:</i> Nachteilige Rückwirkungen auf den Klimaschutz sind nicht auszuschließen, weil größere Gebäudehöhen aus baustatischen Gründen einen erhöhten Einsatz von energieintensiven Baumaterialien mit ungünstiger THG-Bilanz, wie Stahl und Beton/Zement, erfordern können.	

Die Wertungen resultieren aus qualitativen Experteneinschätzungen des Projektkonsortiums, arithmetischer Mittelwertbildung der Einzelbewertungen (n = 6) mit Rundung sowie Plausibilisierung in Workshops. Die Wertungsstufen beziehen sich auf die Stärke, Intensität, Enge, Wahrscheinlichkeit und Plausibilität der Wirkungszusammenhänge auf einer dreistufigen Skala: 1 ... gering, schwach, lose, eher unwahrscheinlich, unsicher; 2 ... mäßig, mittel; 3 ... hoch, stark, eng, sehr wahrscheinlich, mehrfache positive Effekte.

Tabelle 47: Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“: Trade-offs von THG-Minderungsmaßnahmen für Ziele der Klimaanpassung

Negative Auswirkungen von städtischen THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“ auf Ziele der Klimaanpassung

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmenbündel	Anpassung: Klimafolgenbereich	Trade-off	Wertung
2.1 Horizontale Verdichtung	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung	A: Hitze	<p>Die bauliche Verdichtung der städtischen Struktur führt zur Verringerung des Flächenpotenzials für Grün- und Freiflächen, kann den städtischen Wärmeinseleffekt verstärken und insbesondere auch die nächtliche Abkühlung reduzieren, und erhöht damit potenziell den Hitzestress für die Bevölkerung. Mit fortschreitendem Klimawandel und steigender Bevölkerungsdichte nehmen die Risikoexposition und Vulnerabilität der Stadtbevölkerung gegenüber Hitze zu. Fortschreitende Urbanisierung und Verdichtung führen zudem zu steigender Wärmespeicherkapazität baulicher Strukturen und zu mehr anthropogenen Wärmelasten (Abwärme).</p> <p><i>Mitigation trade-off:</i> Gleichzeitig kann übermäßige städtische Verdichtung auch zusätzliche THG-Emissionen induzieren, z.B. durch steigenden Energiebedarf für technische Kühlung infolge einer Intensivierung des UHI-Effekts und durch reduzierte innerstädtische Flächenpotenziale für erneuerbare Energiebereitstellung.</p>	2
2.1 Horizontale Verdichtung	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung	B: Überflutungen (fluvial, pluvial, Küsten) E: Übergreifend, übergeordnet	<p>Die Verdichtung der städtischen Struktur reduziert den unversiegelten, versickerungsfähigen Grün- und Freiflächenanteil, erhöht den pluvialen Oberflächenabfluss durch höheren Versiegelungs- bzw. Überbauungsgrad und erhöht dadurch das lokale Überflutungsrisiko infolge von Starkregen in Siedlungsräumen. Verringerte natürliche Stadtentwässerung belastet die technische Abwasserentsorgungsinfrastruktur und verursacht zusätzliche Kosten für Investitionsbedarf, Betrieb und Instandhaltung für technische Entwässerungslösungen (Kanalisation, Pumpenanlagen, Kläranlagen, etc.); hierdurch gebundene finanzielle Mittel stehen für andere gemeinwohlorientierte Maßnahmen, einschließlich für Klimaschutz und Klimaanpassung, nicht mehr zur Verfügung und verringern damit die generische Resilienz von Städten.</p> <p><i>Mitigation trade-off:</i> Negative Rückwirkungen auf den Klimaschutz entstehen dadurch, dass der Ausbau der technischen Wasserentsorgungsinfrastruktur zusätzlichen Energieeinsatz erfordert.</p>	2

Klimaschutz: Handlungs- strategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Trade-off	Wertung
2.1 Horizontale Verdichtung	Urbane Kompaktheit, flächen- effiziente Innen- entwicklung	A: Hitze	<p>Eine Überhitzung von Städten durch überhöhte bauliche Verdichtung kann zu Fehlanpassungsverhalten von Stadtbewohner*innen führen, indem vermehrtes "Hitzevluchtverhalten" in der Freizeit ("temporäre Stadtflucht") ausgelöst und der im globalen Norden vielfach bestehende Trend zur Multilokalität (Freizeit- und Nebenwohnsitze in kühleren ländlichen Regionen) verstärkt wird. Dies treibt im Stadtumland und in ländlichen Lagen die Flächeninanspruchnahme für neue Wohnsitze und siedlungsbezogene Infrastruktur an und beeinträchtigt tendenziell die ökosystembasierte Anpassungskapazität.</p> <p><i>Mitigation trade-off:</i> Multilokale Wohn- und Lebensformen erzeugen eine Zunahme des Individualverkehrs und von verkehrsbedingten THG-Emissionen.</p>	2
2.1 Horizontale Verdichtung	Urbane Kompaktheit, flächen- effiziente Innen- entwicklung	<p>B: Überflutungen (fluvial, pluvial, Küsten)</p> <p>D: Sonstige Extremwetter- & Naturgefahrenereignisse</p>	<p>Verdichtung städtischer Strukturen, kombiniert mit fortschreitender Urbanisierung und Bevölkerungswachstum, erhöht durch steigende Konzentration von Gebäuden, Infrastruktur, Bevölkerung und Werten grundsätzlich das Schadenspotenzial gegenüber Extremwetterereignissen und Naturkatastrophen auf derselben Fläche. Bezogen auf die Stadtfläche, erhöht sich somit die Exposition und das Risiko gegenüber Stürmen, Hochwasser und Überflutungen von Meeresküsten.</p>	2
2.1 Horizontale Verdichtung	Bauland- reserven- management	<p>B: Überflutungen (fluvial, pluvial, Küsten)</p> <p>D: Sonstige Extremwetter- & Naturgefahrenereignisse</p>	<p>Überhöhte, nicht bedarfsangepasste Baulandreserven (gewidmete, aber unbebaute Flächen) treiben das Wachstum des Flächenverbrauchs an, weil bestehendes Bauland nicht für den Bodenmarkt und die Bebauung zur Verfügung steht. Strategien zur Mobilisierung von Baulandreserven gelten daher als ein Schlüssel zur Verringerung neuer Flächeninanspruchnahme. Baulandmobilisierung kann allerdings auch dazu führen, dass Bauflächen in siedlungsstrukturellen (peripheren) Ungunstlagen und in Risikozonen, die durch Hochwasser oder andere Naturgefahren gefährdet sind, bebaut werden ("legalisierte Zersiedelung"). Hierdurch kann sich die Exposition gegenüber Klimarisiken erhöhen.</p>	2

Klimaschutz: Handlungs- strategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Trade-off	Wertung
2.1 Horizontale Verdichtung	Brachflächen- recycling	E: Über- greifend, übergeordnet	Die Bebauung von Brachflächen im Zuge der Ausschöpfung von Nachverdichtungspotenzialen im Stadtinneren erhöht potenziell den UHI-Effekt und den Oberflächenabfluss und verringert die Flächenverfügbarkeit für Anpassungsmaßnahmen, wie grüne / blaue Infrastruktur und naturbasierte Regenentwässerung.	2
2.2 Vertikale Verdichtung	Neubau bzw. Sanierung mit größeren Gebäude- höhen, Aufstockung, Dachboden-/ Kellerausbau	A: Hitze	Vertikale Verdichtung durch größere Gebäudehöhen beeinflusst die städtische Luftzirkulation und die Windverhältnisse. Dies kann die Frischluftzufuhr und den Austausch von heißen Luftmassen beeinträchtigen. Zudem trägt die Erhöhung der Baumasse auf gleicher Fläche zur Verstärkung des UHI-Effekts bei (Wärmespeicherung, Abstrahlung).	2

Die Wertungen resultieren aus qualitativen Experteneinschätzungen des Projektkonsortiums, arithmetischer Mittelwertbildung der Einzelbewertungen (n = 6) mit Rundung sowie Plausibilisierung in Workshops. Die Wertungsstufen beziehen sich auf die Stärke, Intensität, Enge, Wahrscheinlichkeit und Plausibilität der Wirkungszusammenhänge auf einer dreistufigen Skala: 1 ... gering, schwach, lose, eher unwahrscheinlich, unsicher; 2 ... mäßig, mittel; 3 ... hoch, stark, eng, sehr wahrscheinlich, mehrfache negative Effekte.

D.2.2 Synergien und Konflikte mit Klimaanpassung

Tabelle 48: Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“: Synergien von THG-Minderungsmaßnahmen mit Maßnahmen zur Klimaanpassung

Positive Auswirkungen von städtischen THG-Minderungsmaßnahmen auf Maßnahmen der Klimaanpassung im Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Anpassung: Maßnahmenbündel	Synergien	Wertung
2.1 Horizontale Verdichtung	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung	A: Hitze	A1: Grüne und blaue Infrastruktur (flächenhaft, linear)	Nach innen orientierte Stadtentwicklung mit Schutz von außenliegenden Grün- und Freiräumen ermöglicht und unterstützt die Freihaltung und Funktionserhaltung von Naturräumen im Stadtumland, die als Kaltluftproduktionsräume und Frischluftentstehungsgebiete für das Stadtgebiet fungieren können, sowie deren funktionale Anbindung über Ausweisung von Kaltluftleitbahnen an das Stadttinnere. <i>Mitigation co-benefits:</i> Kohlenstoff-Senkenwirkung von Naturräumen; Energieeinsparung und THG-Minderung durch naturbasierte Kühlung.	2
2.1 Horizontale Verdichtung	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung	B: Über- flutungen (fluvial, pluvial, Küsten)	B1: Schutzinfrastruktur: technischer Hochwasser- und Küstenschutz (aktiv)	Kompakte, nach außen gut abgegrenzte Siedlungskörper erleichtern den wirkungsvollen und kosteneffizienten technischen Schutz von Städten gegen Flusshochwasser, Meeresspiegelanstieg, Sturmfluten und Küstenerosion durch bauliche Schutzinfrastruktur (wohingegen zersiedelte, nach außen ausfransende Siedlungsstrukturen und Streusiedlungen nicht umfassend bzw. nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand baulich geschützt werden können). Zudem werden für aktive bauliche Schutzmaßnahmen benötigte Flächenpotenziale im Umland freigehalten. <i>Risiko für adaptation trade-off:</i> Um Fehlanpassungsrisiken zu vermeiden, ist ein verantwortungsvoller und vorausschauender Umgang mit Restrisiken wesentlich. Exposition gegenüber Restrisiken entsteht durch die verbreitete Praxis, dass nach der	2

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Anpassung: Maßnahmenbündel	Synergien	Wertung
				<p>Errichtung von Schutzinfrastruktur Gefahrenzonenplanungen und Beschränkungen für Baulandwidmungen und Bauführungen zurückgenommen werden. Durch Verdichtung in technisch geschützten Bereichen kommt es zum Ansteigen des Schadenspotenzials im Versagens- oder Überlastfall. Möglichkeiten zur Risikosteuerung bestehen in Ansätzen einer risikoorientierten Raumplanung mit differenzierten Nutzungsbeschränkungen in Restrisikobereichen.</p> <p><i>Mitigation trade-off:</i> Errichtung (Beton, Stahl, Bautätigkeit) und Instandhaltung von Schutzbauwerken verursachen THG-Emissionen (vermeiden aber Emissionen für Wiederaufbau, Reparatur und Instandsetzung im Schadensfall).</p>	
2.1 Horizontale Verdichtung	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung	B: Überflutungen (fluvial, pluvial, Küsten)	B3: Hochwasser- und Küstenschutz durch planerische und naturbasierte Maßnahmen (passiv)	<p>Innenverdichtung von Städten ist unmittelbar synergistisch mit der passiven Prävention von Überflutungsrisiken (sowie von Risiken durch andere klimagetriebene, z.B. gravitative Naturgefahrenprozesse), weil kompakte, nach außen abgegrenzte Stadtstrukturen das Freihalten überflutungsgefährdeter Lagen von baulicher Entwicklung unterstützen. Das Vermeiden von Siedlungsentwicklung in risikoexponierten Gebieten ist die vorrangige, effektivste und volkswirtschaftlich kosteneffizienteste Strategie zur Risikoprävention. Alle Instrumente und Maßnahmen von Raumplanung, Landnutzungsplanung und Risikomanagement, die auf die Freihaltung von gefährdeten Bereichen abzielen (wie Gefahrenzonenplanung, regionale Freihaltezonen, Widmungs- und Bebauungsverbote bzw. -beschränkungen), tragen zur Risikovermeidung und –reduktion bei. Naturbasierte Anpassungs- und Schutzmaßnahmen, die auf die Erhaltung, Wiederherstellung oder Schaffung von natürlichen Hochwasserabfluss- und Rückhalteräumen, natürlichen</p>	2

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Anpassung: Maßnahmenbündel	Synergien	Wertung
				<p>Küstenökosystemen (Marschen, Feuchtgebiete, Mangrovenwälder, Dünengebiete, etc.) oder naturnahen Strukturen (Wellenbrecher, Gezeitenbarrieren, Sandanreicherung, etc.) abzielen, reduzieren die Vulnerabilität von Städten gegenüber klimawandelbedingt verstärkten Hochwasser- und Naturgefahrenrisiken.</p> <p><i>Mitigation co-benefit:</i> Ökosystembasierte Maßnahmen zum Hochwasser- und Küstenschutz können die Kohlenstoffbindung steigern.</p>	
2.1 Horizontale Verdichtung	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung	D: Sonstige Extremwetter- & Naturgefahrenereignisse	D3: Management des Risikos von Wald- und Flächenbränden	Kompakte, klar nach außen abgegrenzte städtische Siedlungsstrukturen reduzieren die Fraktalität der äußeren Stadtgestalt und damit die Verzahnung von Siedlungen mit dem Umland (Wildlife-Urban-Interface). Dies begünstigt Maßnahmen der Waldbrandprävention und Waldbrandbekämpfung und senkt das Brand- und Schadensrisiko für Städte, weil weniger verstreute Einzelobjekte geschützt werden müssen und die Ausbreitung von Bränden auf Siedlungsgebiete besser verhindert werden kann.	2
2.1 Horizontale Verdichtung	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung	C: Trockenheit	C1: Angebotsseitiges Management von Wasserressourcen	Innenverdichtung und Kompaktheit von Städten unterstützen angebotsseitige Strategien zur Anpassung an Trockenheit und Wasserknappheit, indem sie den Schutz von Wasserkörpern, Grundwasservorkommen, Grundwasserneubildungsgebieten und Feuchtgebieten im Stadtumland durch Freihaltung von Siedlungstätigkeiten ermöglichen.	2
2.2 Vertikale Verdichtung	Neubau bzw. Sanierung mit größeren Gebäudehöhen, Aufstockung,	A: Hitze B: Überflutungen (fluvial, pluvial, Küsten)	A1: Grüne und blaue Infrastruktur (flächenhaft, linear)	Durch höhere Baulandnutzungseffizienz und höhere Einwohnerdichten kann vertikale Verdichtung den Bedarf nach horizontaler Erhöhung der Bebauungsdichte mindern. Dies trägt dazu bei, Flächenpotenziale für die Errichtung und Erhaltung von grüner und blauer Infrastruktur im Stadtraum sowie für	3

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Anpassung: Maßnahmenbündel	Synergien	Wertung
	Dachboden-/ Kellerausbau		B4: Naturbasiertes dezentrales städtisches Regenwasser- management C3: Regenwassermanagement und Regenwassernutzung	Maßnahmen zum Starkregen- und Regenwassermanagement zu sichern bzw. Entsiegelungspotenziale zur Herstellung von Versickerungsflächen besser auszuschöpfen. Vertikale Verdichtung reduziert somit innerstädtische Flächennutzungskonkurrenzen und erleichtert die Umsetzung von v.a. naturbasierten, grünen Maßnahmen zur Anpassung an Hitze und Überflutungen.	
2.2 Vertikale Verdichtung	Neubau bzw. Sanierung mit größeren Gebäude-höhen, Aufstockung, Dachboden-/ Kellerausbau	A: Hitze	A4: Verschattung von Gebäuden und städtischen Außenräumen A5: Klimatisch optimierte Konfiguration der Bebauung	Durch gezieltes urbanes Design und mikro-/mesoklimatisch optimiertes passives Gebäudedesign kann die Verschattungswirkung von höheren Gebäuden sowie deren kanalisierende Wirkung für Windströmungen und Luftzirkulationen möglichst optimal genutzt werden, um Hitzestress und den UHI-Effekt zumindest lokal zu mindern. <i>Mitigation trade-off:</i> Größere Gebäudehöhen erfordern, v.a. aus baustatischen Gründen, einen erhöhten Einsatz von energieintensiven Baumaterialien mit ungünstiger THG-Bilanz wie Stahl und Beton/Zement.	2
2.3 Qualitätsvoll verdichtete, energieoptimierte, klimafreundliche Quartiers- und Bebauungs- strukturen	Sanierung/ Umbau/ Neuentwicklung von Quartieren; großvolumige (offene) Block- bebauung; Blockrand- bebauung; polyzentrische, funktions- gemischte Strukturen	A: Hitze	A1: Grüne und blaue Infrastruktur (flächenhaft, linear)	Umbau und Neuentwicklung von Stadtquartieren mit qualitätsvoll verdichteten Bebauungsstrukturen können dazu genutzt werden, grüne und blaue Infrastruktur integriert und gleichwertig zur baulichen Entwicklung zu planen und angemessene Anteile von Grünflächen und Wasserelementen mit kühlender Wirkung zu sichern, aufzuwerten und anzulegen. <i>Mitigation co-benefits:</i> Kohlenstoffbindung durch Vegetation; Energieeinsparung und THG-Reduktion durch naturbasierte Kühlung.	3

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Anpassung: Maßnahmenbündel	Synergien	Wertung
2.3 Qualitätsvoll verdichtete, energieoptimierte, klimafreundliche Quartiers- und Bebauungsstrukturen	Sanierung/ Umbau/ Neuentwicklung von Quartieren; großvolumige (offene) Blockbebauung; Blockrandbebauung; polyzentrische, funktionsgemischte Strukturen	A: Hitze	A5: Klimatisch optimierte Konfiguration der Bebauung	Umbau und Neuentwicklung von Stadtquartieren können dazu genutzt werden, durch passives urbanes Design (Gebäudeanordnung, -ausrichtung und -höhen; bauliche Grundstücksnutzung und Versiegelungsgrade) Überhitzung zu vermeiden, Verschattung zu erzeugen und Frischluftzufuhr zu gewährleisten. <i>Mitigation co-benefit:</i> Energieeinsparung und THG-Reduktion durch naturbasierte Kühlung.	3
2.3 Qualitätsvoll verdichtete, energieoptimierte, klimafreundliche Quartiers- und Bebauungsstrukturen	Sanierung/ Umbau/ Neuentwicklung von Quartieren; großvolumige (offene) Blockbebauung; Blockrandbebauung; polyzentrische, funktionsgemischte Strukturen	B: Überflutungen (fluvial, pluvial, Küsten)	B4: Naturbasiertes dezentrales städtisches Regenwasser-management	Umbau und Neuentwicklung von Stadtquartieren können dazu genutzt werden, unversiegelte, versickerungsfähige Flächen, Rückhalteflächen, Abflussschneisen und Entsiegelungspotenziale für Regenentwässerung und Versickerung zu sichern und umzusetzen. <i>Mitigation co-benefits:</i> Kohlenstoffbindung durch Vegetation; Einsparung von Energie und THG-Emissionen für technische Entwässerungslösungen (Errichtung, Betrieb, Instandhaltung).	2
2.3 Qualitätsvoll verdichtete, energieoptimierte, klimafreundliche	Sanierung/ Umbau/ Neuentwicklung von Quartieren;	B: Überflutungen (fluvial, pluvial, Küsten)	B2: Hochwasserangepasste Bauweisen und technischer Objektschutz	Umbau und Neuentwicklung von Stadtquartieren können dazu genutzt werden, gleichzeitig technische Schutzmaßnahmen an Liegenschaften und Bebauungsstrukturen gegen Überschwemmungen umzusetzen, hochwasserangepasste	2

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Anpassung: Maßnahmenbündel	Synergien	Wertung
Quartiers- und Bebauungs- strukturen	großvolumige (offene) Block- bebauung; Blockrand- bebauung; polyzentrische, funktions- gemischte Strukturen			Bauweisen zu implementieren und im Rahmen schadensbegrenzender, risikodifferenzierter räumlicher Planung die Verortung von baulichen Nutzungsintensitäten an Gefährungsgrad und Schadenspotenzial auszurichten.	

Die Wertungen resultieren aus qualitativen Experteneinschätzungen des Projektkonsortiums, arithmetischer Mittelwertbildung der Einzelbewertungen (n = 6) mit Rundung sowie Plausibilisierung in Workshops. Die Wertungsstufen beziehen sich auf die Stärke, Intensität, Enge, Wahrscheinlichkeit und Plausibilität der Wirkungszusammenhänge auf einer dreistufigen Skala: 1 ... gering, schwach, lose, eher unwahrscheinlich, unsicher; 2 ... mäßig, mittel; 3 ... hoch, stark, eng, sehr wahrscheinlich, betrifft mehrere Anpassungsbereiche bzw. -maßnahmen.

Tabelle 49: Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“: Konflikte von THG-Minderungsmaßnahmen mit Maßnahmen zur Klimaanpassung

Negative Auswirkungen von städtischen THG-Minderungsmaßnahmen auf Maßnahmen der Klimaanpassung im Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Anpassung: Maßnahmenbündel	Konflikte	Wertung
2.1 Horizontale Verdichtung	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung	C: Trockenheit	C3: Regenwassermanagement und Regenwassernutzung	Horizontale Innenverdichtung verringert die Flächenverfügbarkeit für unversiegelte, nicht überbaute Flächen. Ein geringerer Anteil versickerungsfähiger Flächen beeinträchtigt die Grundwasserneubildung und die unterirdische Wasserspeicherkapazität ("Schwammstadt-Prinzip") und erschwert die Wasserversorgung von städtischer Vegetation, insbesondere während Trockenperioden.	3
2.1 Horizontale Verdichtung	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung	A: Hitze	A1: Grüne und blaue Infrastruktur (flächig, linear)	Bauliche Verdichtung steht in Flächenkonkurrenz mit der Sicherung, Aufwertung und Neuanlage von urbaner grüner und blauer Infrastruktur zur städtischen Hitzeminderung. Überhöhte Bebauungsdichten und Versiegelung verringern die Flächenverfügbarkeit für alle Formen von horizontalen Grünelementen und Wasserflächen mit Flächenansprüchen (Grünräume und -züge, Vegetationselemente, Begrünung von Brachflächen, urbane Landwirtschaft, Frischluftschneisen und Ventilationskorridore einschließlich deren funktioneller Anbindung ans Umland, etc.). Steigender bauökonomischer Verwertungsdruck und steigende Immobilienpreise in innerstädtischen Lagen erhöhen den Bebauungsdruck und erschweren die Freihaltung. Auch die Umsetzbarkeit von hybriden (vegetationstechnischen, ingenieurbioologischen) Maßnahmen kann deutlich erschwert werden und sich verteuern. <i>Mitigation trade-off:</i> Städtische Verdichtung kann die erneuerbare dezentrale Energiebereitstellung beschränken, weil die Flächenverfügbarkeit für erneuerbare Energieerzeugung innerhalb des Stadtraums sinkt, die Dachfläche für PV-	2

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Anpassung: Maßnahmenbündel	Konflikte	Wertung
				/Solaranlagen in verdichteten Gebieten grundsätzlich begrenzt ist und die Dachfläche/Kopf mit steigender Bevölkerungsdichte abnimmt. Die Produktionskapazität von erneuerbarer Energie/ Kopf ist in verdichteten Gebieten daher niedriger als in Gebieten mit niedriger Dichte.	
2.1 Horizontale Verdichtung	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung	A: Hitze	A5: Klimatisch optimierte Konfiguration der Bebauung	Überhöhte Bebauungsdichten verringern die Möglichkeiten für UHI-mindernde und das Stadt- und Gebäudeklima regulierende Maßnahmen des passiven Designs von Gebäuden und Bebauungsstrukturen bzw. können deren Wirksamkeit potenziell einschränken. Dies betrifft das gesamte Portfolio von Anpassungsmaßnahmen, die klimatische Parameter wie Albedo, Verschattung, Einstrahlung und Belüftung regulieren, wie z.B. klimatisch optimierte Lage, Orientierung, Exposition und Höhe von Baukörpern, Dach-, Fenster- und Fassadenausrichtung, Orientierung und Breite von Straßenzügen, etc.	2
2.1 Horizontale Verdichtung	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung	B: Überflutungen (fluvial, pluvial, Küste)	B4: Naturbasiertes dezentrales städtisches Regenwasser-management	Die Verdichtung der städtischen Bebauungsstruktur verringert das Flächenpotenzial für Maßnahmen zur naturbasierten dezentralen Regenentwässerung, erschwert deren Umsetzung und erhöht damit das pluvial Überflutungsrisiko. Dies betrifft alle Maßnahmen des Regenwassermanagements mit Flächenbedarf, wie naturnahe Versickerungs-, Rückhalte- und Entwässerungsflächen, die Entsiegelung oder die Umsetzung des Schwammstadtprinzips. Dadurch steigt der Bedarf nach technischen Entwässerungslösungen (z.B. Redimensionierung der Kanalisation, erhöhte Leistungsfähigkeit von Pumpenanlagen) und die Kosten für diesbezügliche Investitionen, Betrieb und Instandhaltung.	2

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Anpassung: Maßnahmenbündel	Konflikte	Wertung
2.1 Horizontale Verdichtung	Flächenrecycling	A: Hitze B: Über- flutungen (fluvial, pluvial, Küste)	A1: Grüne und blaue Infrastruktur (flächenhaft, linear) B4: Naturbasiertes dezentrales städtisches Regenwasser- management	Insbesondere in bestehenden Städten mit bereits weitgehend ausgebaute Infrastruktur, die auto-orientierte und eher flächengreifende Struktur aufweisen, gelten das Schließen von Bebauungslücken und Nachverdichtung innerhalb des Bestands als eine prioritäre Klimaschutzoption. Zudem ist gerade für solche Stadttypen der Einsatz grüner Infrastruktur essenziell, um Residualemissionen auszugleichen, die nicht reduziert werden können, weil die Stadtform bereits besteht und schwierig zu ändern ist. Hieraus ergibt sich gerade für innerstädtische Flächenpotenziale ein Zielkonflikt zwischen Überbauung einerseits und der Nutzung für Grünflächen, Wasserflächen und für naturbasierte Entwässerung zur Anpassung an Hitze und Starkregen andererseits.	2

Die Wertungen resultieren aus qualitativen Experteneinschätzungen des Projektkonsortiums, arithmetischer Mittelwertbildung der Einzelbewertungen (n = 6) mit Rundung sowie Plausibilisierung in Workshops. Die Wertungsstufen beziehen sich auf die Stärke, Intensität, Enge, Wahrscheinlichkeit und Plausibilität der Wirkungszusammenhänge auf einer dreistufigen Skala: 1 ... gering, schwach, lose, eher unwahrscheinlich, unsicher; 2 ... mäßig, mittel; 3 ... hoch, stark, eng, sehr wahrscheinlich, betrifft mehrere Anpassungsbereiche bzw. -maßnahmen.

D.2.3 Co-Benefits und Trade-offs mit Umwelt- und Nachhaltigkeitszielen

Tabelle 50: Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“: Co-Benefits von THG-Minderungsmaßnahmen für Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele

Positive Auswirkungen von städtischen THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“ auf die Umweltqualität und sozialökologische Ziele einer nachhaltigen Stadtentwicklung

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmenbündel	Stadtpolitik: Zielbereich	Co-Benefit	Wertung
2.1 Horizontale Verdichtung	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte	Verringerte Flächeninanspruchnahme im Umland reduziert Landnutzungswandel, inklusive Verlust von Agrarflächen zur Ernährungssicherung, und trägt so zur Bekämpfung von Lebensmittelknappheit und Hunger bei.	3
2.1 Horizontale Verdichtung	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung	Übergreifend, übergeordnet	Verdichtung innerhalb bestehender Siedlungsgrenzen verringert die Flächeninanspruchnahme im Stadtumland und trägt zum Erhalt von naturnahen Räumen und deren Ökosystemfunktionen sowie zur Verringerung zusätzlicher Umweltbelastungen im Stadtumland bei. Dies hat hohes Potenzial zum Schutz von Biodiversität, zur Erhaltung natürlicher Bodenfunktionen, zum Schutz von Gewässern und Trinkwasserressourcen sowie zum Erhalt von stadtnahen Erholungsräumen.	2
2.1 Horizontale Verdichtung	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung	Biodiversität, Naturräume	Innenorientierte Stadtentwicklung und Begrenzung des äußeren Stadtwachstums trägt zur Verringerung der Flächeninanspruchnahme im Umland, dem Erhalt von terrestrischen, aquatischen und küstennahen Ökosystemen und zum Schutz von deren Biodiversität bei.	2
2.1 Horizontale Verdichtung	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung	Wasser	Urbane Kompaktheit und Dichte begünstigt einen niedrigeren Wasserverbrauch pro Kopf und kann so zur Schonung von Wasserressourcen beitragen.	2
2.1 Horizontale Verdichtung	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte	Kompakte Städte haben einen geringeren und weniger aufwändigen Bedarf an Infrastruktur (technische Infrastruktur zur Energieversorgung, Wasserver- und Abwasserentsorgung, etc.). Dies reduziert Kosten für Errichtung, Betrieb und Erhaltung von Infrastruktur, entlastet öffentliche Haushalte und setzt Finanzmittel frei, die für soziale Unterstützungsmaßnahmen, öffentliche Gesundheitsversorgung und andere gemeinwohlorientierte Leistungen zur Verfügung	2

Klimaschutz: Handlungs- strategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Stadtpolitik: Zielbereich	Co-Benefit	Wertung
			stehen. Potenziell profitieren hiervon einkommensschwache Bevölkerungsgruppen am stärksten.	
2.1 Horizontale Verdichtung	Urbane Kompaktheit, flächen- effiziente Innen- entwicklung	Gesundheit, Lebens- qualität, soziale Aspekte	Innenorientierte Stadtentwicklung ermöglicht durch Einschränkung der Flächeninanspruchnahme die Erhaltung von naturnahen Erholungsräumen sowie von land- und forstwirtschaftlichen Nutzungen, einschließlich für den Lebensunterhalt darauf angewiesener Bevölkerungsgruppen und für Subsistenzzwecke, im Stadtumland.	2
2.1 Horizontale Verdichtung	Urbane Kompaktheit, flächen- effiziente Innen- entwicklung	Biodiversität, Naturräume	Innenorientierte Stadtentwicklung trägt durch Einschränkung der Flächeninanspruchnahme zur Erhaltung und Wiederherstellung von naturnahen Ökosystemen, ökologischer Konnektivität und der Biodiversität im Stadtumland bei.	1
2.1 Horizontale Verdichtung	Urbane Kompaktheit, flächen- effiziente Innen- entwicklung	Boden	Innenorientierte Stadtentwicklung ermöglicht durch Einschränkung der Flächeninanspruchnahme die Erhaltung natürlicher, multifunktionaler Bodenfunktionen und qualitativ hochwertiger Böden im Stadtumland.	1
2.1 Horizontale Verdichtung	Urbane Kompaktheit, flächen- effiziente Innen- entwicklung	Wasser	Innenorientierte Stadtentwicklung ermöglicht durch Einschränkung der Flächeninanspruchnahme die Erhaltung natürlicher und naturnaher Gewässer, Grundwasserkörper und Trinkwasserreserven im Stadtumland. Dies gilt für den Gewässerzustand und die Wasserqualität.	1
2.3 Qualitätsvoll verdichtete, energieopti- mierte, klimafreundli- che Quartiers- und Bebauungs- strukturen	Poly- zentrische, funktions- gemischte Strukturen	Gesundheit, Lebens- qualität, soziale Aspekte Luftqualität	Stadtplanerische Maßnahmen, die auf das städtebauliche Leitbild einer angemessenen Verdichtung, Funktionsmischung und der kurzen Wege ausgerichtet sind, tragen zur Verringerung von verkehrsbedingten THG-Emissionen und zur Förderung bewegungsaktiver Mobilität bei. Dies verbessert die Luftqualität und fördert die menschliche Gesundheit. Bei entsprechender Umsetzung besteht hohes Potenzial zur Verbesserung der Zugänglichkeit und Erreichbarkeit von sozialer und Gesundheitsinfrastruktur.	3
2.3 Qualitätsvoll verdichtete, energieopti- mierte, klimafreundli- che	Poly- zentrische, funktions- gemischte Strukturen	Gesundheit, Lebens- qualität, soziale Aspekte	Städtische Strukturen, die auf Polyzentralität, Funktionsmischung, angemessene Verdichtung und kurze Wege ausgerichtet sind, können den Zugang zu moderner Energieinfrastruktur mit leistbarer und sauberer Energie auch für sozial benachteiligte Gruppen unterstützen.	2

Klimaschutz: Handlungs- strategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Stadtpolitik: Zielbereich	Co-Benefit	Wertung
Quartiers- und Bebauungs- strukturen				
2.3 Qualitätsvoll verdichtete, energieopti- mierte, klimafreundli- che Quartiers- und Bebauungs- strukturen	Poly- zentrische, funktions- gemischte Strukturen	Wasser	Nachhaltige Quartiersentwicklung bietet mehrfache Ansatzpunkte, um die Wasserqualität, Wassernutzungseffizienz, Regenwassernutzung und Abwasserbehandlung von Städten zu verbessern. <i>Mitigation co-benefit:</i> Effiziente Urbanisierung kann auch THG-Emissionen der Wasserinfrastruktur verringern.	2
2.3 Qualitätsvoll verdichtete, energieopti- mierte, klimafreundli- che Quartiers- und Bebauungs- strukturen	Poly- zentrische, funktions- gemischte Strukturen	Übergreifend, übergeordnet	Klimafreundlicher Stadtumbau bzw. Neuentwicklung von Quartieren bieten Möglichkeiten, um Formen der landwirtschaftlichen Nutzung in die Stadtstruktur zu integrieren. Urban Farming kann den Wasserbedarf der Landwirtschaft deutlich senken und die Transportwege verkürzen. Gleichzeitig können die Produktivität und Versorgungssicherheit der Landwirtschaft gesteigert sowie der Flächenbedarf und Umweltrisiken gesenkt werden (z.B. Bodenerosion durch Wasser und Wind, Nitratbelastung in Grundwässern und Düngemittel in Oberflächengewässern, Staub- und Pflanzenschutzmittelemissionen).	2
2.3 Qualitätsvoll verdichtete, energieopti- mierte, klimafreundli- che Quartiers- und Bebauungs- strukturen	Poly- zentrische, funktions- gemischte Strukturen	Gesundheit, Lebens- qualität, soziale Aspekte	Nachhaltige Sanierung, Umbau und Neuentwicklung von Stadtquartieren birgt großes Potenzial zur Beteiligung der Bevölkerung an Prozessen zur nachhaltigen Quartiersentwicklung und für inklusive, partizipative Entscheidungsfindung auf allen Ebenen.	2

Die Wertungen resultieren aus qualitativen Experteneinschätzungen des Projektkonsortiums, arithmetischer Mittelwertbildung der Einzelbewertungen (n = 6) mit Rundung sowie Plausibilisierung in Workshops. Die Wertungsstufen beziehen sich auf die Stärke, Intensität, Enge, Wahrscheinlichkeit und Plausibilität der Wirkungszusammenhänge auf einer dreistufigen Skala: 1 ... gering, schwach, lose, eher unwahrscheinlich, unsicher; 2 ... mäßig, mittel; 3 ... hoch, stark, eng, sehr wahrscheinlich, mehrfache positive Effekte.

Tabelle 51: Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“: Trade-offs von THG-Minderungsmaßnahmen für Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele

Negative Auswirkungen von städtischen THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Urbane Verdichtung“ auf die Umweltqualität und sozialökologische Ziele einer nachhaltigen Stadtentwicklung

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmenbündel	Stadtpolitik: Zielbereich	Trade-off	Wertung
2.1 Horizontale Verdichtung	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung	Boden	Verlust von natürlichen Bodenfunktionen, wie für Versickerung, Grundwasserneubildung, Abflussregulation, Schadstofffiltration und urbane landwirtschaftliche Produktion, durch Überbauung und Versiegelung.	3
2.1 Horizontale Verdichtung	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte	Durch bauliche Verdichtung verstärkte hitzebedingte Gesundheitsrisiken sind innerhalb der städtischen Bevölkerung ungleich verteilt. Ältere Menschen, Kinder und Personen mit Vorerkrankungen sind hoch vulnerabel; sozioökonomisch benachteiligte Bevölkerungsgruppen leben häufiger in heißeren Stadtteilen mit weniger klimaresilienten Gebäuden und schlechterer Gesundheitsversorgung. Ärmere Haushalte sind zudem überproportional größeren ökonomischen Belastungen durch Stromkosten für technische Kühlung und Behandlungskosten für hitzebedingte Krankheiten ausgesetzt. Tropische und subtropische Städte mit niedrigem Einkommensniveau sind besonders von zunehmendem Hitzestress betroffen; gleichzeitig nehmen Bevölkerungswachstum und Urbanisierung dort oft besonders stark und rapide zu. Hitze kann zudem die gesundheitlichen und sozialen Belastungen durch Luftschadstoffe und Lärm verstärken.	3
2.1 Horizontale Verdichtung	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung	Luftqualität	Verdichtungsbedingte Reduktion von Stadtbäumen und Grünflächen bewirkt Einschränkung bzw. Verlust der Filterwirkung von städtischer Vegetation für Luftschadstoffe.	3
2.1 Horizontale Verdichtung	Urbane Kompaktheit, flächeneffiziente Innenentwicklung	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte	Verdichtungsbedingte Verluste von Grünanteilen führt zu verschlechterter Grünraumversorgung der Bevölkerung. Dies bedingt den Verlust der Erholungswirkung und sozialräumlicher Funktionen von innerstädtischen Grünräumen und bewirkt eine Beeinträchtigung der Lebens- und Wohnumfeldqualität.	3

Klimaschutz: Handlungs- strategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Stadtpolitik: Zielbereich	Trade-off	Wertung
2.1 Horizontale Verdichtung	Urbane Kompaktheit, flächen- effiziente Innen- entwicklung	Gesundheit, Lebens- qualität, soziale Aspekte	Schutz von Grün- und Freiflächen im Außenbereich von Städten einerseits und Innenverdichtung andererseits bewirken eine Verknappung des Flächenangebots für Bauzwecke im Stadtumland und eine Erhöhung von Immobilienpreisen im Stadtinneren. Dies steigert ohne Gegenmaßnahmen tendenziell die Wohnkosten und kann dadurch leistbares Wohnraumangebot v.a. für einkommensschwächere Haushalte reduzieren. <i>Mitigation co-benefit (indirekt):</i> Verknappung von Bauland und höhere Preise für Wohnraum führen potenziell zu kleineren Wohneinheiten und höherer Baulandnutzungseffizienz. Kleinere Wohneinheiten und erhöhte Wohndichte begünstigen wiederum geringeren Energieverbrauch im Gebäudebereich. <i>Mitigation trade-off (indirekt):</i> Verteuerung von Wohnraum kann zur Verdrängung ärmerer städtischer Bevölkerungsgruppen ins Stadtumland (einschließlich in informelle Siedlungen) führen, was wiederum die disperse Flächeninanspruchnahme für horizontales Stadtwachstum antreibt und zusätzliche THG-Emissionen durch Verkehr und Errichtung neuer Infrastruktur erzeugt.	2
2.1 Horizontale Verdichtung	Urbane Kompaktheit, flächen- effiziente Innen- entwicklung	Biodiversität, Naturräume	Verdichtungsbedingte Verringerung von begrünten oder naturnah gestalteten Flächen (öffentlich und privat), die als Lebens- und Rückzugsraum für Tiere und Pflanzen innerhalb des städtischen Siedlungsraums dienen können.	2
2.1 Horizontale Verdichtung	Urbane Kompaktheit, flächen- effiziente Innen- entwicklung	Gesundheit, Lebens- qualität, soziale Aspekte	Erhöhte Lärmbelastung, weil höhere bauliche Dichte im Regelfall auch mit einer größeren Dichte menschlicher Aktivitäten einhergeht.	2
2.1 Horizontale Verdichtung	Urbane Kompaktheit, flächen- effiziente Innen- entwicklung	Gesundheit, Lebens- qualität, soziale Aspekte Boden Biodiversität, Naturräume	Durch überhöhte bauliche Verdichtung verstärkte Überhitzung von Städten kann zu Fehlanpassungsverhalten von Stadtbewohner*innen führen, indem vermehrtes "Hitzevluchtverhalten" in der Freizeit ("temporäre Stadtfucht") ausgelöst und der im globalen Norden vielfach bestehende Trend zur Multilokalität (Freizeit- und Nebenwohnsitze in kühleren ländlichen Regionen) verstärkt wird. Dies treibt im Stadtumland und in ländlichen Lagen die Flächeninanspruchnahme für Wohnsitze und	2

Klimaschutz: Handlungs- strategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Stadtpolitik: Zielbereich	Trade-off	Wertung
			siedlungsbezogene Infrastruktur an und trägt zur Bebauung von Naturräumen bei. Verhaltenspräferenzen für Freizeit außerhalb der Stadt kann in stadtnahen Naturräumen zu Übernutzungserscheinungen bei Freizeit- und Erholungsnutzungen führen. <i>Mitigation trade-off:</i> Multi-lokale Wohn- und Lebensformen erzeugen eine Zunahme des Individualverkehrs und von verkehrsbedingten THG-Emissionen.	
2.3 Qualitätsvoll verdichtete, energie- optimierte, klima- freundliche Quartiers- und Bebauungs- strukturen	Sanierung/ Umbau/ Neuent- wicklung von Quartieren; großvolumige (offene) Block- bebauung; Blockrand- bebauung	Gesundheit, Lebens- qualität, soziale Aspekte	Erneuerung, Umbau und Sanierung von Bebauungsstruktur innerhalb des Bestands (Aufwertung, Quartiersumbau, Neugestaltung), beinhalten das Risiko von (unbeabsichtigten) Gentrifizierungseffekten (Attraktivitätssteigerung zugunsten zahlungskräftigerer Eigentümer und Mieter) und der Verdrängung ärmerer und marginalisierter Bevölkerungsgruppen. Dies verstärkt soziale und räumliche Ungleichheiten. Eine Ansiedlung einkommensschwächerer Gruppen im Stadtumland erzeugt für diese zusätzliche finanzielle und zeitliche Belastungen für Pendelverkehr.	2

Die Wertungen resultieren aus qualitativen Experteneinschätzungen des Projektkonsortiums, arithmetischer Mittelwertbildung der Einzelbewertungen (n = 6) mit Rundung sowie Plausibilisierung in Workshops. Die Wertungsstufen beziehen sich auf die Stärke, Intensität, Enge, Wahrscheinlichkeit und Plausibilität der Wirkungszusammenhänge auf einer dreistufigen Skala: 1 ... gering, schwach, lose, eher unwahrscheinlich, unsicher; 2 ... mäßig, mittel; 3 ... hoch, stark, eng, sehr wahrscheinlich, mehrfache negative Effekte.

D.3 Handlungsfeld: Nachhaltige, klimagerechte urbane Verkehrssysteme

D.3.1 Co-Benefits und Trade-offs mit Klimaanpassung

Tabelle 52: Handlungsfeld „Urbane Verkehrssysteme“: Co-Benefits von THG-Minderungsmaßnahmen für Ziele der Klimaanpassung

Positive Auswirkungen von städtischen THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Nachhaltige, klimagerechte urbane Verkehrssysteme“ auf Ziele der Klimaanpassung

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmenbündel	Anpassung: Klimafolgenbereich	Co-Benefit	Wertung
3.1 Transit-orientierte Entwicklung	Grüne Bestandsquartiere, Neuquartiere, Straßen, Achsen	A: Hitze	<p>Urbane grüne und blaue Infrastruktur (städtische Grün- und Straßenbegleitflächen, Stadtbäume, unversiegelte Flächen und Wasserflächen) als Bestandteile transitorientierter Stadtentwicklungskonzepte erbringen mehrfachen Zusatznutzen für die Anpassung an urbane Hitze: natürliche Kühlung, Reduktion von Hitzestau bzw. UHI-Effekt und verbesserter thermischer Komfort in Innenräumen und im Außenbereich durch Evapotranspiration und Verschattung. Unverbaute Schneisen / Achsen im Stadtkörper ermöglichen Frisch- und Kaltluftzufuhr aus kühlen Räumen in der Stadtumgebung sowie Luftzirkulation im Stadtinneren. Hierdurch werden gesundheitliche Belastungen durch Hitzestress effektiv und nachweislich reduziert.</p> <p><i>Mitigation Co-Benefits:</i> Kohlenstoffbindung durch Vegetation; verringerter Energiebedarf für thermischen Komfort durch natürliche Kühlung der Umgebung.</p>	2
3.1 Transit-orientierte Entwicklung	Grüne Bestandsquartiere, Neuquartiere, Straßen, Achsen	B: Überflutungen (fluvial, pluvial, Küsten)	<p>Städtische Grün- und Straßenbegleitflächen und unversiegelte bzw. (teil)entsiegelte Flächen als Bestandteile transitorientierter Stadtentwicklungskonzepte unterstützen die Starkregenentwässerung, sorgen für Wasserrückhalt und Dämpfung von Spitzen des Oberflächenabflusses und reduzieren das Überflutungs- und Schadensrisiko in Siedlungsräumen. Durch naturbasierte Versickerung werden städtische Abwasser- und Kanalisationssysteme sowie Kläranlagen entlastet und deren technischer Anpassungsbedarf reduziert; ein zusätzlicher Ausbau des zentralen Systems, um klimawandelbedingt erhöhte Regenwasservolumina entwässern zu können, kann vermieden werden. Durch Dezentralisierung der Wasserinfrastruktur erhöht sich gleichzeitig die Extremwetterresilienz (z.B. gegenüber Stürmen) von Städten.</p>	2

Klimaschutz: Handlungs- strategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Co-Benefit	Wertung
			<i>Mitigation Co-benefit:</i> Reduktion des Energiebedarfs und damit von THG-Emissionen für Errichtung, Ausbau, Betrieb (Pumpanlagen, Kläranlagen) und Instandhaltung von zentraler Entwässerungsinfrastruktur.	
3.1 Transit- orientierte Entwicklung	Grüne Straßen und Achsen	A: Hitze B: Über- flutungen (fluvial, pluvial, Küsten) E: Über- greifend, übergeordnet	Urbane Forstwirtschaft, Stadtbäume und unversiegelte Flächen entlang von Straßen als Bestandteil transitorientierter Stadtentwicklungskonzepte und als Maßnahmen zur Kohlenstoff-Sequestrierung tragen durch Kühlung zur Anpassung an Hitze und durch Versickerungs- und Rückhaltekapazität zur Minderung von Überflutungsrisiken bei. Die Lebensraumfunktion von urbanen Grünflächen stärkt gleichzeitig die Resilienz der Biodiversität gegenüber dem Klimawandel.	2
3.1 Transit- orientierte Entwicklung	Grüne Straßen und Achsen	A: Hitze B: Über- flutungen (fluvial, pluvial, Küsten) E: Über- greifend, übergeordnet	Flächen für urbane Landwirtschaft (urban farming, urban gardening) verringern den städtischen Hitzeinsel-Effekt bei Hitzewellen und erhöhen die Widerstandsfähigkeit gegen Überschwemmungen, während gleichzeitig die Treibhausgasemissionen durch den geringeren Energiebedarf für die Kühlung von Dächern oder Wänden und durch die Kohlenstoffbindung reduziert werden. Urbane Landwirtschaft kann auch im Huckepack mit der Entwicklung von städtischen Überschwemmungsgebieten, wassersensiblen Vierteln oder der Renovierung von Straßen oder Gebäuden zu Anpassungszwecken verbunden werden.	2
3.1 Transit- orientierte Entwicklung	Grüne Bestands- quartiere, Neuquartiere, Straßen, Achsen	C: Trockenheit	Städtische Grün- und Straßenbegleitflächen und unversiegelte Flächen als Bestandteile transitorientierter Stadtentwicklungskonzepte ermöglichen die Versickerung von Regenwasser in städtischen Gebieten, unterstützen die Grundwasserneubildung und erhöhen dadurch die regionale Resilienz gegenüber Dürren, Trockenheit und Wasserstress. <i>Adaptation Trade-off:</i> Urban Greening erhöht den Wasserbedarf für die Vegetation.	2
3.1 Transit- orientierte Entwicklung	Grüne Bestands- quartiere, Neuquartiere, Straßen, Achsen	E: Über- greifend, übergeordnet	Verringerter Energiebedarf für Gebäudekühlung infolge der kühlenden Wirkung von Vegetation reduziert als Nebeneffekt die Stromnetzbelastung und das Risiko von Blackouts während Hitzewellen; dies verstärkt die generelle Resilienz des Energiesystems.	2

Klimaschutz: Handlungs- strategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Co-Benefit	Wertung
3.2 Klima- optimierte Multi- Modalität	Ausbau der öffentlichen Verkehrs- infrastruktur und Mobilität	E: Über- greifend, übergeordnet	Der Ausbau des öffentlichen Verkehrssystems kann auf indirekte Weise zur Erhöhung der (generischen) Anpassungskapazität von Haushalten und Städten beitragen: durch Verbesserung der öffentlichen Gesundheit, Luft- und Umweltqualität; durch reduzierte Mobilitätskosten für Haushalte; durch Zeitgewinn am Arbeitsweg und verringerte Arbeitsproduktivitätsverluste; durch höhere Resilienz gegenüber Energieschocks infolge besserer Energieeffizienz des Verkehrssystems.	2
3.2 Klima- optimierte Multi- Modalität	Ausbau der öffentlichen Verkehrs- infrastruktur und Mobilität	D: Sonstige Extremwetter- & Natur- gefahren- ereignisse	Öffentliche Verkehrssysteme gelten als robuster gegenüber Störungen durch Extremereignisse und erleichtern den Zugang für Katastropheneinsatzkräfte sowie Evakuierungen.	2
3.2 Klima- optimierte Multi- Modalität	Ausbau der öffentlichen Verkehrs- infrastruktur und Mobilität	A: Hitze D: Sonstige Extremwetter- & Natur- gefahren- ereignisse	Leistungssteigerung und Attraktivierung öffentlicher Verkehrsangebote (räumliche Abdeckung, Intervallverdichtung, Haltestellenverdichtung, Taktung von Anschlüssen, Bus-Vorrangspuren, on-demand Angebote, etc.), um Anzahl und Weglängen der individuellen Autofahrten zu reduzieren. Geringere verkehrsbedingte Emissionen von Abwärme und Luftschadstoffen tragen zur Reduktion des städtischen Wärmeineffekts bei. Bereitstellung von mehr Haltestellen, die für den Schutz vor Hitze, Starkniederschlägen und Stürmen ausgestaltet sind. Neue Bushaltestellen sowie Vorrangspuren für den öffentlichen Verkehr können mit Anpassungsmaßnahmen kombiniert werden, wie Zisternen, weiße Dächer und Wände, durchlässige und kühle Straßenbeläge, regensichere Straßen sowie Stadtbegrünung.	1

Die Wertungen resultieren aus qualitativen Experteneinschätzungen des Projektkonsortiums, arithmetischer Mittelwertbildung der Einzelbewertungen (n = 6) mit Rundung sowie Plausibilisierung in Workshops. Die Wertungsstufen beziehen sich auf die Stärke, Intensität, Enge, Wahrscheinlichkeit und Plausibilität der Wirkungszusammenhänge auf einer dreistufigen Skala: 1 ... gering, schwach, lose, eher unwahrscheinlich, unsicher; 2 ... mäßig, mittel; 3 ... hoch, stark, eng, sehr wahrscheinlich, mehrfache positive Effekte.

Tabelle 53: Handlungsfeld „Urbane Verkehrssysteme“: Trade-offs von THG-Minderungsmaßnahmen für Ziele der Klimaanpassung

Negative Auswirkungen von städtischen THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Nachhaltige, klimagerechte urbane Verkehrssysteme“ auf Ziele der Klimaanpassung

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmenbündel	Anpassung: Klimafolgenbereich	Trade-off	Wertung
3.1 Transit-orientierte Entwicklung	Grüne Bestandsquartiere, Neuquartiere, Straßen, Achsen	C: Trockenheit	Die zur Erhaltung und Pflege urbaner grüner Infrastruktur im Rahmen von mobilitätsorientierten städtebaulichen Konzepten erforderliche Bewässerung kann in Trockenperioden Wasserknappheit verstärken. Durch Auswahl trockenheitsverträglicher Pflanzenarten und Anpassung des Bewässerungs- und Pflegemanagements kann dieser Trade-off abgeschwächt werden.	2
3.1 Transit-orientierte Entwicklung	Grüne Straßen und Achsen	D: Sonstige Extremwetter- & Naturgefahrenereignisse	Urbane Forstwirtschaft und Stadtbäume entlang von Straßen, als Bestandteile transitorientierter Stadtentwicklungskonzepte, erhöhen die Brandlast und das (Wald)Brandrisiko im Stadtraum, insbesondere während Trockenperioden. Durch Anpassung des städtischen Vegetationsmanagements sowie von Überwachung, Einsatzplanung und Reaktionskapazitäten an das erhöhte Brandrisiko kann dieser Nachteil abgemindert werden.	2
3.1 Transit-orientierte Entwicklung	Grüne Straßen und Achsen	A: Hitze	In bestimmten Konfigurationen kann die Pflanzung großer Bäume auf beiden Seiten von Straßen die Luftzirkulation einschränken, die Kaltluftzufuhr aus dem Umland behindern und dadurch den UHI-Effekt erhöhen. Dieser potenzielle Trade-off kann durch adäquate, kontextangepasste Auswahl von Baumarten und -höhen sowie Berücksichtigung von spezifischen stadtklimatologischen Situationen vermieden oder abgeschwächt werden.	1
3.1 Transit-orientierte Entwicklung	Grüne Bestandsquartiere, Neuquartiere, Straßen, Achsen	E: Übergreifend, übergeordnet	Die Anwendung urbaner grüner Infrastruktur im Rahmen von mobilitätsorientierten städtebaulichen Konzepten ist mit beträchtlichen Kosten für Errichtung und Erhaltung verbunden, was potenziell die finanziellen Kapazitäten für anderweitige Investitionen in die Anpassungskapazität einschränkt. <i>Mitigation Trade-off:</i> Die Erhaltung bzw. Schaffung von begrünten Flächen steht in Zielkonkurrenz zu stärkerer baulicher Verdichtung. Geringere städtische Dichte zugunsten eines höheren Durchgrünungsgrades kann Stadtwachstum ins Umland antreiben und dadurch Energieverbrauch und THG-Emissionen erhöhen (Hoymann & Goetzke, 2016).	1

Klimaschutz: Handlungs- strategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Trade-off	Wertung
3.2 Klima- optimierte Multi- Modalität	Ausbau der Radverkehrs- infrastruktur	B: Über- flutungen (fluvial, pluvial, Küsten)	Flächenversiegelungen für den Neubau von Radwegen (z. B. Radwege-Schnellverbindungen) wirken sich im Hinblick auf zunehmende Starkregenfälle negativ auf den Wasserabfluss aus.	1

Die Wertungen resultieren aus qualitativen Experteneinschätzungen des Projektkonsortiums, arithmetischer Mittelwertbildung der Einzelbewertungen (n = 6) mit Rundung sowie Plausibilisierung in Workshops. Die Wertungsstufen beziehen sich auf die Stärke, Intensität, Enge, Wahrscheinlichkeit und Plausibilität der Wirkungszusammenhänge auf einer dreistufigen Skala: 1 ... gering, schwach, lose, eher unwahrscheinlich, unsicher; 2 ... mäßig, mittel; 3 ... hoch, stark, eng, sehr wahrscheinlich, mehrfache negative Effekte.

D.3.2 Synergien und Konflikte mit Klimaanpassung

Tabelle 54: Handlungsfeld „Urbane Verkehrssysteme“: Synergien von THG-Minderungsmaßnahmen mit Maßnahmen zur Klimaanpassung

Positive Auswirkungen von städtischen THG-Minderungsmaßnahmen auf Maßnahmen der Klimaanpassung im Handlungsfeld „Nachhaltige, klimagerechte urbane Verkehrssysteme“

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Anpassung: Maßnahmenbündel	Synergien	Wertung
3.1 Transitorientierte Entwicklung	Grüne Bestandsquartiere, Neuquartiere, Straßen, Achsen	A: Hitze	A1: Grüne und blaue Infrastruktur (flächenhaft, linear) A4: Verschattung von Gebäuden und städtischen Außenräumen	Der Einsatz grüner und blauer urbaner Infrastruktur im Rahmen transitorientierter „grüner“ Stadtentwicklungskonzepte kombiniert die Reduktion von verkehrsbedingten THG-Emissionen mit den Anpassungswirkungen von Grünräumen, städtischer Vegetation und Wasserflächen. Städtische Grünräume, Straßenbegleitflächen, Stadtbäume und unversiegelte klimaaktive Flächen bewirken natürliche Kühlung, Reduktion von Hitzestau und UHI-Effekt und verbesserten thermischen Komfort in Innenräumen und im Außenbereich durch Evapotranspiration und Verschattung. Dies reduziert gesundheitliche Belastungen durch Hitzestress und erhöht die Lebensqualität der Bevölkerung. Grüne Verkehrskorridore verbessern zudem die innerstädtische ökologische Konnektivität und können dadurch die Biodiversität fördern (Fallbeispiele: „Green Tramways“ Projekt in Rotterdam, AMIA 2021). <i>Mitigation Co-Benefits:</i> durch UGI bewirkte Senkung der Temperaturen reduziert in der näheren Umgebung den Energiebedarf für technische Kühlung und mindert damit THG-Emissionen des Energiesektors. Städtische Vegetation trägt zur Kohlenstoffbindung (carbon sequestration) bei.	3
3.1 Transitorientierte Entwicklung	Grüne Bestandsquartiere,	A: Hitze	A5: Klimatisch optimierte Konfiguration der Bebauung	„Grüne“ Quartiere und „grüne“ Straßen ermöglichen es, passives Gebäudedesign und urbanes Design klimatisch und im Hinblick auf die Anpassung an Hitze zu optimieren. Dies umfasst	3

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Anpassung: Maßnahmenbündel	Synergien	Wertung
	Neuquartiere, Straßen, Achsen			Maßnahmen wie geeignete Orientierung und Breite von Straßenzügen und Verkehrsachsen, mikro- und stadtklimatisch angepasste Lage, Orientierung, Höhe sowie Fassaden-, Dach- und Fensterausrichtung von Gebäuden sowie eine angemessene Bebauungsdichte. Hierdurch können Schneisen und Korridore für Kaltluftzufuhr aus dem Umland und für die Luftzirkulation im Stadttinneren geschaffen bzw. freigehalten werden, Verschattungswirkungen der baulichen Infrastruktur ausgenutzt und urbane Überhitzungseffekte gemindert werden. Dies reduziert gesundheitliche Belastungen durch Hitzestress und erhöht die Lebensqualität der Bevölkerung.	
3.1 Transitorientierte Entwicklung	Grüne Bestands- quartiere, Neuquartiere, Straßen, Achsen	B: Über- flutungen (fluvial, pluvial, Küsten)	B4: Naturbasiertes dezentrales städtisches Regenwasser- management B5: Anpassung der städtischen Wasserentsorgungs- infrastruktur A1: Grüne und blaue Infrastruktur (flächenhaft, linear)	Grünräume, begleitende Grünzüge und unversiegelte klimaaktive Flächen als integrale Bestandteile transitorientierter Stadtentwicklungskonzepte ermöglichen und unterstützen die Umsetzung von naturbasierten Lösungen für das dezentrale Regenwassermanagement. Insbesondere bei geeigneter Ausgestaltung können diese Flächen wesentliche Funktionen als naturnahe Versickerungs-, Rückhalte- und Entwässerungsflächen erfüllen und die Wasserspeicherkapazität des Bodens im Sinne des "Schwammstadt"-Prinzips erhöhen. Durch die Versickerungsleistung unversiegelter und nicht überbauter Böden werden städtische Abwasser- und Kanalisationssysteme sowie Kläranlagen entlastet, die Entkoppelung der städtischen Abwasserinfrastruktur von der Niederschlagsentwässerung ermöglicht und damit der technische Anpassungsbedarf der wasserbezogenen Infrastruktur reduziert. Unverbaute Flächen ermöglichen das Ausschöpfen von Entsiegelungspotenzialen zur Schaffung versickerungsfähiger Böden. Grüne Infrastruktur und naturbasierte Starkregenslösungen sind im Regelfall flexibler und kosteneffektiver als technischer Überflutungsschutz. Grünstraßen unterstützen das Regenwassermanagement durch	3

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Anpassung: Maßnahmenbündel	Synergien	Wertung
				Reduktion des Wasservolumens (z.B. Infiltration) und durch Abschwächung oder zeitliche Verzögerung des Abflusses (Fiori & Volpi 2020; Pour et al. 2020). Das Ausmaß der Wirkung hängt von der Regenwassermenge ab (Qin et al. 2013). UGI-Maßnahmen sind am wirksamsten auf lokaler Maßstabsebene; mit zunehmender Größe des Einzugsgebietes nimmt die Wirksamkeit der Spitzenabflussreduktion ab (Fiori & Volpi 2020). <i>Mitigation Co-Benefit, Adaptation Co-Benefit</i> : Durch Entlastung des Abwassersystems und Entkoppelung der städtischen Abwasserinfrastruktur von der Niederschlagsentwässerung können Kosten für Errichtung, Betrieb und Instandhaltung von Kanalanlagen, Pumpanlagen und Kläranlagen signifikant verringert werden (unmittelbarer Einsparungseffekt, komparativer Kostenvorteil zu technischen Standardlösungen). Dies geht mit erheblichen Einsparungen von Energieaufwand für die Abwasserentsorgung und damit verbundenen THG-Emissionen einher.	
3.1 Transitorientierte Entwicklung	Grüne Bestandsquartiere, Neuquartiere, Straßen, Achsen	C: Trockenheit	C3: Regenwassermanagement und Regenwassernutzung	Unversiegelte, begrünte Grünflächen wirken als Versickerungsflächen, die die Grundwasserneubildung unterstützen und die Umsetzung des "Schwammstadt"-Prinzips zur Erhöhung der unterirdischen Wasserspeicherkapazität ermöglichen. Beides sind Maßnahmen zur Anpassung des regionalen Wasserhaushalts und der städtischen Wasserversorgung an Trockenheit und Wasserknappheit.	2
3.1 Transitorientierte Entwicklung	Grüne Bestandsquartiere, Neuquartiere, Straßen, Achsen	E: Übergreifend, übergeordnet	A1: Grüne und blaue Infrastruktur (flächenhaft, linear)	"Urban Greening" als Bestandteil transitorientierter Stadtentwicklungskonzepte stärkt die Klimaresilienz von städtischen Ökosystemen und ihrer multiplen Leistungen (Anpassungswirkungen, ökologisch, sozial). Durch geeignetes Design von Grünflächen und -elementen kann die ökologische Konnektivität innerhalb des Stadtraums und zwischen Stadt und	2

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Anpassung: Maßnahmenbündel	Synergien	Wertung
				Umland verbessert und damit die Resilienz der Biodiversität gegenüber dem Klimawandel erhöht werden (Fallbeispiele: Durban, Montevideo, Bangkok).	
3.1 Transitorientierte Entwicklung	Grüne Bestands- quartiere, Neuquartiere, Straßen, Achsen	B: Über- flutungen (fluvial, pluvial, Küsten)	B3: Hochwasser-und Küstenschutz durch planerische und naturbasierte Maßnahmen (passiv)	Durch „Piggy-Backing“ können urbane Grün- und Landwirtschaftsflächen mit der Einrichtung von Hochwasserabfluss- und Rückhalteräumen sowie der Freihaltung überflutungsgefährdeter Flächen von Bebauung und Intensivnutzungen kombiniert werden.	2
3.2 Klimaoptimierte Multi-Modalität	Ausbau der öffentlichen und bewegungs- aktiven Verkehrs- infrastruktur und Mobilität	E: Übergreifend, übergeordnet	A7: Maßnahmen zur Hitzeresilienz des Verkehrssystems D2: Erhöhung der Resilienz der Energie- und Verkehrsinfrastruktur	Öffentliche Verkehrssysteme, bewegungsaktive Verkehrsmodi und Car Pooling/Sharing gelten als robuster gegenüber Störungen durch Extremereignisse und andere Klimawandeleinflüsse. Bewegungsaktive Mobilitätsformen (Gehen, Radfahren) sind von Ausfällen zentraler Verkehrsinfrastruktur, Treibstoffknappheit und Energieschocks nicht betroffen (Fallbeispiele: Climate Change Adaptation Plans Durban, Wellington, Chicago).	2
3.2 Klimaoptimierte Multi-Modalität	Ausbau der öffentlichen Verkehrs- infrastruktur und Mobilität	A: Hitze B: Über- flutungen (fluvial, pluvial, Küsten) C: Trockenheit	A1: Grüne und blaue Infrastruktur (flächenhaft, linear) A2: Begrünung von Gebäuden (Dächer, Fassaden) A3: Kühlende Materialien und Oberflächen A4: Verschattung von Gebäuden und städtischen Außenräumen	Neue Bushaltestellen und Vorrangspuren für Busse können mit Anpassungsmaßnahmen kombiniert werden, wie Zisternen, weiße Dächer und Wände, durchlässige und kühle Straßenbeläge, regensicheren Straßen sowie Stadtbegrünung.	2

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Anpassung: Maßnahmenbündel	Synergien	Wertung
			A8: Maßnahmen zur Hitzeresilienz der sonstigen technischen und baulichen Infrastruktur B4: Naturbasiertes dezentrales städtisches Regenwasser- management C3: Regenwassermanagement und Regenwassernutzung		

Die Wertungen resultieren aus qualitativen Experteneinschätzungen des Projektkonsortiums, arithmetischer Mittelwertbildung der Einzelbewertungen (n = 6) mit Rundung sowie Plausibilisierung in Workshops. Die Wertungsstufen beziehen sich auf die Stärke, Intensität, Enge, Wahrscheinlichkeit und Plausibilität der Wirkungszusammenhänge auf einer dreistufigen Skala: 1 ... gering, schwach, lose, eher unwahrscheinlich, unsicher; 2 ... mäßig, mittel; 3 ... hoch, stark, eng, sehr wahrscheinlich, betrifft mehrere Anpassungsbereiche bzw. -maßnahmen.

D.3.3 Co-Benefits und Trade-offs mit Umwelt- und Nachhaltigkeitszielen

Tabelle 55: Handlungsfeld „Urbane Verkehrssysteme“: Co-Benefits von THG-Minderungsmaßnahmen für Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele

Positive Auswirkungen von städtischen THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Nachhaltige, klimagerechte urbane Verkehrssysteme“ auf die Umweltqualität und sozialökologische Ziele einer nachhaltigen Stadtentwicklung

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmenbündel	Stadtpolitik: Zielbereich	Co-Benefit	Wertung
3.1 Transit-orientierte Entwicklung	Grüne Bestandsquartiere, Neuquartiere, Straßen, Achsen	Luftqualität, Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte	Stadtbäume und Grünflächen, die als Teil transitorientierter Stadtentwicklungskonzepte angelegt werden, verbessern die Luftqualität durch die Filterwirkung der Vegetation, verringern Feinstaubbelastung und Lärmbelastung. Dies verbessert die physische und mentale Gesundheit und erhöht die umweltbedingte Lebensqualität in Städten. Nachgewiesene positive Auswirkungen auf die Gesundheit von Stadtbäumen und grüner Infrastruktur umfassen: geringere kardiovaskuläre Morbidität, verbesserte mentale Gesundheit, höhere Geburtsgewichte und erhöhte Lebenserwartung. Urbane Landwirtschaft trägt überdies zur Ernährungssicherheit bei (IPCC AR6 WGIII, Chapter 8, Lwasa et al., 2022).	3
3.1 Transit-orientierte Entwicklung	Grüne Straßen und Achsen	Biodiversität, Naturräume	„Urban Greening“ (Grünflächen, urbane Forstwirtschaft, Stadtbäume entlang von Straßen, etc.) als Bestandteil transitorientierter Stadtentwicklungskonzepte und als Maßnahme zur Kohlenstoff-Sequestrierung schafft Lebensräume, Rückzugshabitate und ökologische Konnektivität für städtische Flora und Fauna. Dies stärkt die Biodiversität und die Klimaresilienz von städtischen Ökosystemen. Durch geeignetes Design von Grünflächen und -elementen kann die ökologische Konnektivität innerhalb des Stadtraums und zwischen Stadt und Umland verbessert und damit die Resilienz der Biodiversität gegenüber dem Klimawandel erhöht werden (Fallbeispiele: Climate Action Plans von Durban, Montevideo, Bangkok).	3
3.1 Transit-orientierte Entwicklung	Grüne Bestandsquartiere, Neuquartiere, Straßen, Achsen	Boden	Begrünte Flächen, als Teil transitorientierter Stadtentwicklungskonzepte, verringern gleichzeitig den Versiegelungsgrad und bewirken die Erhaltung zumindest teilweise funktionsfähiger Böden innerhalb der Stadt. Städtische Grünflächen können auch für Zwecke der urbanen Landwirtschaft genutzt werden. Neben mehrfachen Co-Benefits für die Klimaanpassung kann urban farming zur Verbesserung der Nahrungsmittelsicherheit und zur	2

Klimaschutz: Handlungs- strategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Stadtpolitik: Zielbereich	Co-Benefit	Wertung
			Reduktion von THG-Emissionen durch energieintensiven Lebensmitteltransport beitragen.	
3.1 Transit- orientierte Entwicklung	Grüne Bestands- quartiere, Neuquartiere, Straßen, Achsen	Boden Biodiversität, Naturräume	Entwicklung von grüner Infrastruktur auf Brachflächen kann zur Wiederherstellung degradierter städtischer Flächen und deren Bodenfunktionen beitragen. Vegetation kann durch Phyto-/Bioremediation zur Sanierung von kontaminierten "Brownfield sites" genutzt werden.	2
3.1 Transit- orientierte Entwicklung	Grüne Bestands- quartiere, Neuquartiere, Straßen, Achsen	Wasser	Grünflächen und unversiegelte Flächen, die als Teil transitorientierter Stadtentwicklungskonzepte angelegt werden, stärken durch Versickerung von Niederschlagswasser die Grundwasserneubildung, erhöhen die natürliche Wasserspeicherkapazität von Böden und können durch Filterung diffuser Schadstoffe zur Verbesserung der Grundwasserqualität beitragen. Gleichzeitig wird die Verunreinigung von Oberflächengewässern vermieden, die bei Extremniederschlägen durch Überlastung zentraler Abwassersysteme entstehen kann.	2
3.1 Transit- orientierte Entwicklung	Grüne Bestands- quartiere, Neuquartiere, Straßen, Achsen	Gesundheit, Lebens- qualität, soziale Aspekte	Die Verbindung transitorientierter Stadtentwicklung mit urbaner Landwirtschaft kann zu Ernährungssicherheit und Beschäftigung beitragen, neue grüne Ökonomien stimulieren und grüne Jobs schaffen.	2
3.1 Transit- orientierte Entwicklung	Grüne Bestands- quartiere, Neuquartiere, Straßen, Achsen	Gesundheit, Lebens- qualität, soziale Aspekte Übergreifend, übergeordnet	Bestimmten Typen urbaner grüner/blauer Infrastruktur vermögen Beiträge zu bis zu 13 SDGs zu erbringen. Urbane grüne Infrastruktur trägt vor allem zur „Bereitstellung von sicheren, inklusiven und zugänglichen grünen und öffentlichen Räumen“ für alle bei (SDG 11.7). Effekte auf die Verteilungsgerechtigkeit hängen vom Anteil grüner Flächen an der städtischen Gesamtfläche, von deren Zugänglichkeit (Anteil der städtischen Bevölkerung in erreichbarer Entfernung) und von den Eigentumsverhältnissen (öffentlich vs. privat) ab.	2
3.1 Transit- orientierte Entwicklung	Grüne Bestands- quartiere, Neuquartiere, Straßen, Achsen	Gesundheit, Lebens- qualität, soziale Aspekte	Verringerte Überflutungsrisiken durch naturbasierte dezentrale Regenwassermanagementsysteme kommen insbesondere armen Bevölkerungsteilen zugute, die oft gezwungen sind, in überschwemmungsgefährdeten Stadtteilen zu leben.	2
3.1	Grüne Bestands-	Gesundheit, Lebens-	Durch die Kühlwirkung kann grüne Infrastruktur zur Senkung von Energiekosten und von Energiearmut	1

Klimaschutz: Handlungs- strategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Stadtpolitik: Zielbereich	Co-Benefit	Wertung
Transit-orientierte Entwicklung	quartiere, Neuquartiere, Straßen, Achsen	qualität, soziale Aspekte	für Haushalte beitragen, z.B. Einsparung von Kosten für technische Kühlsysteme, die für marginalisierte Gruppen schwer leistbar sind.	
3.2 Klima-optimierte Multi-Modalität	Ausbau der öffentlichen und bewegungsaktiven Verkehrsinfrastruktur und Mobilität	Luftqualität	Alle Maßnahmen, die zur Verringerung der Emissionen aus motorisiertem Individualverkehr beitragen, verbessern gleichzeitig die Luftqualität.	3
3.2 Klima-optimierte Multi-Modalität	Ausbau der öffentlichen und bewegungsaktiven Verkehrsinfrastruktur und Mobilität	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte	Alle Maßnahmen, die zur Verringerung der Emissionen aus motorisiertem Individualverkehr und zur Ausweitung von bewegungsaktiven Mobilitätsmodi beitragen, reduzieren die Schadstoffbelastung der Luft (Feinstaub, NOx), die Lärmbelastung sowie verkehrsinduzierte Unfälle und fördern damit insgesamt die städtische Lebensqualität und die öffentliche Gesundheit. Zudem wird die individuelle Abhängigkeit von motorisierten Fahrzeugen vermindert, was Lebenshaltungskosten reduziert und v.a. einkommensschwächeren Bevölkerungsgruppen zugutekommt.	3
3.2 Klima-optimierte Multi-Modalität	Ausbau der bewegungsaktiven Verkehrsinfrastruktur und Mobilität	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte	Attraktive und sichere Fuß- und Radwegnetze tragen durch Förderung der Bewegungsaktivität zur öffentlichen Gesundheit bei.	3
3.2 Klima-optimierte Multi-Modalität	Ausbau der bewegungsaktiven Verkehrsinfrastruktur und Mobilität	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte	Fußgängerfreundliche Stadt- und Verkehrsstrukturen fördern soziale Interaktionen im öffentlichen Raum und können dadurch das Sozialkapital von städtischen Gemeinschaften stärken.	2
3.2 Klima-optimierte Multi-Modalität	Ausbau der öffentlichen Verkehrsinfrastruktur und Mobilität	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte	Der Ausbau von leistbaren öffentlichen Verkehrsangeboten (Umweltverbund) bietet Möglichkeiten, ungleiche Verteilung der Erreichbarkeiten von Stadtquartieren auszugleichen.	2
3.2 Klima-optimierte Multi-Modalität	Preisgestaltung für öffentliches Verkehrssystem	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte	Leistbare Tarife verbessern die Finanzierbarkeit und Zugänglichkeit von öffentlichen Verkehrsangeboten für einkommensschwache Haushalte.	2

Klimaschutz: Handlungs- strategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Stadtpolitik: Zielbereich	Co-Benefit	Wertung
3.2 Klima- optimierte Multi- Modalität	Ausbau der öffentlichen und bewegungs- aktiven Verkehrs- infrastruktur und Mobilität	Übergreifend, übergeordnet	Die Reduktion von Gesundheitskosten im Zusammenhang mit Luftverschmutzung und kardiovaskulären Krankheiten, die Erhöhung der Arbeitsproduktivität und die Abnahme von durch Verkehrsstau bedingten Kosten und Produktivitätsverlusten generiert wirtschaftlichen Nutzen. Daten von Städten wie Bangkok, Kuala Lumpur, Jakarta, Manila, Mexico City oder Buenos Aires zeigen an, dass die ökonomischen Kosten durch Verkehrsstau einen Anteil von 0,7 bis 15 % des GDP ausmachen können.	2

Die Wertungen resultieren aus qualitativen Experteneinschätzungen des Projektkonsortiums, arithmetischer Mittelwertbildung der Einzelbewertungen (n = 6) mit Rundung sowie Plausibilisierung in Workshops. Die Wertungsstufen beziehen sich auf die Stärke, Intensität, Enge, Wahrscheinlichkeit und Plausibilität der Wirkungszusammenhänge auf einer dreistufigen Skala: 1 ... gering, schwach, lose, eher unwahrscheinlich, unsicher; 2 ... mäßig, mittel; 3 ... hoch, stark, eng, sehr wahrscheinlich, mehrfache positive Effekte.

Tabelle 56: Handlungsfeld „Urbane Verkehrssysteme“: Trade-offs von THG-Minderungsmaßnahmen für Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele

Negative Auswirkungen von städtischen THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Nachhaltige, klimagerechte urbane Verkehrssysteme“ auf die Umweltqualität und sozialökologische Ziele einer nachhaltigen Stadtentwicklung

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmenbündel	Stadtpolitik: Zielbereich	Trade-off	Wertung
3.1 Transit-orientierte Entwicklung	Grüne Bestandsquartiere, Neuquartiere, Straßen, Achsen	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte	"Grüne Gentrifizierung" als spezifische Form der Fehlanpassung: Begrünung von Stadtquartieren findet oft bevorzugt in reicheren Wohngebieten statt und privilegiert damit einkommensstarke Gruppen. Investitionen in Begrünungsprojekte können den Immobilienwert steigern und durch Verlust der Leistbarkeit von Wohnen zu sozialen Verdrängungseffekten führen. Fallbeispiele sind z.B. dokumentiert aus Florida, New York City, Atlanta (USA) und Australien.	2
3.1 Transit-orientierte Entwicklung	Grüne Bestandsquartiere, Neuquartiere, Straßen, Achsen	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte	Transitorientierte Entwicklungsstrategien, die mit Investitionen in bauliche Infrastruktur (Aufwertung, Stadtumbau, Neugestaltung) einhergehen, beinhalten das Risiko von Gentrifizierung (Attraktivitätssteigerung zugunsten zahlungskräftigerer Eigentümer und Mieter) und der Verdrängung ärmerer und marginalisierter Bevölkerungsgruppen	2
3.1 Transit-orientierte Entwicklung	Grüne Bestandsquartiere, Neuquartiere, Straßen, Achsen	Wasser	Erhöhter Bedarf nach Bewässerung für Grünflächen und -elemente. Dieser Wirkzusammenhang ist besonders für Städte im globalen Süden mit unzureichender Wasserversorgung und in trockenheitsanfälligen Regionen eine Herausforderung.	2
3.1 Transit-orientierte Entwicklung	Grüne Straßen und Achsen	Luftqualität	In bestimmten Konfigurationen kann die Pflanzung großer Bäume auf beiden Seiten von Straßen die Luftzirkulation einschränken und dadurch die Luftschadstoffbelastung kleinräumig („street-level“) erhöhen. Pflanzen und Bäume besitzen zwar die Fähigkeit, Luftschadstoffe abzubauen und die Luft von Staub zu reinigen (Filterwirkung), sie emittieren aber auch Vorläufersubstanzen für Feinstaub und Ozon. Bäume können in engen Straßen auch die bodennahe Schadstoffkonzentration durch Abgase und Wiederaufwirbelung erhöhen.	1
3.1 Transit-orientierte Entwicklung	Grüne Bestandsquartiere, Neuquartiere, Straßen, Achsen	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte	Mehr Stadtbäume und Grünflächen, die zur Kohlenstoffbindung beitragen, könnten Allergene erhöhen sowie die Präsenz von Insekten und Tiere verstärken, die als Krankheitsüberträger fungieren.	1

Klimaschutz: Handlungs- strategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Stadtpolitik: Zielbereich	Trade-off	Wertung
3.1 Transit- orientierte Entwicklung	Grüne Bestands- quartiere, Neuquartiere, Straßen, Achsen	Biodiversität, Naturräume	Mehr Stadtbäume und Grünflächen könnten invasive gebietsfremde Arten fördern und damit die heimische Artenvielfalt beeinträchtigen.	1
3.2 Klima- optimierte Multi- Modalität	Preisge- staltung für öffentliches Verkehrs- system	Übergreifend, übergeordnet Boden	Distanzunabhängige Tarifgestaltung für den öffentlichen Personennahverkehr (einheitliche Tarife für alle Ziele anstatt differenzierter, distanzabhängiger Tarife) kann inverse Anreize für Suburbanisierung und Zersiedelung im peri-urbanen Raum bieten. <i>Mitigation Trade-off:</i> Induktion von Zersiedelung und suburbanem Stadtwachstum erzeugt zusätzlichen Verkehr mit entsprechenden THG-Emissionen (Fallbeispiel: Modellierungsstudie für Paris, Viguie & Hallegatt, 2012).	2
3.2 Klima- optimierte Multi- Modalität	Besteuerung von Kraftfahr- zeugen und Treibstoffen	Gesundheit, Lebens- qualität, soziale Aspekte	Überproportionale Belastung von einkommensschwachen Haushalten, die zum Lebensunterhalt auf Kraftfahrzeuge angewiesen sind.	1
3.2 Klima- optimierte Multi- Modalität	Verbot älterer Fahrzeug- modelle mit ineffizienten oder fossilen Antriebs- systemen	Gesundheit, Lebens- qualität, soziale Aspekte	Ein gesetzliches "Phasing out" von älteren Kraftfahrzeugtypen kann einkommensschwache Gruppen, die zu ihrem Lebensunterhalt darauf angewiesen sind, negativ betreffen.	1

Die Wertungen resultieren aus qualitativen Experteneinschätzungen des Projektkonsortiums, arithmetischer Mittelwertbildung der Einzelbewertungen (n = 6) mit Rundung sowie Plausibilisierung in Workshops. Die Wertungsstufen beziehen sich auf die Stärke, Intensität, Enge, Wahrscheinlichkeit und Plausibilität der Wirkungszusammenhänge auf einer dreistufigen Skala: 1 ... gering, schwach, lose, eher unwahrscheinlich, unsicher; 2 ... mäßig, mittel; 3 ... hoch, stark, eng, sehr wahrscheinlich, mehrfache negative Effekte.

D.4 Handlungsfeld: Nachhaltige, klimaneutrale Energieinfrastrukturen

D.4.1 Co-Benefits und Trade-offs mit Klimaanpassung

Tabelle 57: Handlungsfeld „Energieinfrastrukturen“: Co-Benefits von THG-Minderungsmaßnahmen für Ziele der Klimaanpassung

Positive Auswirkungen von städtischen THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Nachhaltige, klimaneutrale Energieinfrastrukturen“ auf Ziele der Klimaanpassung

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmenbündel	Anpassung: Klimafolgenbereich	Co-Benefit	Wertung
4.1 Zentrale Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen	Fernwärme- und Fernkühlnetze	A: Hitze	Fernwärmenetze können in heißen Perioden zur Versorgung mit nachhaltig bereitgestellter Fernkühle zur klimaneutralen Anpassung des Gebäudebereichs an Hitze genutzt werden.	2
4.1 Zentrale Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen	Substitution fossiler Energieträger	E: Über- greifend, übergeordnet	Der Ersatz fossiler durch erneuerbare Energiequellen verbessert die Luftqualität. Dies verringert die Konzentration von Vorläufersubstanzen bodennahen Ozons. Da die Ozonbildung durch erhöhte Temperaturen und längerdauernde Hitzeperioden stark begünstigt wird, trägt die Dekarbonisierung des Energiesystems indirekt auch zur Anpassung bei.	2
4.2 Dezentrale erneuerbare Energieversorgungssysteme	Lokale nicht-fossile Energieerzeugung, -einspeisung & -versorgung	D: Sonstige Extremwetter- & Naturgefahrenereignisse E: Über- greifend, übergeordnet	Dezentralisierung der Energieversorgung und Nutzung lokaler erneuerbarer Energiequellen, z.B. durch PV-Anlagen auf Gebäudedächern, Fassaden und sonstigen Bauwerken sowie einschließlich quartiersbezogener Heiz- und Kühlsysteme (<i>district cooling and heating networks</i>), bewirkt durch kleinteilige Strukturen Redundanz der Energieinfrastruktur sowie kürzere und daher weniger exponierte Leitungswege. Gleichzeitig verringert dezentrale erneuerbare Vor-Ort-Produktion von Energie die Abhängigkeit von zentraler Energieerzeugung und weitläufiger Übertragungsinfrastruktur. Dies erhöht bei Einwirken von Extremwetterereignissen die Störungstoleranz und Ausfallsicherheit der Energieversorgung und verringert die Verletzlichkeit gegenüber Blackouts, weil der Ausfall von einzelnen Systemkomponenten nicht in Totalausfall des Gesamtsystems resultiert. Dadurch werden die Klima- und Krisenresilienz und die Anpassungskapazität des Energiesystems auf Quartiers- und Gesamtstadtebene verbessert (Fallbeispiel: Post-disaster Erfahrungen nach dem Typhoon Haiyan haben gezeigt, dass dezentrale	3

Klimaschutz: Handlungs- strategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Co-Benefit	Wertung
			solare Energiebereitstellung sich als resilienter und stabiler erwiesen hat als zentrale Energieinfrastruktursysteme). <i>Mitigation co-benefit:</i> Dezentrale Vor-Ort-Produktion von Elektrizität aus erneuerbaren Quellen verringert Energieverluste durch Leitung und Speicherung und erhöht damit die Energieeffizienz.	
4.2 Dezentrale erneuerbare Energie- versorgungs- systeme	Lokale nicht- fossile Energie- erzeugung, - einspeisung & -versorgung	B: Über- flutungen (fluvial, pluvial, Küsten)	Konventionelle zentralisierte Energiebereitstellungssysteme sind stark abhängig von Kühlung durch Wasser und daher oft in Wassernähe lokalisiert, was zu klimawandelbedingt zunehmender Risikoexposition gegenüber Hochwasser und Meeresspiegelanstieg führt. Dezentrale erneuerbare Energiesysteme können diese Klimavulnerabilität weitgehend vermeiden.	2
4.2 Dezentrale erneuerbare Energie- versorgungs- systeme	Lokale nicht- fossile Energie- erzeugung, - einspeisung & -versorgung: Geothermie, Tiefenwärmepumpen	E: Über- greifend, übergeordnet	Technologische Lösungen, die nicht von klimatischen Einflüssen und Klimaänderungen beeinflusst sind (keine bzw. vernachlässigbare Vulnerabilität der Energieproduktion gegenüber Klimawandel).	2
4.2 Dezentrale erneuerbare Energie- versorgungs- systeme	Lokale nicht- fossile Energie- erzeugung, - einspeisung & -versorgung: PV-Anlagen	A: Hitze	PV-Anlagen auf Gebäuden, städtischen Freiflächen und technischen Flächen (Parkplätze, Wartebereiche, Gehwege, Plätze) erzeugen Schattenwirkungen und können dadurch zur lokalspezifischen Minderung von Hitzestress beitragen.	2
4.2 Dezentrale erneuerbare Energie- versorgungs- systeme	Lokale nicht- fossile Energie- erzeugung, - einspeisung & -versorgung: Nutzung von Abwasser- Wärme- potenzialen	A: Hitze	An zentralen Pumpstationen der Stadt können die Abwasserströme als Wärmequelle für Wärmepumpen genutzt werden. Die Absenkung der Bodentemperatur ist ein wünschenswerter Nebeneffekt, da die erhöhte Bodentemperatur in allen städtischen Ballungsräumen eine Belastung für den Schutz des Trinkwassers darstellt.	1
4.3 Senkung des Energie- verbrauchs	Gebäude- begrünung	A: Hitze	Dach- und Fassadenbegrünung reduzieren den Energiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäuden und sind gleichzeitig hocheffektiv bei der Minderung von Hitze und des UHI-Effekts.	3

Klimaschutz: Handlungs- strategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Co-Benefit	Wertung
und Erhöhung der Energieeffizienz				
4.3 Senkung des Energieverbrauchs und Erhöhung der Energieeffizienz	Erhöhung der Energieeffizienz der Wasserversorgung	C: Trockenheit	Das Sammeln von Regenwasser (über Dachtanks oder Zisternen) zur Nutzung als Brauchwasser kann mit dem Ziel eingesetzt werden, Energie für die Frischwasseraufbereitung einzusparen (Fallbeispiel: für München wurden jährliche Energieeinsparungspotenziale von 5,5 kWh / Kopf durch Regenwassernutzung errechnet). Gleichzeitig trägt die Regenwassernutzung zur Verringerung von Wasserstress in Trockenperioden bei.	3
4.3 Senkung des Energieverbrauchs und Erhöhung der Energieeffizienz	Energieoptimiertes Gebäude- design und städtisches Design	A: Hitze	Kühlende, helle, reflektierende Oberflächen und Materialien (Gebäudefassaden, Dächer, Straßen, Gehsteige) sowie alle weiteren Maßnahmen des passiven Designs, die den Energiebedarf für Heizen und Kühlen reduzieren, sind bei entsprechender Ausgestaltung gleichzeitig hocheffektiv bei der Minderung von Hitze und des UHI-Effekts.	2
4.3 Senkung des Energieverbrauchs und Erhöhung der Energieeffizienz	Erhöhung der Energieeffizienz der Wasserversorgung	C: Trockenheit	Effizienzsteigerungen bei der Warmwasserbereitung und das Einsparen des Warmwasserverbrauchs haben bedeutende Energieeinsparpotenziale (Fallbeispiel: für Kalifornien wurde modelliert, dass Programme zum Wassersparen, die einen Fokus auf das Einsparen von Warmwasser legen, ein THG-Minderungspotenzial von bis zu 3,53 Mio. Tonnen CO ₂ e haben). Eine Reduktion des Warmwasserverbrauchs trägt, in Kombination mit anderen wassersparenden Maßnahmen, gleichzeitig zur Reduktion des Wasserverbrauchs insgesamt bei und verringert damit die Klimavulnerabilität von Wasserversorgung und Wasserressourcen.	2
4.3 Senkung des Energieverbrauchs und Erhöhung der Energieeffizienz	Energieeffiziente Kühlsysteme	E: Über- greifend, übergeordnet A: Hitze	Höhere Energieeffizienz von Kühlgeräten und dynamische Steuerung von Kühltemperaturen reduziert den Energiebedarf für Gebäudekühlung. Dies kann Spitzenbelastungen des Stromsystems senken und dadurch die Hitzeresilienz und Ausfallsicherheit des Energiesystems insgesamt verbessern.	1

Klimaschutz: Handlungs- strategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Co-Benefit	Wertung
4.4 Erhöhung der Versorgungs- sicherheit und Energie- flexibilität	Diversifizie- rung erneuerbarer Energie- quellen	E: Über- greifend, übergeordnet	Die Erschließung eines möglichst breit gestreuten Portfolios erneuerbarer Energiequellen bewirkt eine Streuung von Klimarisiken für einzelne Energieträger und reduziert damit die Vulnerabilität des Energiesystems gegenüber negativen Auswirkungen des Klimawandels auf spezifische Energieproduktionspotenziale (z.B. veränderte Produktionsbedingungen für Biomasse, verringertes oder stärker schwankendes Wasserkraftpotenzial, verstärkter saisonales Ungleichgewicht zwischen Energieproduktion und -nachfrage). Gleichzeitig verringert dezentrale erneuerbare Vor-Ort-Produktion von Energie die Abhängigkeit von zentraler Energieerzeugung und -infrastruktur, wodurch die Resilienz des Energiesystems und die Energiesicherheit insgesamt erhöht werden.	3
4.4 Erhöhung der Versorgungs- sicherheit und Energie- flexibilität	Dezentrale Energie- speicherung	E: Über- greifend, übergeordnet	Verbesserung der Widerstandsfähigkeit des Stromnetzes durch dezentrale Energiespeicherung im Stadtteil. Hierdurch kann das Risiko von Unterbrechungen der Energieversorgung bei extremen Wetterereignissen wie Wirbelstürmen oder extremer Kälte verringert werden, und es erhöht sich die Resilienz der Energieversorgung auf Quartiers- und Netzebene.	2

Die Wertungen resultieren aus qualitativen Experteneinschätzungen des Projektkonsortiums, arithmetischer Mittelwertbildung der Einzelbewertungen (n = 6) mit Rundung sowie Plausibilisierung in Workshops. Die Wertungsstufen beziehen sich auf die Stärke, Intensität, Enge, Wahrscheinlichkeit und Plausibilität der Wirkungszusammenhänge auf einer dreistufigen Skala: 1 ... gering, schwach, lose, eher unwahrscheinlich, unsicher; 2 ... mäßig, mittel; 3 ... hoch, stark, eng, sehr wahrscheinlich, mehrfache positive Effekte.

Tabelle 58: Handlungsfeld „Energieinfrastrukturen“: Trade-offs von THG-Minderungsmaßnahmen für Ziele der Klimaanpassung

Negative Auswirkungen von städtischen THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Nachhaltige, klimaneutrale Energieinfrastrukturen“ auf Ziele der Klimaanpassung

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmenbündel	Anpassung: Klimafolgenbereich	Trade-off	Wertung
4.1 Zentrale Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen	Flächensicherung und –nutzung für erneuerbare Energieerzeugung	E: Übergreifend, übergeordnet	Die Dekarbonisierung des Energiesystems verursacht beträchtlichen Flächenbedarf für erneuerbare Energieerzeugung (Freiflächen-PV, Windkraft, Anbauflächen für Biomasse) sowie für Übertragungs- und Speicherinfrastruktur (verstärkt durch künftig steigenden Strombedarf). Durch die tendenziell monofunktionale oder eingeschränkte multifunktionale Nutzung von naturnahen Räumen und Agrarflächen können deren ökosystembasierte Anpassungsfunktionen (Hochwasserrückhalt, Wasserspeicherung, Naturgefahrenschutz, Frisch- und Kaltluftversorgung, Biodiversität, etc.) beeinträchtigt und die Klimaresilienz und generische Anpassungskapazität von Städten verringert werden. Zudem können direkte Flächennutzungskonkurrenzen mit Anpassungsmaßnahmen, die konkreten Flächenbedarf haben, entstehen. <i>Mitigation Trade-off:</i> Negative Auswirkungen auf die C-Speicherfunktion von Böden und Ökosystemen können nicht gänzlich ausgeschlossen werden.	3
4.2 Dezentrale erneuerbare Energieversorgungssysteme	Lokale nicht-fossile Energieerzeugung, -einspeisung & -versorgung: PV-Anlagen	D: Sonstige Extremwetter- & Naturgefahrenereignisse	Außenliegende PV-Anlagen auf Dächern, Fassaden und anderen baulichen/technischen Strukturen weisen eine erhöhte Vulnerabilität gegenüber erhöhten physikalischen Beanspruchungen und gegenüber Extremwettereinflüssen (wie Stürme oder Hagel) auf. Auch kann die solare Stromerzeugung aufgrund langfristiger Klimaveränderungen weniger Sonnenenergie zur Verfügung haben.	2
4.2 Dezentrale erneuerbare Energieversorgungssysteme	Lokale nicht-fossile Energieerzeugung, -einspeisung & -versorgung	E: Übergreifend, übergeordnet	Die Ausstattung mit dezentralen, gleichmäßig verteilten Energiesystemen mit diversifizierten erneuerbaren Energiequellen hat signifikanten Investitionsbedarf und verursacht beträchtliche Kosten, die öffentliche Haushalte belasten, die Finanzierbarkeit von Anpassungsmaßnahmen gefährden und dadurch die Anpassungskapazität von Städten insgesamt reduzieren können. Die Konkurrenz um begrenzte finanzielle Ressourcen kann sich v.a. in Städten des globalen Südens negativ auswirken, insbesondere wenn erneuerbare Energietechnologien gegenüber	1

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmenbündel	Anpassung: Klimafolgenbereich	Trade-off	Wertung
			fossilbasierter Energieerzeugung wirtschaftlich noch nicht ausreichend konkurrenzfähig sind. (Fallbeispiel: Kolkata, Indien; Colenbrander et al., 2017).	
4.2 Dezentrale erneuerbare Energieversorgungssysteme	Lokale nicht-fossile Energieerzeugung, -einspeisung & -versorgung: PV-Anlagen	A: Hitze	PV-Anlagen/Solarparks können zur Erwärmung der umliegenden Gebiete führen. Mehr PV-Flächen und mehr dezentrale KWK in der Stadt tragen durch Absorption der Solarstrahlung bzw. Abwärme zur Stadterwärmung bei.	1
4.4 Erhöhung der Versorgungssicherheit und Energieflexibilität	Klima-resilienter Ausbau erneuerbarer Energieinfrastrukturen	D: Sonstige Extremwetter- & Naturgefahrenereignisse B: Überflutungen (fluvial, pluvial, Küsten)	Die Dekarbonisierung des Energiesystems erfordert die Ausweitung und Neuerrichtung von Infrastrukturanlagen zur Gewinnung, Übertragung und Speicherung von erneuerbarer Energie. Damit steigt die Exposition von Standorten und Trassen kritischer Energieinfrastruktur (Erzeugungsstandorte, Leitungskorridore, Übertragungsnetze, Speichereinrichtungen) gegenüber den Einwirkungen zunehmender klimawandelinduzierter Naturgefahren, Extremwetterereignisse und möglicher Kaskadenwirkungen. Um die klimaresiliente Sicherheit von kritischer Energieinfrastruktur zu gewährleisten, sollten Standort- und Trassenfindung daher einer Klimafolgenprüfung unterzogen und geeignete Flächen raumplanerisch gesichert sowie ggf. durch technische oder grüne Schutzinfrastruktur geschützt werden.	2

Die Wertungen resultieren aus qualitativen Experteneinschätzungen des Projektkonsortiums, arithmetischer Mittelwertbildung der Einzelbewertungen (n = 6) mit Rundung sowie Plausibilisierung in Workshops. Die Wertungsstufen beziehen sich auf die Stärke, Intensität, Enge, Wahrscheinlichkeit und Plausibilität der Wirkungszusammenhänge auf einer dreistufigen Skala: 1 ... gering, schwach, lose, eher unwahrscheinlich, unsicher; 2 ... mäßig, mittel; 3 ... hoch, stark, eng, sehr wahrscheinlich, mehrfache negative Effekte.

D.4.2 Synergien und Konflikte mit Klimaanpassung

Tabelle 59: Handlungsfeld „Energieinfrastrukturen“: Synergien von THG-Minderungsmaßnahmen mit Maßnahmen zur Klimaanpassung

Positive Auswirkungen von städtischen THG-Minderungsmaßnahmen auf Maßnahmen der Klimaanpassung im Handlungsfeld „Nachhaltige, klimaneutrale Energieinfrastrukturen“

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Anpassung: Maßnahmenbündel	Synergien	Wertung
4.1 Zentrale und dezentrale erneuerbare Energieversorgungssysteme	Generell	E: Übergreifend, übergeordnet	A3: Kühlende Materialien und Oberflächen A8: Maßnahmen zur Hitzeresilienz der sonstigen technischen und baulichen Infrastruktur B4: Naturbasiertes dezentrales städtisches Regenwassermanagement C3: Regenwassermanagement und Regenwassernutzung D2: Erhöhung der Resilienz der Energie- und Verkehrsinfrastruktur	Die Errichtung bzw. Ertüchtigung "grüner", zentraler und/oder dezentraler Energieinfrastrukturen in Stadtvierteln bietet ein Möglichkeitsfenster, um Energiesysteme klimaresilient zu gestalten, wie z. B. durch verbesserte Wasserdichtigkeit der Strominfrastruktur oder Kühlsysteme für kritische Infrastrukturen. Die Erneuerung von energiebezogener Infrastruktur lässt sich zudem dazu nutzen, um darüber hinaus gehende Anpassungsmaßnahmen umzusetzen. Wenn der Boden für die Installation aufgegraben wird, ergeben sich Möglichkeiten für ein widerstandsfähigeres Abfall- oder Abwassersystem sowie für den Ersatz von Bodenbelägen durch durchlässige oder kühle Beläge.	2
4.1 Zentrale Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen	Flächensicherung und –nutzung für erneuerbare Energieerzeugung	E: Übergreifend, übergeordnet	A1: Grüne und blaue Infrastruktur (flächenhaft, linear) B1: Schutzinfrastruktur: technischer Hochwasser- und Küstenschutz (aktiv) B3: Hochwasser- und Küstenschutz durch planerische	Für erneuerbare Energiebereitstellung genutzte Flächen (Freiflächen-PV, Windkraft, Anbauflächen für Biomasse) im Stadtumland können bei integrierter, angepasster Planung und Umsetzung ökosystembasierte Anpassungsfunktionen miterfüllen. Vor allem bewirkt die Nutzung zur Energieproduktion, dass die betreffenden Flächen von Bebauung geschützt und freigehalten werden. Bei entsprechender Berücksichtigung ihrer klimabezogenen Anpassungswirkungen	2

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Anpassung: Maßnahmenbündel	Synergien	Wertung
			und naturbasierte Maßnahmen (passiv) C1: Angebotsseitiges Management von Wasserressourcen	können PV-Anlagen auf Freiflächen, Biomasseanbauflächen, Stromleitungstrassen etc. gleichzeitig als Vorrangzonen oder multifunktionale Korridore für Frischluftzufuhr oder als Wassergewinnungsgebiete dienen. Es erscheint wahrscheinlich, dass trotz der Möglichkeit multifunktionaler Flächennutzungen mit Synergien dennoch Trade-offs für die Anpassung verbleiben.	
4.1 Zentrale Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen	Fernwärme- und Fernkühlenetze	A: Hitze	A6: Passive Kühlung und alternative (energieeffiziente und klimaneutrale) aktive Kühlung von Gebäuden (thermischer Innenkomfort)	Aus Energieeffizienzgründen errichtete Fernkühle-Systeme mit nachhaltig bereitgestellter Fernkälte sind gleichzeitig eine Maßnahme zur Anpassung des Gebäudebereichs an Hitze während heißer Perioden.	2
4.2 Dezentrale erneuerbare Energieversorgungssysteme	Lokale nicht-fossile Energieerzeugung, -einspeisung & -versorgung	A: Hitze D: Sonstige Extremwetter- & Naturgefahrenereignisse	A8: Maßnahmen zur Hitzeresilienz der sonstigen technischen und baulichen Infrastruktur D2: Erhöhung der Resilienz der Energie- und Verkehrsinfrastruktur	Dezentrale erneuerbare Vor-Ort-Produktion von Energie verringert die Abhängigkeit von einzelnen Energiequellen, zentraler Energieerzeugung und -infrastruktur, wodurch die Resilienz des Energiesystems, z.B. gegenüber Hitze und Extremwettereinflüsse, und die Energieversorgungssicherheit insgesamt erhöht werden. Kleinteilige Energiestrukturen sind gleichzeitig eine Anpassungsmaßnahme, um durch Redundanzen Störungstoleranz und Ausfallsicherheit der Energieinfrastruktur insgesamt zu erhöhen.	3
4.2 Dezentrale erneuerbare Energieversorgungssysteme	Lokale nicht-fossile Energieerzeugung, -einspeisung & -versorgung: PV-/Solaranlagen	A: Hitze	A2: Begrünung von Gebäuden (Dächer, Fassaden)	Multifunktionale Dächer durch Kombination von Gründächern/Dachgärten mit Solar- bzw. PV-Anlagen. Gründächer verbessern durch ihre Kühlungswirkung sowie durch die thermischen Eigenschaften des Dachgartenaufbaus den thermischen Komfort und die Energieeffizienz von Gebäuden (geringerer Heiz- bzw. Kühlbedarf). Gleichzeitig erhöht sich durch den Kühlungseffekt von Dachbegrünung die Effizienz von Solarpaneelen. Der kombinierte positive Effekt von Dachgärten und Dachsolaranlagen auf die Energieeinsparung ist größer als	2

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Anpassung: Maßnahmenbündel	Synergien	Wertung
				der Effekt der einzelnen Maßnahmen (Fallbeispiel: Rotterdam, Niederlande; AMIA, 2021).	
4.2 Dezentrale erneuerbare Energieversorgungssysteme	Lokale nicht-fossile Energieerzeugung, -einspeisung & -versorgung: PV-/Solaranlagen	A: Hitze	A4: Verschattung von Gebäuden und städtischen Außenräumen	PV-Anlagen auf Gebäuden, anderen baulichen Strukturen und städtischen Flächen (Parkplätze, Wartezonen, Plätze, Gehwege) können gezielt zur aktiven, technischen Verschattung genutzt werden und tragen dadurch zur Anpassung an Hitze bei.	2
4.3 Senkung des Energieverbrauchs und Erhöhung der Energieeffizienz	Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden	A: Hitze	A6: Passive Kühlung und alternative (energieeffiziente und klimaneutrale) aktive Kühlung von Gebäuden (thermischer Innenkomfort)	Regulative Vorgaben für höhere Energieeffizienz von Gebäuden fördern über Anreizwirkung bzw. „sanften Zwang“ den Anschluss an alternative Kühlsysteme (v.a. Fernkälte / ‚district cooling‘). Die Kombination beider Maßnahmen führt zu größeren Wirkungen sowohl für den Klimaschutz als auch für die Klimaanpassung. Gleichzeitig wird durch die Vermeidung konventioneller Kühlanlagen Fehlanpassung infolge erhöhten Energieverbrauchs vermieden. Lösung eines potenziellen Konflikts (erhöhte THG-Emissionen durch Bedarf nach verstärkter Raumkühlung) Das Zusammenspiel regulativer Vorgaben auf institutioneller Ebene mit der Managementebene von Gebäuden bzw. Haushalten ist ein Beispiel dafür, wie durch die Lösung eines potenziellen Konflikts (erhöhte THG-Emissionen durch Bedarf nach verstärkter Raumkühlung) letztlich Synergiewirkungen erzielt werden können (Fallbeispiel: Kopenhagen, Act on Municipal Cooling Systems, 2008).	3
4.3 Senkung des Energieverbrauchs und Erhöhung der Energieeffizienz	Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden	D: Sonstige Extremwetter- & Naturgefahrenereignisse	D1: Bauliche Maßnahmen zur Erhöhung der Resistenz von Gebäuden und Infrastrukturanlagen gegen Extremwetterereignisse (Sturm,	Wahl von Baumaterialien, Bauausführung und Gestaltung der Gebäudehülle (inkl. Anbauten), um die energetische Performance von Gebäuden zu verbessern und gleichzeitig deren Resistenz gegenüber Extremwettereinflüssen (Sturm, Hagel, Eis, Temperaturschwankungen, etc.) zu erhöhen.	2

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Anpassung: Maßnahmenbündel	Synergien	Wertung
			Hagel, Blitz, Schnee- und Eislast, gravitative Naturgefahren)		
4.3 Senkung des Energie-verbrauchs und Erhöhung der Energieeffizienz	Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden	B: Überflutungen (fluvial, pluvial, Küsten)	B2: Hochwasserangepasste Bauweisen und technischer Objektschutz	Wahl von Baumaterialien, die gute thermische Eigenschaften zur Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden (Wärmedämmung) mit hoher Widerstandsfähigkeit gegenüber Überschwemmungen kombinieren.	1

Die Wertungen resultieren aus qualitativen Experteneinschätzungen des Projektkonsortiums, arithmetischer Mittelwertbildung der Einzelbewertungen (n = 6) mit Rundung sowie Plausibilisierung in Workshops. Die Wertungsstufen beziehen sich auf die Stärke, Intensität, Enge, Wahrscheinlichkeit und Plausibilität der Wirkungszusammenhänge auf einer dreistufigen Skala: 1 ... gering, schwach, lose, eher unwahrscheinlich, unsicher; 2 ... mäßig, mittel; 3 ... hoch, stark, eng, sehr wahrscheinlich, betrifft mehrere Anpassungsbereiche bzw. -maßnahmen.

Tabelle 60: Handlungsfeld „Energieinfrastrukturen“: Konflikte von THG-Minderungsmaßnahmen mit Maßnahmen zur Klimaanpassung

Negative Auswirkungen von städtischen THG-Minderungsmaßnahmen auf Maßnahmen der Klimaanpassung im Handlungsfeld „Nachhaltige, klimaneutrale Energieinfrastrukturen“

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Anpassung: Maßnahmenbündel	Konflikte	Wertung
4.1 Zentrale Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen	Flächensicherung und –nutzung für erneuerbare Energieerzeugung	E: Übergreifend, übergeordnet	A1: Grüne und blaue Infrastruktur (flächenhaft, linear) B1: Schutzinfrastruktur: technischer Hochwasser- und Küstenschutz (aktiv) B3: Hochwasser- und Küstenschutz durch planerische und naturbasierte Maßnahmen (passiv) C1: Angebotsseitiges Management von Wasserressourcen	Die Dekarbonisierung des Energiesystems verursacht beträchtlichen Flächenbedarf für erneuerbare Energieerzeugung (Freiflächen-PV, Windkraft, Anbauflächen für Biomasse) sowie für Übertragungs- und Speicherinfrastruktur (verstärkt durch künftig steigenden Strombedarf). Durch die tendenziell monofunktionale Nutzung bzw. Einschränkung der Multifunktionalität von unverbauten Grün- und Freiflächen im Stadtumland können direkte Flächennutzungskonkurrenzen mit Anpassungsmaßnahmen, die Flächenbedarf haben, entstehen, sowie anpassungswirksame Ökosystemleistungen an Wirksamkeit verlieren. Dies betrifft einerseits technische (bauliche, strukturelle, aktive) Maßnahmen zur Anpassung an Hochwasser, Küstenüberflutungen und andere klima-/wettergetriebene Naturgefahrenereignisse, wie insbesondere Schutzbauten und deren Flächenbedarf. Andererseits können ökosystembasierte Anpassungsmaßnahmen wie grüne/blau Infrastruktur zur Frisch-/Kaltluftversorgung von Städten, Hochwasserabfluss- und rückhalteräume sowie Schutzgebiete für Grundwasserressourcen und die Bewirtschaftung des Landschaftswasserhaushalts betroffen sein. Eine Vermeidung bzw. Abschwächung von Konflikten mit Anpassungszielen und -Maßnahmen erscheint vielfach möglich, z.B. indem Flächenfunktionen für die Klimaanpassung in Eignungs- und Ausschlusszonierungen für erneuerbare Energieerzeugung berücksichtigt und multifunktionale Flächennutzungen optimierte werden.	2

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Anpassung: Klimafolgen- bereich	Anpassung: Maßnahmenbündel	Konflikte	Wertung
4.2 Dezentrale erneuerbare Energie- versorgungssysteme	Lokale nicht- fossile Energie- erzeugung, - einspeisung & - versorgung	E: Übergreifend, übergeordnet	A1: Grüne und blaue Infrastruktur (flächenhaft, linear) B4: Naturbasiertes dezentrales städtisches Regenwasser- management C3: Regenwassermanagement und Regenwassernutzung	Die Nutzung städtischer Freiflächen, Brachflächen und Baulücken für dezentrale erneuerbare Energieerzeugung (PV, Solar) steht in Flächennutzungskonkurrenz um das knappe innerstädtische Flächenangebot für grüne und blaue Infrastruktur und dezentrale Regenwassermanagementsysteme. Multifunktionale Nutzungen derselben Flächen für Energiegewinnung und Anpassungsmaßnahmen sind oft nicht möglich oder beeinträchtigen sich wechselseitig in ihrer Umsetzbarkeit und Wirksamkeit.	2

Die Wertungen resultieren aus qualitativen Experteneinschätzungen des Projektkonsortiums, arithmetischer Mittelwertbildung der Einzelbewertungen (n = 6) mit Rundung sowie Plausibilisierung in Workshops. Die Wertungsstufen beziehen sich auf die Stärke, Intensität, Enge, Wahrscheinlichkeit und Plausibilität der Wirkungszusammenhänge auf einer dreistufigen Skala: 1 ... gering, schwach, lose, eher unwahrscheinlich, unsicher; 2 ... mäßig, mittel; 3 ... hoch, stark, eng, sehr wahrscheinlich, betrifft mehrere Anpassungsbereiche bzw. -maßnahmen.

D.4.3 Co-Benefits und Trade-offs mit Umwelt- und Nachhaltigkeitszielen

Tabelle 61: Handlungsfeld „Energieinfrastrukturen“: Co-Benefits von THG-Minderungsmaßnahmen für Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele

Positive Auswirkungen von städtischen THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Nachhaltige, klimaneutrale Energieinfrastrukturen“ auf die Umweltqualität und sozialökologische Ziele einer nachhaltigen Stadtentwicklung

Klimaschutz: Handlungs- strategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Stadtpolitik: Zielbereich	Co-Benefit	Wertung
4.1 Zentrale Energie- versorgung aus erneuerbaren Quellen	Substitution fossiler Energieträger	Gesundheit, Lebens- qualität, soziale Aspekte	Der Ersatz kohlebasierter Energieerzeugung durch erneuerbare Energiequellen verringert die Luftverschmutzung und reduziert damit Belastungen der Gesundheit und vorzeitige Mortalität. Dieser Zusatznutzen von Dekarbonisierung ist besonders relevant für Städte des globalen Südens und andere Länder mit hohem Anteil von Kohle an der Energieerzeugung.	3
4.1 Zentrale Energie- versorgung aus erneuerbaren Quellen	Elektrifizie- rung urbaner Energie- systeme mit erneuerbaren Energie- quellen	Gesundheit, Lebens- qualität, soziale Aspekte Biodiversität, Naturräume	Der Ersatz von Feuerholz für Kochen und Heizen durch erneuerbaren Strom verbessert die Innenluftqualität und die Gesundheit insbesondere einkommensschwacher Haushalte und verringert vorzeitige Mortalität. Zudem wird der Druck auf Gehölzvegetation als Brennstoffquelle reduziert. Besonders relevanter Zusatznutzen für Städte des globalen Südens und informelle Siedlungen.	3
4.1 Zentrale Energie- versorgung aus erneuerbaren Quellen	Elektrifizie- rung urbaner Energie- systeme mit erneuerbaren Energie- quellen	Gesundheit, Lebens- qualität, soziale Aspekte	Grüne Elektrifizierung, v.a. in Städten des globalen Südens, unterstützt Bekämpfung von Energiearmut, Chancengerechtigkeit und gerechten Zugang zu sauberer Energie für alle. Die Verringerung der Energiearmut von Haushalten verringert damit verbundene Gesundheitsrisiken, v.a. von vulnerablen Gruppen und in formellen Siedlungen.	3
4.1 Zentrale Energie- versorgung aus erneuerbaren Quellen	Substitution fossiler Energieträger	Luftqualität Gesundheit, Lebens- qualität, soziale Aspekte	Verringerung von Luftschadstoffen, einschließlich Vorläufersubstanzen von bodennahem Ozon (dessen Bildung durch erhöhte Temperaturen begünstigt wird).	2
4.1 Zentrale Energie- versorgung aus erneuerbaren Quellen	Elektrifizie- rung des urbanen Energie- systems mit erneuerbaren Energie- quellen	Wasser	Erleichtert das Design von Energiesystemen, sodass negative Auswirkungen auf Wasserökosysteme minimiert werden können.	1
4.3 Senkung des Energie-	THG- Minderungs-	Gesundheit, Lebens-	Verbesserte Gesundheit durch bessere Innenraumbedingungen, Minderung von	2

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmenbündel	Stadtpolitik: Zielbereich	Co-Benefit	Wertung
verbrauchs und Erhöhung der Energieeffizienz	maßnahmen an Gebäuden	qualität, soziale Aspekte	Energiearmut, verbesserte Qualität der Umgebungsluft und geminderter UHI-Effekt.	
4.3 Senkung des Energieverbrauchs und Erhöhung der Energieeffizienz	THG-Minderungsmaßnahmen an Gebäuden	Biodiversität, Naturräume Boden Luftqualität Wasser	Verbesserung der Luftqualität und verringerter Eintrag von Luftschadstoffen in Ökosysteme und Böden (reduzierte Versauerung, Eutrophierung, etc.).	2
4.3 Senkung des Energieverbrauchs und Erhöhung der Energieeffizienz	THG-Minderungsmaßnahmen an Gebäuden	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte	Positive Einflüsse auf die soziale Lebensqualität durch höheres verfügbares Einkommen aufgrund niedrigerer Energieausgaben, verbesserten Zugang zu Energieversorgung, mehr produktive Zeit für Familien, etc.	2

Die Wertungen resultieren aus qualitativen Experteneinschätzungen des Projektkonsortiums, arithmetischer Mittelwertbildung der Einzelbewertungen (n = 6) mit Rundung sowie Plausibilisierung in Workshops. Die Wertungsstufen beziehen sich auf die Stärke, Intensität, Enge, Wahrscheinlichkeit und Plausibilität der Wirkungszusammenhänge auf einer dreistufigen Skala: 1 ... gering, schwach, lose, eher unwahrscheinlich, unsicher; 2 ... mäßig, mittel; 3 ... hoch, stark, eng, sehr wahrscheinlich, mehrfache positive Effekte.

Tabelle 62: Handlungsfeld „Energieinfrastrukturen“: Trade-offs von THG-Minderungsmaßnahmen für Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele

Negative Auswirkungen von städtischen THG-Minderungsmaßnahmen im Handlungsfeld „Nachhaltige, klimaneutrale Energieinfrastrukturen“ auf die Umweltqualität und sozialökologische Ziele einer nachhaltigen Stadtentwicklung

Klimaschutz: Handlungsstrategie	Klimaschutz: Maßnahmenbündel	Stadtpolitik: Zielbereich	Trade-off	Wertung
4.1 Zentrale Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen	Elektrifizierung urbaner Energiesysteme mit erneuerbaren Energiequellen	Biodiversität, Naturräume Wasser	Ausbau der Wasserkraft und Ausweitung des Anbaus biogener Energieträger übt negative Wirkungen auf terrestrische und aquatische Ökosysteme und deren Biodiversität aus.	2
4.1 Zentrale Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen	Flächensicherung und -nutzung für erneuerbare Energieerzeugung	Biodiversität, Naturräume Wasser Boden	Die Dekarbonisierung des Energiesystems verursacht beträchtlichen Flächenbedarf für erneuerbare Energieerzeugung (Freiflächen-PV, Windkraft, Anbauflächen für Biomasse) sowie für Übertragungs- und Speicherinfrastruktur (verstärkt durch künftig steigenden Strombedarf). Damit steigt der Nutzungsdruck auf naturnahe Räume und verschärfen sich Nutzungskonkurrenzen mit Agrar- und Waldflächen. Durch die tendenziell monofunktionale Nutzung bzw. Einschränkung der Multifunktionalität von naturnahen Räumen und Agrarflächen sind negative Auswirkungen auf terrestrische, aquatische und küstennahe Ökosysteme im Stadtumland sowie deren Biodiversität wahrscheinlich bis unvermeidlich. <i>Mitigation Trade-off:</i> Negative Auswirkungen bei der Herstellung von Biomasse auf die C-Speicherfunktion von Böden und Ökosystemen sind nicht auszuschließen.	2
4.1 Zentrale Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen	Flächensicherung und -nutzung für erneuerbare Energieerzeugung	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte	Flächennutzungskonkurrenz mit landwirtschaftlichen Flächen und Nahrungsmittelproduktion kann die Ernährungssicherheit beeinträchtigen, das Risiko von Hunger verstärken und Lebensmittelpreise erhöhen. Von höheren Lebensmittelpreisen sind einkommensschwache, sozial vulnerable Gruppen überproportional betroffen.	2
4.2 Dezentrale erneuerbare Energieversorgungssysteme	Lokale nicht-fossile Energieerzeugung, -einspeisung & -versorgung	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte	Signifikanter Kapitalbedarf für die Errichtung dezentraler Energieinfrastrukturen belastet öffentliche Haushalte und kann Investitionen in soziale Ziele, wie Armutsbekämpfung oder Verbesserung der Gesundheitsversorgung für alle, gefährden (Fallbeispiel: Kolkata, Indien; Colenbrander et al., 2017).	1
4.2 Dezentrale erneuerbare Energie-	Lokale nicht-fossile Energieerzeugung, -einspeisung & -versorgung	Gesundheit, Lebensqualität, soziale Aspekte	Erhöhte Produktionskosten für Energieversorger infolge des Investitionsbedarfs für dezentrale Energieinfrastrukturen können zu höheren Strompreisen und einem restriktiveren Vorgehen gehen Elektrizitätsdiebstahl führen, wodurch v.a.	1

Klimaschutz: Handlungs- strategie	Klimaschutz: Maßnahmen- bündel	Stadtpolitik: Zielbereich	Trade-off	Wertung
versorgungs- systeme			einkommensschwache Haushalte belastet werden Fallbeispiel: Kolkata, Indien; Colenbrander et al., 2017).	
4.4 Erhöhung der Versorgungs- sicherheit und Energie- flexibilität	Diversifizie- rung erneuerbarer Energie-quellen	Gesundheit, Lebens- qualität, soziale Aspekte	Diversifizierung des Energieprofils durch den Ausbau eines breiten Portfolios erneuerbarer Energieträger verursacht substanziellen Bedarf an Investitionskapital. Dies belastet öffentliche Haushalte und kann Investitionen in soziale Ziele, wie Armutsbekämpfung oder Verbesserung der Gesundheitsversorgung für alle, gefährden. Konkurrenz um begrenzte finanzielle Mittel kann sich v.a. in Städten des globalen Südens negativ auswirken, insbesondere wenn erneuerbare Ergietechnologien gegenüber fossilbasierter Energieerzeugung wirtschaftlich noch nicht ausreichend konkurrenzfähig sind. Langfristig ermöglicht der Ausbau erneuerbarer Energiequellen die Senkung von laufenden Betriebskosten und damit die Verringerung von Energiearmut, jedoch stellen die oft hohen Investitionskosten eine soziale Schwelle dar.	2
4.4 Erhöhung der Versorgungs- sicherheit und Energie- flexibilität	Energie- speicherung	Biodiversität, Naturräume Boden Wasser	Flächenbedarf sowie Bedarf nach teils sehr knappen und teils umwelt- und humantoxischen Materialien (z.B. bei Akku-Stromspeichern) für Energiespeicheranlagen.	1
4.4 Erhöhung der Versorgungs- sicherheit und Energie- flexibilität	Diversifizie- rung erneuerbarer Energie- quellen, Energie- speicherung	Biodiversität, Naturräume Boden Wasser	Hoher Flächenbedarf für Pumpspeicherkraftwerke mit teils erheblichen Beeinträchtigungen von Natur und Umwelt in zum Teil ökologisch sensibler Umgebung (Gewässer, Gebirge). Hinzu kommt hoher Materialbedarf (z.B. Zement, Sand, Schotter, Stahl). <i>Mitigation Trade-off:</i> Hoher Einsatz von THG- intensiven Baumaterialien und Rohstoffen bei der Errichtung von Pumpspeicherkraftwerken. Deren THG- und Stoffbilanzen sollten daher Lebenszyklusanalysen unterzogen werden.	1
4.4 Erhöhung der Versorgungs- sicherheit und Energie- flexibilität	Diversifizie- rung erneuerbarer Energie-quellen	Biodiversität, Naturräume Boden Wasser Luftqualität Gesundheit, Lebens- qualität, soziale Aspekte	Der Einsatz von Biomasse als Energieträger kann kontraproduktive Umwelt- und Gesundheitseffekte verursachen, wie Schadstoffemissionen bei der Verbrennung, Flächeninanspruchnahme und Bodenbelastungen, Energieeinsatz für Düngemittel, Ernte, Verarbeitung und Transport, Wasserverbrauch).	1

Die Wertungen resultieren aus qualitativen Experteneinschätzungen des Projektkonsortiums, arithmetischer Mittelwertbildung der Einzelbewertungen (n = 6) mit Rundung sowie Plausibilisierung in Workshops. Die Wertungsstufen beziehen sich auf die Stärke,

Intensität, Enge, Wahrscheinlichkeit und Plausibilität der Wirkungszusammenhänge auf einer dreistufigen Skala: 1 ... gering, schwach, lose, eher unwahrscheinlich, unsicher; 2 ... mäßig, mittel; 3 ... hoch, stark, eng, sehr wahrscheinlich, mehrfache negative Effekte.

D.5 Für das Mapping von Wechselwirkungen ausgewertete Literaturquellen

AMIA (2021): Adaptation and mitigation interaction assessment tool, C40 cities.

<https://resourcecentre.c40.org/resources/interaction-between-adaptation-and-mitigationactions> (10.06.2021).

Andoni, H.; Wonorahardjo, S. (2018): A review on mitigation technologies for controlling urban heat island effect in housing and settlement areas. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 152, No. 1, p. 012027). IOP Publishing.

Babiker, M., G. Berndes, K. Blok, B. Cohen, A. Cowie, O. Geden, V. Ginzburg, A. Leip, P. Smith, M. Sugiyama, F. Yamba (2022): Cross-sectoral perspectives. In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.005

Babiker, M., G. Berndes, K. Blok, B. Cohen, A. Cowie, O. Geden, V. Ginzburg, A. Leip, P. Smith, M. Sugiyama, F. Yamba (2022): Cross-sectoral perspectives Supplementary Material. In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. Available from <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>.

Berry, P.M., Brown, S., Chen, M., Kontogianni, A., Rowlands, O., Simpson, G., Skourtos, M. (2015): Cross-sectoral interactions of adaptation and mitigation measures. In: *Clim. Change*, 128(3), S. 381–393.

Cabeza, L. F., Q. Bai, P. Bertoldi, J.M. Kihila, A.F.P. Lucena, É. Mata, S. Mirasgedis, A. Novikova, Y. Saheb (2022): Buildings. In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.011

Cabeza, L. F., Q. Bai, P. Bertoldi, J.M. Kihila, A.F.P. Lucena, É. Mata, S. Mirasgedis, A. Novikova, Y. Saheb (2022): Buildings Supplementary Material. In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Available from <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>.

Dodman, D., B. Hayward, M. Pelling, V. Castan Broto, W. Chow, E. Chu, R. Dawson, L. Khirfan, T. McPhearson, A. Prakash, Y. Zheng, and G. Ziervogel (2022): Cities, Settlements and Key Infrastructure. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 907–1040, doi:10.1017/9781009325844.008.

EEA – European Environment Agency (2022a): Climate-ADAPT Case Study Explorer. <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/knowledge/tools/case-study-explorer> (Oktober 2022).

Grafakos, S., Trigg, K., Landauer, M., Chelleri, L., Dhakal, S. (2019): Analytical framework to evaluate the level of integration of climate adaptation and mitigation in cities. In: *Climatic Change* 154, S. 87–106. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02394-w>

Hirschl, B.; Reusswig, F.; Weiß, J.; Bölling, L.; Bost, M.; Flecken, U.; Haag, L.; Heiduk, P.; Klemm, P.; Lange, C.; Lass, W.; Richter, P.-M.; Rupp, R.; Salecki, S.; Schwarz, U.; Weyer, G.; Voigt, R. (2015): Entwurf für ein Berliner Energie- und

Klimaschutzprogramm (BEK), Endbericht, November 2015; im Auftrag des Landes Berlin, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt.

K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Loschke, V. Moller, A. Okem (eds.)). In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Portner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Loschke, V. Moller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 37–118, doi:10.1017/9781009325844.002.

Kandya, A.; Mohan, M. (2018): Mitigating the Urban Heat Island effect through building envelope modifications. *Energy and Buildings*, 164, S. 266-277.

Kirsimaa, K.; Org, M.; Kuldna, P. (2020): Mapping climate adaptation options in energy efficiency projects. Task WP4.1 of the CAMS project.

Landauer, M.; Juhola, S.; Klein, J. (2019): The role of scale in integrating climate change adaptation and mitigation in cities. In: *Journal of Environmental Planning and Management* 62(5), S. 741–765.

Landauer, M.; Juhola, S.; Söderholm, M. (2015): Inter-relationships between adaptation and mitigation: a systematic literature review. In: *Climatic Change*. *Climatic Change* 131 (2015), S. 505–517.

Lwasa, S., K.C. Seto, X. Bai, H. Blanco, K.R. Gurney, S. Kılıç, O. Lucon, J. Murakami, J. Pan, A. Sharifi, Y. Yamagata (2022): Urban systems and other settlements Supplementary Material. In *IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Available from <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>.

Lwasa, S., K.C. Seto, X. Bai, H. Blanco, K.R. Gurney, Ş. Kılıç, O. Lucon, J. Murakami, J. Pan, A. Sharifi, Y. Yamagata (2022): Urban systems and other settlements. In *IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.010

OECD (2021): Strengthening Adaptation-Mitigation Linkages for a Low-Carbon, Climate-Resilient Future. Policy perspectives. OECD Environment Policy Paper No. 23.

Pathak, M., R. Slade, P.R. Shukla, J. Skea, R. Pichs-Madruga, D. Ürge-Vorsatz (2022): Technical Summary. In: *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.002

Pörtner, H.-O., D.C. Roberts, H. Adams, I. Adelekan, C. Adler, R. Adrian, P. Aldunce, E. Ali, R. Ara Begum, B. Bednar-Friedl, R. Bezner Kerr, R. Biesbroek, J. Birkmann, K. Bowen, M.A. Caretta, J. Carnicer, E. Castellanos, T.S. Cheong, W. Chow, G. Cisse, S. Clayton, A. Constable, S.R. Cooley, M.J. Costello, M. Craig, W. Cramer, R. Dawson, D. Dodman, J. Efitre, M. Garschagen, E.A. Gilmore, B.C. Glavovic, D. Gutzler, M. Haasnoot, S. Harper, T. Hasegawa, B. Hayward, J.A. Hicke, Y. Hirabayashi, C. Huang, K. Kalaba, W. Kiessling, A. Kitoh, R. Lasco, J. Lawrence, M.F. Lemos, R. Lempert, C. Lennard, D. Ley, T. Lissner, Q. Liu, E. Liwenga, S. Lluch-Cota, S. Loschke, S. Lucatello, Y. Luo, B. Mackey, K. Mintenbeck, A. Mirzabaev, V. Moller, M. Moncassim Vale, M.D. Morecroft, L. Mortsch, A. Mukherji, T. Mustonen, M. Mycoo, J. Nalau, M. New, A. Okem, J.P. Ometto, B. O'Neill, R. Pandey, C. Parmesan, M. Pelling, P.F. Pinho, J. Pinnegar, E.S. Poloczanska, A. Prakash, B. Preston, M.-F. Racault, D. Reckien, A. Revi, S.K. Rose, E.L.F. Schipper, D.N. Schmidt, D. Schoeman, R. Shaw, N.P. Simpson, C. Singh, W. Solecki, L. Stringer, E. Totin, C.H. Trisos, Y. Trisurat, M. van Aalst, D. Viner, M. Wairiu, R. Warren, P. Wester, D. Wrathall, and Z. Zaiton Ibrahim (2022): Technical Summary. [H.-O. Portner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska,

Reusswig, F.; Becker, C.; Lass, W.; Haag, L.; Hirschfeld, J.; Knorr, A.; Lüdeke, M. K.B.; Neuhaus, A.; Pankoke, C.; Rupp, J., Walther, C.; Walz, S.; Weyer, G.; Wiesemann, E. (2016): Anpassung an die Folgen des Klimawandels in Berlin (AFOK). Klimaschutz Teilkonzept. Hauptbericht. Gutachten im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Sonderreferat Klimaschutz und Energie (SRKE). Potsdam, Berlin.

Schipper, E.L.F., A. Revi, B.L. Preston, E.R. Carr, S.H. Eriksen, L.R. Fernandez-Carril, B.C. Glavovic, N.J.M. Hilmi, D. Ley, R. Mukerji, M.S. Muylaert de Araujo, R. Perez, S.K. Rose, and P.K. Singh (2022): Climate Resilient Development Pathways. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 2655–2807, doi:10.1017/9781009325844.027.

Sharifi, A. (2020): Trade-offs and conflicts between urban climate change mitigation and adaptation measures: A literature review. In: *Journal of Cleaner Production*, 276 (2020), 122813, doi:10.1016/j.jclepro.2020.122813.

Sharifi, A. (2021): Co-benefits and synergies between urban climate change mitigation and adaptation measures: A literature review. In: *Science of the Total Environment*, 750 (2021), 141642, doi:10.1016/j.scitotenv.2020.141642.

Umweltbundesamt (2022): Anforderungen an ein klimagerechtes (Resilienz und Mitigation) Management kompakter Siedlungs- und Infrastrukturflächen. Wege zur Umsetzung sowie Evaluierung anhand ausgewählter Fallstudien. Instrumente und Werkzeuge für eine klimagerechte Planung und Entwicklung kompakter Siedlungsstrukturen. TEXTE 102/202

Xu, L.; Wang, X.; Liu, J.; He, Y.; Tang, J.; Nguyen, M.; Cui, S. (2019): Identifying the trade-offs between climate change mitigation and adaptation in urban land use planning: An empirical study in a coastal city. *Environ. Int.*, 133, 105162, doi:10.1016/j.envint.2019.105162.

E Anhang: Empfehlungen an das IKI-Programm des BMWK

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl: 3720 15 102 0

Klimaorientierte Stadtentwicklung – Treibhausgasminderungspotenzial in synergetischen Handlungsfeldern

von

León Díaz-Bone, Thibault Renoux
ICLEI - Weltsekretariat

Nikolai Jacobi, Carsten Rothballer, Andreas Jäger
ICLEI - Europasekretariat

Jürgen Kropp, Fabian Reitemeyer
Potsdam Institut für Klimafolgenforschung

Wolfgang Lexer, Alexander Storch, Fritz David
Umweltbundesamt Österreich

ICLEI – Europasekretariat
Leopoldring 3, 79098
Freiburg im Breisgau / DE

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Empfehlungen an das IKI Programm

E.1 Einführung in das Projekt

Das UBA-Projekt "Klimaorientierte Stadtentwicklung" untersucht die Treibhausgasminderungspotenziale in synergetischen Handlungsfeldern der klimaorientierten Stadtentwicklung, wie sie quantifiziert werden können und welche Synergien mit Klimaanpassungsstrategien genutzt werden können. Dabei konzentriert sich die Studie auf drei Handlungsfelder: (a) Nachverdichtung; (b) nachhaltiges Bauen einschließlich der Verwendung nachhaltiger Bauprodukte; und (c) Personenverkehr. Die Studie betrachtet diese Handlungsfelder auf einer strategisch-konzeptionellen Ebene für eine integrierte Stadtentwicklung mit ihren Wechselwirkungen sowie auf den verschiedenen räumlichen Ebenen vom Gebäude über das Quartier bis hin zur Gesamtstadt. Untersucht wird auch, wie klimapolitische Ansätze in die Gestaltung interregionaler Zusammenhänge integriert werden und wie sich funktionale Raumbeziehungen zwischen Stadt und Umland auswirken. Dem systematischen Ansatz der Forschungsagenda Global Research and Action Agenda on Cities and Climate Change Science folgend, werden zudem Synergien und Konflikte von Klimaschutz mit Anpassung an den Klimawandel und anderen städtischen Umweltproblemen mitbetrachtet. Zudem soll das Vorhaben Erkenntnisse über geeignete Governance- und Finanzierungsstrukturen in Bezug auf eine optimierte Klimafolgenanpassung in Städten leisten. Darüber hinaus soll das Projekt Empfehlungen für die Internationale Klimaschutzinitiative (IKI) der Bundesregierung und deren Aktivitäten im Bereich nachhaltige Stadtentwicklung und subnationalem Klimaschutz liefern.

E.2 Relevanz für das IKI-Programm

Die Internationale Klimaschutzinitiative (IKI) ist ein Förderprogramm des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) in enger Zusammenarbeit mit dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) und dem Auswärtigen Amt (AA) zur Unterstützung von Ansätzen in Entwicklungs- und Schwellenländern zur Umsetzung und ambitionierten Weiterentwicklung der im Pariser Abkommen verankerten Nationally Determined Contributions (NDCs) sowie zur Erreichung der Ziele des Übereinkommens über die biologische Vielfalt (CBD). Die vier Förderbereiche sind: Minderung von Treibhausgasen, Anpassung an den Klimawandel, Erhalt natürlicher Kohlenstoffsenken und REDD+ sowie Erhalt der biologischen Vielfalt. In Anbetracht der Prioritäten der IKI, insbesondere im Hinblick auf die Einbeziehung aller Regierungsebenen und des Privatsektors, den Kapazitätsaufbau subnationaler Regierungen und die Notwendigkeit einer integrierten Raumplanung, können die im Folgenden dargelegten Erkenntnisse dem IKI-Programm Empfehlungen geben, wie die THG-Reduzierung in städtischen Gebieten gefördert, die Klimaanpassung in Städten gestärkt und die Erhaltung der biologischen Vielfalt in Städten gewährleistet werden kann.

E.3 Empfehlungen

Diese Empfehlungen beruhen auf den Ergebnissen der Studie. Um die Berücksichtigung der Empfehlungen durch das IKI-Programm zu erleichtern, wurden diese gemäß drei seiner Förderbereiche strukturiert, nämlich Minderung von Treibhausgasemissionen, Anpassung an

die Folgen des Klimawandels und Schutz der biologischen Vielfalt. Teilweise umfassen die untenstehenden Empfehlungen mehrere Förderbereiche.

- ▶ **Aufzählung Förderung von Strategien und Praktiken, welche die rapide Ausdehnung der Städte nachhaltig steuern.** Politische Maßnahmen und Praktiken, die auf eine Nachverdichtung der Städte abzielen, können vor allem in **mittelgroßen und kleinen Städten sowie in informellen Siedlungen**, die zunehmend eine rasche Stadterweiterung erleben, zur Verringerung der Treibhausgasemissionen beitragen. Großstädte in Entwicklungsländern wie die in der Studie untersuchten Fallbeispiele sind in der Regel bereits stark verdichtet. Die Nachverdichtungsbemühungen sollten darauf abzielen, **vertikal statt nach horizontal zu bauen, die Besitzsicherheit für Randgruppen und sozial Schwache zu fördern und einen gleichberechtigten Zugang zu öffentlichen Dienstleistungen zu gewährleisten.** Diese Maßnahmen sollten Fehlanpassungen und sozialer Gerechtigkeit berücksichtigen. Beispielsweise führen **städtische Wärmeinseln**, die sich aus der Konzentration von Betonbauten ergeben, zu höheren Treibhausgasemissionen durch einen erhöhten Bedarf an Kühlsystemen. Urbane Wärmeinseln können durch ein besseres Gleichgewicht zwischen bebauten und begrünten Flächen in den Städten verbessert werden. Methoden wie der weiße Anstrich oder die Begrünung von Dächern und Fassaden, und/oder die Förderrung von innerstädtischen Grünflächen können zur Verbesserung des Mikroklimas in Städten beitragen. Im sozialen Bereich sollte eine verbesserte Stadtgestaltung informelle und marginalisierte Siedlungen und Gruppen berücksichtigen und deren Aufwertung planen.
- ▶ **Förderung der Entwicklung kompakter Städte und Stadtviertel.** Den Ergebnissen der Studie zufolge ist die Verkürzung der Reisezeit innerhalb einer Stadt die wirksamste Methode zur Verringerung der Treibhausgasemissionen im städtischen Personenverkehr. Ansätze wie das Modell der **15-Minuten-Stadt**, das darauf abzielt, durch gemischte Flächennutzungslösungen und Planung die Fahrzeiten und Entfernungen innerhalb verschiedener Stadtteile zu verringern, können in Betracht gezogen werden. Dies kann durch die Entwicklung von Maßnahmen geschehen, die darauf abzielen, die **städtischen Zentren fußgängerfreundlicher zu gestalten** und die Nutzung von anderen nicht motorisierte Verkehrsoptionen für kurze Strecken zu fördern. In diesem Zusammenhang wäre auch die **Verkehrsvermeidung durch gezielte Stadtplanung** ein wichtiges Instrument. Dies kann durch städtebauliche Maßnahmen gefördert werden, die darauf abzielen, die **wirtschaftlichen, kulturellen und Freizeitaktivitäten**, die sich in der Regel auf einige wenige Gebiete (Stadtzentrum, Geschäftsviertel usw.) konzentrieren, auf die verschiedenen Quartiere einer Stadt zu **verteilen**, um den Verkehr zu verringern. Schließlich sollten diese Unterzentren durch **öffentliche Nahverkehrssysteme mit hoher Passagierkapazität miteinander verbunden werden.**
- ▶ **Förderung des Einsatzes von erneuerbaren Materialien im Bausektor.** Dies sollte eine Priorität des IKI-Programms sein, da die Studie herausfand, dass der Bausektor ein sehr hohes Emissionseinsparungspotenzial hat, bei dem erhebliche THG-Reduzierungen (5 bis 10 %) bereits bei einem bescheidenen Anstieg der Menge an erneuerbaren Baumaterialien (+15 %) möglich sind. Die Studie konzentrierte sich zwar auf die Verwendung von Holz als erneuerbarem Baumaterial, doch haben andere Studien gezeigt, dass auch die Verwendung anderer **regional verfügbarer erneuerbarer Materialien** sowie **zirkuläre Baupraktiken**, die auf die **Wiederverwendung oder das Recycling von Baumaterialien** abzielen, ein hohes Minderungspotenzial haben können. In ähnlicher Weise können auch **Veränderungen in der Architektur und den Bautechniken und im Design**, z. B. durch

landestypische oder klimagerechte Bauweise, zur Ökologisierung des Bausektors beitragen, indem sie den Bedarf an Energie in Innenräumen verringern. Schließlich erfordert die Ökologisierung des Gebäudesektors einen **ganzheitlichen Ansatz**, der über die Bauarbeiten hinausgeht und **als ersten Schritt Energieeffizienz und Energieeinsparung** berücksichtigen sollte - **zusätzlich zur Erzeugung durch erneuerbare Energien für den lokalen Energieverbrauch, den Lebenszyklus der Gebäude sowie die Integration von Maßnahmen zur Erhaltung der biologischen Vielfalt**, da Gebäude eine Rolle als **Lebensraum für Flora und Fauna** spielen können.

- ▶ Förderung der integrierten Planung zwischen Stadt und Umland durch Multi-Level-Governance. Die Studie zeigt, dass die Beziehung zwischen den städtischen Gebieten und ihrem Umland von entscheidender Bedeutung ist, um die meisten Nachhaltigkeitsfragen im Zusammenhang mit den Themen dieser Studie anzugehen. Das Thema der städtischen Dichte befasst sich mit den Folgen der Zersiedelung für die ländlichen Gebiete im Umland einer Stadt. Auch die Ökologisierung des Verkehrs- und Bausektors erfordert die Berücksichtigung der Personen- und Warenströme zwischen einer Stadt und ihrem Umland, z. B. lokale landwirtschaftliche Erzeugnisse und Baumaterialien. Die Energiewende kann in den meisten städtischen Gebieten nur durch die Zusammenarbeit mit den umliegenden ländlichen Gebieten vollzogen werden, da die meisten städtischen Zentren nicht über den nötigen Platz für die Nutzung erneuerbarer Energiequellen verfügen. Darüber hinaus kann die Einführung landschaftsbezogener Ansätze in den städtischen und ländlichen Zentren den Fluss von Ökosystemleistungen zwischen diesen beiden Bereichen fördern. Daher ist es von entscheidender Bedeutung, dass eine horizontale und vertikale Integration in der planerischen Entscheidungsfindung und den damit verbundenen Institutionen gewährleistet ist, um einen kohärenten integrierten Planungsprozess über das Stadt-Umland-Kontinuum zu erreichen. Dies sollte durch Maßnahmen geschehen, die auf eine verstärkte Zusammenarbeit und Koordinierung über alle Regierungsebenen abzielen.
- ▶ **Partizipatorische Prozesse zur Einbindung verschiedener Interessengruppen ermöglichen** Um eine Wirksamkeit zu erzeugen und das Mittragen von Maßnahmen durch die Öffentlichkeit zu gewährleisten, sollten Maßnahmen zur Minderung des Klimawandels insbesondere marginalisierte und verletzte Bevölkerungs- und Interessensgruppen durch **partizipatorische Prozesse und den Aufbau von Kapazitäten stärken**. Daher wäre es empfehlenswert, Prozesse für eine **integrative und nachhaltige Einbindung** lokaler Interessengruppen aus Stadt und Umland (einschließlich Bürgern, Unternehmen, Forschungseinrichtungen, Organisationen und Regierung) zu entwickeln und umzusetzen, um eine **ausgewogene Raumentwicklung zu fördern und eine Verschärfung regionaler Ungleichheiten zu vermeiden**. Bürgerhaushaltsmechanismen (Participatory Budgeting) könnten ein Mittel sein, um die Bürger direkt einzubinden und ihre Beteiligung an Entscheidungsprozessen zu erleichtern. Sie könnten die Transparenz und Rechenschaftspflicht bei der Zuweisung öffentlicher Mittel erhöhen und können auf allen Regierungsebenen eingesetzt werden.
- ▶ **Beitrag zur Schließung der Klimafinanzierungslücke auf lokaler Ebene**. Finanzielle Fragen gehören zu den größten Hindernissen für lokale Klimaschutzmaßnahmen. Um diese Lücke zu schließen, werden die folgenden Empfehlungen vorgeschlagen:
 - Aufstockung der Mittel für die Ermöglichung und Erprobung einer Reihe innovativer Finanzinstrumente (z. B. Versicherungslösungen, Instrumente Kommunalen Bodenentwicklungspolitik wie zBsp *Land Value Capture*) auf lokaler und regierungsübergreifender Ebene, um nationale und internationale

Klimafinanzierungsmöglichkeiten zu erschließen und Finanzmittel des Privatsektors anzuziehen.

- Verstärkte Unterstützung für die Entwicklung eines Pools lokaler, durch Banken finanzierbarer Projekte durch den Aufbau entsprechender Kapazitäten und Mechanismen.
 - Unterstützung der Umwidmung verfügbarer Mittel für Aktivitäten, die die Anpassungsfähigkeit von Menschen, Prozessen und Infrastrukturen verbessern, indem Anpassungsmaßnahmen in Politiken, Programme und Pläne auf allen Regierungsebenen einbezogen werden.
 - Verstärkte Unterstützung für Initiativen, die darauf abzielen, die marktbasieren und nicht marktbasieren Mechanismen von Artikel 6 auf allen Regierungsebenen zu operationalisieren, indem Prozesse erprobt werden, die eine Harmonisierung der Bemühungen auf diesen Ebenen ermöglichen.
- **Einbeziehung der grünen Infrastruktur in die Stadtentwicklungsplanung.** Um eine nachhaltige Stadtentwicklung zu gewährleisten, müssen Überlegungen zur biologischen Vielfalt in die Flächennutzungsplanung integriert werden, was eine **Angleichung zwischen städtischer und ländlicher Raumplanung** erfordert. Die Einbeziehung der biologischen Vielfalt in die Stadtentwicklung ermöglicht **nicht nur die Verwirklichung von Erhaltungszielen**, sondern kann auch **Minderungs- und Anpassungsstrategien** unterstützen **und gleichzeitig kosteneffiziente Lösungen für den Infrastrukturbedarf durch naturbasierte Lösungen und ökosystembasierte Anpassung bieten.** **Ökosystembasierte Ansätze** haben den Vorteil, dass sie **multifunktional** sind: Die Wiederherstellung eines Feuchtgebiets bietet beispielsweise neuen Lebensraum für die Tier- und Pflanzenwelt, stellt aber auch eine Kohlenstoffsénke dar und trägt zur Eindämmung von Überschwemmungen bei.

F Anhang: Tool zur Erfassung, Analyse und Bewertung von Wirkungszusammenhängen (Klimaschutz, Klimaanpassung, Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele)

DECKBLATT



METAINFOS

Projekt:	Klimaorientierte Stadtentwicklung (KoSe)
Arbeitspaket:	AP4 - Synergien und Konflikte
AuftraggeberIn:	Umweltbundesamt - Deutschland ICLEI Europe Secretariat; Umweltbundesamt GmbH; ICLEI World Secretariat; Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK)
Auftragnehmer/Partner:	KoSe_AP4_KoSe_AP4_Tool_Wechselwirkungen_2023-08-21.xlsx (dem Auftraggeber übermittelt)
Filename/Version:	
Erstellt am:	17/10/2022
Ziel:	Erfassung, Beschreibung und Bewertung von Wirkungszusammenhängen von städtischen Klimaschutzmaßnahmen mit i) Klimawandelanpassung sowie ii) mit anderen Umwelt- und Nachhaltigkeitszielen einer integrierten nachhaltigen Stadtentwicklung Wolfgang Lexer, Alexander Storch [Umweltbundesamt GmbH]
Autoren (Excel-Tool):	
Kontakte:	alexander.storch@umweltbundesamt.at wolfgang.lexer@umweltbundesamt.at

INHALTSVERZEICHNIS

BLATT	INHALT
A_Deckblatt	Metainformation zu File, Inhalt und Nutzung <i>1. Schritt: Version aktualisieren, rascher Überblick zu den Arbeitsblättern, Logbuch zu Änderungen führen</i>
B_READ ME_Anleitung	Anleitung und Hinweise für die Nutzung: Untersuchungsrahmen, Definitionen und analytischer Rahmen, generelle Hinweise zum Ausfüllen der Arbeitsblätter, spezifische Hinweise zu Matrixkategorien <i>2. Schritt: Vor dem Einstieg in die Bearbeitung einmal durchlesen, v.a. Untersuchungsrahmen und Definitionen, um ein möglichst gemeinsames Arbeitsverständnis herzustellen. Bei Bedarf bzw. Unsicherheiten die</i>

Erläuterungen zum Umgang mit den Tabellen und den Kategorien nachschlagen.

1.1_Co-Benefits_CCA

Strukturierte Erfassung und Beschreibung der positiven Auswirkungen von Klimaschutzmaßnahmen auf Ziele der Klimaanpassung, Dokumentation von Literaturquellen, qualitative Bewertung

3. Schritt: Beschreibung und Zuordnung anhand der Handlungsfelder, Maßnahmenbündel und Maßnahmenbeispiele des städtischen Klimaschutzes, Referenzierung (falls vorhanden), Einschätzung von Stärke / Relevanz der Wechselwirkung

1.2_Trade-offs_CCA

Strukturierte Erfassung und Beschreibung der negativen Auswirkungen von Klimaschutzmaßnahmen auf Ziele der Klimaanpassung, Dokumentation von Literaturquellen, qualitative Bewertung

4. Schritt: Beschreibung und Zuordnung anhand der Handlungsfelder, Maßnahmenbündel und Maßnahmenbeispiele des städtischen Klimaschutzes, Referenzierung (falls vorhanden), Einschätzung von Stärke / Relevanz der Wechselwirkung

2.1_Synergies_CCA

Strukturierte Erfassung und Beschreibung der Synergiepotenziale von Klimaschutzmaßnahmen mit Maßnahmen der Klimaanpassung, Dokumentation von Literaturquellen, qualitative Bewertung

5. Schritt: Beschreibung und Zuordnung anhand der i) Handlungsfelder, Maßnahmenbündel und Maßnahmenbeispiele des städtischen Klimaschutzes sowie ii) der Handlungsfelder und Maßnahmenbündel der städtischen Klimaanpassung, Referenzierung (falls vorhanden), Einschätzung von Stärke / Relevanz der Wechselwirkung

2.2_Conflicts_CCA

Strukturierte Erfassung und Beschreibung der Konfliktpotenziale von Klimaschutzmaßnahmen mit Maßnahmen der Klimaanpassung, Dokumentation von Literaturquellen, qualitative Bewertung

6. Schritt: Strukturierte Darstellung anhand der Maßnahmenbeispielen, Einstufung der Wechselwirkung, Referenzierung falls vorhanden

3.1_Co-Benefits_Umwelt

Strukturierte Erfassung und Beschreibung der positiven Auswirkungen von Klimaschutzmaßnahmen auf andere Umwelt(schutz)güter bzw. sozialökologische Ziele einer

nachhaltigen Stadtentwicklung, Dokumentation von Literaturquellen, qualitative Bewertung

7. Schritt: Beschreibung und Zuordnung anhand der Handlungsfelder, Maßnahmenbündel und Maßnahmenbeispiele des städtischen Klimaschutzes, Referenzierung (falls vorhanden), Einschätzung von Stärke / Relevanz der Wechselwirkung

3.2_Trade-offs_Umwelt

Strukturierte Erfassung und Beschreibung der negativen Auswirkungen von Klimaschutzmaßnahmen auf andere Umwelt(schutz)güter bzw. sozialökologische Ziele einer nachhaltigen Stadtentwicklung, Dokumentation von Literaturquellen, qualitative Bewertung

8. Schritt: Beschreibung und Zuordnung anhand der Handlungsfelder, Maßnahmenbündel und Maßnahmenbeispiele des städtischen Klimaschutzes, Referenzierung (falls vorhanden), Einschätzung von Stärke / Relevanz der Wechselwirkung

C_Bewertungsrahmen

Bewertungsschema für die qualitative Bewertung von Wirkungszusammenhängen: Wertungsskala, Einstufung, Anwendungshilfen

9. Schritt: Wirkungszusammenhänge von Co-Benefits, Trade-offs, Synergien und Konflikten nach Wirkungsstärke/-intensität, Enge und Plausibilität von Wirkungszusammenhängen, Wahrscheinlichkeit von Effekten auf mehrstufiger Skala qualitativ abschätzen