

TEXTE

171/2020

Digitalisierung ökologisch nachhaltig nutzbar machen

Entwicklung von Handlungsempfehlungen zu den wichtigsten umweltpolitischen Maßnahmen in ausgewählten Trendthemen der Digitalisierung mittels der Durchführung von Stakeholderdialogen

TEXTE 171/2020

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3717 14 102 0
FB000362

Digitalisierung ökologisch nachhaltig nutzbar machen

**Entwicklung von Handlungsempfehlungen zu den wichtigsten
umweltpolitischen Maßnahmen in ausgewählten Trendthemen der
Digitalisierung mittels der Durchführung von Stakeholderdialogen**

Abschlussbericht

von


Matthias Gotsch, Lorenz Erdmann, Elisabeth Eberling
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, Karlsruhe

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

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

Durchführung der Studie:

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Breslauer Straße 48
76139 Karlsruhe

Abschlussdatum:

Januar 2020

Redaktion:

Fachgebiet I 1.4 Wirtschafts- und sozialwissenschaftliche Umweltfragen,
nachhaltiger Konsum
Dirk Osiek

Publikationen als pdf:

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

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, September 2020

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

Kurzfassung: Entwicklung von Handlungsempfehlungen zu den wichtigsten umweltpolitischen Maßnahmen in ausgewählten Trendthemen der Digitalisierung mittels der Durchführung von Stakeholderdialogen

Im Rahmen der durchgeführten Forschungsarbeiten des Vorhabens "Digitalisierung ökologisch nachhaltig nutzbar machen" (Forschungskennzahl 3717 14 102 0) wurden für sechs ausgewählte Trendthemen der Digitalisierung (Digitalisierung der Landwirtschaft; Blockchain-Technologie; Rohstoffbedarfe und Ressourceneffizienz der Digitalisierung, Digitalisierung der Mobilität; Einsatz digitaler Technologien im Konsum; ERP-Systeme) jeweils eigenständige Stakeholderdialoge durchgeführt.

Die Stakeholderdialoge sollten dazu dienen, um im Dialog mit den jeweils in den unterschiedlichen Themen relevanten Interessensgruppen, aus den Bereichen Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Zivilgesellschaft, praxistaugliche Handlungsempfehlungen für staatliche Stellen zur umweltpolitischen Begleitung der ausgewählten Trendthemen ableiten zu können.

Mittels der Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung der Stakeholderdialoge wurden konkrete Handlungsempfehlungen zu den wichtigsten umweltpolitischen Maßnahmen in den sechs ausgewählten Trendthemen der Digitalisierung entwickelt. Diese Handlungsempfehlungen reichen beispielsweise von der Empfehlung die Möglichkeit zu prüfen, öffentliche raum- und umweltbezogene Daten in hybriden und herstellerübergreifenden Daten-Clouds zur Verfügung zu stellen, damit öffentliche Nachhaltigkeitsinteressen in der landwirtschaftlichen Praxis besser berücksichtigt werden können, bis hin zu Empfehlungen die Verbreitung geteilter automatisierter und vernetzter Verkehrsmittel durch staatliche Behörden – sowohl durch Förderung als auch durch geeignete rechtlich-regulatorische Rahmenbedingungen – zu unterstützen. Eine konkrete Maßnahme hierfür wäre z. B. die Entwicklung intelligenter Roadpricing-Systeme mit Berücksichtigung der Fahrleistung und insbesondere dem Besetzungsgrad der Fahrzeuge.

Ähnliche Handlungsempfehlungen, auf einem vergleichbaren Aggregationslevel, wurden ebenfalls entsprechend für die vier weiteren Trendthemen entwickelt, welche der Langfassung des Abschlussberichtes entnommen werden können.

Abstract: Development of recommendations for action on the most important environmental policy measures in selected trend topics of digitization through the implementation of stakeholder dialogues

Independent stakeholder dialogues were held as part of the studies within the research project "Digitalisierung ökologisch nachhaltig nutzbar machen" (grant no. 3717 14 102 0) for each of the six selected trending topics of digitalization (digitalization of agriculture, blockchain technology, raw material requirements and resource efficiency of digitalization, digitalization of mobility, use of digital technologies in consumption, ERP systems).

The stakeholder dialogues were used to help derive practical recommendations for action for government bodies monitoring the environmental policy of selected trending topics in a dialogue with the relevant interest groups from science, the economy, politics and civil society.

By preparing, conducting and processing the stakeholder dialogues, concrete recommendations for action were developed for the most important environmental policy measures in the six selected trending topics of digitalization. For example, these recommendations range from reviewing the possibility to provide public spatial and environmental data in hybrid and manufacturer-independent data clouds to improve the consideration of public sustainability interests in agricultural practices through to government authorities supporting the diffusion of shared automated and integrated transport - through subsidies and the appropriate legal-regulatory framework. A concrete measure for this would be, e.g. the development of smart road pricing systems that consider mileage and especially the occupancy of vehicles.

Similar recommendations at a comparable level of aggregation were also made for the four other trending topics. These can be found in the long version of the final report.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	7
Abkürzungsverzeichnis	8
1 Einführung	14
1.1 Hintergrund.....	14
1.2 Auswahl für die vertiefende Untersuchung.....	14
1.3 Aufbau.....	15
2 Forschungsmethodik Stakeholderdialog	16
2.1 Gesamtkonzeption und Vorbereitung der Stakeholderdialoge.....	16
2.2 Durchführung der Stakeholderdialoge	17
2.3 Ergebnissicherung der Stakeholderdialoge	19
3 Untersuchung der ausgewählten Trendthemen mittels Stakeholderdialogen	20
3.1 Digitalisierung in der Landwirtschaft.....	20
3.1.1 Definition und Abgrenzung des Anwendungsfeldes	20
3.1.2 Thesen und Bewertung aus Stakeholdersicht.....	23
3.1.3 Erarbeitete Handlungsoptionen.....	27
3.1.4 Bewertungen der Handlungsoptionen aus Stakeholdersicht	31
3.2 Anwendungen der Blockchain-Technologie	34
3.2.1 Definition und Abgrenzung des Anwendungsfeldes	34
3.2.2 Thesen und Bewertung aus Stakeholdersicht.....	36
3.2.3 Erarbeitete Handlungsoptionen.....	39
3.2.4 Bewertung der Handlungsoptionen aus Stakeholdersicht	43
3.3 Digitalisierung der Mobilität, insbesondere automatisiertes Fahren.....	45
3.3.1 Definition und Abgrenzung des Anwendungsfeldes	45
3.3.2 Thesen und Bewertung aus Stakeholdersicht.....	48
3.3.3 Erarbeitete Handlungsoptionen.....	51
3.3.4 Bewertungen der Handlungsoptionen aus Stakeholdersicht	55
3.4 Rohstoffbedarfe und Ressourceneffizienz der Digitalisierung	57
3.4.1 Definition und Abgrenzung des Anwendungsfeldes	57
3.4.2 Thesen und Bewertung aus Stakeholdersicht.....	57
3.4.3 Erarbeitete Handlungsoptionen.....	57
3.4.4 Bewertungen der Handlungsoptionen aus Stakeholdersicht	59
3.5 Einsatz digitaler Technologien im Konsum und deren Umweltauswirkungen	60
3.5.1 Definition und Abgrenzung des Anwendungsfeldes	60

3.5.2	Thesen und Bewertung aus Stakeholdersicht.....	60
3.5.3	Erarbeitete Handlungsoptionen.....	65
3.5.4	Bewertungen der Handlungsoptionen aus Stakeholdersicht	68
3.6	ERP-Systeme als digitale Steuerungsinstrumente für das Umweltmanagement.....	71
3.6.1	Definition und Abgrenzung des Anwendungsfeldes.....	71
3.6.2	Thesen und Bewertung aus Stakeholdersicht.....	72
3.6.3	Erarbeitete Handlungsoptionen.....	78
3.6.4	Bewertungen der Handlungsoptionen aus Stakeholdersicht	80
4	Zusammenfassung zu den Auswirkungen der Digitalisierung in den Trendthemen.....	82
5	Handlungsempfehlungen zu den wichtigsten umweltpolitischen Maßnahmen in den ausgewählten Trendthemen.....	84
5.1	Digitalisierung in der Landwirtschaft.....	84
5.2	Anwendungen der Blockchain-Technologie	85
5.3	Digitalisierung der Mobilität, insbesondere automatisiertes Fahren.....	87
5.4	Rohstoffbedarfe und Ressourceneffizienz Digitalisierung.....	88
5.5	Einsatz digitaler Technologien im Konsum und deren Umweltauswirkungen	89
5.6	ERP-Systeme als digitale Steuerungsinstrumente für das Umweltmanagement.....	91
6	Literaturverzeichnis	93
7	Anhang.....	95
7.1	Glossar	95
7.2	Fraunhofer-Experten für die ausgewählten Trendthemen	96
7.3	Teilnehmer Stakeholder-Workshop "Digital Farming"	97
7.4	Teilnehmer Stakeholder-Workshop "Blockchain-Technologie"	98
7.5	Teilnehmer Stakeholder-Workshop "Rohstoffe"	99
7.6	Teilnehmer Stakeholder-Workshop "Smart Mobility"	100
7.7	Teilnehmer Stakeholder-Workshop "Einsatz digitaler Technologien im Konsum und deren Umweltauswirkungen"	101
7.8	Teilnehmer Stakeholder-Workshop "ERP-Systeme als digitale Steuerungsinstrumente für das Umweltmanagement"	102

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Gesamtkonzeption der Stakeholderdialoge	17
Abbildung 2:	Zusammenfassende Auswirkungen der Digitalisierung in der Landwirtschaft auf Umweltaspekte.....	23
Abbildung 3:	Zusammenfassende Auswirkungen der Blockchain-Technologie auf Umweltaspekte.....	36
Abbildung 4:	Zusammenfassende Auswirkungen der Digitalisierung in der Mobilität, insbesondere automatisiertes Fahren, auf Umweltaspekte	47

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Systematik zur Kartierung von Stakeholdergruppen.....17

Abkürzungsverzeichnis

AGB	Allgemeine Geschäftsbedingungen
AI	Artificial Intelligence
API	Application Programming Interface
AR	Augmented Reality
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V.
BIM	Building Information Modeling
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BUND	Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e. V.
BZP	Deutscher Taxi- und Mietwagenverband e. V.
CLD	Causal Loop Diagramm
CO2	Kohlenstoffdioxid
CPPS	Cyber-physische Produktionssysteme
CPS	Cyber-physische Systeme
CSR	Sorporate Social Responsibility
DB	Deutsche Bahn
DF	Digital Farming
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DLT	Distributed Ledger Technologies
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EMAS	Eco-Management and Audit Scheme
ERP	Enterprise Resource Planning
EU	Europäische Union
FIT	Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik
GIZ	Deutsche Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit
GPS	Global Positioning System
HTW	Hochschule für Technik und Wirtschaft, Berlin
IAT	Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement der Universität Stuttgart
ICs	Integrated Circuits (Integrierte Schaltkreise)
IESE	Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
IME	Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und angewandte Ökologie

IMFO	Institut für Mobilitätsforschung
Innoz	Innovationszentrum für Mobilität und gesellschaftlicher Wandel GmbH
IoT	Internet of Things
ISI	Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung
IT	Informationstechnologie
IWKS	Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie
IZT	Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gGmbH
KI	Künstliche Intelligenz
KIT ITAS	Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse
KMU	Kleine und mittelständische Unternehmen
KPI	Key Performance Indicators
LIDAR	Light detection and ranging
MaaS	Mobility as a Service
MIV	Motorisierter Individualverkehr
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
ÖV	Öffentlicher Verkehr
PBefG	Personenbeförderungsgesetz
PF	Precision Farming
P2P	Peer-to-Peer-Computing
SAE	Society of Automotive Engineers
SF	Smart Farming
TÜV	Technischer Überwachungsverein
UBA	Umweltbundesamt
UFORDAT	Umweltforschungsdatenbank
VCD	Verkehrsclub Deutschland
VDI ZRE	VDI Zentrum für Ressourceneffizienz GmbH
VDV	Verband deutscher Verkehrsunternehmen
VNU	Verein für Nachhaltigkeits- und Umweltmanagement
VR	Virtual Reality
WBZ	Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung gGmbH
YAG	Yttrium-Aluminium-Granat
ZALF	Leipniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e. V.

Zusammenfassung

Im Rahmen der durchgeführten Arbeiten wurden für sechs ausgewählte Trendthemen (Digitalisierung der Landwirtschaft; Blockchain-Technologie; Rohstoffbedarfe und Ressourceneffizienz der Digitalisierung, Digitalisierung der Mobilität; Einsatz digitaler Technologien im Konsum; ERP-Systeme) Stakeholderdialoge durchgeführt. Eine Kurzbeschreibung ausgewählter Ergebnisse lässt sich dabei, aufgeteilt auf die unterschiedlichen Bereiche, wie folgt zusammenfassen.

Die **Digitalisierung der Landwirtschaft** fördert unter den jetzigen Rahmenbedingungen eher eine Optimierung bestehender landwirtschaftlicher Prozesse. Einen ökologischen Strukturwandel der Landwirtschaft wird die Digitalisierung alleine weder auslösen, noch wesentlich beschleunigen. Ohne politische Interventionen kann eine Agrarwende voraussichtlich nicht eingeleitet werden. Berührt ein Digitalisierungsprojekt sowohl privatwirtschaftliche Interessen als auch das öffentliche Interesse in Bezug auf eine ökologische Agrarwende, so ist eine gelingende Aushandlung der verschiedenen Interessenlagen ein zentraler Erfolgsfaktor für die Realisierung und ökologische Ausrichtung im Digitalisierungsprojekt. Ein konkreter Aushandlungsgegenstand für den Agrarstrukturwandel sind z. B. hybride Datenclouds. Daher sollte die Möglichkeit geprüft werden, öffentliche raum- und umweltbezogene Daten in hybriden und herstellerübergreifenden Daten-Clouds zur Verfügung zu stellen, damit öffentliche Nachhaltigkeitsinteressen in der landwirtschaftlichen Praxis besser berücksichtigt werden können. Ausreichende Breitbandabdeckung auf dem Land und die Klärung von differenzierten Eigentums- und Zugangsrechten in hybriden Datenclouds, einschließlich Datenschutz, sind dabei Schlüsselvoraussetzungen.

Ein initiativer Einsatz von **ökologisch nachhaltigen Blockchain-Lösungen** speziell in der Öffentlichen Verwaltung und im Bereich eGovernment kann eine Vorbildfunktion für die Privatwirtschaft darstellen. Zudem sollten Blockchain-Pilotanwendungen ermöglicht und begleitet sowie Experimentierfelder gefördert werden. Mögliche Anwendungsfälle von Blockchain-Lösungen, die im Rahmen von Forschungsvorhaben gefördert werden sollten, sind dabei die dezentrale Energieerzeugung und Energieeinspeisung, intermodale Lösungen aus dem Bereich Mobility as a Service sowie die Dokumentation und Transparenz von Lieferketten. Insbesondere in Bezug auf letzteren Anwendungsfall sollten für momentan ausschließlich in Papierform rechtlich gültige Dokumente, alternative digitale Standards, wie digitale Urkunden und digitale Inhaberwertpapiere sowie digitale Versicherungen des Handelsgutes etabliert werden, was Papierdokumentation und -transport überflüssig machen würde. Zudem könnte staatliche Unterstützung für die Realisierung eines (z. B. auf Blockchain basierenden) intermodalen digitalen ökologischen Tickets helfen, um Angebote unterschiedlichster Mobilitätsdienstleister in einer Plattform zu vereinen. Ein derartiges intermodales Ticketsystem könnte die ökologischen Kosten der Mobilität transparent machen und Anreize bieten, in erster Linie die aus ökologischen Gesichtspunkten optimierte Mobilitätsform zu wählen. Da durch die Nutzung der Plattform auch die sogenannte "letzte Meile" abgedeckt wäre, ließe sich eine spürbare Senkung der Transaktionskosten für die Reisenden erzielen, was auch den ÖPNV insgesamt attraktiver machen würde.

Die **Digitalisierung der Mobilität** benötigt einen Gesamtansatz aus mehreren aufeinander abgestimmten Verkehrsmitteln, welcher dann durchaus mit der Attraktivität automatisierter Pkw in Privatbesitz konkurrieren könnte und zu einem Zeitpunkt auf- und ausgebaut sein sollte, bevor automatisierte Pkw für private Haushalte im Massenmarkt etabliert sind. Effizienzvorteile durch fahrerloses und vernetztes Fahren (wie z. B. Eco Driving; optimierte Routen; verbesserter Verkehrsfluss) ergeben sich jedoch nur dann, wenn der zukünftige Besetzungsgrad der Fahrzeuge das Niveau des heutigen Besetzungsgrads privater Pkw deutlich übersteigt. Daher ist eine Unterstützung der Verbreitung geteilter automatisierter und vernetzter Verkehrsmittel durch staatliche Behörden – sowohl durch Förderung als auch durch geeignete rechtlich-regulatorische Rahmenbedingungen – sinnvoll. Eine sinnvolle Maßnahme hierfür wäre z. B. die Entwicklung intelligenter Roadpricing-Systeme (Maut) mit Berücksichtigung der Fahrleistung und dem Besetzungsgrad der Fahrzeuge.

Generelles Ziel für die zunehmende Digitalisierung sollte aus Umweltsicht eine relevante **Verminderung des Bedarfs an Primärrohstoffen** für digitale Hardware sein. Mehrere Ansatzpunkte für eine größere Verwendung von Sekundärrohstoffen könnten dies unterstützen. Es müssen Anreize geschaffen werden, um der Hortung von Gebrauchtprodukten entgegen zu wirken, z. B. durch Förderung der Sammlung und innovativer Recyclingwege. Einsparmaßnahmen und längere Nutzung von Endgeräten müssen sich für den Verbraucher stärker lohnen. Die Förderung der Nutzung von innovativen Geschäftsmodellen (z. B. Leasing statt Kauf) bei digitalen Endgeräten sowie eine bessere Aufklärungsarbeit durch entsprechende Kampagnen, in denen die Verwertungswege mit den einhergehenden Effekten besser präsentiert werden, versprechen ebenfalls Abhilfe. Andernfalls könnten die Anforderungen an die spätere Recycling-Fähigkeit der Geräte verschärft und eine Quote für einen vorgeschriebenen Einsatz von Recyclingmaterialien und Sekundärrohstoffen bei neuen Geräten erwogen werden.

Der **Einsatz digitaler Technologien im Konsum** kann ein Treiber für maßlosen, ebenso wie für nachhaltigen Konsum sein. Ohne tatsächliche Änderungen im Konsumverhalten (hin zu mehr Suffizienz) werden verbundene ökologische Probleme allein durch die Digitalisierung vermutlich nicht gelöst. Dennoch kann die richtige Ausgestaltung bzw. die richtige Rahmensetzung bezüglich des Einsatzes digitaler Technologien im Konsum zu positiven Umweltauswirkungen beitragen. So bietet z. B. der Einsatz der Blockchain-Technologie neue Chancen für einen nachhaltigeren Konsum (z. B. durch vereinfachte Dokumentation und verbesserte Transparenz von Lieferketten), die jedoch offene Schnittstellen zu den relevanten umweltbezogenen Daten erfordern. Aufgrund der denkbaren Vorteile, die durch die aktuellen technologischen Entwicklungen teilweise erst möglich werden, entsteht derzeit eine neue Legitimation zur Anpassung der Rahmenbedingungen und der Regulierung, die jetzt genutzt werden sollte. Die zunehmende Auswertung von Daten zum Konsumentenverhalten durch Formen der künstlichen Intelligenz wird in Zukunft sogar noch wesentlich stärker das Konsumentenverhalten beeinflussen, da die Entwicklung des maschinellen Lernens immer präzisere Interventionen und Werbeangebote für den einzelnen Konsumenten ermöglicht. Die Konsumentenbeeinflussung durch KI bietet jedoch auch vielfältige Chancen für einen nachhaltigen Konsum, da es möglich wird, den Bedürfnissen der Konsumenten individuell zu begegnen und KI dadurch strategisch für den nachhaltigen Konsum eingesetzt werden kann. So könnten z. B. gesetzliche Vorgaben für die Entwicklung von neuen KI-basierten Anwendungen gemacht werden, dass stets auch nachhaltige Produktalternativen in KI-basierten Wahlalternativen aufgeführt werden müssen.

Weitverbreitete **ERP-Systeme könnten als digitale Steuerungsinstrumente für das Umweltmanagement** eine größere Rolle spielen. Das betriebliche Umweltmanagement (zur Erhebung und Steuerung von Umweltauswirkungen und damit verbundenen umweltbezogenen Daten) und entsprechende zur Unterstützung dienende digitale Umweltmanagementsoftware (bestehend aus Lösungen für z. B. umweltbezogene Kennzahlen, Audits, Berichtswesen, Dokumentation, Prozessmanagement oder Verantwortlichkeiten) würden von einer stärkeren Verknüpfung mit ERP-Systemen (entweder durch Integration oder über geeignete Schnittstellen) deutlich profitieren. Eine stärkere Integration umweltbezogener Daten, Ziele und Prozesse in ERP-Systeme könnte z. B. eine stärkere Berücksichtigung umweltrelevanter Themen in der Unternehmenssteuerung sicherstellen. Da diese zusätzlichen umweltbezogenen Daten von privatwirtschaftlichen Unternehmen voraussichtlich nur dann berücksichtigt werden, wenn den damit verbundenen Kosten ein höherer interner Nutzen gegenübersteht, müsste es somit die Aufgabe der Politik sein, eine unterstützende Rolle für eine stärkere Verbreitung digitaler Steuerungsinstrumente für das Umweltmanagement zu spielen und durch geeignete regulatorische Maßnahmen Steuerungsrelevanz für die als wichtig erachteten umweltbezogenen Daten herzustellen.

Summary

As part of the work performed, we held stakeholder dialogues for six selected trending topics (digitalization of agriculture; blockchain technology; the raw material requirements and resource efficiency of digitalization, digitalization of mobility, use of digital technologies in consumption, ERP systems). Below, we give a brief summary of selected results, divided into the different areas.

Under the current framework conditions, the **digitalization of agriculture** promotes the optimization of existing agricultural processes rather than their transformation. Digitalization on its own will neither trigger nor significantly accelerate an ecological structural shift in agriculture. An agricultural transition will probably not be possible without political intervention. If a digitalization project affects both private sector interests and the public interest with regard to an ecological transition in agriculture, successfully negotiating the different interests is a key factor for its successful realization and ecological orientation. For example, hybrid data clouds are a concrete subject of negotiation for agricultural structural change. The possibility of providing public spatial and environmental data in hybrid, manufacturer-independent data clouds should be explored, so that public sustainability interests can be better taken into account in agricultural practice. The essential prerequisites for this are sufficient broadband coverage in rural areas and clarifying differentiated ownership and access rights in hybrid data clouds, including data protection.

The proactive use of **sustainable, ecological blockchain solutions** specifically in public administration and eGovernment can serve as a role model for the private sector. In addition, blockchain pilot applications should be enabled and monitored and experimental fields promoted. Possible applications of blockchain solutions that should be promoted in research projects include the decentralized generation and feed-in of energy, intermodal solutions in the field of mobility as a service, and the documentation and transparency of supply chains. Regarding the latter application, in particular, alternative digital standards should be established for documents that are currently only legally valid in paper form, such as digital certificates and digital bearer bonds as well as the digital insurance of commodities that would make paper documentation and its transport superfluous. Government support for the realization of an intermodal digital environmental ticket (based on blockchain, for example) could help to unite offers from all the different mobility service providers on one platform. This kind of intermodal ticketing system could reveal the environmental costs of mobility and provide incentives for choosing the environmentally optimized form of mobility. Since using the platform would also cover the so-called last mile, this could achieve a noticeable reduction in the transaction costs for travelers, which would also make public transport more attractive in general.

The **digitalization of mobility** requires an overall approach consisting of several coordinated means of transport, which are then able to compete with the attractiveness of automated private passenger cars. This should be developed and expanded before automated cars for private households become established on the mass market. The efficiency advantages of driverless and integrated cars (such as, e.g. eco driving, optimized routes, and improved traffic flow) will only take effect if the future occupancy rate of vehicles significantly exceeds that of today's private cars. It therefore makes sense for government authorities to support the spread of shared automated and integrated transport - through subsidies as well as suitable legal and regulatory framework conditions. A sensible measure here would be, e.g. the development of smart road pricing systems (tolls) that consider the mileage and occupancy rate of vehicles.

From an environmental viewpoint, a general goal for increasing digitalization should be a significant **reduction in the demand for primary raw materials** for digital hardware. Several starting points for a greater use of secondary raw materials could support this. Incentives must be created to counteract the stockpiling of used products, e.g. by promoting their collection and innovative recycling. Savings measures and using devices for longer must be made more worthwhile for consumers. Supporting

the use of innovative business models (e.g. leasing instead of buying) for digital devices and better education through relevant campaigns that explain the recycling routes with the associated affects also promise to help. Otherwise, the requirements for the later recyclability of devices could be tightened and a quota considered for the mandatory use of recycled materials and secondary raw materials in new equipment.

The use of digital technologies in consumption can be a driver of excessive as well as of sustainable consumption. Without real changes in consumer behavior (in the direction of more sufficiency), the related environmental problems will probably not be solved by digitalization alone. Nevertheless, the right design or the right framework for the use of digital technologies in consumption can contribute to positive environmental impacts. For example, the use of blockchain technology opens up new opportunities for more sustainable consumption (e.g. due to simplified documentation and the improved transparency of supply chains), but these require open interfaces to the relevant environmental data. Due to the conceivable advantages, which are partially only possible due to current technological developments, a new legitimacy is emerging to adapt framework conditions and regulations that should be exploited now. The increasing evaluation of consumer data through different forms of artificial intelligence will influence consumer behavior even more strongly in future, because the development of machine learning will enable increasingly precise interventions and advertising aimed at individual consumers. However, using AI to influence consumers also opens up a wide range of opportunities for sustainable consumption, because it is possible to meet consumer needs on an individual basis and AI can be used strategically for sustainable consumption. For example, legal requirements for the development of new AI-based applications could stipulate that AI-based options must always list sustainable product alternatives.

The widespread diffusion of **ERP systems** could play a bigger role **as digital controls for environmental management**. Corporate environmental management (to record and manage environmental impacts and the related environmental data) and supportive digital software for environmental management (consisting of solutions, e.g. for environmental performance indicators, audits, reports, documentation process management or responsibilities) would benefit significantly from closer links to ERP systems (either by integrating them or through suitable interfaces). Greater integration of environmental data, goals and processes into ERP systems could, e.g. ensure greater consideration of environmental topics in corporate management. Since commercial companies would probably only consider these additional environmental data if the associated costs were offset by higher internal benefits, it would be the task of policymakers to support the stronger diffusion of digital control instruments for environmental management and to use appropriate regulatory measures to make the environmental data relevant to management.

1 Einführung

1.1 Hintergrund

Im Rahmen der im folgenden vorgestellten Untersuchungen und Ergebnisse des Vorhabens "Digitalisierung ökologisch nachhaltig nutzbar machen" wurden für insgesamt sechs ausgewählte Trendthemen sogenannte Stakeholderdialoge durchgeführt. Die Stakeholderdialoge sollten dazu dienen, um im Dialog mit den jeweils in den unterschiedlichen Themen relevanten Interessensgruppen, aus den Bereichen Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Zivilgesellschaft, praxistaugliche Handlungsempfehlungen für staatliche Stellen zur umweltpolitischen Begleitung der ausgewählten Trendthemen ableiten zu können.

Um die folgenden Ausführungen und Ergebnisse zu den durchgeführten Stakeholderdialogen einordnen zu können, soll das Arbeitspaket zunächst im Gesamtvorhaben verortet werden. Dem Arbeitspaket vorgelagert, war die Identifizierung und Analyse von Trendthemen mit potenziell hoher Umweltrelevanz. Das methodische Vorgehen in diesem vorgelagerten Arbeitspaket bestand aus mehreren Unterarbeitspaketen:

- ▶ Identifizierung und Charakterisierung aktueller Trendthemen der Digitalisierung,
- ▶ Auswahl der wichtigsten Trendthemen der Digitalisierung,
- ▶ Untersuchung der ausgewählten Trendthemen,
- ▶ Bestimmung der Gesamtwirkung der ausgewählten Trendthemen.

Aus den Vorschlägen für 8 technische Trends und 12 Anwendungsfelder wurden sechs Themen für eine vertiefende Untersuchung ausgewählt. Das Forschungsprojekt untersuchte daher für fünf verschiedene Anwendungsfelder sowie für ein Technologiefeld die Auswirkungen der Digitalisierung im jeweiligen Feld auf die Umwelt.

Ausgewähltes Technologiefeld:

- ▶ Blockchain-Technologie.

Fünf ausgewählte Anwendungsfelder:

- ▶ Digitalisierung der Industrie, insbesondere Produktion mit Losgröße 1,
- ▶ Digitalisierung in der Landwirtschaft,
- ▶ Digitalisierung der Mobilität, insbesondere automatisiertes Fahren,
- ▶ Digitalisierung im ländlichen Raum,
- ▶ Digitalisierung im Bereich Energieerzeugung und -verteilung.

Zur detaillierteren Untersuchung der Auswirkungen der Digitalisierung auf die Umwelt wurden für jeden der genannten Bereiche Fachexperten innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft benannt, die für ihr jeweiliges Themengebiet den aktuellen Forschungsstand aufarbeiteten und zusammenfassten. In einem Workshop, durchgeführt im Sommer 2018 im Fraunhofer-Forum in Berlin, konnten die benannten Experten die erarbeiteten Inhalte präsentieren und die erarbeiteten Ergebnisse und Zukunftseinschätzungen hinsichtlich umweltrelevanter Effekte mit weiteren, externen beteiligten Fachexperten und Vertretern des Auftraggebers von Bundesumweltministerium und Umweltbundesamt diskutieren.

1.2 Auswahl für die vertiefende Untersuchung

Mehrere der oben aufgeführten Themen wurden daraufhin in zeitlich nachfolgenden Stakeholderdialogen weiter untersucht und diskutiert, um, unter Beteiligung der unterschiedlichen, jeweils für das

Themengebiet relevanten Stakeholder, konkrete politische Handlungsempfehlungen ableiten zu können. Im Rahmen der durchgeführten Arbeiten wurden für folgende vier ausgewählte Trendthemen Stakeholderdialoge durchgeführt.

- ▶ Digitalisierung in der Landwirtschaft,
- ▶ Blockchain-Technologie,
- ▶ Digitalisierung der Mobilität, insbesondere automatisiertes Fahren,
- ▶ Rohstoffbedarfe und Ressourceneffizienz der Digitalisierung.

Zusätzlich zu diesen Themen wurden nachträglich zwei weitere in das Untersuchungsportfolio aufgenommen, zu denen jedoch keine separaten Zukunftseinschätzungen hinsichtlich umweltrelevanter Effekte vorgenommen wurden, sondern die direkt im Rahmen von Stakeholderdialogen untersucht wurden:

- ▶ Einsatz digitaler Technologien im Konsum und deren Umweltauswirkungen,
- ▶ ERP-Systemen als digitale Steuerungsinstrumente für das Umweltmanagement.

1.3 Aufbau

Im zweiten Abschnitt wird zunächst die in allen Trendthemen grundsätzlich vergleichbar angewandte Methodik des Stakeholderdialoges, bestehend aus Vorbereitung, Durchführung und Dokumentation des jeweiligen Dialogs, kurz vorgestellt.

Im dritten Abschnitt werden dann die sechs verschiedenen Trendthemen jeweils einzeln behandelt, wobei der Aufbau der Unterkapitel immer der gleiche ist. Zunächst wird das Trendthema abgegrenzt, dann erfolgen die Vorstellung und Bewertung der Thesen sowie, als Ergebnis des Workshops, die Handlungsoptionen. Abschließend wird dann eine Bewertung der jeweiligen Handlungsoptionen aus Stakeholdersicht vorgenommen, die als Zusammenfassung der vorhergegangenen Diskussionen gelesen werden kann.

Der vierte Abschnitt fasst die Auswirkungen der Digitalisierung im Sinne einer Analyse der direkten, indirekten und systemischen Effekte auf die Umwelt zusammen und zeigt somit, dass, um Digitalisierungsgewinne im Sinne einer positiven Umweltwirkung realisieren zu können, die politischen Rahmenbedingungen passfähig sein müssen. Die aufgedeckten Effekte und die Ergebnisse der jeweiligen Stakeholderdialoge geben Aufschluss über Ansatzpunkte für geeignete Maßnahmen, um Verbesserungen im Sinne des Umweltschutzes zu erzielen.

Im abschließenden fünften Abschnitt sind die wichtigsten umweltpolitischen Maßnahmen zu den untersuchten Bereichen zusammengefasst. Hierzu wurden die aus den Stakeholderdialogen gewonnenen Handlungsoptionen zu Handlungsempfehlungen weiterentwickelt.

2 Forschungsmethodik Stakeholderdialog

Ziel der vertieften Untersuchung mittels der Stakeholderdialoge war es, im Dialog mit Stakeholdern praxistaugliche Handlungsempfehlungen für staatliche Stellen und Stakeholder zur umweltpolitischen Begleitung („Kurssicherung oder -korrektur“) der ausgewählten Trendthemen abzuleiten. Mit Hilfe der Stakeholderdialoge sollen zudem unterschiedliche gesellschaftliche Perspektiven erkannt werden. Die Stakeholderdialoge sollten konkrete Handlungsempfehlungen generieren und diese in Bezug auf ihre Wünschbarkeit, Machbarkeit, Effektivität und Effizienz bewerten. Im Ergebnis werden zudem mögliche Konfliktpotenziale und Allianzen zwischen den gesellschaftlichen Akteuren sichtbar.

Grundsätzlich galt es zunächst zu beachten, dass an derartigen strategischen Dialogen in vielen Fällen nur diejenigen teilnehmen, die sich im Allgemeinen vernehmbar und mit hohem Einfluss zu bestimmten Themen äußern. Achterkamp und Vos (2008) unterscheiden in ihrem Ansatz zur Identifizierung von Stakeholdern aktiv involvierte und passiv involvierte Stakeholder. Die aktiv involvierten Stakeholder in Innovationsprozessen sind insbesondere die Kunden, Entscheider und Designer, die passiv involvierten Stakeholder entsprechen den betroffenen Stakeholdern, wie zum Beispiel die allgemeine Bevölkerung. Die Träger von Entwicklungen der Digitalisierung sind natürlich aktiv involvierte Schlüsselakteure. Neben diesen aktiv involvierten Akteuren gibt es jedoch auch Akteure, die von den Entwicklungen eher passiv bzw. nur indirekt, teils positiv, teils negativ betroffen sind. Aber auch diese Akteursgruppen sollten jedoch bewusst in die Stakeholderdialoge miteinbezogen werden.

Zu den zentralen Erfolgsfaktoren für die tatsächliche Nutzung von derartigen Austauschprozessen gehört die Orientierung an den Bedarfen der Stakeholder, d. h. was der Austausch konkret leisten und wie mit Betroffenen umgegangen wird. Oftmals fehlt es jedoch an einer systematischen Identifizierung von Stakeholdern (vgl. u. a. Teufel/Erdmann 2015), ihrer Klassifizierung (vgl. u. a. Mitchell et al. 1998) und Erhebung ihrer Positionen. Genau dies sollte hier jedoch erfolgen, um sicherzustellen, dass als Ergebnis der Dialoge auch plausible und umsetzbare Handlungsempfehlungen stehen.

Kernherausforderungen sind dabei die Beurteilung der Anreize und Motivationen, sich zu beteiligen und die komplementäre Ausgestaltung von Online- und Face-to-Face-Dialogformaten, durch vor- und nachgelagerte Online-Phasen mit dem jeweiligen Face-to-Face-Dialog als Schlüsselement. Die genaue Vorgehensweise hierzu wird im folgenden zweiten Abschnitt erläutert.

Die Vorgehensweise umfasst insgesamt drei Arbeitsschritte, die in einem Gesamtkonzept für die vier Stakeholderdialoge aufeinander abgestimmt sind:

- ▶ Vorbereitung der Stakeholderdialoge und Gesamtkonzeption (Abschnitt 2.1),
- ▶ Durchführung der Stakeholderdialoge, bestehend aus (Abschnitt 2.2)
 - Explorationsphase (online),
 - Stakeholder-Workshops (Face-to-Face, offline),
 - Operationalisierungsphase (online),
- ▶ Ergebnissicherung (Abschnitt 2.3).

Im Folgenden wird ein detailliertes Konzept für die Dialoge vorgestellt. In diesem sollen die Ausrichtung und der Umfang der Dialoge, das methodische Vorgehen in der Durchführung und die Ergebnissicherung skizziert werden.

2.1 Gesamtkonzeption und Vorbereitung der Stakeholderdialoge

Das Gesamtkonzept der Stakeholderdialoge ist an der Eignung für die Identifizierung praxistauglicher Handlungsempfehlungen für die Umweltpolitik ausgerichtet. Hierzu wurde ein Feinkonzept für den methodischen Ablauf der Stakeholderdialoge erarbeitet und mit dem Auftraggeber abgestimmt.

Kernaufgabe ist die Identifizierung konkreter Stakeholdergruppen, wobei auf die relevanten Träger und Akteure der jeweiligen Trendthemen zurückgegriffen wird. Dieses Set wird um vernachlässigte Gruppen ergänzt, bevor eine Priorisierung und Auswahl konkreter Einrichtungen und Abteilungen sowie Einzelpersonen stattfindet. Tabelle 1 zeigt beispielhaft eine Systematik zur Kartierung von Stakeholdergruppen.

Tabelle 1: Systematik zur Kartierung von Stakeholdergruppen

	Aktiv involvierte Stakeholdergruppen	Passiv involvierte Stakeholdergruppen
Wirtschaft	z. B. ZVEI, BITKOM-Fachverbände	z. B. IKT-Anwender, Zulieferer
Zivilgesellschaft	z. B. Crowdfunding-Plattformen, Nachbarschafts-App-Entwickler	z. B. Umwelt- und Verbraucherverbände, allgemeine Bevölkerung
Wissenschaft	z. B. Fraunhofer-Allianz, Deutsches Internet-Institut	z. B. unabhängige Umweltforschungsinstitute
Regulierung	z. B. Bundesnetzagentur, Datenschutzbeauftragter	z. B. sozialpolitische Einrichtungen

Zum Zweck der Stakeholdereinbindung wurde für alle Themenbereiche ein separater Stakeholderpool aufgebaut. Die konkrete Vorbereitung umfasste die Identifizierung, Ansprache und Einladung von Einzelpersonen der Stakeholdergruppen (mit vorbereitenden Telefonaten), die Anfertigung der vorbereitenden Materialien (u. a. Handouts im Vorfeld, Präsentationsfolien, Templates für interaktive Formate), die Organisation von Räumlichkeiten am Veranstaltungsort in Berlin und der Bewirtung sowie die Koordination der (bedarfsweisen) Reiseplanung.

2.2 Durchführung der Stakeholderdialoge

Die Veranstaltungen wurden vom Auftragnehmer inhaltlich und methodisch vorbereitet, organisatorisch umgesetzt und moderiert. Zu den einzelnen Trendthemen wurde jeweils ein Stakeholderdialog durchgeführt, der jeweils drei Phasen umfasst. Ein interaktiver Workshop soll vorher und nachher durch online-basierte Interaktion "gerahmt" werden. Dabei sollen die Potenziale der Online-Stakeholder-Konsultationen - wo sinnvoll - erschlossen werden. Abbildung 1 zeigt die Gesamtkonzeption der Stakeholderdialoge im Überblick.

Abbildung 1: Gesamtkonzeption der Stakeholderdialoge

	Explorationsphase	Stakeholder-Workshop	Operationalisierungsphase
Ziel	➔ Bewertung von Thesen	➔ Entwicklung von Handlungsoptionen	➔ Bewertung von Handlungsoptionen
Teilnehmerzahl	ca. 50	ca. 15	ca. 50
Interaktionsformat	strukturierter Online-Dialog	interaktiver Workshop in Berlin	strukturierter Online-Dialog
Ergebnisse	➔ Argumente für und wider Thesen	➔ Handlungsoptionen aus Akteurssicht	➔ praxistaugliche Handlungsempfehlungen

Quelle: Eigene Darstellung, Fraunhofer ISI

Die Unterscheidung in Thesen, Handlungsoptionen und Handlungsempfehlungen ist dabei wie folgt zu verstehen:

- ▶ Thesen – im Sinne von Ansichten zur Handlungsrichtung (u. a. virtuelle Mobilität fördern, Umweltaspekte in Assistenzsystemen zum Einkaufen verankern),
- ▶ Handlungsoptionen – im Sinne von möglichen Policies aus Sicht von Stakeholdergruppen (u. a. aus Sicht von Wirtschaft und Zivilgesellschaft),
- ▶ Handlungsempfehlungen – im Sinne von operationalisierbaren Maßnahmen (u. a. Normungsaktivität, Multi-Stakeholder-Initiative).

Folgende drei Phasen der Stakeholderdialoge werden dabei jeweils unterschieden:

Explorationsphase (online)

In einer ca. 4-wöchigen Online-Phase wurde das Trendthema durch die Stakeholder exploriert. Dafür wurde der Status Quo der umweltpolitischen Begleitung und die vorläufigen Erkenntnisse in Form von 5 bis 10 zugespitzt formulierten Thesen zur Diskussion gestellt.

Zu diesem Zweck wurde ein Web-basierter Online-Dialograum eingerichtet und administriert. Verwendet wurde hierfür ein Online-Tool, das die strukturierte Diskussion von Pro- und Kontra-Aspekten unterstützt und sich durch eine hohe Benutzerfreundlichkeit auszeichnet. Die Thesen wurden als Ausgangspunkt für die Online-Diskussion platziert, wo sie durch die Stakeholder auf strukturierte Weise kommentiert wurden. Weitere Thesen bzw. Handlungsvorschläge konnten durch die Stakeholder hinzugefügt werden. Ein Online-Moderator hatte die Aufgabe, die Teilnehmer regelmäßig zu aktivieren. An der Online-Diskussion nahmen nur die zuvor identifizierten und eingeladenen Stakeholder teil.

Stakeholder-Workshops (Face-to-Face, offline)

In den interaktiven Multi-Stakeholder-Workshops wurden die Thesen aus Stakeholdergruppensicht bewertet und zu Handlungsoptionen weiterentwickelt. Der jeweils ganztägige Workshop (ca. 10-16 Uhr in Berlin) wurde von einem Tandem, bestehend aus einem Fachmoderator und einem erfahrenen Prozessmoderator, begleitet und geleitet.

Teilnehmer (pro Workshop):

- ▶ ca. 16-20 aktiv bzw. passiv involvierte Stakeholder aus den Bereichen Wirtschaft, Zivilgesellschaft, Wissenschaft und Regulierung,
- ▶ ca. 2-3 Personen aus dem Projektteam.

Der Ablauf des Workshops bestand aus drei Teilen:

- ▶ Teil I - Einführung: Im Anschluss an Grußworte des Auftraggebers und einem gegenseitigen Kennenlernen wurde das Trendthema anhand der bereits vorliegenden Ergebnisse (Chancen, Potenziale, Herausforderungen) vorgestellt und kommentiert. Ebenso wurde das Ergebnis der Online-Diskussion (Exploration) präsentiert und von den Teilnehmern gewürdigt.
- ▶ Teil II - Diskussion: In heterogenen Stakeholdergruppen wurden Cluster von Handlungsoptionen hinsichtlich ihrer Erwünschtheit bewertet und zu Handlungsempfehlungen weiterentwickelt. In einem World-Café-Format bewerteten die Stakeholdergruppen getrennt nacheinander in einem ersten Block mehrere Handlungsoptionen und entwickelten in einem zweiten Block Vorschläge für operationalisierbare Handlungsempfehlungen.

- ▶ Teil III - Konsolidierung: Die Gruppenarbeiten wurden gemeinsam in einer Gesamtschau im Plenum gewürdigt, mögliche Allianzen und Konfliktfelder in Bezug auf die Handlungsoptionen festgehalten. Diese Befunde dienten als Ausgangspunkt für die folgende Operationalisierungsphase.

Operationalisierungsphase (online)

Die bewerteten Handlungsoptionen, welche von den Workshop-Teilnehmenden weiterentwickelt und als bedeutsam eingestuft wurden (unabhängig davon, ob Konsens oder Dissens darüber festgestellt wurde), wurden wiederum mit Hilfe des Online-Tools diskutiert. Hierfür wurde ein weiteres Diskussionsformat aktiviert, das zu jeder Handlungsempfehlung die Sammlung von Argumenten Für und Wider die Operationalisierungsvorschläge (sowie die Generierung weiterer Handlungsoptionen) unterstützt.

Stand in den Stakeholderworkshops die Erwünschtheit einer Policy sowie die Weiterentwicklung in operationalisierbare Maßnahmen im Vordergrund, so wurde im Online-Dialog zur Operationalisierung die Machbarkeit, Effektivität und Effizienz der vorgeschlagenen Maßnahmen bewertet.

2.3 Ergebnissicherung der Stakeholderdialoge

Für die Online-Dialoge zur Exploration, die Stakeholder-Workshops und die Online-Dialoge zur Operationalisierung wurden die Ergebnisse jeweils separat eingefangen. Für die Online-Formate wurden die generierten Argumente als Momentaufnahme zu einem definierten Zeitpunkt gespeichert. Die Stakeholder-Workshops wurden basierend auf den erarbeiteten Materialien und Notizen zu den Diskussionen protokolliert.

Im Ergebnis entstand für jedes Trendthema eine Liste mit praxistauglichen Handlungsoptionen inklusive Operationalisierungsvorschlägen und der zu berücksichtigenden fördernden und hinderlichen Aspekte, welche im folgenden Abschnitt separat vorgestellt werden.

3 Untersuchung der ausgewählten Trendthemen mittels Stakeholderdialogen

3.1 Digitalisierung in der Landwirtschaft

3.1.1 Definition und Abgrenzung des Anwendungsfeldes

Die Digitalisierung der Landwirtschaft ist keine neue Entwicklung. „Precision Farming“ und „Smart Farming“ sind vielmehr technische Entwicklungen, die seit mehr als zwei Jahrzehnten in der Praxis der Landtechnik erprobt und eingesetzt werden (vgl. BMEL 2017). Auch in der Tierhaltung gibt es bereits seit Jahren etablierte automatisierte Überwachungs-, Fütterungs- und Melk- sowie Entmistungssysteme. Die Begriffe Precision Farming (PF), Smart Farming (SF) und Digital Farming (DF) können wie folgt voneinander abgegrenzt werden (vgl. DLG 2018). Das Ziel von PF ist die Optimierung von Wachstumsbedingungen mittels Sensorik und genauer Applikationstechnik. SF entwickelt dieses Konzept weiter bis hin zur automatisierten Entscheidungsunterstützung durch Datenfusion, und die Konzepte des DF basieren auf der konsequenten Anwendung von PF und SF und der internen und externen Vernetzung des Betriebes (IoT). Nach BMEL (2017) können in der Landwirtschaft grundsätzlich verschiedene Stufen der Digitalisierung unterschieden werden:

1. Als erste Stufe wird die Verwendung nur eines einzelnen „digitalen“ Produktes bezeichnet (z. B. EDV-gestützte Düngeplanung).
2. Die nächste Stufe ist ein intelligentes Produkt. Dies könnte z. B. ein Schlepper mit verschiedenen digitalen Steuerungen sein.
3. Auf dritter Stufe steht ein intelligent vernetztes Produkt. Hierbei wird der Schlepper mit Managementprogrammen vernetzt, die beispielsweise verschiedene Daten empfangen und verarbeiten können.
4. Stufe vier der Digitalisierung beschreibt ein digital vernetztes Produktionssystem. Hierbei ist nicht nur der einzelne Schlepper angebunden, sondern auch die je nach Produktionssystem oder Arbeitsschritt benötigten Geräte.
5. Die höchste Stufe der Digitalisierung ist ein System von Systemen, wobei unterschiedliche Systeme miteinander kommunizieren (Internet of Things).

In Zukunft kann mit Hilfe der Digitalisierung ein lückenloses Erfassen aller Arbeitsprozesse entlang der Lebensmittelkette, von der Produktion einschließlich der Logistik bis zum Konsumenten erfolgen, was eine Rückverfolgbarkeit von der „Furche bis zum Teller“ ermöglichen würde.¹

Bedeutung des Anwendungsfeldes für die Umwelt

Die Landwirtschaft steht durch global wachsende Bevölkerung, Strukturwandel, Verlust von Produktionsfläche, Ressourcenverknappung, Kostendruck und Klimawandel vor enormen Herausforderungen. Zudem steht die konventionelle Landwirtschaft von allen Seiten unter öffentlicher Kritik: Nitrat im Grundwasser, Pflanzenschutzmittelrückstände in Lebensmitteln, gentechnisch veränderte Produkte, umstrittenes Tierwohl, industrielle Agrarstrukturen und schwindende Biodiversität.

Im Grundsatzpapier der Senatskommission für Agrarökosystemforschung der DFG (Wolters et al. 2014) wird für eine Erweiterung der agrarwissenschaftlichen Perspektive plädiert. Die meist auf einzelne Feldfrüchte bezogene Bewertung der Relation zwischen Input und Ertrag müsse ergänzt werden

¹ Analoges gilt auch für die Wertschöpfungsketten von landwirtschaftlichen Produkten, die nicht für die Ernährung von Konsumenten bestimmt sind, wie zum Beispiel biogene Treibstoffe. Die Transparenz der Lebensmittelkette ist wegen der unmittelbaren Gesundheitsrelevanz jedoch von besonderem öffentlichem Interesse.

um die Optionen, die sich aus der räumlichen und zeitlichen Diversifikation der Produktionssysteme unter Einbeziehung der standörtlichen Eigenschaften, des Landschaftskontextes sowie des Klimawandels ergeben. Um Ökosystemleistungen einzubeziehen, müssen Produktionsstrategien entwickelt werden, die sich auf ganze Landschaften und Regionen richten und auch entsprechende sozioökonomische und agrarpolitische Rahmenbedingungen berücksichtigen. Vor diesem Hintergrund schlägt die Senatskommission drei interdisziplinäre Forschungsschwerpunkte zur ressourceneffizienten Erhöhung der Flächenproduktivität vor:

1. Ausnutzung des Potenzials von Kulturpflanzen zur umweltschonenden Ertragssteigerung im Kontext ökosystemarer Bedingungen.
2. Nachhaltige Steigerung der Pflanzenproduktion im Landschaftskontext.
3. Ökonomische, gesellschaftliche und politische Dimensionen der Ertragssteigerung von Kulturpflanzen.

Zu allen drei Bereichen versprechen digitale Hilfsmittel unterstützend zu wirken, so dass die größten ökologischen Chancen und Herausforderungen im Folgenden näher untersucht werden sollten.

Größte ökologischen Chancen und Herausforderungen

Potenziale, die Umwelt zu schonen, ergeben sich durch die Einsparung von Betriebsmitteln durch die punktgenaue Applikation von Dünger und Pflanzenschutzmitteln, die Einsparung von Fahrzeiten und damit von Antriebsmitteln sowie die ressourcenschonendere Tierhaltung und die darauf basierende möglichere Erhöhung des Tierwohls und der Tiergesundheit.

Auch kann davon ausgegangen werden, dass durch die Möglichkeit, kleinskalierte automatisierte Maschinen intelligent nutzen zu können, die Schlaggrößen abnehmen und die pflanzliche Vielfalt (Fruchtfolgen, Streifenanbau, Untersaaten, etc.) wieder zunehmen kann, was sich insbesondere auch positiv auf die Biodiversität und Populationsgröße von Insekten, Vögeln, Reptilien und Kleinsäugetern auswirkt.

In der heutigen Pflanzenproduktion bestimmt in vielen Fällen die Technik die Art und Weise, wie und welche Kulturpflanzen angebaut werden. So sind beispielsweise Reihenabstände in Reihenkulturen nicht aus pflanzenbaulicher Perspektive definiert, sondern hängen an technischen Vorgaben aus der Erntetechnik (z. B. Rübe, Mais). Futterpflanzen, wie z. B. Futterrübe, wurden u. a. zugunsten des Mais verdrängt, weil dessen Anbau verfahrenstechnisch viel einfacher und kostengünstiger zu mechanisieren ist.

Zusätzliche positive Umweltaspekte können entstehen, wenn durch die mögliche bessere Vernetzung zwischen standort- und pflanzenbezogenen Maschinen, den Landwirten, aber auch den Beratern, den Behörden und den Verbrauchern, neue Konzepte im Sinne einer regionalisierten Bioökonomie und darauf aufbauend regionale Wertschöpfungsketten realisiert werden.

Ein weiterer wichtiger Punkt betrifft die Resilienz und Pufferfähigkeit der Anbausysteme, die durch die bessere Berücksichtigung von Standorteigenschaften und Umfeldwirkungen deutlich erhöht werden können. Reduktion von erosiven Prozessen, Runoff-Effekten und eine grundsätzliche Erhöhung der Biodiversität auf Landschaftsebene können durch digitale Systeme gefördert werden.

Technische Trends im Anwendungsfeld

Der Einsatz von Artificial Intelligence, Cloud- und Big Data-Lösungen ist bereits weit verbreitet und wird weiter ausgeweitet. Laut einer Studie des Bitkom (2016) nutzen bereits ein Viertel der Agrarbetriebe Apps und intelligente Software zur Maschinensteuerung. Bis 2030 erwartet knapp die Hälfte der

Agrarbetriebe fahrerlose Traktoren und Mähdrescher, autonome Feldroboter, Drohnen und Farmmanagementsystemen im Standardeinsatz, wobei Artificial Intelligence als Schlüsseltechnologie gesehen wird.

Bezüglich Big Data muss zum einen zwischen der Datenerfassung und -auswertung in der Cloud und die darauf aufbauende Entwicklung anwenderbezogener Dienste, und auf der anderen Seite die Rückmeldung von lokalen Daten (Sensordaten, menschliche Beobachtungen, Maschinendaten) in die jeweilige Cloud, unterschieden werden. Entscheidend wird in diesem Kontext neben der Entwicklung von Diensten das Thema Datenschutz sein, das als eigenes Unterthema beschrieben wurde sowie die momentan noch fehlende Möglichkeit, Dienste unterschiedlicher Hersteller einfach zu kombinieren. Hier werden zukünftig die Offenlegung von Schnittstellen, Datenformaten, aber insbesondere auch Aspekte der Datensicherheit eine entscheidende Rolle bei der Verbreitung und Nutzbarmachung privater Daten spielen. Auf der einen Seite sind hier auf herstellerunabhängige Entwicklungen wie der GeoBox oder des Landscape Data Space als Eigeninitiative der Fraunhofer-Gesellschaft zu verweisen. Auf der anderen Seite stehen die proprietären, sprich herstellereigenen Produkte einzelner Hersteller, wie z. B. John Deere und Bayer. Beispielsweise bietet John Deere einen eigenen Datenkosmos an, der aktuell nur nutzbar ist mit Maschinen von John Deere oder zertifizierten Herstellern.

Ein hohes Potenzial hat ebenfalls das Internet of Things. Zusammen mit der Robotik kann es die Automatisierung in der Landwirtschaft auf die nächste Stufe heben. Erst die Entwicklung und Nutzung von sich selbst organisierenden kleinskalierten Robotern im gesamten Prozess der Feldarbeit, Ernte, Weiterverarbeitung und der Produktveredelung ermöglicht die weitgehende Digitalisierung in der Landwirtschaft. Peer-to-Peer-(P2P)-Lösungen könnten vor allem in der Zahlungsabwicklung und Datensicherheit eine zukünftige Rolle spielen. Zusammen mit dem Internet of Things kann es für ein lückenloses Erfassen aller Arbeitsprozesse entlang der Lebensmittelkette, von der Produktion einschließlich der Logistik bis zum Konsumenten eingesetzt werden und damit zu mehr Transparenz und Rückverfolgbarkeit im Produktionsprozess führen.

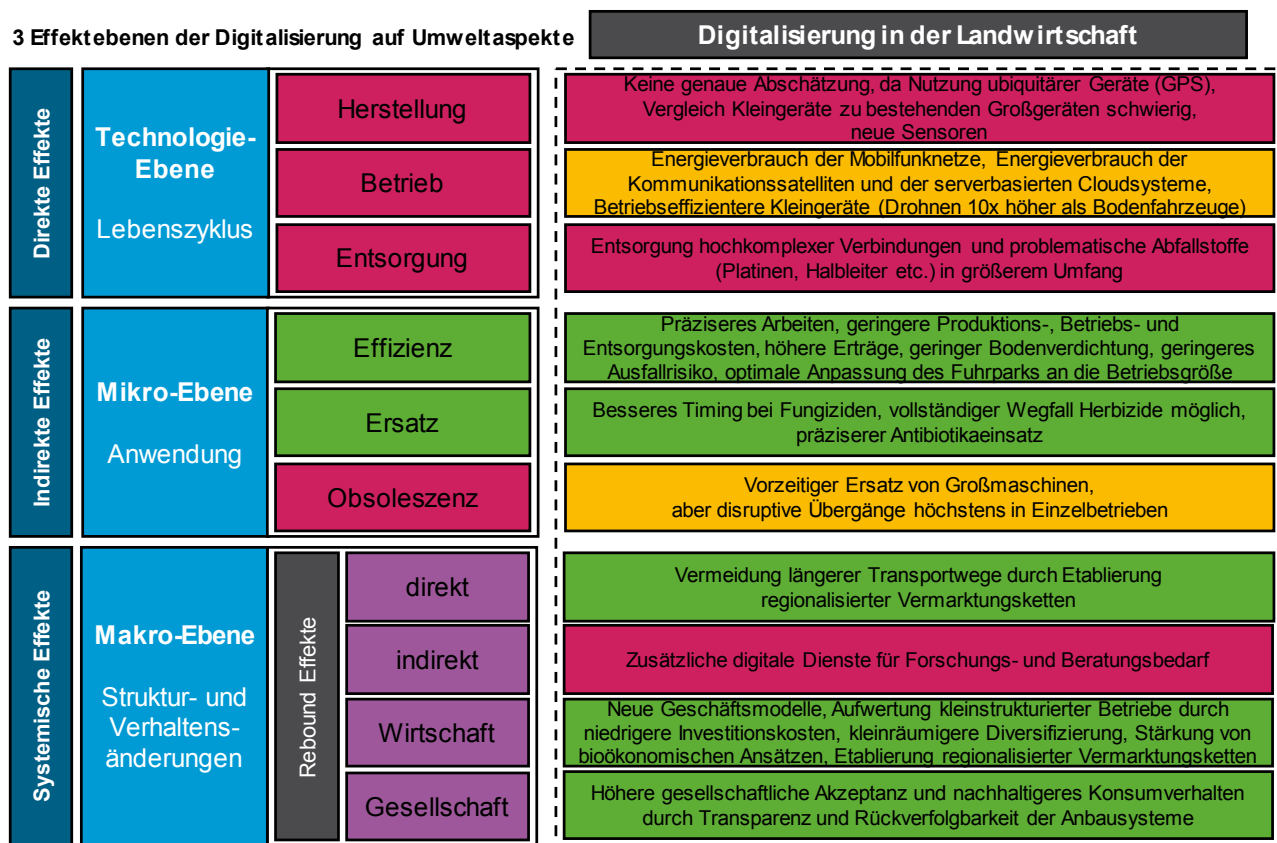
Auch der Einsatz von Augmented Reality im Zusammenhang mit der Erkennung biologischer Phänomene wird bereits erprobt. Weitergehende Ansätze können zukünftig landschaftsbezogene Maßnahmen (z. B. Erosionsschutz, Runoff-Reduzierung) mit Hilfe von Augmented Reality dem Anwender einblenden und als Teil eines Entscheidungsunterstützungssystems dem Landwirt sehr gute Unterstützung liefern. Auf der anderen Seite stehen hier bald AI-Lösungen, die aufgrund der Komplexität der Datenauswertung menschliche Beurteilungen ergänzen und teilweise ersetzen werden.

Informationslage zu Effekten auf unterschiedlichen Wertschöpfungsstufen

Die Informationslage zu den Effekten von Digital Farming (insbesondere digital vernetzte Maschinenparks und EDV-Systeme, miniaturisierte Feldroboter und hybride Datenclouds zur Bewirtschaftung von Feldern) auf unterschiedlichen Wertschöpfungsstufen stellt sich zusammenfassend wie folgt dar (siehe Abbildung 2). Im Bereich der Landwirtschaft sind die direkten Effekte durch den Einsatz von IKT in den hier schwerpunktmäßig untersuchten Anwendungsfeldern geringer einzuschätzen als die entsprechenden indirekten Effekte, das heißt: die Veränderungen von Stoffströmen und dem Energieverbrauch für die Herstellung, den Betrieb und die Entsorgung der dafür eingesetzten IKT selbst sind relativ unbedeutend im Vergleich zu den Stoffströmen und Energieverbräuchen durch die indirekten Effizienz- und Ersatzwirkungen von IKT (Energieverbrauch für Landmaschinen, Düngemittel- und Pflanzenschutzmitteleinsatz pro Ertragseinheit, etc.). Im Vergleich der ökologischen Belastungen während Herstellung, Betrieb und Entsorgung schneiden Kleinstroboter vergleichbar ab, wie heute im Einsatz befindliche Großmaschinen. Ansonsten ist bei den direkten Effekten wie in anderen Anwendungsfeldern zunächst mit einer negativen Umweltwirkung zu rechnen. Bei den indirekten Effekten sind jedoch deutliche Effizienzgewinne zu vermerken. Diese ergeben sich durch mögliche Einsparungen bei Düngemitteln und Pestiziden, da ein zielgenaueres Arbeiten ermöglicht wird. Die dadurch indirekt

verbesserte Biodiversität erhöht langfristig den Ertrag und vermindert die Anfälligkeit gegenüber Pflanzenschädlingen. Obsoleszenzeffekte sind vermutlich zu vernachlässigen, da von einer massenhaften Aussonderung von sehr kapitalintensiven Großmaschinen, bevor sie abgeschrieben sind, nur in Einzelfällen auszugehen ist.

Abbildung 2: Zusammenfassende Auswirkungen der Digitalisierung in der Landwirtschaft auf Umweltaspekte



Quelle: Eigene Darstellung, Fraunhofer ISI

Betrachtet man die Makro-Ebene, können sich weitere, durchaus positive Effekte für die Umwelt ergeben. Im Fokus steht vor allem die höhere Transparenz bei landwirtschaftlichen Produkten. Sie könnte das Konsumverhalten der Verbraucher verändern und so mehr ökologische Nachhaltigkeit in landwirtschaftlichen Betrieben forcieren. Insgesamt ergeben diese ersten Untersuchungen ein enormes Potenzial für den Umweltschutz durch die Digitalisierung der Landwirtschaft. Erstens lassen sich Stoffeinträge reduzieren und Betriebsprozesse optimieren, zweitens wirkt sich die präzisere, auf besserer Datenbasis fundierten Bewirtschaftung positiv auf die Ökologie des landwirtschaftlichen Umfelds aus. Außerdem weisen die systemischen Auswirkungen auf ein positives Transformationspotenzial hinsichtlich nachhaltiger Betriebs- und Konsumstrukturen hin, wofür jedoch bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein müssen.

3.1.2 Thesen und Bewertung aus Stakeholdersicht

Der Begriff Digital Farming umfasst grundsätzlich alle Aspekte der Digitalisierung der Landwirtschaft. Für den Stakeholderdialog wurde jedoch eine Eingrenzung auf den Pflanzenanbau, und hier insbesondere auf den Ackerbau, vorgenommen. Die Tierhaltung wurde nur am Rande behandelt. Eine Besonderheit dieses Anwendungsfeldes ist es, dass die Digitalisierung des Ackerbaus bereits weit fortgeschritten

ist. Selbstfahrende Erntemaschinen, EDV-gestützte Düngeplanung und die Vernetzung von digitalisierten Landmaschinen mit herstellerebenen Daten-Clouds zählen für große landwirtschaftliche Flächen in Deutschland bereits zur betrieblichen Praxis.

Im Hinblick auf die ökologische Nachhaltigkeit sind während der Stakeholderdialoge die landwirtschaftlichen Schlüsselthemen aus heutiger Sicht adressiert worden, darunter Nährstoffkreisläufe, Pflanzenschutzmittel, Klimawandel, Wasserhaushalt, Bodenqualität, Flächennutzung und Landschaftsschutz, Biodiversität und Artenschutz und Energie- und Ressourceneffizienz. Ebenso sind solche ökologischen Themen behandelt worden, die für die Digitalisierung der Landwirtschaft spezifisch sind, darunter der Eintrag von Elektronikkomponenten defekter Roboter auf Ackerflächen.

Im Mittelpunkt des Stakeholderdialogs standen drei Bereiche, in denen von verschiedenen Stakeholdergruppen erwartet wird, dass die Digitalisierung bis 2030 wesentliche Veränderungen von Umwelteffekten auslösen kann.

- ▶ **Trend A: Digitalisierung und Vernetzung des Landmaschinenparks mit herstellerebenen Daten-Clouds**
- ▶ **Trend B: Bewirtschaftung mit miniaturisierten Feldrobotern**
- ▶ **Trend C: Schaffung und Nutzung hybrider Daten-Clouds**

Zu diesen Trends wurden Thesen zur Verbreitung und zu Umwelteffekten zur Kommentierung und Diskussion in den vorgelagerten Online-Dialog eingespeist, die im Folgenden verdichtet vorgestellt werden. Die Stakeholder konnten dabei ihre Zustimmung zu den Thesen in Form von 1 bis 5 Punkten signalisieren, wobei 1 keine Zustimmung und 5 volle Zustimmung bedeutete.

Thesen

Trend A: Digitalisierung und Vernetzung des Landmaschinenparks mit herstellerebenen Daten-Clouds

These zur Verbreitung:

- ▶ *These A1: Große Betriebe profitieren bis 2030 deutlich stärker von der Digitalisierung und Vernetzung des Landmaschinenparks mit herstellerebenen Daten-Clouds als kleine Betriebe (hoher, von Landmaschinenanbietern bestimmter Investitionsbedarf).*
Bewertung: 3/5 bei 8 Bewertungen

These zum Umwelteffekt:

- ▶ *These A2: Die Digitalisierung und Vernetzung des Landmaschinenparks mit herstellerebenen Daten-Clouds erhöht die Bewirtschaftungsintensität und verringert dadurch langfristig die Boden- und Wasserqualität.*
Bewertung: 1/5 bei 10 Bewertungen

Trend B: Bewirtschaftung mit miniaturisierten Feldrobotern

These zur Verbreitung:

- ▶ *These B1: Kleine und mittlere landwirtschaftliche Betriebe profitieren bis 2030 deutlich stärker von miniaturisierten Feldrobotern als große Betriebe, indem Roboterflotten speziell auf den Einzelbetrieb und seine naturräumlichen Voraussetzungen angepasst werden (begrenzter Investitionsbedarf).*
Bewertung: 3/5 bei 8 Bewertungen

- ▶ *These B2: Ökologisch wirtschaftende Betriebe, die grundsätzlich auf den Einsatz chemisch synthetischer Pflanzenschutzmittel verzichten, profitieren deutlich stärker als konventionelle Betriebe, da mithilfe einer optimierten mechanischen Unkrautbekämpfung die Erträge der Kulturpflanzen steigen.*
Bewertung: 2/5 bei 8 Bewertungen

These zum Umwelteffekt:

- ▶ *These B3: Miniaturisierte Feldroboter erlauben eine selektive Bewirtschaftung auf Einzelpflanzenebene, begünstigen den Anbau von Mischfruchtbeständen und Untersaaten.*
Bewertung: 3/5 bei 6 Bewertungen
- ▶ *These B4: Miniaturisierte Feldroboter unterstützen durch die geringere Bodenverdichtung langfristig eine höhere Bodenfruchtbarkeit und erhöhen dadurch die Funktionsleistung der Ökosysteme.*
Bewertung: 4/5 bei 6 Bewertungen
- ▶ *These B5: Miniaturisierte Feldroboter verringern den Energieverbrauch pro Hektar und den Bedarf nach Dünge- und Pflanzenschutzmitteln; auf Herbizide kann durch eine rein mechanische Unkrautbekämpfung sogar vollständig verzichtet werden.*
Bewertung: 3/5 bei 6 Bewertungen

Trend C: Schaffung und Nutzung hybrider Daten-Clouds

These zur Verbreitung:

- ▶ *These C1: Die Einspeisung von betrieblichen Daten in hybride Daten-Clouds erleichtert landwirtschaftlichen Betrieben die Erfüllung staatlicher Anforderungen, die z. B. aus dem Vollzug des Pflanzenschutzmittelgesetzes oder der Düngeverordnung stammen, und senkt somit ihren Bürokratieaufwand.*
Bewertung: 5/5 bei 8 Bewertungen

These zum Umwelteffekt:

- ▶ *These C2: Durch Einbeziehung des Standort-, Landschafts- und Klimakontextes in die landwirtschaftliche Praxis werden in Kombination mit betrieblichen Daten der Grundwasser- und Erosionsschutz verbessert und Nährstoffüberschüsse abgebaut.*
Bewertung: 5/5 bei 8 Bewertungen

Bewertung der Thesen aus Stakeholdersicht

Die Digitalisierung und Vernetzung des Landmaschinenparks mit Daten-Clouds unterstützt Landwirte in der Erfüllung ihrer Dokumentationspflichten (einschließlich des Umweltschutzes) und in der Optimierung ihrer Prozesse (einschließlich des Einsatzes umweltrelevanter Betriebsmittel). Das Trendthema, bezogen auf herstelleregebundene Daten-Clouds, ist in zweierlei Hinsicht erweitert worden. Zwar liegt das Hauptinteresse der kommerziellen herstelleregebundenen Daten-Cloud-Anbieter auf dem direkten Kontakt zu einzelnen großen Betrieben, aber auch überbetriebliche Organisationsformen wie Maschinenringe, Genossenschaften und Lohnunternehmen können von der Digitalisierung und Vernetzung mit herstelleregebundenen Daten-Clouds profitieren. Um dem Landmaschinenpark der Betriebe mit ihren verschiedenen Herstellern gerecht zu werden, steht zum 22. Februar 2019 eine universelle Datenaustauschplattform für Landwirte und Lohnunternehmer zur Verfügung, mit der Maschinen und Agrarsoftware herstellerübergreifend verbunden werden können (<https://my-agrirouter.com/>). Umstritten ist, ob große oder kleinere landwirtschaftliche Betriebe, konventionelle oder biologisch wirtschaftende Betriebe von der Digitalisierung des Landmaschinenparks stärker profitieren.

Wichtige Faktoren sind die Kostenentwicklung der digitalen Angebote, Möglichkeiten zur Vernetzung und Kooperation kleiner Betriebe, die Technikaffinität der Landwirte und Betriebsmitteleinsparungen.

Grundsätzlich ist ein optimierter Einsatz von Betriebsmitteln in zeitlicher Hinsicht (u. a. Bestimmung eines geeigneten Düngezeitpunkts) und räumlicher Hinsicht (u. a. Anpassung an lokale Bedingungen) zu begrüßen. Die Digitalisierung und Vernetzung des Landmaschinenparks kann einerseits eine integrierte Behandlung von Boden- und Wasserparameter unterstützen und mit verbesserter Effizienz und Zielgenauigkeit einen Beitrag zu mehr Boden- und Wasserqualität leisten. Sie kann andererseits auch das Erzielen höherer Erträge unterstützen und dabei langfristig Boden- und Wasserqualität beeinträchtigen. Entscheidend ist das Verfolgen der guten Landwirtschaftlichen Praxis als vorrangiges Ziel.

Miniaturisierte Feldroboter verbessern die Möglichkeiten für eine einzelpflanzen-spezifische Behandlung, Mischfruchtanbau und Untersaaten (einschließlich Betriebsmittelausbringung, mechanische Unkrautbekämpfung, etc.), wobei die Sinnhaftigkeit differenziert betrachtet werden muss. Die selektive Bewirtschaftung der Einzelpflanze wird voraussichtlich insbesondere in Pflanzenkulturen eine Rolle spielen, die heute als Reihenkulturen angebaut werden (z. B. Sonnenblume, Soja, Mais, Zuckerrüben). Der Mischfruchtanbau und Untersaaten können einen Beitrag zur Verringerung der Unkrautentstehung leisten. Eine getrennte Ernte beim Mischfruchtanbau könnte das Problem der späteren Mischfruchttrennung verringern, ist jedoch eine schwierige technisch-logistische Aufgabe. Die vielschichtigen Einflüsse von Feldrobotern auf die landwirtschaftliche Praxis müssen noch weiter erforscht werden. Die Anforderungen an Roboterflotten sind hoch, denn es gilt, verschiedenen Feldflächengrößen, Feldfrüchten, Bearbeitungsprozessen und der Logistik zwischen den Feldern gerecht zu werden. Dabei sind viele Prozesse zeitkritisch und es müssen große Massen bewegt werden, weshalb die erforderliche Flächenleistung der Miniaturisierung der einzelnen Roboter Grenzen setzt. Entwicklungsbedarf besteht darin, die bestehenden Prozesse vor dem Hintergrund der Möglichkeiten von Robotern zu hinterfragen und weiterzuentwickeln. Feldroboter verschiedener Größen können sowohl in Groß- als auch in Kleinbetrieben sinnvoll eingesetzt werden, wobei die Anzahl der benötigten Roboter von den unterschiedlichen Flächengrößen abhängt. Kleine und mittlere Betriebe können insbesondere dann von miniaturisierten Feldrobotern profitieren, wenn gleichzeitig eine Diversifizierung und Spezialisierung auf "high value crops" erfolgt. Biologisch wirtschaftende Betriebe bekommen mit der rein mechanischen Unkrautbekämpfung durch Feldroboter eine wesentliche Erweiterung ihrer stark begrenzten Möglichkeiten der Unkrautbekämpfung, aber auch konventionelle Betriebe können ihre Unkrautbekämpfungsstrategien überdenken.

Die Bodenverdichtung ist ein wichtiger Faktor für die Bodenfruchtbarkeit und die Funktionsleistung der Ökosysteme. Ackerflächen werden vor allem beim Überfahren mit Landmaschinen verdichtet, wobei die größten Belastungen durch volle Erntemaschinen entstehen. Miniaturisierte Feldroboter haben ein vergleichsweise geringes Flächengewicht, sie benötigen aber aufgrund der wesentlich kleineren "Arbeitsbreite" ein Vielfaches an Überfahrten. Ihre Einsatzszenarien sind den Einsatzweisen von Feldspritzen mit großen Auslegern gegenüberzustellen, die eine Fahrgasse stark verdichten, dafür aber große Teile des Feldes nicht berühren. Miniaturisierte Feldroboter versprechen derzeit vor allem für die Pflanzenaufzucht bestimmte Vorteile, weniger aber für den im Hinblick auf die Bodenverdichtung so wichtigen Ernteprozess. Eine Verringerung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes ist aus ökologischer Sicht grundsätzlich wünschenswert. Es besteht Forschungsbedarf, in welchem Ausmaß miniaturisierte Feldroboter im Verein mit veränderten Anbauweisen wie verbesserten Fruchtfolgen dazu beitragen können (z. B. starker Befall mit Ackerfuchsschwanz). Auch Feldroboter entfernen das Unkraut, wodurch ihr Einsatz auch zur Verringerung der Biodiversität beiträgt (u. a. Insektensterben), und haben negative Auswirkungen auf die Fauna (u. a. Bodenbrüter). Auch weitere mögliche Umweltwirkungen einer landwirtschaftlichen Praxis unter Einsatz von miniaturisierten Feldrobotern sind in ihrer Nettobilanz noch sehr unsicher. Hierzu zählt insbesondere auch die Ökobilanz für miniaturisierte Feldroboter und landwirtschaftliche Großmaschinen im Vergleich (direkte Umweltbelastungen insbesondere durch Herstellung

und Entsorgung) und die Nettobilanz für den Verbrauch von Betriebsmitteln (Energie, Düngemittel, Pflanzenschutzmittel etc.).

Hybride Daten-Clouds sind herstellerübergreifende Plattformen, in welche sowohl privat erhobene als auch öffentlich generierte Daten einfließen und diese für alle Beteiligten oder ausgewählte Akteure bzw. Akteursgruppen transparent zur Nutzung bereitstehen. Aktuelle Beispiele für hybride Daten-Clouds sind die GeoBox in Rheinland-Pfalz und der Agricultural Data Space von Fraunhofer. Weitgehende Einigkeit besteht darin, dass das Einspeisen von betrieblichen Daten in hybride Daten-Clouds landwirtschaftlichen Betrieben die Erfüllung staatlicher Anforderungen erleichtern, die z. B. aus dem Vollzug des Pflanzenschutzmittelgesetzes oder der Düngeverordnung stammen, und somit ihren Bürokratieaufwand senken kann. Allerdings sind hierzu einige Voraussetzungen zu klären, darunter Kompatibilität mit dem aktuellen Datenschutzrecht, Klärung möglicher Kollisionen mit Eigentum an Daten, sowie Unterstützung durch den Staat, differenziert nach Subventionsvergabe und Kontrollfunktion.

Weitgehend Einigkeit besteht auch in der Einbeziehung des Standort-, Landschafts- und Klimakontextes in die landwirtschaftliche Praxis, wodurch in Kombination mit betrieblichen Daten der Grundwasser- und Erosionsschutz verbessert und Nährstoffüberschüsse abgebaut werden können. Der Beitrag der Digitalisierung liegt hier vor allem darin, größere und diversere Datensätze in die Betrachtung einzubeziehen und zweckgemäß zu verarbeiten. Dies ermöglicht eine sachgerechte Bewertung, wie ein Standort im Hinblick auf verschiedene Ziele optimiert werden kann.

3.1.3 Erarbeitete Handlungsoptionen

Aus den oben genannten Thesen wurden im Verlauf des offline durchgeführten Stakeholderdialogs folgende Handlungsoptionen erarbeitet, die dann wiederum in den nachgelagerten Onlinedialog eingespeist werden konnten. Die Stakeholder konnten auch hier ihre Zustimmung zu den Handlungsoptionen in Form von 1 bis 5 Punkten signalisieren, wobei 1 keine Zustimmung und 5 volle Zustimmung bedeutete.

Erarbeitete Handlungsoptionen

Übergreifende Empfehlungen

Handlungsoption D1: Etablierung von Think Tanks

- ▶ "Zur Exploration grundlegender Fragen des Verhältnisses von der "Digitalisierung der Landwirtschaft" und dem Thema Umwelt sollten Think Tanks, bestehend aus Forschungsverbänden zwischen Universitäten, Forschungseinrichtungen und landwirtschaftlichen Dauerfeldversuchen/Testbetrieben etabliert und gestärkt werden. Deren Aufgabe wäre es, außergewöhnliche Möglichkeiten der Digitalisierung für den Agrarstrukturwandel zu ergründen und publik zu machen."
Bewertung: 5/5 bei 3 Bewertungen

Handlungsoption D2: Proaktive Umweltregulierung der digitalisierten Landwirtschaft

- ▶ "Die Vorgaben der umweltbezogenen Regulierung sollten stets auf der Höhe des Standes der Digitalisierung sein, aber dabei gleichzeitig berücksichtigen, dass teilweise „analoge“ und „digitale“ Systeme parallel bestehen. Agrarökologische Schutzziele sollten zudem regulatorisch in digitalen Algorithmen verankert werden."
Bewertung: 3/5 bei 2 Bewertungen

Trend A: Digitalisierung und Vernetzung des Landmaschinenparks mit herstellerebenen Daten-Clouds

Handlungsoption A1: Effizienzdividende für die Umwelt durch Zielfestsetzung, -monitoring und -nachführung

- ▶ "Die Effizienzeffekte der Betriebsoptimierung werden bei derzeitigen Marktkräften durch Rebound-Effekte in unbekanntem Ausmaß kompensiert. Das Spektrum der Positionen hinsichtlich der Ziele reicht von Effizienz unter Bewahrung der Umwelt bis hin zu Umweltzielen als vorrangige Ziele (Ertragssteigerung vs. Betriebsmittelreduktion bei konstantem Ertrag). Es sollte jedoch eine substanzielle Effizienzdividende für die Umwelt realisiert werden, beispielsweise indem Umweltschutzziele in den Algorithmen, über Betriebsmitteleinsparung hinaus, verankert werden."
Bewertung: 4/5 bei 2 Bewertungen

Handlungsoption A2: Optimierung der umweltbezogenen Lerneffekte aus der Cloud-Nutzung

- ▶ "Es sollte eine Erweiterung des Angebotes von herstellerebenen hin zu herstellerübergreifenden Daten-Clouds, mit entsprechenden größeren Nutzerzahlen, unterstützt werden. Dies ermöglicht ein Benchmarking von Praktiken in Bezug auf umweltrelevante Parameter und die Etablierung von Best Practices. Hierzu müssten allen involvierten Landwirten sowie interessierten forschenden, wirtschaftlichen und zivilgesellschaftlichen Akteuren die Daten aus der Cloud zur Verfügung stehen."
Bewertung: 4/5 bei 3 Bewertungen

Handlungsoption A3: Harmonisierung und Flexibilisierung von umweltbezogenen Berichtspflichten

- ▶ "Es sollte eine Harmonisierung und Flexibilisierung von Berichtspflichten der Landwirte angestrebt werden. Die Bund- und Länder-Kompetenzen sind zwar prinzipiell festgelegt, aber im Zuge von Regulierungsaktivitäten öffnen sich gegebenenfalls Fenster, den umweltbezogenen Dokumentationsaufwand, ohne eine Absenkung des Kontrollniveaus, zu verringern. Insbesondere ist es wichtig, mehr Flexibilität zuzulassen und Schnittstellen zu definieren, so dass auch Unternehmen, die nicht an Daten-Clouds teilhaben (insb. kleinere Betriebe und Ökolandbau) einen verringerten Dokumentationsaufwand haben."
Bewertung: 5/5 bei 4 Bewertungen

Handlungsoption A4: Kontrolle der Einhaltung von umweltbezogenem Ordnungsrecht durch digitale Erfassung

- ▶ "Die Einhaltung von Ordnungsrecht sollte durch die digitale Erfassung von agrarökonomischen und -ökologischen Praktiken unterstützt werden. Vollzugsdefizite, wie z. B. bei hofnaher Gülleausbringung, sind durch digitale Erfassung (z. B. Smartes Güllefass) grundsätzlich behebbar. Subventionsvergaben bzw. Sanktionen sind dabei mögliche geeignete Hebel, um zu verhindern, dass alle ordnungsrechtlichen Möglichkeiten bis ans Limit ausgeschöpft, sondern stattdessen die gewünschten ökologischen Lenkungseffekte erzielt werden."
Bewertung: 3/5 bei 2 Bewertungen

Handlungsoption A5: Transparenz der Systemleistungen von Algorithmen

- ▶ "Intransparente Algorithmen bergen die Gefahr, dass Landmaschinenhersteller eher ihren Gewinn als die Umwelteffekte optimieren, ohne dass dies nachvollzogen werden kann (z. B.

durch geplante Obsoleszenz). Eine gesetzlich vorgeschriebene Offenlegung der Algorithmen (bei Machine Learning auch der Datensätze zu Trainingszwecken), eine Zertifizierung der Einstellung im Hinblick auf Haftungsfragen für landwirtschaftliche Praktiken und Gewährleistung des Herstellers sowie die Sicherstellung von Datensicherheit und Rechtmäßigkeit sind daher zu prüfen."

Bewertung: 4/5 bei 1 Bewertungen

Trend B: Bewirtschaftung mit miniaturisierten Feldrobotern

Handlungsoption B1: Etablierung eines nachhaltigeren Agrarsystems

- ▶ "Grundlegendes Ziel aller Anstrengungen sollte es sein, ein durch miniaturisierte Feldroboter unterstütztes, nachhaltigeres Agrarsystem (bspw. Einhaltung von Fruchtfolgen, Untersaaten, Einzelpflanzenförderung, bessere Ackerrändernutzung, usw.) so vorteilhaft auszugestalten und zu unterstützen, dass eine Etablierung und breite Anwendung in der Fläche erfolgt."

Bewertung: 2/5 bei 2 Bewertungen

Handlungsoption B2: Schaffung von Demonstrationsräumen

- ▶ "Es sollten langfristig angelegte und mit einer staatlichen Anschubfinanzierung unterstützte Demonstrationsräume geschaffen werden, die als Experimentierfelder und Testhöfe für die Bewirtschaftung mit miniaturisierten Feldrobotern Vorbildfunktion für alle anderen landwirtschaftlichen Betriebe übernehmen können."

Bewertung: 4/5 bei 3 Bewertungen

Handlungsoption B3: Änderung der Ausschüttungs-Kriterien im Rahmen der gemeinsamen Agrarpolitik

- ▶ "Die rein mechanische Bekämpfung von Unkräutern durch miniaturisierte Feldroboter ermöglicht einen zurückgehenden Eintrag von Fremdstoffen in Früchte und Böden. Derartige Fortschritte sowie generell gemeinwohlorientierte Leistungen, die dazu beitragen, die Biodiversität der Böden zu erhöhen, sollten als bedeutsame Ausschüttungs-Kriterien von Subventionen im Rahmen der gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) festgesetzt werden."

Bewertung: 1/5 bei 1 Bewertungen

Handlungsoption B4: Entwicklung von universell einsetzbaren Robotern

- ▶ "Investitionen in technologische Innovationen und Weiterentwicklungen im Bereich miniaturisierter Feldroboter sollten unterstützt und honoriert werden, um einen schnelleren wertschöpfenden Einsatz von universell einsetzbaren Feldrobotern (bspw. Aussaat, Fruchtmanagement, Ernte) zu ermöglichen. Gelingt es in Deutschland, derartige Feldroboter auf ein nachhaltiges Agrarsystem auszurichten, eröffnet sich eine große Chance, als internationaler Leitmarkt zu fungieren."

Bewertung: 4/5 bei 2 Bewertungen

Handlungsoption B5: Klärung der rechtlichen Rahmenbedingungen

- ▶ "Rechtlich sichere Rahmenbedingungen, die sowohl den Einsatz von miniaturisierten Feldrobotern auf frei zugänglichen Räumen, als auch die Bereitstellung, Verwendung und Austausch von Daten, einwandfrei festlegen und damit Rechtssicherheit gewähren, sind vom Gesetzgeber dringend zu schaffen."

Bewertung: 2/5 bei 2 Bewertungen

Trend C: Schaffung und Nutzung hybrider Daten-Clouds

Hybride Clouds sind herstellerübergreifende Plattformen, in welche sowohl privat erhobene als auch öffentlich generierte Daten einfließen und diese für alle Beteiligten oder ausgewählte Akteure bzw. Akteursgruppen transparent zur Nutzung bereitstehen.

Handlungsoption C1: Bereitstellung umweltbezogener räumlicher Daten

- ▶ „Behörden (Kommunen, Länder, Bund) sollten öffentliche raum- und umweltbezogene Daten (z. B. Schutzgebiete) in kompatibler Weise in hybriden Datenclouds zur Verfügung stellen, damit landwirtschaftliche Betriebe sie beim Ackerbau zur automatisierten Erfüllung staatlicher Anforderungen (Einhaltung gesetzlicher Bestimmungen und Erfüllung von Dokumentationspflichten, z. B. aus dem Vollzug des Pflanzenschutzmittelgesetzes oder der Düngeverordnung) nutzen können.“
Bewertung: 3/5 bei 1 Bewertungen

Handlungsoption C2: Rechtliche und organisatorische Voraussetzungen für hybride Daten-Clouds schaffen

- ▶ „Von staatlicher Seite müssen die notwendigen Voraussetzungen geschaffen werden, um hybride Daten-Clouds in der Breite nutzen zu können. Dies betrifft zum einen die eindeutige Klärung rechtlicher Fragen zum Datenschutz und zu den Eigentumsrechten der Daten. Zum anderen müssen organisatorische Rahmenbedingungen geschaffen werden, die das Vertrauen in hybride-Daten-Clouds stärken (TÜV für Träger der Daten-Clouds, dezentrale Speicherung der Daten, Daten von landwirtschaftlichen Betrieben werden nur in aggregierter Form weitergegeben, etc.).“
Bewertung: 4/5 bei 1 Bewertungen

Handlungsoption C3: Anreize zur Nutzung hybrider Daten-Clouds für den Umweltschutz schaffen

- ▶ „Es sollte von Seiten der Behörden sichergestellt werden, dass landwirtschaftliche Betriebe, die hybride Datenclouds beim Ackerbau für umweltschonende Praktiken (über die rechtlichen Anforderungen hinaus) nutzen, dafür belohnt werden und tatsächlich eine spürbare Entlastung bei den Bürokratiekosten erfahren.“
Bewertung: 2/5 bei 1 Bewertungen

Handlungsoption C4: Geschäftsmodelle für ökologische Beratung in hybriden Daten-Clouds fördern

- ▶ "Für die hybriden Daten-Clouds sollen Regeln und Anreize geschaffen werden, damit vielfältige Geschäftsmodelle für Beratungsleistungen mit ökologischen Effekten realisiert werden können. So kann beispielsweise die Verschneidung mit Wetterdaten dazu genutzt werden, Düngemittel noch sparsamer auszubringen. Die Entstehung von Monopol-Angeboten in hybriden Daten-Clouds sind zu verhindern, genauso wie eine einseitige Fokussierung auf größere landwirtschaftliche Betriebe. Konventionell wirtschaftende Agrarbetriebe sollen in den hybriden Daten-Clouds Angebote finden, die sie dabei unterstützen, ökologische Chancen zu nutzen."
Bewertung: 2/5 bei 1 Bewertungen

Handlungsoption C5: Potenziale für eine agrarstrukturelle Planung nutzen

- ▶ "Behörden sollten hybride Daten-Clouds für eine agrarstrukturelle Planung auf überbetrieblicher Ebene nutzen. Auf diese Weise können in räumlichen Zusammenhängen landwirtschaftliche Nutzung und spezifische Ökosystemleistung in ein nachhaltiges Verhältnis gebracht werden."

Bewertung: 4/5 bei 1 Bewertungen

3.1.4 Bewertungen der Handlungsoptionen aus Stakeholdersicht

Die Bewertung von Handlungsoptionen erstreckt sich auf die drei Trendthemen sowie übergreifende Bereiche, die zuerst vorgestellt werden.

Die Etablierung eines Think Tanks zur Exploration grundlegender Fragen des Verhältnisses von der "Digitalisierung der Landwirtschaft" und dem Thema Umwelt wird mit breiter Zustimmung befürwortet, seine Mission und Ausgestaltung spiegeln jedoch unterschiedliche Interessenlagen der Stakeholder wider. Während die einen die Aufgabe darin sehen, außergewöhnliche Möglichkeiten der Digitalisierung für den Agrarstrukturwandel zu ergründen und publik zu machen, sehen andere die Ausrichtung auf den Agrarstrukturwandel auf Kosten der konventionellen Landwirte kritisch. Wiederum andere sehen als Hauptmission, die Versprechen der Digitalisierung für eine umwelt- und tiergerechtere Landwirtschaft in der Praxiswirkung kontinuierlich zu prüfen. Hierbei sollte der Think Tank nicht nur einzelbetrieblich beziehungsweise auf die einzelne Technik bezogen evaluieren, sondern ausgehend von einer übergreifenden Bilanz, unabhängige Empfehlungen in den Fachdiskurs sowie konkret an Akteure in Politik und Verwaltungen aussprechen. Die Bündelung der Aktivitäten unter Berücksichtigung von Testbetrieben wird als effektiver angesehen, als unverbundene Einzelprojekte zu fördern. Bei der Umsetzung sollte auf Kontinuität in der Untersuchung des Themas geachtet werden, vergleichbar der vom BMBF geförderten Innovationsräume Bioökonomie. Ein wesentlicher Erfolgsfaktor ist die Abdeckung der Breite der Themen, kritische Faktoren sind die Auswahl der Think Tank Partner sowie die Vorgaben bei den Themen.

Auch in den Haltungen zur proaktiven Umweltregulierung der digitalisierten Landwirtschaft einschließlich der Einschreibung der agrarökologischen Schutzziele in digitale Algorithmen zeigen sich die unterschiedlichen Stakeholderpositionen deutlich. Die Notwendigkeit von Algorithmen wird damit begründet, dass Landwirte in der Regel mit den umfangreichen Rohdaten wenig anfangen können, sondern auf aus den Daten abgeleiteten Empfehlungen angewiesen sind. Bei einer Düngeempfehlung ist zum Beispiel entscheidend, ob die Bezugsgröße das Erreichen der gesetzlich zugelassenen Höchstmenge pro Fläche oder der tatsächliche Versorgungsgrad von Boden/Pflanze ist. Es bestehen erhebliche Erkenntnislücken in Bezug auf die Funktionsweisen der Algorithmen und ihrer Lenkungseffekte zur Entscheidungsunterstützung der Nutzer von herstellerebundenen und -übergreifenden Daten-Clouds. Die Offenlegung von Algorithmen (bei Machine Learning auch der Datensätze zu Trainingszwecken) kann dabei unterstützen, die Qualität und Plausibilität von digitalen Anwendungen zu kontrollieren. Dabei ist eine sorgfältige Abwägung gegenüber den Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen der Hersteller notwendig. Die Machbarkeit einer Zertifizierung der Algorithmen-basierten Einstellung im Hinblick auf Haftungsfragen für landwirtschaftliche Praktiken, die entsprechende Gewährleistung des Herstellers sowie die Sicherstellung von Datensicherheit und Rechtmäßigkeit sind daher zu überprüfen. Konkret wird im Zuge der Nutzung von Künstlicher Intelligenz nicht nur von der Digitalindustrie, sondern auch von staatlicher Seite, vor der Etablierung eines „Überwachungsapparates“ gewarnt.

Mit fortschreitender Digitalisierung ergeben sich bessere Möglichkeiten, die Einhaltung von Ordnungsrecht (z. B. Düngemittelausbringung) und eine zielgemäße Verwendung von Fördermitteln (z. B. Durchführung von Ausgleichmaßnahmen) effizient sicherzustellen (z. B. durch Satellitenkontrolle statt Vor-Ort-Kontrolle). Die Kontrolle der Einhaltung von umweltbezogenem Ordnungsrecht durch digitale

Echtzeiterfassung von agrarökonomischen und -ökologischen Praktiken wird hinsichtlich ihrer Voraussetzungen skeptisch beurteilt. Jeder Betrieb müsste den Anforderungen einer smarten Echtzeit-Datenerfassung und -übertragung gerecht werden, was insbesondere KMU finanziell stark belasten würde. Die Bindung an Sanktionen zur Einhaltung des Ordnungsrechts beziehungsweise an Subventionen zur Schaffung einer dynamischen Anreizwirkung wird im Hinblick auf ihre Lenkungseffekte teilweise bezweifelt. Die Harmonisierung und Flexibilisierung der umweltbezogenen Berichtspflichten zur Senkung des Dokumentationsaufwands für landwirtschaftliche Betriebe im Zuge der Digitalisierung wird einhellig befürwortet.

Weitgehende Einigkeit besteht über die Potenziale der Digitalisierung und Vernetzung des Landmaschinenparks mit herstellerebenen bzw. -übergreifenden Daten-Clouds für die Erhöhung der Betriebsmitteleffizienz. Einer merklichen Effizienzdividende für die Umwelt werden zum einen Ertragssteigerungen mit weniger verringertem, konstantem oder gar steigendem absoluten Betriebsmitteleinsatz entgegeng gehalten (Rebound-Effekt), zum anderen könnten übermäßige Einsparungen von Schädlingsbekämpfungsmitteln langfristig zur Ausbildung von Resistenzen führen. Die umweltbezogenen Lerneffekte aus einer deutlich ausgeweiteten Cloud-Nutzung haben ihre Potenziale, aber auch ihre Grenzen. Die Ausweitung der Nutzerzahl kann das durchschnittliche Niveau senken, sofern Lerneffekte aus der Cloud auf sehr gute Betriebe übertragen werden. Die Spezifität der lokalen Umstände könnte Fehlinterpretationen der anderen Praktiken für den eigenen Betrieb begünstigen. Die Öffnung der Datenbestände für forschende, wirtschaftliche und zivilgesellschaftliche Akteure ist an das geltende Datenschutzrecht gebunden und ihre Verwendungszwecke sind weiter zu spezifizieren.

Die Etablierung eines nachhaltigen Agrarsystems (bspw. Einhaltung von Fruchtfolgen, Untersaaten, Einzelpflanzenförderung, bessere Ackerrändernutzung, usw.) kann sowohl durch Feldroboter als auch durch andere Techniken und Praktiken unterstützt werden. Entscheidende Faktoren sind das Regelwerk und die Prozesse, in die Agrarrobotik und andere Werkzeuge eingebettet sind. Wenn es gelingt, ein Regelwerk, worum es sich bei einem nachhaltigen Agrarsystem konkret handelt, zu erarbeiten und maschinenlesbar abzulegen, könnten Roboter oder andere autonome Systeme in die Lage versetzt werden, danach zu handeln. Die passende Größe eines Roboters hängt vom Prozess ab und kann von miniaturisiert bis zur Größe heutiger Landmaschinen wie beispielsweise Mähdrescher reichen. Auch ein Traktor, der Maßnahmen und seine Aktivitäten automatisch aus einer Wissensbank ableitet und selbstständig über das Feld fährt sowie Prozesse anhand von Umgebungssensorik optimal durchführt, verfügt bereits über viele Roboteraspekte. Empfohlen wird die Etablierung eines Forschungsgebietes "Multifunktionalität von Agrarrobotern", um die Voraussetzung zu schaffen, einen Markt für Agrarrobotik zu etablieren. Diese Forschung ist vorwettbewerblich, was staatliche Förderung begründen kann. Die Schaffung von langfristig angelegten Demonstrationsräumen als Experimentierfelder und Testhöfe mit staatlicher Anschubfinanzierung wird weitgehend befürwortet, allerdings in einer technologieoffenen Ausgestaltung, möglichst mit der Beurteilungsmöglichkeit von konkreten Fällen durch Landwirte vor Ort.

Die Änderung der Ausschüttungskriterien im Rahmen der gemeinsamen Agrarpolitik, z. B. im Hinblick auf eine Gemeinwohlorientierung (u. a. Biodiversität) ist zwischen den verschiedenen Stakeholdern umstritten, sollte aber in keinem Fall technikgebunden sein. Voraussetzung ist der wissenschaftliche Nachweis von positiven Effekten auf das Gemeinwohl. Es ist zu prüfen, was geltende Rechtsvorschriften für den Einsatz von Agrarrobotern in Agrarprozessen bedeuten und ob rechtlicher Regelungsbedarf besteht.

Für hybride Daten-Clouds gibt es erste Piloten, aus denen Erfahrungen im Hinblick auf die Verschränkung privater und öffentlicher Daten abzuleiten und Schlussfolgerungen zu ziehen sind. Die Öffentliche Hand sollte die Möglichkeit prüfen, öffentliche raum- und umweltbezogene Daten (z. B. Schutzgebiete) in kompatibler Weise in hybriden Daten-Clouds zur Verfügung zu stellen, damit landwirtschaftliche Betriebe sie beim Ackerbau zur automatisierten Erfüllung staatlicher Anforderungen (Einhaltung

gesetzlicher Bestimmungen und Erfüllung von Dokumentationspflichten, z. B. aus dem Vollzug des Pflanzenschutzmittelgesetzes oder der Düngeverordnung) und zur Optimierung ihrer betrieblichen Praktiken nutzen können. Die Verwendungsbestimmung betrieblicher Daten in der hybriden Daten-Cloud obliegt grundsätzlich den Landwirten. Anonymisierung, Aggregation und Anreize, wie besondere Services in Gegenzug, können das Einspeisen betrieblicher Daten fördern. Schlüsselvoraussetzungen für solche hybriden Daten-Clouds sind Breitbandabdeckung auf dem Lande und die Klärung von differenzierten Eigentums- und Zugangsrechten in hybriden Datenclouds, einschließlich Datenschutz. Behörden könnten hybride Daten-Clouds für eine agrarstrukturelle Planung auf überbetrieblicher Ebene nutzen. Auf diese Weise können in räumlichen Zusammenhängen landwirtschaftliche Nutzung und spezifische Ökosystemleistung in ein nachhaltiges Verhältnis gebracht werden. Agrarstrukturelle Planung an für sich wird jedoch auch als Eingriff in die unternehmerische Freiheit der Landwirte aufgefasst. Hybride Daten-Clouds schaffen die Grundlage für vielfältige neue Geschäftsmodelle, u. a. für Beratungsleistungen. So kann beispielsweise die Verschneidung mit Wetterdaten dazu genutzt werden, Düngemittel noch sparsamer auszubringen. Agrarbetriebe sollten in der hybriden Daten-Cloud Angebote finden, die sie dabei unterstützen, ökologische Chancen zu nutzen. Eine Möglichkeits- und Bedarfsanalyse könnte die Entwicklung passfähiger Dienstleistungsangebote rund um die hybride Daten-Cloud unterstützen.

Verbleibende Fragen und nächste Schritte

Digital Farming fördert unter den jetzigen Rahmenbedingungen eher eine Fortsetzung und Optimierung bestehender landwirtschaftlicher Prozesse. Einen Agrarstrukturwandel wird die Digitalisierung der Landwirtschaft alleine, aus heutiger Sicht, weder auslösen, noch wesentlich beschleunigen. Es hat sich gezeigt, dass ohne politische Interventionen und damit einhergehende kontroverse Auseinandersetzungen keine Agrarwende eingeleitet werden kann.

Wissensdefizite bestehen, auch in Fachkreisen, vielfach hinsichtlich der Funktionsweise und der Auswirkungen von Künstlicher Intelligenz in der Landwirtschaft. In der Öffnung und Bewertung der existierenden Algorithmen wird ein wesentlicher Hebel für die Nachhaltigkeitspolitik gesehen, der auch entsprechende digitale Kompetenzen auf Seiten der politischen Akteure erfordert.

In der Diskussion der These zur Etablierung eines Think Tanks zur Exploration grundlegender Fragen des Verhältnisses von Digitalisierung und Umwelt in der Landwirtschaft (beziehungsweise zur Exploration außergewöhnlicher Möglichkeiten der Digitalisierung für den Agrarstrukturwandel) sind zentrale Interessenskonflikte zwischen verschiedenen Stakeholdergruppen deutlich geworden, die entsprechende Aushandlungsprozesse für die Etablierung eines solchen Think Tanks erfordern würden. Auch auf staatlicher Seite stellt sich die Frage nach ressortübergreifendem Austausch im Hinblick auf die Digitalisierung der Landwirtschaft im Zusammenhang mit ökologischen, ökonomischen und sozialen Fragen.

Die erarbeiteten Einschätzungen und Handlungsoptionen sollen dem BMU-Ressort Unterstützung liefern, im noch stark technikgetriebenen Digitalisierungsdiskurs eine umweltbezogene Position einnehmen zu können. Die hier vorgenommene Bündelung und Fokussierung des Diskurses ist ein wesentlicher Schritt von vielen auf dem Wege zur Entwicklung eines landwirtschaftsbezogenen Bausteins für die umweltpolitische Digitalagenda.

3.2 Anwendungen der Blockchain-Technologie

3.2.1 Definition und Abgrenzung des Anwendungsfeldes

Die Blockchain-Technologie kann als elektronisches Register betrachtet werden, in welchem beliebige Ereignisse, Transaktionen oder andere Informationen chronologisch gespeichert und mit allen teilnehmenden Parteien im Netzwerk geteilt werden (Schlatt et al. 2016). Ein solches Register ähnelt einer dezentralen Datenbank, in der Einträge in Blöcken („Block“) gruppiert werden. Diese Blöcke werden mit Hilfe von kryptographischen Signaturen miteinander zu einer Kette („Chain“) verknüpft (Walport 2015). Jeder neue Block wird über einen Konsensmechanismus durch die Netzwerkteilnehmer bestätigt und als neues Kettenglied an die Blockchain angefügt. Die gesamte Blockchain wird auf allen teilnehmenden Netzwerkknoten gespeichert, d. h. dieselbe Information wird redundant im Netzwerk abgelegt. Somit entsteht ein verteiltes System, in welchem die Teilnehmer den hinterlegten Einträgen vertrauen können und welches in der Schlussfolgerung ohne zentrale Verwaltungsinstanz auskommt (Crosby et al. 2016).

Die Kryptowährung Bitcoin ist das wohl bekannteste Beispiel für die Anwendung der Blockchain-Technologie. Dabei ist Bitcoin nicht mit der Blockchain-Technologie gleichzusetzen, sondern stellt lediglich einen Anwendungsfall der zugrundeliegenden Technologie dar. Im Falle der Bitcoin-Blockchain wird ein Konsensmechanismus namens Proof-of-Work eingesetzt, der eine hohe Rechenleistung erfordert, um ein digitales Währungssystem ohne klassischen Bankenintermediär zu schaffen (Schär und Berentsen 2017). Neben Bitcoin sind bereits zahlreiche Anwendungen auf Blockchain-Basis entstanden, die andere Konsensmechanismen einsetzen und mit geringerer Rechenleistung beziehungsweise mit geringerem Energieverbrauch auskommen. Die Fähigkeit, Ereignisse manipulations sicher in einem dezentralen Register abzubilden, lässt viel Spielraum für Anwendungsmöglichkeiten über Kryptowährungen hinaus. Mit sogenannten Smart Contracts können potenziell ganze Geschäftslogiken in einer Blockchain abgebildet und automatisiert ausgeführt werden (Schlatt et al. 2016; Schütte et al. 2017).

Ein vielversprechendes Anwendungsfeld der Blockchain-Technologie bietet zukünftig das Internet of Things (IoT, dt. Internet der Dinge). Das IoT beschreibt das Internet als Netzwerkinfrastruktur, an welches weltweit Maschinen und Geräte angebunden sind, die selbstständig miteinander kommunizieren (Kaufmann 2015). Nach Angaben von Statista (2018) werden für das Jahr 2020 rund 20,4 Milliarden vernetzte Geräte prognostiziert. Dazu gehören nicht nur private Konsumergeräte wie beispielsweise Wearables, sondern auch industrielle Anlagen (Statista 2018). Um die Kommunikation dieser Geräte sicher, effizient und ressourcen- und energieschonend zu gestalten, kann die Blockchain-Technologie als Kommunikationsprotokoll genutzt werden. Darüber hinaus bietet sie auch die Möglichkeit, Kleinsttransaktionen auch ohne Intermediär abzuwickeln. Sie gilt infolgedessen als Enabler für Interaktionen mit monetären Begleiterscheinungen über das Internet (Skwarek 2017).

Bedeutung des technischen Trends für die Umwelt

Die Blockchain-Technologie hat sowohl das Potenzial, bestehende Prozesse vollständig abzulösen, als auch in Form einer alternativen Technologie neben anderen Systemen zu existieren. In beiden Fällen ist zu erwarten, dass sie die jeweils betroffenen Sektoren nachhaltig revolutionieren könnte. Als Querschnittstechnologie mit vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten birgt die Blockchain-Technologie großes Potenzial, Geschäfts- und Produktionsprozesse zu verbessern und nachhaltiger zu gestalten. Unter der Bedingung, dass die Technologie selbst energieeffizient ausgestaltet wird, könnten die durch die Technologie selbst verursachten Energiekosten an anderen Stellen um ein Vielfaches eingespart werden.

Der Blockchain-Technologie werden große Potenziale in verschiedenen Zweigen von Gesellschaft und Industrie zugestanden (Schlatt et al. 2016). Sie könne als digitale Infrastruktur dienen, die organisationsübergreifende Prozesse vereinfacht, neutrale Plattformen ermöglicht und die Nachvollziehbarkeit

in Lieferketten ermöglicht (Schütte et al. 2017). Die Effekte für die Umwelt sind heute nicht genau quantifizierbar. Es besteht jedoch die Möglichkeit, dass positive Effekte durch die Unterstützung von ökologisch nachhaltigen Geschäfts- und Governancemodellen die Kosten bei Weitem übersteigen (Whelan und Fink 2016).

Mögliche Reboundeffekte sind aus heutiger Sicht schwer abzuschätzen. Wenn heute noch bestehende, technische Hürden überwunden werden können, kann die Blockchain-Technologie positive indirekte Effekte mit sich bringen. Sie kann z. B. durch die Befähigung von automatisierter Mobilität und intelligenten Verkehrssystemen dazu beitragen, das Verkehrsaufkommen übergreifend zu senken. In der Mobilitätsbranche könnten Effizienzgewinne in Preisreduktionen resultieren. Ein möglicher Mehrkonsum von Mobilitätsdienstleistungen kann in der Folge einen direkten Reboundeffekt darstellen (Horner et al. 2016). Vermutlich verwenden Konsumenten die Preis- und Zeitersparnis durch bessere Mobilitätsdienstleistungen jedoch individuell unterschiedlich, z. B. für den Konsum anderer Güter, was einem indirekten Rebound gleichkommt.

Kritik an der Technologie

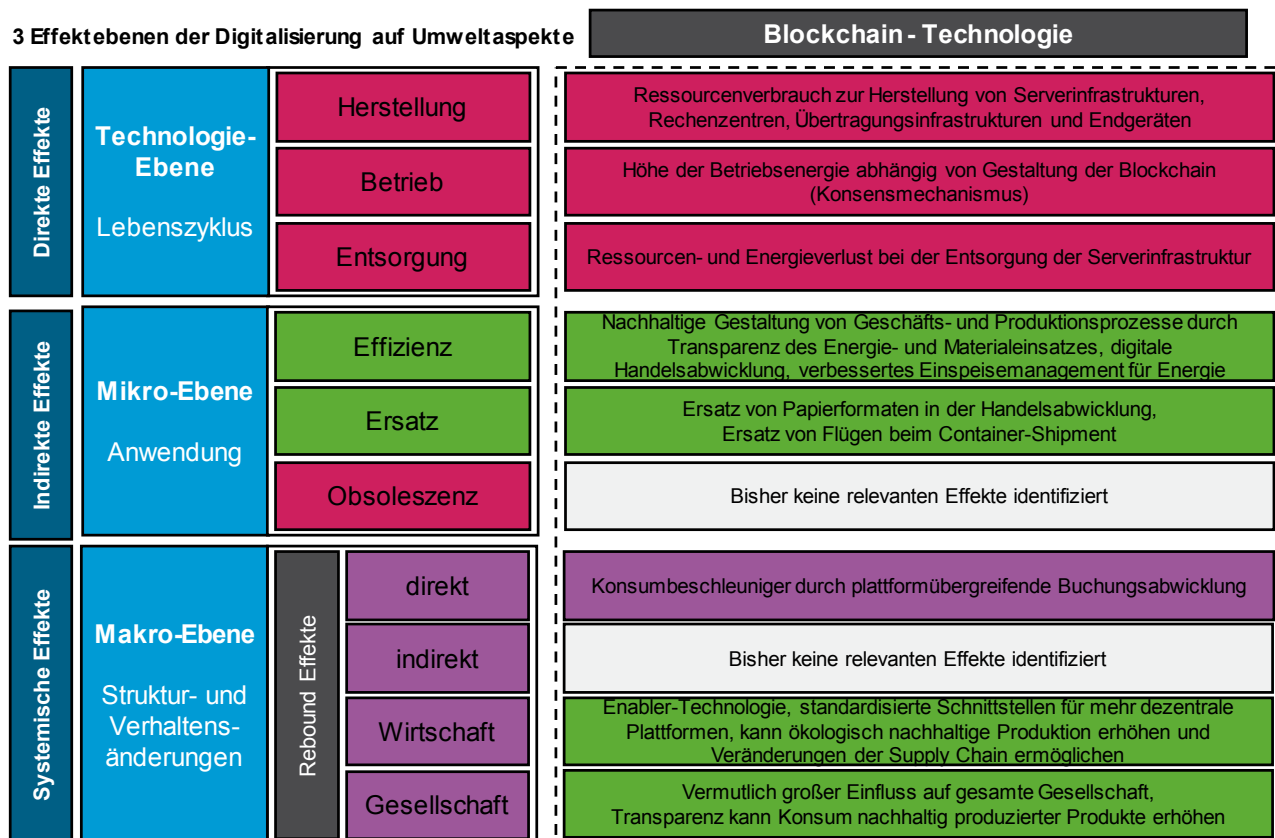
Die häufig anzutreffende Kritik am massiven Stromverbrauch des 2009 eingeführten Bitcoin muss deutlich von der eigentlichen Blockchain-Technologie abgegrenzt werden. Der hohe Energieverbrauch beim Bitcoin liegt in der Konzeption des Protokolls begründet, welches primär auf den eingangs erwähnten Proof-of-Work Konsensmechanismus setzt (O'Dwyer/Malone 2014). Der Bitcoin kann daher auch nicht als nachhaltiges Konzept betrachtet werden. Anders könnte es sich mit der Blockchain-Technologie an sich verhalten. Moderne Blockchain-Protokolle erlauben die Abbildung komplexer Geschäftslogiken, potenziell um ein Vielfaches ressourcenschonender als dies heute möglich ist.

Informationslage zu Effekten auf unterschiedlichen Wertschöpfungsstufen

Die Informationslage zu den Effekten auf unterschiedlichen Wertschöpfungsstufen stellt sich zusammenfassend wie folgt dar (siehe Abbildung 3). Auf systemischer Ebene sind die Auswirkungen aufgrund der vielseitigen Anwendbarkeit schwer abzuschätzen. Aus wirtschaftlicher Perspektive stellt die Blockchain-Technologie eine Enabler-Technologie dar, die ganze Wertschöpfungsprozesse optimieren und gesamtwirtschaftliche Auswirkungen haben kann. Beispielsweise können Smart Contracts als plattformübergreifender Standard zur Buchungsabwicklung eingesetzt werden und so u. a. die Realisierung geteilter Mobilitätskonzepte unterstützen. Weiter können durch Transparenz des Produktionsprozesses ein nachhaltiges Konsumverhalten und damit der Anteil nachhaltig produzierter Güter gefördert werden. Denkbar sind jedoch auch negative direkte Reboundeffekte, da durch eine effizientere Abwicklung des Handels und bei Buchungen sich auch der Konsum erhöhen kann.

Entsprechend ist die Gesamtwirkung durch die Blockchain-Technologie nicht zu prognostizieren. Werden weitere Fortschritte hinsichtlich der Senkung des Energieverbrauchs durch neue Konsensmechanismen erzielt, können Smart Contracts, als transparenter Standard für den Austausch im Internet of Things, Einzug in fast alle Bereiche erhalten.

Abbildung 3: Zusammenfassende Auswirkungen der Blockchain-Technologie auf Umweltaspekte



Quelle: Eigene Darstellung, Fraunhofer ISI

3.2.2 Thesen und Bewertung aus Stakeholdersicht

Die Alleinstellungsmerkmale, welche das Innovationspotenzial der Blockchain-Technologie ausmachen (Unabhängigkeit von zentralen Instanzen als Intermediäre, Nicht-Manipulierbarkeit, Sicherheit) gelten zunächst für alle Ausprägungen von sogenannten „Distributed Ledger Technologies“ (DLT), von welchen Blockchain-Technologien lediglich eine mögliche Ausprägung darstellen. Da sich in der öffentlichen Diskussion und medialen Berichterstattung aber der Begriff Blockchain stellvertretend für Technologien aus dem DLT-Bereich etabliert hat, wird der Begriff Blockchain verwendet, ohne dabei eine trennscharfe Abgrenzung zu anderen DLT vorzunehmen.

Die Blockchain-Technologie erzeugt für Transaktionen in sich konsistente digitale Einträge in chronologischer Reihenfolge, die zeitgleich und unveränderbar für alle Nutzer erscheinen. Anreize, neue Transaktionen hinzuzufügen, werden in Form von Vergütungen in digitaler Währung geschaffen. Die Blockchain-Technologie ermöglicht durch ihre dezentralen Authentifizierungs-, Dokumentations- und Abrechnungsmechanismen insbesondere dort Anwendungen, wo die Etablierung von zentralen Plattformen durch einzelne Anbieter nicht gelingt.

Im Mittelpunkt des Stakeholderdialogs standen drei Bereiche, in denen von verschiedenen Stakeholdergruppen erwartet wird, dass die Blockchain-Technologie bis 2030 wesentliche Veränderungen von Umwelteffekten auslösen kann.

- ▶ **Trend A: Technologische Weiterentwicklung der Blockchain-Technologie**
- ▶ **Trend B: Blockchain-Technologie für intermodale Mobilitätsservices und induktive Ladeschleifen im Personenverkehr**
- ▶ **Trend C: Blockchain-Technologie für Logistik und Supply Chain Management**

Zu diesen Trends wurden Thesen zur Verbreitung und zu Umwelteffekten zur Kommentierung und Diskussion in den Online-Dialog eingespeist, die im Folgenden verdichtet vorgestellt werden. Die Stakeholder konnten dabei ihre Zustimmung zu den Thesen in Form von 1 bis 5 Punkten signalisieren, wobei 1 keine Zustimmung und 5 volle Zustimmung bedeutete.

Thesen

Trend A: Technologische Weiterentwicklung der Blockchain-Technologie

Thesen zur technologischen Entwicklung:

- ▶ *These A1: Die Transaktionen der Blockchain-Technologie werden im Jahr 2030 um mehrere Größenordnungen schneller und effizienter sein als heute (u. a. Proof-of-Stake bzw. Proof-of-Authoring anstelle des Proof-of-Work Konsensmechanismus; Tangrum-Plattform zur Erhöhung der Transaktionsrate)*
Bewertung: 5/5 bei 7 Bewertungen
- ▶ *These A2: Die Ausgestaltung der Blockchain-Technologie lässt sich aufgrund der Dezentralität der Akteure mittelfristig nicht wirksam steuern und sie erfolgt weitgehend selbstreguliert, u. a. in Abhängigkeit von Energiepreisen und Anreizen, neue Transaktionen hinzuzufügen.*
Bewertung: 3/5 bei 7 Bewertungen

Thesen zu den Umwelteffekten:

- ▶ *These A3: Die Blockchain-Technologie wird gänzlich neue Anwendungen zum Umweltschutz ermöglichen, die mit heute gebräuchlichen herkömmlichen Systemen nicht umzusetzen wären.*
Bewertung: 4/5 bei 4 Bewertungen
- ▶ *These A4: Die Blockchain-Technologie birgt durch ihr disruptives Potenzial, ganze Branchen zu verändern (z. B. Finanzwesen, Prosuming, etc.), heute kaum erkennbare zukünftige Risiken für die Umwelt.*
Bewertung: 4/5 bei 7 Bewertungen
- ▶ *These A5: Blockchain-Mining wird im Jahr 2030 über 5 % des gesamten weltweiten Stromverbrauchs verursachen (heute ca. 0,33 %).*
Bewertung: 1/5 bei 8 Bewertungen

Trend B: Blockchain-Technologie für intermodale Mobilitätsservices und induktive Ladeschleifen im Personenverkehr:

These zur Anwendung:

- ▶ *These B1: Im Jahr 2030 sind intermodale Mobilitätsservices (vergleichbar zur heutigen Bahn-App) in Deutschland und Europa weit verbreitet und werden mit Hilfe von Smart Contracts weitestgehend ohne Intermediäre organisatorisch abgewickelt.*
Bewertung: 4/5 bei 5 Bewertungen
- ▶ *These B2: Im Jahr 2030 lässt sich das dezentrale Aufladen von Elektrofahrzeugen an induktiven Ladeschleifen an Ampeln mit Hilfe von Smart Contracts automatisch, schnell und finanziell sicher abwickeln.*
Bewertung: 4/5 bei 4 Bewertungen

These zu den Umwelteffekten:

- ▶ *These B3: Durch Smart Contracts unterstützte intermodale Mobilitätsservices tragen im Jahr 2030 signifikant dazu bei, sowohl die Auslastung als auch den Anteil von gemeinschaftlich*

genutzten Fahrzeugen (einschließlich ÖPNV) im Modal Split zu erhöhen.

Bewertung: 4/5 bei 4 Bewertungen

- ▶ *These B4: Das durch Smart Contracts unterstützte dezentrale Aufladen von Elektrofahrzeugen trägt zur Erhöhung der Auslastung und zur Verringerung von Leerfahrten von gemeinschaftlich genutzten Elektrofahrzeugen bei.*

Bewertung: 3/5 bei 5 Bewertungen

Trend C: Blockchain-Technologie für Logistik und Supply Chain Management

These zur Anwendung:

- ▶ *These C1: Blockchain-Technologie wird 2030 in globalen Supply Chains dezentral zu zeiteffizienteren, konsistenten und unveränderlichen Dokumentations- sowie Automatisierungszwecken verbreitet eingesetzt; die heute existierenden Warenwirtschaftssysteme bleiben jedoch als redundante Strukturen erhalten.*

Bewertung: 3/5 bei 4 Bewertungen

Thesen zu den Umwelteffekten:

- ▶ *These C2: Durch Blockchain-Technologie werden Supply Chains transparenter und ermöglichen es, aufgrund der authentifizierten Dokumentation und Verfügbarkeit der Transaktionen, die Nachverfolgbarkeit vom Endprodukt bis hin zu den Rohstoffen zu verbessern. Dies hat bis 2030 zur Eliminierung von umweltrelevanten Schwachstellen in den Supply Chains beigetragen (z. B. Retouren aufgrund fehlerhafter Teile, Hochfahren von Anlagen bei unbekanntem Lieferverzögerungen).*

Bewertung: 4/5 bei 5 Bewertungen

- ▶ *These C3: Beim grenzüberschreitenden Güterverkehr und Handel (See, Schiene, Luft) reduziert sich durch Anwendung der Blockchain-Technologie der Papieraufwand und der Flugverkehr für Handelsdokumente bis 2030 um jeweils die Hälfte.*

Bewertung: 3/5 bei 6 Bewertungen

Bewertung der Thesen aus Stakeholdersicht

Die wichtigsten Ergebnisse des explorierenden Onlinedialogs betreffen zwei Bereiche. Zum einen den generellen **Energiebedarf der Digitalisierung**, zum anderen neue Möglichkeiten für Umwelt und ökologische Nachhaltigkeit durch sogenannte **Smart Contracts**, die in der Blockchain hinterlegt sind.

Die Digitalisierung erzeugt per se zunächst **steigende Energiebedarfe**. DLT, wie z. B. Blockchain, als dezentrale Technologien benötigen dabei vom Grundsatz her zunächst mehr als andere rein zentrale Datenbanklösungen. Die zahlreichen Warnungen speziell vor dem Energiehunger der Bitcoin-Blockchain verweisen dabei auf das generelle Problem, dass alle neuen digitalen Technologien den Energiehunger zunächst vorantreiben. Eventuell könnte jedoch die Lösung für dieses Problem in der Blockchain-Technologie selbst, genauer gesagt in den sogenannten Smart Contracts, stecken.

Ein **Smart Contract** System enthält vordefinierte gemeinsame Regeln, welche in einem Multiparteiensystem mit einem unveränderlichen Register automatisch geprüft und ausgeführt werden. Diese internetbasierte Softwareanwendung automatisiert folglich ein ansonsten notwendiges komplexes und aufwändiges System verschränkter menschlicher Interaktionen. Der Vorteil von Smart Contracts innerhalb einer DLT ist, dass sowohl die Transaktionskosten marginal, gleichzeitig aber auch die Ergebnisse und Informationen unveränderbar sind. Es wird also möglich sein, auch ganz kleine Verträge, Festlegungen, Transaktionen, Abrechnungen von Cent-Beträgen etc. unter ökonomisch sinnvollen Gesichtspunkten durchzuführen. Beispiele können die Bewirtschaftung von Grund und Boden oder Infrastrukturen wie Wasser- und Stromleitungen als Gemeingut sein. Aber auch ganz neue Anwendungen sind

denkbar, welche den einzelnen Teilnehmern Nutzen, gleichzeitig aber auch weniger manuelle Administration oder neue Möglichkeiten zur Analyse eines Prozesses ermöglichen, um ihn dann ressourcenschonender aufsetzen zu können.

Ein **erstes Beispiel** hierfür ist die **dezentrale Energieerzeugung und Energieeinspeisung**. Derzeit haben Verbraucher keine Möglichkeit herauszufinden, ob sie tatsächlich erneuerbare Energien bekommen oder nicht. Wind-, Solar- und Biogasanlagen verteilen sich anders als Atom- und Kohlekraftwerke über unzählige Kleinstzeuger, bis hin zu einzelnen Hausdächern quer über die ganze Republik. Die Blockchain könnte dabei helfen, diese Vielzahl von Erzeugern mit einer Vielzahl von Abnehmern zusammenzubringen. Es ist dabei darauf zu achten, dass bei der Erzeugung, der Verteilung und der Nutzung von Energie respektvoll mit den natürlichen Ressourcen umgegangen wird. Zukünftig entscheidend ist zudem die Möglichkeit auf ein schwankendes Angebot an Energie einzugehen (z. B. Resistenz bei Dunkelflauten). Hier bietet die hochgradig dezentrale Bedarfsstruktur der DLT eine große Chance für bedarfsgerechte Energieerzeugung und Energieeinspeisung.

Ein **zweites Beispiel** sind intermodale Lösungen aus dem Bereich **Mobility as a Service (MaaS)**. Ziel ist dabei die Realisierung eines intermodalen digitalen ökologischen Tickets unter Einbezug städtischer Busunternehmen, regionaler Nahverkehrsunternehmen, Fernverkehrsunternehmen (DB), Taxispediteure, Fährdienste und Fluggesellschaften. Auf der Basis der Blockchain-Technologie könnte ein Multiparteiensystem von Mobilitätsdienstleistern ermöglicht werden, welches aus Kundensicht intermodale Mobilität von Endpunkt zu Endpunkt einer jeden Reise vereinfachen und nutzerfreundlich gestalten kann. Die Mobilitätsdaten könnten als Open Data gespeichert werden, erlauben eine transparente Leistungsabrechnung und können wiederum Grundlage neuer Geschäftsmodelle für Mobilitätsdienstleistungen sein. Das einheitliche intermodale Ticketsystem könnte zudem die ökologischen Kosten der Mobilität transparent machen und Anreize bieten, die aus ökologischen Gesichtspunkten optimierte Mobilitätsform zu wählen.

Ein **drittes Beispiel** bezieht sich auf die verbesserte **Dokumentation und Transparenz der Lieferkette**. Diese kann durch sogenannte digitale Zwillinge (umgesetzt durch eine Blockchain-Lösung) unterstützt werden. Derart ließe sich der ökologische Fußabdruck einer Ware transparent ableiten, und die Endkonsumenten erhielten vollumfängliche Informationen über die Ware, die sie als Grundlage ihrer Konsumententscheidung verwenden könnten. Durch gesetzliche Vorgaben könnte das Vorhalten und die Weitergabe derartiger Informationen über die Rohstoff-Gewinnung und sämtliche anschließende Veredelungsprozesse verpflichtend werden. Zudem können Blockchain-Lösungen zur Eliminierung von umweltrelevanten Schwachstellen in den heutigen Supply Chains beitragen. Unnötige Retouren aufgrund fehlerhafter Teile oder Hochfahren von Anlagen bei unbekanntem Lieferverzögerungen würden wegfallen. Umweltrelevante Schwachstellen können aber auch Ineffizienzen in der Lieferkette sein, die dazu führen, dass verderbliche Ware nicht in verkaufsfähigem Zustand beim Verbraucher ankommt und als Lebensmittelverschwendung einzustufen ist. Blockchain-basierte Anwendungen könnten hier ansetzen und sowohl die Ende-zu-Ende-Sichtbarkeit eines Transportprozesses ermöglichen, als auch bessere Dispositionsdaten für jeden einzelnen Teilnehmer liefern (normale Sichtbarkeit für Teilnehmer n-1 und n+1) als auch die notwendigen Qualitätskriterien abbilden.

3.2.3 Erarbeitete Handlungsoptionen

Aus den oben genannten Thesen wurden im Verlauf des offline durchgeführten Stakeholderdialogs folgende Handlungsoptionen erarbeitet, die dann wiederum in den nachgelagerten Onlinedialog eingespeist werden konnten. Die Stakeholder konnten auch hier ihre Zustimmung zu den Handlungsoptionen in Form von 1 bis 5 Punkten signalisieren, wobei 1 keine Zustimmung und 5 volle Zustimmung bedeutete.

Erarbeitete Handlungsoptionen

Übergreifende Empfehlungen

Handlungsoption D1: Pilotanwendungen ermöglichen und begleiten und Experimentierfelder fördern

- ▶ "Zur Erprobung von beispielhaften und referenzartigen Blockchain-Anwendungen sollten Pilotanwendungen in unterschiedlichsten Feldern (u. a. Mobilität und Logistik, aber auch weiteren) ermöglicht und wissenschaftlich begleitet werden. Dabei sollte stets eine begleitende Prüfung des Umweltnutzens und der Umweltbelastung erfolgen. Derartige Experimentierfelder ermöglichen es, Best-Practice-Ansätze aus Umweltperspektive zu erkennen und sollten daher gefördert werden."

Bewertung: 5/5 bei 2 Bewertungen

Trend A: Technologische Weiterentwicklung der Blockchain-Technologie

Handlungsoption A1: Aufklärung & Qualifikation

- ▶ "Hinsichtlich der Eigenschaften der Blockchain-Technologie besteht aktuell noch ein hoher Aufklärungs- und Qualifikationsbedarf, um politische und wirtschaftliche Entscheider, genauso wie Endanwender in die Lage zu versetzen, die Chancen und Risiken aber auch ökologischen Auswirkungen der Technologie adäquat beurteilen zu können. Es sollten daher entsprechende Maßnahmen entwickelt und gefördert werden. Gleichzeitig sollte Fachpersonal in den Umweltbehörden aufgebaut und qualifiziert werden, sodass frühzeitig eine fachlich fundierte Bewertung von technologischen Entwicklungen im Bereich Blockchain und verwandter Bereiche aus Sicht der ökologischen Nachhaltigkeit getroffen werden kann."

Bewertung: 5/5 bei 3 Bewertungen

Handlungsoption A2: Nutzen und Aufwand transparenter machen und kommunizieren

- ▶ "Die Blockchain-Technologie wird prinzipienbedingt häufig mit einer Vielzahl verteilter Systeme eingesetzt, was einen Überblick über den damit verbundenen Ressourcenaufwand erschwert und zu Rebound-Effekten bei der Umsetzung führen kann. Um den Einsatz der Blockchain-Technologie in einem Anwendungsbereich ökologisch beurteilen zu können, sollte eine transparente Betrachtung des zu erwartenden (ökologischen) Nutzens und des gesamten entstehenden Aufwands, auch hinsichtlich des Energie- und Ressourceneinsatzes, gefördert werden. Um die Endanwender hierfür zu sensibilisieren, sollte das Ergebnis dieser Betrachtungen transparent und verständlich kommuniziert werden."

Bewertung: 2/5 bei 3 Bewertungen

Handlungsoption A3: Anreiz- und Scoring-Systeme durchdenken

- ▶ "Blockchain-Technologien unterstützen durch die Ermöglichung einer sehr hohen Anzahl kleiner Transaktionen, in kurzer Zeit unterschiedliche Ansätze um ökologisches und soziales Verhalten der teilnehmenden Akteure (seien es natürliche oder juristische Personen) im Rahmen eines Scoring-Systems zu bewerten, zu honorieren aber auch zu sanktionieren. Einerseits können sie damit Anreize zu ökologisch wünschenswertem Handeln realisieren, andererseits bergen diese Scoring-Systeme große gesellschaftliche Risiken hinsichtlich des Überwachungs- und Steuerungspotenzials. Es sollte daher eine breite gesellschaftliche Debatte über das Thema, auch hinsichtlich ökologischer Chancen und Risiken angestoßen und befördert werden, um so rechtzeitig auf technologische Entwicklungen und die Einführung

von Scoring-Systemen durch Dritte reagieren zu können."
Bewertung: 3/5 bei 3 Bewertungen

Handlungsoption A4: Verwaltung: Vorbild und Innovation nach Innen

- ▶ "Die Blockchain-Technologie bietet vielfältige Chancen für einen ökonomisch und ökologisch sinnvollen Einsatz, zum Beispiel zur Automatisierung innerhalb der Verwaltung. Der Öffentliche Sektor sollte daher als Vorbild agieren und ökologisch nachhaltige Lösungen initiativ zum Einsatz bringen. Hiermit kann bei den handelnden Akteuren ein Lernprozess angestoßen werden, um die technologischen Potenziale von Blockchain-Anwendungen im Öffentlichen Sektor aber auch bei der Entwicklung neuer regulatorischer Maßnahmen aus der ökologischen Perspektive qualifiziert mitdenken zu können."
Bewertung: 5/5 bei 2 Bewertungen

Trend B: Blockchain-Technologie für intermodale Mobilitätsservices im Personenverkehr

Handlungsoption B1: Intermodales digitales ökologisches Ticket

- ▶ "Ziel ist die Realisierung eines intermodalen digitalen ökologischen Tickets. Auf der Basis der Blockchain-Technologie wird ein Multiparteiensystem von Mobilitätsdienstleistern ermöglicht, welches aus Kundensicht intermodale Mobilität von Endpunkt zu Endpunkt einer jeden Reise vereinfachen und nutzerfreundlich gestalten wird. Die Mobilitätsdaten werden als Open Data gepoolt, erlauben eine transparente Leistungsabrechnung und können wiederum Grundlage neuer Geschäftsmodelle für Mobilitätsdienstleistungen sein. Das einheitliche intermodale Ticketsystem soll zudem die ökologischen Kosten der Mobilität transparent machen und Anreize bieten, die aus ökologischen Gesichtspunkten optimierte Mobilitätsform zu wählen."
Bewertung: 5/5 bei 2 Bewertungen

Handlungsoption B2: Reallabore für intermodale Mobilität auf Blockchain-Basis fördern

- ▶ "Angesichts der Komplexität des Handlungsfeldes und der Geschwindigkeit der durch Digitalisierung ausgelösten immer neuen Innovationen im Mobilitätssektor soll ein agiles Vorgehen bei der Entwicklung von Handlungsoptionen gewählt werden. In Reallaboren – in der Stadt („Urban Growth Labs“) und in Landkreisen – sollen im kleinräumigen Maßstab auf ganzheitliche Weise günstige Voraussetzungen für die intermodale Mobilität auf Blockchain-Basis geschaffen werden. Auf diese Weise soll getestet werden, welche Nutzungsregeln und welche Technologien funktionieren. Ein wesentliches Merkmal ist die Kooperation verschiedener Akteure zur Bereitstellung des intermodalen Mobilitätssystems. Dieses Ko-Innovationssetting schließt neben öffentlichen Verkehrsbetrieben und Startups auch Behörden als aktive Mitglieder mit ein."
Bewertung: 5/5 bei 2 Bewertungen

Handlungsoption B3: Reform Personenbeförderungsgesetz

- ▶ "Das Personenbeförderungsgesetz wird bei der Umsetzung intermodaler Mobilität vielfach als Hindernis erlebt. Oft wird deshalb von der Experimentierklausel Gebrauch gemacht. Aus diesem Grund ist eine Reform des Gesetzes anzustreben. Dabei soll darauf geachtet werden, dass auf diese Weise nicht einseitig einzelne Mobilitätsdienstleister (z. B. „Uber“) bevorteilt werden und es der staatlichen Seite ermöglicht wird, Monopole zu verhindern und ein ausbalanciertes Mobilitätsangebot zu gewährleisten, welches eine Vielfalt von Mo-

bilitätsanbietern fördert und die unterschiedlichen Mobilitätsbedürfnisse aller Bevölkerungsgruppen berücksichtigt."

Bewertung: 5/5 bei 1 Bewertungen

Handlungsoption B4: Technikfolgenabschätzung mit Blick auf Daseinsvorsorge-Funktion der Mobilitätsangebote

- ▶ "Es soll im Rahmen von Studien zur Technikfolgenabschätzung untersucht werden, ob der Einsatz der Blockchain für intermodale Mobilität aus der Sicht unterschiedlicher Endnutzer tatsächlich zu den erhofften Vorteilen führt oder ob aus Inklusionsperspektive ein Risiko besteht, dass Teile der Bevölkerung in ihren Mobilitätsbedürfnissen eingeschränkt werden – zum Beispiel, wenn der ÖPNV aufgrund sinkender Rentabilität zurückgebaut werden sollte. Zu ergründen ist, ob ein intermodales Verkehrssystem den Anforderungen der Daseinsvorsorge gerecht wird. Auch soll kritisch beobachtet werden, ob das intermodale Mobilitätssystem auf Blockchain-Basis auch die Koexistenz von Mobilitätsformen begünstigt, die auf Engagement und ehrenamtlicher Mitarbeit (also auf nicht kommerziellen Angeboten wie Bürgerbusse, etc.) beruhen."

Bewertung: 2/5 bei 2 Bewertungen

Trend C: Blockchain-Technologie für Logistik und Supply Chain Management

Handlungsoption C1: Rechtliche und regulatorische Voraussetzungen

- ▶ "Die rechtlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen für Blockchain-Lösungen sollten, um insbesondere auch länderübergreifende Lieferketten abdecken zu können, in internationalen Vereinbarungen verbindlich geregelt werden. Für momentan ausschließlich in Papierform rechtlich gültige Dokumente sollten digitale Standards, wie digitale Urkunden und digitale Inhaberwertpapiere sowie digitale Versicherungen des Handelsgutes etabliert werden, was Papierdokumentation und -transport überflüssig machen würde."

Bewertung: 4/5 bei 2 Bewertungen

Handlungsoption C2: Sicherstellung der Datenqualität

- ▶ "Um eine hohe und fehlerfreie Qualität der in der Blockchain gespeicherten Daten zu erreichen, müsste mit entsprechenden Zertifizierungsvergaben oder Code of Conducts sichergestellt werden, dass möglichst nur korrekte Werte in die Blockchain geschrieben werden. Zudem müsste der Umgang mit offensichtlich fehlerhaften Informationen und deren Korrektur durch Anerkennung jeweils bereichsweit gültiger Regelungen klar geregelt und allgemeiner Konsens sein. Datenschutz und Datensicherheit müssen dabei jederzeit gewährt werden."

Bewertung: 5/5 bei 1 Bewertungen

Handlungsoption C3: Transparenz der Lieferkette

- ▶ "Die Transparenz der Lieferkette kann durch sogenannte digitale Zwillinge (beispielsweise umgesetzt durch eine Blockchain-Lösung) unterstützt werden. Derart ließe sich der ökologische Fußabdruck einer Ware transparent ableiten und die Endkonsumenten erhielten vollumfängliche Informationen über die Ware, die sie als Grundlage ihrer Konsumentenscheidung verwenden könnten. Durch gesetzliche Vorgaben könnte das Vorhalten und die Weitergabe derartiger Informationen über die Rohstoff-Gewinnung und sämtliche anschließende Veredelungsprozesse verpflichtend werden."

Bewertung: 3/5 bei 1 Bewertungen

Handlungsoption C4: Schaffung von Incentives durch Token-Design

- ▶ "Die lückenlose Dokumentation aller Supply Chain Schritte verspricht eine hohe Transparenz. Um die Bereitschaft aller Akteure zu erhöhen, diese Transparenz möglichst freiwillig herzustellen, müssten geeignete Incentives geschaffen werden. Durch ein entsprechendes Design der Token, als Anreizmechanismus für alle Stufen der Handelskette sich an der entsprechenden Blockchain-Lösung zu beteiligen, könnte dies wirksam unterstützt werden. Hierzu sollte auch das Verfahren zur Token-Zulassung vereinfacht werden. Die Beteiligung öffentlicher Akteure in einer solchen Blockchain verspricht zusätzlich, die Akzeptanz und das Vertrauen der anderen Teilnehmer zu erhöhen."

Bewertung: 4/5 bei 1 Bewertungen

3.2.4 Bewertung der Handlungsoptionen aus Stakeholdersicht

Im Rahmen des Face-to-Face-Workshops erfolgte eine Bewertung der Thesen und eine Weiterentwicklung zu Handlungsoptionen aus Sicht verschiedener Stakeholdergruppen. Unter anderem konnten die folgenden zwei konkreten praxistauglichen Handlungsempfehlungen für staatliche Stellen und Stakeholder zur umweltpolitischen Begleitung des Trendthemas abgeleitet werden.

Große Zustimmung von allen beteiligten Stakeholder-Gruppierungen erhielt die Empfehlung, **Blockchain-Pilotanwendungen zu ermöglichen und zu begleiten sowie Experimentierfelder zu fördern**. Zur Erprobung von beispielhaften und referenzartigen Blockchain-Anwendungen könnten Pilotanwendungen in unterschiedlichsten Feldern (u. a. in Mobilität und Logistik, aber auch in weiteren) regulatorisch ermöglicht und wissenschaftlich begleitet werden. Dabei sollte stets eine begleitende Prüfung des Umweltnutzens und der Umweltbelastung erfolgen. Derartige Experimentierfelder ermöglichen es, Best-Practice-Ansätze aus Umweltperspektive frühzeitig zu erkennen.

Ebenfalls große Zustimmung ergab sich für den Einsatz von ökologisch nachhaltigen Blockchain-Lösungen speziell in der Öffentlichen Verwaltung mit Vorbildfunktion für die Privatwirtschaft. Die Blockchain-Technologie bietet vielfältige Chancen für einen ökonomisch und ökologisch sinnvollen Einsatz, zum Beispiel zur Automatisierung innerhalb der Verwaltung und im Bereich eGovernment. Der Öffentliche Sektor könnte daher als Vorbild agieren und ökologisch nachhaltige Lösungen initiativ zum Einsatz bringen. Hiermit kann bei den handelnden Akteuren ein Lernprozess angestoßen werden, um die technologischen Potenziale von Blockchain-Anwendungen im Öffentlichen Sektor aber auch bei der Entwicklung neuer regulatorischer Maßnahmen aus der ökologischen Perspektive qualifiziert mitdenken zu können.

Bislang zeichnete sich die Digitalisierung der Verwaltung dadurch aus, vorhandene Prozesse entweder effizienter zu gestalten oder zu beschleunigen. Der Einsatz der Blockchain-Technologie birgt darüber hinaus das Potenzial, diese nicht nur zu vereinfachen, sondern auch die Transparenz in den Verwaltungsprozessen zu erhöhen. Blockchain-Technologie könnte nicht nur dabei helfen, die Prozesse zwischen unterschiedlichen Verwaltungsorganen zu optimieren, sondern auch bei der verwaltungsinternen Zusammenarbeit, zum Beispiel zur Prüfung, ob bestimmte Daten oder Dokumente in einer Verwaltung vorliegen. Auch ist es möglich, mithilfe der Blockchain-Technologie die Integrität von Daten und Dokumenten abzusichern oder die Identitäten von Personen und Gegenständen zu verifizieren. Konkrete Einsatzfelder in der öffentlichen Verwaltung finden sich z. B. bei Grundbüchern, Handelsregistern, Bundesanzeiger, Datenaustausch im Steuerwesen, etc.

Neben den genannten Vorteilen und Chancen, welche die Technologie bietet, soll jedoch abschließend auch darauf verwiesen werden, dass viele der geschilderten Beispiele nicht nur ausschließlich durch Blockchain-Lösungen umzusetzen sind, sondern durchaus auch durch andere, auf dezentralen Datenbanken aufbauende, konkurrierende Verfahren auszugestalten wären.

Verbleibende Fragen und nächste Schritte

Grundsätzlich wird von den beteiligten Stakeholdern ein Bedarf an mehr **Qualifizierung und Kompetenzaufbau auf Seiten des Gesetzgebers und der Regulierung** bzw. der zuständigen Behörden gesehen. Dieser Bedarf ist jedoch nicht spezifisch auf Blockchain gemünzt, sondern besteht insgesamt für die Digitalisierung. Die Digitalisierung verändert die gesamten Zusammenhänge im alltäglichen Leben. Sie wird in einer hohen Geschwindigkeit voranschreiten und in Ihren Auswirkungen immer komplexer werden. Der Gesetzgeber wird nur dann eine Chance haben, seinen Aufgaben nachzukommen, wenn Fachpersonal in den Behörden aufgebaut wird, das in der Lage ist, diese Entwicklung zu verstehen und auch mitzugestalten.

Folglich besteht Aufklärungs- und Qualifikationsbedarf, um politische und wirtschaftliche Entscheider, genauso wie Endanwender in die Lage zu versetzen, die Chancen und Risiken aber auch ökologischen Auswirkungen der Technologie adäquat beurteilen zu können. Es sollten daher entsprechende Maßnahmen entwickelt und gefördert werden. Gleichzeitig sollte Fachpersonal in den Umweltbehörden aufgebaut und qualifiziert werden, sodass frühzeitig eine fachlich fundierte Bewertung von technologischen Entwicklungen, wie z. B. im Bereich Blockchain, aber auch verwandter Bereiche, aus Sicht der ökologischen Nachhaltigkeit getroffen werden kann.

Da die Auswirkungen der Digitalisierung zudem ressortübergreifend sind, könnte darüber nachgedacht werden, ein behördenübergreifendes Kompetenzzentrum aufzubauen, das den einzelnen Ministerien, Behörden und Ämtern einerseits für Fragen zur Verfügung steht, andererseits aber auch genügend Kapazitäten hat, die eigenen Kompetenzen zu erweitern und Digitalisierungslösungen zu entwickeln.

In Bezug auf die **nächsten Schritte** ist zunächst und zeitnah beabsichtigt, dass ein Teil der erarbeiteten und hier zusammengefassten Inhalte als relevante Gestaltungsimpulse von Seiten des BMU kurzfristig in die Blockchain-Strategie der Bundesregierung einfließen. Das BMU will zudem zukünftig in der Lage sein, große gesellschaftliche Diskurse, z. B. im Rahmen des digitalen Wandels, selbst anzustoßen und zu begleiten.

3.3 Digitalisierung der Mobilität, insbesondere automatisiertes Fahren

3.3.1 Definition und Abgrenzung des Anwendungsfeldes

Automatisiertes Fahren bezeichnet das selbstständige und zielgerichtete Bewegen eines motorisierten Fahrzeugs im realen Verkehr. Der Fahrer wird somit in einem automatisierten Fahrzeug zum Passagier. Neben dem Begriff des automatisierten Fahrens gibt es noch zahlreiche andere Begriffe, wie z. B. autonomes, pilotiertes oder fahrerloses Fahren. Automatisiertes Fahren ist bereits heute mit entsprechend ausgestatteten Fahrzeugen im realen Verkehr bei bestimmten Rahmenbedingungen und Verkehrssituationen möglich. Generell wird das automatisierte Fahren in fünf Stufen der Entwicklung und der Ausprägung eingeteilt. Die Definition orientiert sich dabei am Klassifikationssystem der SAE (2016). Dabei werden die folgenden Stufen unterschieden:

- ▶ Stufe 1 - Assistiertes Fahren: Hierbei wird in gewissen Grenzen entweder die Längs- oder die Querverführung des Fahrzeugs übernommen, wobei der Fahrer das System dauerhaft überwachen und zum Eingreifen bereit sein muss.
- ▶ Stufe 2 - Teilautomatisiertes Fahren: Hier übernimmt das System sowohl die Längs- als auch die Querverführung des Fahrzeugs für einen gewissen Zeitraum oder in spezifischen Situationen. Der Fahrer muss das System jedoch nach wie vor dauerhaft überwachen und jederzeit zur vollständigen Übernahme in der Lage sein.
- ▶ Stufe 3 - Hochautomatisiertes Fahren: Diese Stufe unterscheidet sich zu vorangegangenen Automatisierungsstufen in der zeitlich begrenzten Übernahme der Längs- und Querverführung durch das Fahrzeug, so dass der Fahrer technisch das System nicht mehr dauerhaft überwachen muss. Er muss dabei jedoch immer in der Lage sein, nach Aufforderung mit einer angemessenen Zeitreserve wieder vollständig und sicher zu übernehmen.
- ▶ Stufe 4 - Vollautomatisiertes Fahren: Hierbei übernimmt das System die Fahrzeugführung in einem definierten Anwendungsfall vollständig und bewältigt alle damit verbundenen Situationen automatisch.
- ▶ Stufe 5 - Fahrerloses (autonomes) Fahren: Das System übernimmt die Fahrzeugführung vollständig vom Start bis zum Ziel auf allen Straßentypen, in allen Geschwindigkeitsbereichen und bei allen Umfeld- und Wetterbedingungen.

Das automatisierte Fahren wird oft in Kombination mit vernetztem Fahren gedacht. Die Vernetzung der Fahrzeuge ermöglicht dabei das Nutzen weiterer Optimierungspotenziale, da der Austausch der Informationen die eingeschränkte Reichweite der Sensorik der Fahrzeuge komplementieren kann.

Automatisiertes und vernetztes Fahren beschränkt sich im Übrigen nicht nur auf den Straßenverkehr. In der Luftfahrt ist man technologisch bereits bei Automatisierungsstufe 4 angekommen. Im schienengebundenen Verkehr gibt es bereits seit längerem fahrerlose Schienenverkehre. Vor dem Hintergrund der Bedeutung des Straßenverkehrs hinsichtlich des Energieverbrauchs, der Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen fokussiert sich die vorliegende Einschätzung auf den Straßenverkehr.

Bedeutung des Anwendungsfeldes für die Umwelt

Die Einführung des automatisierten Fahrens birgt Chancen und Risiken für die Umwelt. Feldtests haben bereits gezeigt, dass automatisierte und vernetzte Fahrzeuge effizienter als menschlich gesteuerte Fahrzeuge sind (Fahrenkrog et al. 2017). In Abhängigkeit der Automatisierungsstufe und des Fahrzeuges kann dieser Effizienzvorteil bis zu 17 % betragen. Weitere Vorteile der Technologie bestehen in der Optimierung der Kapazität der Straßeninfrastruktur. Studien (vgl. Hartmann et al. 2017) haben nachgewiesen, dass diese bei vollständiger Automatisierung zu einer Verbesserung um 40 % führen kann. Bei Mischverkehr zwischen automatisierten und menschlich gesteuerten Fahrzeugen ist jedoch mit leichten Einbußen der Kapazität zu rechnen. Automatisierte und optimierte Parkplatzsuche kann

ebenfalls die Fahrleistungen in Städten reduzieren, sofern die Parkplätze nicht alle dezentral mit großen Entfernungen platziert werden.

Die mit der Automatisierung einhergehende Änderung der Vollkosten einzelner Verkehrsmittel, steigende Verkehrssicherheit, Komfort und Effizienz wirkt sich jedoch besonders auf den motorisierten Straßenverkehr aus und kann über Reboundeffekte (Dimitropoulos et al. 2016) zu einer Steigerung der Fahrleistungen des MIV und des Straßengüterverkehrs führen (Fraedrich et al. 2017). Unter Vollkosten versteht man die Verrechnung sämtlicher Kosten von der Anschaffung bis zur Verschrottung über die komplette Lebensdauer. Diese Effekte lassen sich nur abfedern, indem der öffentliche Verkehr auf der Schiene und der Schienengüterverkehr ebenfalls durch eine zunehmende Automatisierung und Digitalisierung flexibler wird. Die Einführung neuer, automatisierter und geteilter Mobilitätskonzepte (sogenannte Mobility as a Service) bietet ebenfalls eine große Chance, die negativen Wirkungen einer sich zu Gunsten der Straße ändernden Modal-Wahl zu kompensieren. Steigende Besetzungsgrade und sinkende Fahrleistungen können sowohl den Energieverbrauch im Verkehr als auch die THG-Emissionen deutlich positiv beeinflussen. Die Gesamteffekte, zusammengesetzt aus einer steigenden Effizienz der einzelnen Fahrzeuge sowie des gesamten Verkehrssystems, der Verbesserung der Besetzungsgrade und der Ladefaktoren durch steigende Anteile geteilter Fahrzeugkonzepte, sind aus Sicht der direkten Emissionen des Verkehrssektors deutlich positiv. Aus Perspektive der gesamten Lebenszyklusemissionen gibt es derzeit noch kaum Fachliteratur.

Größte ökologischen Chancen und Herausforderungen

Die größten Chancen des automatisierten und vernetzten Fahrens bestehen in der Optimierung des gesamten Verkehrssystems. In Kombination mit einem automatisierten öffentlichen Verkehr als Rückgrat des Verkehrssystems und in Kombination mit einem Wandel hin zur Nutzung geteilter, automatisierter Mobilitätskonzepte bietet die Kombination der beiden Technologien ein großes Potenzial zur deutlichen Reduktion der Fahrleistungen und damit der Luftschadstoffemissionen des Verkehrs.

Ein wesentlicher Treiber der Einführung des automatisierten und vernetzten Fahrens ist das Streben der Kostenoptimierung im kommerziellen Bereich des Verkehrs. Durch die Möglichkeit der Einsparung der Fahrerkosten lassen sich im Straßengüterverkehr laut BGL (2017) bis zu 33 % der Vollkosten einsparen. Dazu kommen die Einsparungen durch die verbesserte Effizienz der Fahrzeuge. Dem gegenüber stehen vermutlich geringere zusätzliche Kosten der Technologie über die Lebensdauer des Fahrzeugs. Fahrermangel sorgt zusätzlich dafür, dass die Nachfrage nach der Technologie steigt. Der internationale Wettbewerb zwischen den klassischen Fahrzeugherstellern und -Zulieferern und darüber hinaus mit neuen Akteuren am Markt wie Google, Apple, Uber oder Didi sorgt dafür, dass der Entwicklungsdruck auf die Akteure steigt, was die Geschwindigkeit der Einführung erhöht. Die Nutzung neuer, automatisierter und geteilter Mobilitätskonzepte wie dem automatisierten Ridesharing (oder auch "Robotaxi") ist laut Analysen voraussichtlich deutlich günstiger als die bisheriger Mobilitätskonzepte. Die Automatisierung der Fahrzeuge erlaubt auch eine optimierte Auslastung der geteilten Fahrzeuge. Dadurch amortisieren sich die Investitionen der Anbieter schneller. Eine verstärkte Nutzung dieser geteilten Konzepte, einhergehend mit einer sinkenden privaten Motorisierung, würde sich ebenfalls positiv auf die Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen auswirken.

Die größte ökologische Herausforderung besteht in der Förderung eines Wandels hin zu geteilter Mobilität (Fagnant/Kockelmann 2015). Bleibt die Nutzung von Car- und Ridesharing auf einem Level wie heute, wird automatisiertes und vernetztes Fahren durch Verbesserung des Komforts für die Fahrer, durch sinkende Vollkosten und die Möglichkeit der Ausübung fahrfremder Tätigkeiten bereits ab Automatisierungsstufe 3 zu einer Steigerung der Fahrleistungen auf der Straße führen. Selbst bei steigenden Anteilen von alternativen Antrieben im Straßenverkehr kann der daraus resultierende Rückgang des Anteils des öffentlichen Verkehrs die Effizienzpotenziale der Technologie zumindest teilweise auffressen. Einige Studien (Fraedrich et al. 2017) gehen dabei davon aus, dass ohne deutlich zunehmende

Elektrifizierung der Antriebe und ohne eine stärkere Nutzung von geteilten Mobilitätskonzepten diese Effekte zu einer leichten Steigerung der Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen im Verkehr führen. Andere Studien (Krail et al. 2018) schätzen den Vorteil durch verbesserte Effizienz der Fahrzeuge größer ein, als den Nachteil durch höhere Fahrleistungen auf der Straße.

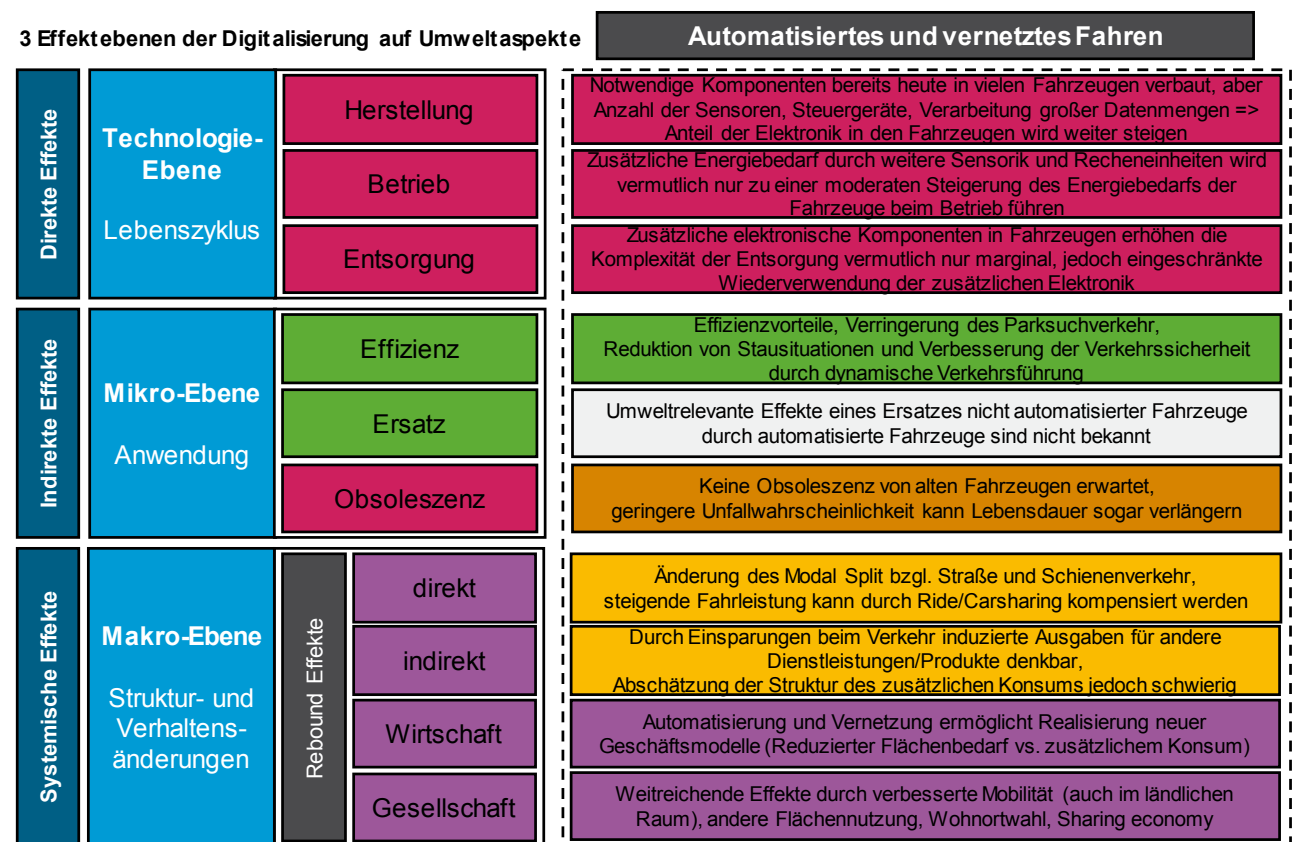
Technische Trends im Anwendungsfeld

Zur Realisierung von Stufe 5 des automatisierten Fahrens könnten Fortschritte der Artificial Intelligence beitragen. Zusammen mit Virtual Reality könnte so z. B. die Entwicklung solcher Systeme durch virtualisierte Feldtests beschleunigt werden. Weitere Möglichkeiten ergeben sich, sobald künstliche Intelligenzen in der Lage sind, eigenständig Bild- oder Textmaterial auszuwerten und daraus eine Aktion abzuleiten. Es ist allerdings zu bezweifeln, dass das in den nächsten fünf Jahren möglich sein wird. Das Internet of Things zusammen mit Cloud Computing und Big Data sind Grundvoraussetzung für vernetzte Fahrzeuge und Infrastruktursysteme sowie neuer, geteilter und automatisierter Mobilitätskonzepte (Mobility-as-a-Service bzw. MaaS). Augmented Reality findet in der letzten Stufe des automatisierten Fahrens keine Anwendung, da es nur unterstützend als visuelles Fahrassistenzsystem beim manuellen Fahren eingesetzt werden kann.

Informationslage zu Effekten auf unterschiedlichen Wertschöpfungsstufen

Die Informationslage zu den Effekten auf unterschiedlichen Wertschöpfungsstufen stellt sich zusammenfassend wie folgt dar (siehe Abbildung 4).

Abbildung 4: Zusammenfassende Auswirkungen der Digitalisierung in der Mobilität, insbesondere automatisiertes Fahren, auf Umweltaspekte



Quelle: Eigene Darstellung, Fraunhofer ISI

Die direkten Effekte durch den Einsatz von IKT als Grundlage für das automatisierte und vernetzte Fahren zeigen das gewohnte Bild. Hervorzuheben ist der nur marginal höhere Betriebsaufwand durch zusätzliche Elektronik an Bord. Die Wiederverwertung der Sensorik, Aktorik und Hardware ist allerdings stark eingeschränkt. Dem gegenüber steht ein Effizienzgewinn durch automatisierte Fahrzeuge von 17 % gegenüber dem herkömmlichen Fahren (Kraill et al. 2018). Weitere Effizienzgewinne können durch die Vernetzung der einzelnen Fahrzeuge untereinander und der Verkehrsinfrastruktur erreicht werden. Negative Obsoleszenzeffekte sind unwahrscheinlich. Im Gegenteil, eine geringere Unfallquote kann die Lebensdauer von Fahrzeugen sogar verlängern (Fahrenkrog 2017). Allerdings ist das volle Potenzial nur bei einer vollständigen Umsetzung in allen Fahrzeugen zu erreichen.

Auf systemischer Ebene ergeben sich in erster Linie negative direkte Reboundeffekte, die durch die Kostenreduktion besonders im Straßenverkehr verursacht werden. Die höheren Einsparungen im Straßenverkehr im Vergleich zum Schienengüterverkehr würde zu einer Verschiebung des Modalsplits zu Lasten des Schienenverkehrs und damit zu Lasten der Umwelt führen. Aus Nutzersicht könnten die Einsparungen von Zeit und Kosten Mehrkonsum von anderen Produkten oder Dienstleistung zur Folge haben. Die Struktur des zusätzlichen Konsums ist jedoch schwer abzuschätzen und damit die Umweltwirkung nicht ableitbar.

Auch auf wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Ebene können sich weitreichende Effekte in beide Richtungen ergeben. Mit der steigenden Vernetzung sind neue geteilte Mobility-as-a-Service (MaaS) Konzepte mit Car-/Bike-/Ridesharing in Verbindung mit dem ÖNV denkbar, die zunehmend den motorisierten Individualverkehr (MIV) ersetzen können. Den dadurch induzierten reduzierten Flächenbedarf durch weniger Autos und damit weniger notwendige Parkplätze steht zusätzlicher Konsum durch reduzierte Fahrkosten gegenüber. Zusammen mit einem deutlich höheren Komfort kann so auch die Wohnortwahl beeinflusst werden. Es werden größere Entfernungen in Kauf genommen, wodurch das Verkehrsaufkommen wieder steigt, der ländliche Raum jedoch wieder an Attraktivität gewinnt. Eine genauere Wirkungsabschätzung der systemischen Effekte auf die Umwelt ist somit schwer ableitbar. Die möglichen Effekte geben jedoch Aufschluss über Ansatzpunkte für rahmenpolitische Maßnahmen, um Verbesserungen zu erzielen.

3.3.2 Thesen und Bewertung aus Stakeholdersicht

Im Kontext der Digitalisierung der Mobilität wurden zwei unterschiedliche Anwendungsfelder untersucht:

- ▶ **Anwendungsfeld A: Vom assistierten zum fahrerlosen und vernetzten Fahren im motorisierten Individualverkehr mit intelligenten Infrastrukturen und Verkehrssystemen**
- ▶ **Anwendungsfeld B: Stärkung der Öffentlichen Verkehre durch bessere Intermodalität der Verkehrsträger und innovative Geschäftsmodelle wie "Mobility as a Service"**

Innerhalb des ersten Anwendungsfeldes erfolgte zudem eine Unterteilung in zwei verschiedene Szenarien, die folgendermaßen ausgestaltet waren:

Szenario 1 "Welt des Fahrzeugbesitzes": Das Szenario „Welt des Fahrzeugbesitzes“ geht von spürbaren Verhaltensänderungen der Verkehrsteilnehmer aus. Die Attraktivität von Fahrzeugen nimmt hierbei mit zunehmender Automatisierung der Fahrzeuge zu. Automatisierung und Vernetzung der Fahrzeuge machen das Reisen effizienter. Die Möglichkeit, während des Fahrens anderen Tätigkeiten wie Lesen, Kommunizieren, etc. nachzugehen, führt dazu, dass eine wachsende Anzahl an Wegen mit dem MIV zurückgelegt wird. Die zunehmend komfortable Ausstattung der Fahrzeuge mit Bildschirmen, Soundsystem, Liegefläche und Verbindung zum Internet ist ein massiver Treiber der wachsenden

Nachfrage. Fahrerloses Fahren wird jedoch aufgrund der damit verbundenen höheren Kosten für einen Großteil der privaten Pkw-Käufer auch im Jahr 2050 unerschwinglich bleiben und die Verbreitung dadurch auf kommerzielle Flotten und Fahrzeuge oberhalb der Kompaktklasse beschränkt sein.

Szenario 2 "Welt der Mobilitätsdienstleistungen": Das Szenario "Welt der Mobilitätsdienstleistungen" geht von deutlichen Verhaltensänderungen der Verkehrsteilnehmer aus. Die gemeinsame Nutzung von Fahrzeugen gewinnt zunehmend an Bedeutung. Neue Mobilitätsangebote werden sowohl über private Plattformen als auch über öffentliche Mobilitätsdienstleister betrieben. Dadurch kommt es zu einer deutlichen Reduktion des individuellen Fahrzeugbesitzes. Automatisierte und geteilte Fahrzeuge dominieren daher die Straße im Jahr 2050, machen die private Motorisierung zunehmend überflüssig und verdrängen sogar den Öffentlichen Verkehr zunehmend.

Folgende Thesen standen im vorgelagerten Onlinedialog zur Abstimmung bereit. Die Stakeholder konnten dabei ihre Zustimmung zu den Thesen in Form von 1 bis 5 Punkten signalisieren, wobei 1 keine Zustimmung und 5 volle Zustimmung bedeutete.

Thesen

Anwendungsfeld A, Szenario 1: Die Welt des Fahrzeugbesitzes – vom assistierten zum fahrerlosen und vernetzten Fahren im motorisierten Individualverkehr mit intelligenten Infrastrukturen und Verkehrssystemen

These A1: Umwelteffekt: Es gibt nur geringfügige Effizienzvorteile

- ▶ *"Die Effizienzvorteile durch fahrerloses und vernetztes Fahren (wie z. B. Eco Driving; optimierte Routen; verbesserter Verkehrsfluss) übersteigen im Mischverkehr die negativen Wirkungen des steigenden Anteils des MIV am Modal Split nur geringfügig."*

Bewertung: 1/5 Punkte bei 5 Bewertungen

These A2: Regulierung: Regulierungsbehörden sollten subventionieren

- ▶ *"Da die umweltrelevanten Vorteile fahrerlosen und vernetztes Fahrens nicht im Mischverkehr, sondern erst bei einer über 90 %-Verbreitung zum Tragen kommen, sollten die Regulierungsbehörden die Verbreitung von fahrerlosen und vernetzten Fahrzeugen durch geeignete Subventionen fördern."*

Bewertung: 3/5 Punkte bei 6 Bewertungen

These A3: Regulierung: Verbreitung von Ausstattung sollte durch Regulierung der Neuzulassungen vorangetrieben werden

- ▶ *"Da die umweltrelevanten Vorteile fahrerlosen und vernetztes Fahrens nicht im Mischverkehr, sondern erst bei einer über 90 %-Verbreitung zum Tragen kommen, sollten die Regulierungsbehörden die Verbreitung von fahrerlosen und vernetzten Fahrzeugen fördern, indem sie bei Neuzulassungen die entsprechenden Fahrzeugausstattungen vorschreiben."*

Bewertung: 1/5 Punkte bei 3 Bewertungen

Anwendungsfeld A - Szenario 2: Die Welt der Mobilitätsdienstleistungen - vom assistierten zum fahrerlosen und vernetzten Fahren im motorisierten Individualverkehr mit intelligenten Infrastrukturen und Verkehrssystemen

These A4: Umwelteffekt: Durch reduzierte Gesamtfahrleistung werden Emissionen um bis zu einem Drittel gesenkt

- ▶ *"Die durch automatisierte und geteilte Mobilitätskonzepte ermöglichte abnehmende Gesamtfahrleistung führt zu einer Emissionsreduktion um bis zu einem Drittel."*
Bewertung: 1/5 Punkte bei 4 Bewertungen

These A5: Regulierung: Parkraum und öffentliche Verkehre müssen neu gedacht werden

- ▶ *"Um der Verdrängung des ÖPNV durch automatisierte und geteilte Fahrzeuge entgegenzuwirken, müssen innerstädtische Parkrauminfrastrukturen sowie Öffentliche Verkehre unter Einbezug der letzten Meile vollkommen neugedacht und -gestaltet werden."*
Bewertung: 3/5 Punkte bei 5 Bewertungen

Offene Frage: Regulierung: Herausforderungen

- ▶ "Was sind die, aus Ihrer Sicht, größten Herausforderungen, die auf die Regulierungsbehörden diesbezüglich zukommen?"

Anwendungsfeld B: Stärkung der Öffentlichen Verkehre durch bessere Intermodalität der Verkehrsträger und innovative Geschäftsmodelle wie "Mobility as a Service"

These B1: Umwelteffekt: Durch Bedienung der letzten Meile wird MIV reduziert

- ▶ *"Dem öffentlichen Verkehr gelingt es, den Kunden zukünftig auf Basis der Digitalisierung und Automatisierung ein attraktives Angebot in Kombination mit neuen automatisierten und geteilten Mobilitätsformen, auch für die letzte Meile bereitzustellen. Der MIV wird dadurch deutlich reduziert und die Emissionen sinken deutlich."*
Bewertung: 4/5 Punkte bei 4 Bewertungen

These B2: Regulierung: Transparenz sollte eingefordert werden

- ▶ *"100 %ige Transparenz über a) Fahrkosten, b) Real-Time-Fahrtzeiten und c) verbundene Emissionen bilden die Grundlage für die große Nachfrage und den damit verbundenen Erfolg intermodaler Verkehre im Jahr 2050 und sollte daher von den Regulierungsbehörden von allen Anbietern eingefordert werden."*
Bewertung: 2/5 Punkte bei 4 Bewertungen

Bewertung der Thesen aus Stakeholdersicht

Die wichtigsten Ergebnisse des explorierenden Onlinedialogs betreffen mehrere, untereinander verknüpfte Bereiche. Die **theoretischen Effizienzvorteile durch fahrerloses und vernetztes Fahren** (wie z. B. Eco Driving, optimierte Routen, verbesserter Verkehrsfluss) ergeben sich voraussichtlich zum größten Teil nur dann, wenn der zukünftige **Besetzungsgrad der Fahrzeuge** das Niveau des heutigen Besetzungsgrads privater Pkw deutlich übersteigt. Daher ist eine Unterstützung dieser Entwicklung durch staatliche Behörden - sowohl durch Förderung als auch durch geeignete rechtlich-regulatorische Rahmenbedingungen - sinnvoll, aber in erster Line eben nur dann, wenn es um die Verbreitung **geteilter automatisierter und vernetzter Verkehrsmittel** geht.

Wenn sich folglich zukünftig **flächendeckende Mobilitätskonzepte durchsetzen, die zu einem höheren Besetzungsgrad pro Fahrzeug** führen, können automatisierte und geteilte Mobilitätskonzepte zu einer **abnehmenden Gesamtfahrleistung** und zu einer **Emissionsreduktion** beitragen. Ein solche Entwicklung erscheint jedoch ohne staatliche Steuerung nicht sehr wahrscheinlich. Eine Entwicklung in diese Richtung müsste daher aktiv gefördert werden. Gebraucht wird ein **Gesamtansatz** aus mehreren aufeinander abgestimmten Verkehrsmitteln:

- ▶ Fernbahn,

- ▶ ÖPNV-Massenverkehrslinien als Rückgrat des urbanen Verkehrs,
- ▶ On-Demand-Kleinbus-Systeme integriert mit dem ÖPNV,
- ▶ CarSharing für verbleibende, individuelle Wegezwecke (z. B. Transporte, Ausflüge, usw.), z. B. durch automatisierte CarSharing-Fahrzeuge, sofern diese dazu geeignet sind, Wegezwecke abzudecken, die der ÖPNV nicht genügend bedient.

Ein solcher Gesamtansatz könnte durchaus mit der Attraktivität automatisierter Pkw in Privatbesitz konkurrieren und sollte nach Möglichkeit aufgebaut sein, bevor automatisierte Pkw für private Haushalte im Massenmarkt etabliert sind.

Der heutige Zustand betreffend **Parkrauminfrastrukturen und Parkraummanagement** (speziell in Städten) stellt zudem eine ungerechte Verteilung des öffentlichen Raums und eine versteckte Subventionierung des privaten Pkw-Besitzes da. Es bedarf des oben angesprochenen Gesamtansatzes, welcher sich stärker am gesamten Mobilitätsbedarf der Bürger orientiert. Eine innovative Regulation müsste sich dann aus dieser Gesamtbetrachtung ergeben und das Ziel verfolgen, **speziell geteilte Verkehrsmittel gegenüber dem Pkw in Privatbesitz zu fördern**.

Ein weiterer Baustein, um den MIV zu reduzieren und Emissionen einzusparen, ist die Frage, wie speziell **öffentliche Verkehre gezielt gestärkt werden können**, um ihren Kunden zukünftig auf Basis von Digitalisierung und Automatisierung ein attraktiveres Angebot in Kombination mit neuen automatisierten und geteilten Mobilitätsformen, bereitstellen zu können. **Transparenz über die Fahrtkosten, Informationen zu Real-Time-Fahrtzeiten und damit verbundene Emissionen** bilden vermutlich die Grundlage für eine große Nachfrage und den damit verbundenen Erfolg intermodaler öffentlicher Verkehre. Grundsätzlich sollte dabei eine staatliche Regulierung sicherstellen, dass alle Mobilitäts-Auskunftssysteme die Bürger wahrheitsgemäß und unabhängig von einzelnen Geschäftsinteressen über die oben aufgeführten Punkte informieren. Eine konkrete Zusammenführung von Mobilitätsdaten wäre im Rahmen einer staatlich regulierten Datenhaltung denkbar, für welche jedoch unbedingt umfangreiche Vorkehrungen zum Schutz der Geschäftsgeheimnisse der Datengeber getroffen werden müssten.

3.3.3 Erarbeitete Handlungsoptionen

Aus den oben genannten Thesen wurden im Verlauf des offline durchgeführten Stakeholderdialogs folgende Handlungsoptionen erarbeitet, die dann wiederum in den nachgelagerten Onlinedialog eingespeist werden konnten. Die Stakeholder konnten auch hier ihre Zustimmung zu den Handlungsoptionen in Form von 1 bis 5 Punkten signalisieren, wobei 1 keine Zustimmung und 5 volle Zustimmung bedeutete.

Erarbeitete Handlungsoptionen

Anwendungsfeld A, Szenario 1: Die Welt des Fahrzeugbesitzes – vom assistierten zum fahrerlosen und vernetzten Fahren im motorisierten Individualverkehr mit intelligenten Infrastrukturen und Verkehrssystemen

Handlungsoption A1: Forschung und Entwicklung vorantreiben

- ▶ „Um die positiven ökologischen Effekte des fahrerlosen und vernetzten Fahrens realisieren zu können, ist die Verfügbarkeit von Level 5-Technologien Voraussetzung, welche heute noch nicht die nötige Reife aufweisen. Darüber hinaus sind im Kontext des fahrerlosen und vernetzten Fahrens auch unterschiedliche ethische Fragestellungen zu untersuchen. Nicht zuletzt benötigt es weitere Forschung, um die Veränderbarkeit des individuellen Mobilitätsverhaltens besser zu verstehen. Insofern sollten Forschungs- und Entwicklungsan-

strennungen in den genannten unterschiedlichen Disziplinen unterstützt und vorangetrieben werden.“

Bewertung: 5/5 bei 2 Bewertungen

Handlungsoption A2: Besetzungsgrade der Fahrzeuge erhöhen

- ▶ „In der Welt des Fahrzeugbesitzes können die ökologischen Chancen durch eine Verringerung des Gesamtverkehrsaufkommens nur realisiert werden, wenn die Besetzungsgrade der Fahrzeuge erhöht werden. Durch einen höheren Anteil geteilter Fahrten kann dann eine Emissions-Reduktion und eine Effizienzsteigerung urbaner Verkehre erzielt werden. Es sollten insofern mit hoher Priorität Maßnahmen und Anreizsysteme entwickelt werden, um den Besetzungsgrad der Fahrzeuge auch vor dem Hintergrund dieses Szenarios zu erhöhen. Insbesondere sind die Rahmenbedingungen für das Sharing von Fahrzeugen in Privatbesitz zu verbessern.“

Bewertung: 4/5 bei 2 Bewertungen

Handlungsoption A3: Steuerungspotenziale von Maut und Steuern nutzen

- ▶ „Der Besetzungsgrad autonomer Fahrzeuge könnte durch vernetzte digitale Technologien erfasst und beispielsweise bei der Besteuerung oder in Mautsystemen berücksichtigt werden. Finanzielle Anreize durch Besteuerung und Mautsysteme könnten dann eine wirkungsvolle Steuerungsfunktion im Sinne einer ökologischen Veränderung des individuellen Mobilitätsverhaltens entfalten. Es sollte insofern diskutiert werden, wie durch eine Besteuerung von z. B. Besitz, Energie oder Leerfahrten eine Lenkungswirkung erzielt werden kann. Insbesondere die Entwicklung intelligenter Roadpricing-Systeme (Maut) mit Berücksichtigung der Fahrleistung und dem Besetzungsgrad der Fahrzeuge kann dabei helfen, Leerfahrten zu vermeiden und den Besetzungsgrad der Fahrzeuge zu erhöhen.“

Bewertung: 5/5 bei 2 Bewertungen

Handlungsoption A4: Soziale und gesellschaftliche Aspekte mitdenken

- ▶ „Bei der Entwicklung zum fahrerlosen und vernetzten Fahren spielen neben den technischen Faktoren auch eine Vielzahl sozialer und gesellschaftlicher Aspekte eine wichtige Rolle, wenn es z. B. darum geht, den Wandel unter ökologischen Gesichtspunkten zu begleiten. Dabei stellt die Akzeptanz von Änderungsprozessen eine große Herausforderung dar. Insofern sollte bereits heute das „Sharing-Verhalten“ in der Gesellschaft unterstützt und somit etabliert werden. Gleichzeitig gilt es, um einen Wandel des MIV zu unterstützen, dabei den Fuß- und Radverkehr sowie den ÖV stets mit zu bedenken.“

Bewertung: 5/5 bei 2 Bewertungen

Handlungsoption A5: Entwicklungen im Bereich der öffentlichen und privaten Infrastruktur begleiten und steuern

- ▶ „Um eine Emissionsreduktion zu erzielen, spielt insbesondere auch die Kombination von automatisierten Fahren mit E-Mobilität eine wichtige Rolle. Durch einen Ausbau der hierfür notwendigen Ladeinfrastrukturen sowohl im öffentlichen Raum, als auch im Rahmen privater Liegenschaften sowie eine Standardisierung der Ladeinfrastruktur kann hier ein Beitrag geleistet werden. Gleichzeitig können ökologische Aspekte im Rahmen der Stadtplanung durch ein intelligentes Parkraummanagement aufgegriffen werden, welches die frei werdenden Flächen der Öffentlichkeit zur anderweitigen Nutzung zurückgibt und festlegt, wie Städte zukünftig aussehen sollen bzw. wie die Lebensqualität gesteigert werden

kann.“

Bewertung: 5/5 Sterne bei 2 Bewertungen

Anwendungsfeld A - Szenario 2: Die Welt der Mobilitätsdienstleistungen - vom assistierten zum fahrerlosen und vernetzten Fahren im motorisierten Individualverkehr mit intelligenten Infrastrukturen und Verkehrssystemen

Handlungsoption A6: Entwicklung einer übergeordneten Mobilitätsvision

- ▶ „Eine separate Regulierung einzelner Teilaspekte der Mobilität (wie z. B. für das automatisierte und geteilte Fahren) ist nicht zielführend; vielmehr bedarf es zunächst einer Betrachtung der Gesamteffekte des kompletten Mobilitätssystems. Folglich sollte in einem übergeordneten Schritt zunächst eine Visionsentwicklung für das gesamte Mobilitätssystem entstehen, bevor dann, unter Wahrung der Konsistenz, einzelne Aspekte ausformuliert werden können. Bei der Entwicklung der Mobilitätsvision sollten sowohl Unterschiede zwischen urbanen und ländlichen Räumen, als auch eine ausgeprägte Werteorientierung (z. B. Nachhaltigkeit, Daseinsfürsorge) Berücksichtigung finden.“

Bewertung: 4/5 bei 2 Bewertungen

Handlungsoption A7: Wissensaufbau für eine handlungsfähige Kommune

- ▶ „Die für die Umsetzung nachhaltiger Mobilitätsangebote immanently wichtigen Kommunen müssen in ihrer Handlungsfähigkeit ertüchtigt werden. Ein Wissensaufbau zu Mobility as a Service (MaaS)-Konzepten innerhalb der Regulierungsbehörden könnte durch einen Mix aus entsprechenden Personalaufbau, des fallweisen Einbezugs fachkundiger, externer Berater und durch das Lernen von bereits erfolgreich im Ausland umgesetzten Konzepten, erfolgen. Ziel sind dabei sogenannte smarte Kommunen, die auf Augenhöhe mit den Anbietern automatisierter und geteilter Mobilitätsdienstleistungen kommunizieren und entscheiden können.“

Bewertung: 5/5 bei 2 Bewertungen

Handlungsoption A8: Erweiterung der Experimentierklausel im PBefG um Nachhaltigkeitsaspekte und Entfristungsmöglichkeit

- ▶ „Die existierende Experimentierklausel im Personenbeförderungsgesetz (PBefG) ist ein wichtiges Instrument, um neuartige MaaS-Konzepte zum automatisierten und geteilten Fahren als Reallabore, u. a. auf Quartiersebene, zu testen. Die Experimentierklausel sollte um weitere Beurteilungskriterien, wie z. B. ökologische und soziale Nachhaltigkeitsaspekte, erweitert werden, um neue Mobilitätskonzepte ganzheitlicher beurteilen zu können. Zudem sollte eine Möglichkeit vorgesehen werden, dass sich Konzepte, die sich unter diesen Beurteilungskriterien bewähren, in eine dauerhafte Lösung überführt werden können (Entfristung).“

Bewertung: 4/5 bei 1 Bewertungen

Handlungsoption A9: Sicherstellung der Plattformunabhängigkeit und des Zugangs

- ▶ „Eine zentrale und unabhängige Plattform als vermittelnde Instanz für MaaS-Lösungen wird benötigt, um sicherzustellen, dass den Nutzern jederzeit zuverlässige Informationen über alternative Mobilitätsformen angezeigt werden. Dies müsste bei nicht öffentlichen, sprich privaten Betreibern von Plattformen, durch entsprechende Regulierungsvorgaben hinsichtlich Datentransparenz, Datenkontrolle und Datenzugriff sowie bezüglich offener Schnittstellen, vorgeschrieben und kontrolliert werden.“

Bewertung: 4/5 bei 2 Bewertungen

Handlungsoption A10: Soziale Auswirkungen von fahrerlosen Mobilitätsdienstleistungen bedenken

- ▶ „Allgemeinverbindliche Tarifverträge für alle (Teil-)Beschäftigten im Bereich der MaaS-Konzepte sollten diskutiert sowie insbesondere Lösungen entwickelt werden, um den sozialen Auswirkungen von fahrerlosen Mobilitätsdienstleistungen gerecht zu werden. Für die durch automatisierte und geteilte Mobilitätskonzepte in größerem Maßstab überflüssig werdenden menschlichen Chauffeure könnten neue und attraktive Beschäftigungsmodelle, auch im Bereich der Mobilitätsdienstleistungen, entwickelt werden.“
Bewertung: 3/5 bei 2 Bewertungen

Anwendungsfeld B: Stärkung der Öffentlichen Verkehre durch bessere Intermodalität der Verkehrsträger und innovative Geschäftsmodelle wie "Mobility as a Service"

Handlungsoption B1: ÖPNV neu definieren und einen fairen Wettbewerb ermöglichen

- ▶ „Einerseits muss verhindert werden, dass der klassische ÖPNV durch neue Mobilitätsanbieter verdrängt wird. Benötigt wird ein fairer Wettbewerb, der das Mobilitätsangebot insgesamt verbessert und in dem sich die einzelnen Angebote ergänzen. Neue Mobilitätsanbieter sollen sich daher, wie der klassische ÖPNV, an Standards halten (z. B. Löhne/Tarifverträge, Umweltstandards, Mitnahme- und Bedienpflichten, Tarifkorridore für die Beförderung und Bereitstellung von Daten für zentrale Mobilitätsplattform). Andererseits sollen neue Mobilitätsanbieter dann Teil eines neu und umfassender definierten ÖPNV werden und bei der Vergabe von Konzessionen (z. B. Flächen oder Uhrzeiten, die sie bedienen können), bei öffentlichen Finanzierungsmöglichkeiten und in der Planung (z. B. bei der Erschließung eines neuen Stadtteils) mitberücksichtigt werden.“
Bewertung: 5/5 bei 2 Bewertungen

Handlungsoption B2: Umweltfreundliche Mobilität ist das oberste Ziel

- ▶ „Der klassische ÖPNV kann nicht alles. Er ist für Massenstrrecken geeignet, aber insbesondere bei der sogenannten First und Last Mile dem MIV unterlegen. Wenn umweltfreundliche Mobilität das oberste Ziel ist und der MIV daher reduziert werden soll, dann müssen neue Mobilitätsangebote entsprechenden Entwicklungsraum erhalten und sollten nicht durch Maßnahmen, die ausschließlich dem Schutz des klassischen ÖPNV dienen, eingeschränkt werden.“
Bewertung: 5/5 bei 2 Bewertungen

Handlungsoption B3: Öffentliche Hand als Plattformbetreiber für intermodale Mobilität

- ▶ „Es sollte in der Verantwortung von Städten und Kommunen liegen, eine unabhängige digitale Plattform zu betreiben, die Daten für intermodale Mobilität sammelt und bereitstellt. Damit könnte eine Monopolstellung starker privater Mobilitätsdienstleister verhindert werden. Die öffentliche Hand sorgt für Transparenz (welche Daten werden durch wen genutzt), Datenschutz und dafür, dass umweltrelevante Informationen (z. B. CO₂-Ausstoß, ökologischer Fußabdruck, Besetzungsgrad) beim Routing und bei der Preisgestaltung berücksichtigt werden.“
Bewertung: 4/5 bei 2 Bewertungen

Handlungsoption B4: Mehr Wettbewerb bei digitalen Plattformen für intermodale Mobilität

- ▶ „Private (und öffentliche) Akteure sollen beim Betrieb digitaler Plattformen für intermodale Mobilität miteinander im Wettbewerb stehen. Nur so kann sichergestellt werden, dass

intermodale Mobilität so effektiv wie möglich unterstützt wird. Eine Monopolstellung einzelner Mobilitätsdienstleister ist nicht zu befürchten, weil Neutralität bzw. Anbieterunabhängigkeit aus Sicht der Mobilitätskunden ein wichtiges Nutzerkriterium sein wird.“

Bewertung: 3/5 bei 1 Bewertungen

Handlungsoption B5: Nischen schaffen zum Experimentieren

- „Die Verknüpfung des ÖPNV mit neuen innovativen Mobilitätsangeboten soll in Experimentierfeldern erprobt werden. Auf diese Weise entstehen Beispiele zur anschaulichen Demonstration der Vision digital unterstützter Intermodalität. Einerseits werden auf diese Weise Sorgen abgebaut, die neuen Mobilitätsangebote würden den klassischen ÖPNV kanibalisieren. Andererseits erhalten neue Mobilitätsangebote so eine Gelegenheit, ihre Attraktivität unter Beweis zu stellen. Statt mit Restriktionen den MIV zurückzudrängen, werden positive Alternativen aufgezeigt, die zum Umsteigen motivieren.“

Bewertung: 5/5 Sterne bei 2 Bewertungen

3.3.4 Bewertungen der Handlungsoptionen aus Stakeholdersicht

Im Rahmen des Face-to-Face-Workshops erfolgte eine Bewertung der Thesen und eine Weiterentwicklung zu Handlungsoptionen aus Sicht verschiedener Stakeholdergruppen. Unter anderem konnten zu den folgenden Aspekten konkrete praxistaugliche Handlungsempfehlungen für staatliche Stellen und Stakeholder zur umweltpolitischen Begleitung des Trendthemas abgeleitet werden.

In einer Welt des Fahrzeugbesitzes können die ökologischen Chancen durch eine Verringerung des Gesamtverkehrsaufkommens nur dann realisiert werden, wenn **die Besetzungsgrade der Fahrzeuge erhöht werden**. Durch einen höheren Anteil geteilter Fahrten kann dann eine Emissions-Reduktion und eine Effizienzsteigerung urbaner Verkehre erzielt werden. Es sollten insofern mit hoher Priorität **Maßnahmen und Anreizsysteme entwickelt werden, um den Besetzungsgrad der Fahrzeuge** zu erhöhen. Der exakte Besetzungsgrad eines autonomen Fahrzeuges könnte z. B. durch vernetzte digitale Technologien erfasst und beispielsweise bei der Besteuerung oder in Mautsystemen berücksichtigt werden. Finanzielle Anreize durch Besteuerung und Mautsysteme könnten dann eine wirkungsvolle Steuerungsfunktion im Sinne einer ökologischen Veränderung des individuellen Mobilitätsverhaltens entfalten. Es sollte insofern diskutiert werden, wie durch eine Besteuerung von z. B. Besitz, Energie oder Leerfahrten eine Lenkungswirkung erzielt werden kann. Insbesondere die Entwicklung intelligenter Roadpricing-Systeme (Maut) mit Berücksichtigung der Fahrleistung und dem Besetzungsgrad der Fahrzeuge sollte dabei helfen, Leerfahrten zu vermeiden und den Besetzungsgrad der Fahrzeuge zu erhöhen.

Neben den genannten Handlungsoptionen im Bereich PKW spielt insbesondere auch die **Stärkung der Öffentlichen Verkehre** eine große Rolle. Einerseits muss hier verhindert werden, dass der klassische ÖPNV durch neue Mobilitätsanbieter verdrängt wird. Benötigt wird vielmehr ein fairer Wettbewerb, der das Mobilitätsangebot insgesamt verbessert und in dem sich die einzelnen Angebote ergänzen. Neue Mobilitätsanbieter sollten sich daher, wie der klassische ÖPNV, an Standards halten (z. B. Löhne/Tarifverträge, Umweltstandards, Mitnahme- und Bedienpflichten, Tarifkorridore für die Beförderung und Bereitstellung von Daten für zentrale Mobilitätsplattform). Andererseits sollen neue Mobilitätsanbieter dann auch Teil eines neu und umfassender definierten ÖPNV werden und bei der Vergabe von Konzessionen (z. B. Flächen oder Uhrzeiten, die sie bedienen können), bei öffentlichen Finanzierungsmöglichkeiten und in der Planung (z. B. bei der Erschließung eines neuen Stadtteils) mitberücksichtigt werden.

Wenn es das Hauptziel sein soll, eine möglichst **umweltfreundliche Mobilität** zu ermöglichen, muss aber auch ehrlich bilanziert werden, dass der klassische ÖPNV nicht alles kann. Er ist für Massenstre-

cken geeignet, aber insbesondere bei First und Last Mile dem MIV unterlegen. Wenn umweltfreundliche Mobilität das oberste Ziel ist und der MIV daher reduziert werden soll, dann müssen **neue Mobilitätsangebote entsprechenden Entwicklungsraum erhalten** und sollten nicht durch Maßnahmen, die ausschließlich dem Schutz des klassischen ÖPNV dienen, eingeschränkt werden.

Die Verknüpfung des ÖPNV mit neuen innovativen Mobilitätsangeboten sollte folglich in **Experimentierfeldern** erprobt werden. Auf diese Weise entstehen Beispiele zur anschaulichen **Demonstration der Vision digital unterstützter Intermodalität**. Einerseits werden auf diese Weise Sorgen abgebaut, die neuen Mobilitätsangebote würden den klassischen ÖPNV kannibalisieren. Andererseits erhalten neue Mobilitätsangebote so eine Gelegenheit, ihre Attraktivität unter Beweis zu stellen. Die existierende Experimentierklausel im Personenbeförderungsgesetz (PBefG Artikel 2 Absatz 7), die zur praktischen Erprobung neuer Verkehrsarten oder Verkehrsmittel für die Dauer von höchstens vier Jahren befristete Ausnahmen zulässt, ist dabei ein wichtiges Instrument, um neuartige MaaS-Konzepte zum automatisierten und geteilten Fahren als Reallabore, u. a. auf Quartiersebene zu testen. Die Experimentierklausel sollte um weitere Beurteilungskriterien, wie z. B. ökologische und soziale Nachhaltigkeitsaspekte, erweitert werden, um neue Mobilitätskonzepte ganzheitlicher beurteilen zu können. Zudem sollte eine Möglichkeit vorgesehen werden, dass sich Konzepte, die sich unter diesen Beurteilungskriterien bewähren, in eine dauerhafte Lösung überführt werden können.

Verbleibende Fragen und nächste Schritte

Die Digitalisierung der Mobilität bietet mehrere mögliche Hebel für eine umweltfreundliche Verkehrswende im Bereich des **motorisierten Individualverkehrs**. Die Digitalisierung von Informationsflüssen und die massenhafte Verbreitung von leistungsfähigen mobilen Endgeräten ermöglichen die Anwendung von Konzepten wie Car- und Bikesharing, Ridesharing und Rideselling. Auf dem Weg zum automatisierten und vernetzten Fahren ist bereits heute die Stufe des hochautomatisierten Fahrens erreicht, welches unter geeigneten Rahmenbedingungen zukünftig eine Reihe von Vorteilen verspricht. Die zukünftig noch weiter zunehmende Automatisierung wird voraussichtlich die Technologie sein, welche auf geteilten PKW-Flotten basierte Geschäftsmodelle ermöglicht und effizient macht.

Aber auch für die wichtigen **Massenverkehrsträger**, wie Bahn und ÖPNV bieten die neuen Technologien Chancen. Eine bessere Organisation komplexer Mobilitätsketten mit stärkerer Flexibilisierung und Optimierung ermöglicht einen kundenfreundlicheren Service verbunden mit einfacheren Abrechnungsmöglichkeiten. Dies könnte im Idealfall bedeuten, dass ein digitales Ticket für die gesamte Strecke, und zwar verkehrsträgerübergreifend sowie Verkehrsverbund- und grenzüberschreitend, ausreicht. Entscheidend ist folglich, wie **die technologischen Lösungen ausgestaltet** und insbesondere welche **rechtlichen und finanziellen Rahmenbedingungen** bestehen oder gesetzt werden.

3.4 Rohstoffbedarfe und Ressourceneffizienz der Digitalisierung

3.4.1 Definition und Abgrenzung des Anwendungsfeldes

Der Workshop „Digitalisierung - Rohstoffe und Ressourceneffizienz“ sollte die beiden Seiten der einen Medaille - "Rohstoffbedarfe der Digitalisierung" auf der einen sowie "Ressourceneffizienzpotenziale durch Digitalisierung" auf der anderen - betrachten.

Die Rohstoffbedarfe der Digitalisierung beziehen sich dabei auf die tatsächlich für die Digitalisierung relevanten Rohstoffe, als auch auf den Einsatz digitaler Hilfsmittel bei der Rohstoffgewinnung sowie die zunehmende Digitalisierung der Rohstoff-Wertschöpfungskette. Die Unterstützung dieser Wertschöpfungskette erfolgt dann im Rahmen einer Ressourcen-Governance durch digitale Hilfsmittel. Zudem stellt sich die Frage, inwieweit Umweltkriterien den Rohstoffabbau in globalen Lieferketten beeinflussen können.

Der zweite Teil dreht sich um den Beitrag der Digitalisierung zur Ressourceneffizienz in möglichen Anwendungen, verbunden mit der Frage, in welchen konkreten Bereichen digitale Lösungen zur Ressourceneffizienz beitragen können.

Zu beiden Themen wurden unter Einbezug betroffener Referate im BMU sowie untergeordneter Behörden und andere Ressorts, Aspekte der Zusammenarbeit und anstehender Strategieprozesse diskutiert, unter der Leitfrage, wie eine Einbringung umweltrelevanter Aspekte in neue Strategieprozesse frühzeitig sichergestellt werden kann.

3.4.2 Thesen und Bewertung aus Stakeholdersicht

Der Workshop bestand aus mehreren aufeinander aufbauenden Impulsvorträgen und anschließenden Diskussionen, Kurzstatements der Teilnehmenden sowie interaktiven Gruppenarbeiten und einer abschließenden Sammlung der Schlussfolgerungen. Auf eine Thesenerstellung im Vorfeld und den Einbezug aller Stakeholdergruppierungen wurde hier verzichtet; daher existieren keine Thesen, die hier vorgestellt werden könnten.

3.4.3 Erarbeitete Handlungsoptionen

Als Quintessenz der zusammengefassten Ergebnisse des Workshops lassen sich folgende komprimierte Schlussfolgerungen hinsichtlich Rohstoffbedarfe und Ressourceneffizienz der Digitalisierung ziehen:

Rohstoffbedarfe

In Bezug auf die Primärrohstoffbedarfe der Digitalisierung zeigt sich, dass eine große Zahl der für die Digitalisierung relevanten Rohstoffe nicht einzeln gefördert werden, sondern nur Beiprodukte anderer Rohstoffförderung sind und zum jetzigen Zeitpunkt auch nicht die Endlichkeit dieser benötigten Ressourcen als kritische oder limitierende Faktoren gesehen werden. Vielmehr erscheinen aus Umweltsichtspunkten folgende Punkte bei der Rohstoffgewinnung von besonderer Wichtigkeit und sollten eine stärkere Beachtung erfahren:

- ▶ Umweltbelastung durch Rückstände der Gewinnungsverfahren,
- ▶ Umweltzerstörung durch Folgen des Bergbaus und des einhergehenden Flächenverbrauchs,
- ▶ Gefahr der großflächigen Umweltverschmutzung durch Unfälle.

Neben diesen umweltbezogenen Folgen, sollten zudem auch

- ▶ die ökonomischen und insbesondere sozialen Randbedingungen im Bergbau der jeweiligen Gewinnungsregionen in den Fokus rücken.

Diese Standortabhängigkeit der Rohstoffvorkommen hat globale Lieferketten zur Folge, in deren Rahmen dann

- ▶ Logistik und Transportwege der Rohstoffe betrachtet werden müssen.

Hierbei kann die Digitalisierung wiederum zu einer besseren Rückverfolgbarkeit der Wertschöpfungskette und damit zu steigender Transparenz bei der Rohstoffbereitstellung führen.

- ▶ In Bezug auf den Beitrag von Recycling zur Rohstoffversorgung zeigt sich, dass ein vollständiger Verzicht auf die Gewinnung von Primärrohstoffen nicht umsetzbar ist, die Verwendung von Sekundärrohstoffen jedoch eine relevante Verminderung des Bedarfs ermöglicht.

Das Ausschöpfen des Potenzials von Sekundärrohstoffen ist jedoch schwierig, aufgrund des Trends der Miniaturisierung vieler Geräte (nur sehr kleine Mengen pro Produkt). Dies erschwert generell die Wirtschaftlichkeit der Rohstoffrückgewinnung. Zudem existiert ein Trend zur "Hortung" von Altgeräten bei den Endnutzern bzw. nur ein Teil der Elektroaltgeräte wird in die dafür vorgesehenen Recyclingpfade gegeben.

Folgende Ansatzpunkte werden gesehen:

- ▶ Anreize schaffen bzw. erhöhen, um der Hortung entgegen zu wirken, z. B. durch Förderung der Sammlung von Gebrauchsgüterprodukten und innovativen Recyclingwegen,
- ▶ Einsparmaßnahmen und längere Nutzung müssen sich für den Verbraucher stärker lohnen,
- ▶ Förderung der Nutzung von innovativen Geschäftsmodellen (z. B. Leasing statt Kauf) bei digitalen Endgeräten,
- ▶ Bessere Aufklärungsarbeit durch entsprechende Kampagnen, in denen die Verwertungswege mit den einhergehenden Effekten besser präsentiert werden,
- ▶ Quote für einen vorgeschriebenen Einsatz von Recyclingmaterialien und Sekundärrohstoffe bei neuen Geräten erwägen,
- ▶ Anforderungen an die spätere Recycling-Fähigkeit der Geräte verschärfen.

Ressourceneffizienz

In Bezug auf Ressourceneffizienz durch Digitalisierung ist festzustellen, dass Digitalisierung eher als indirekter Treiber angesehen werden kann, da die meisten Unternehmen ihre Ressourcenverbräuche nicht genau erfassen bzw. dass Ressourceneffizienz nur in seltenen Fällen die Hauptmotivation der Unternehmen bei der Implementierung von Digitalisierungsstrategien ist, sondern meist nur einen willkommenen Nebeneffekt darstellt.

Ressourceneinsparungen werden dabei vor allem im Kontext der Fertigung und Industrie 4.0 erwartet, insbesondere durch den weitverbreiteten und umfangrelevanten Einsatz von Virtual Reality, Augmented Reality, Rapid Prototyping und weitere Verfahren der additiven Fertigung und Simulationen. Weitere relevante Anwendungsfelder (neben Industrie 4.0) finden sich in den Bereichen Smart City, Smart Building, Building Information Modeling (BIM), Konsum 4.0 und Digitale Verwaltung (Papier-einsparung, etc.).

Die Digitalisierung kann aber auch direkter Treiber einer Green Economy sein, z. B. durch Erfassung und Monitoring von nachhaltigkeitsrelevanten Daten. Dies ermöglicht die tatsächliche Umsetzung des bislang fiktiven Konzepts eines "Umweltkontos" oder "ökologischen Fußabdrucks".

- ▶ In Bezug auf aktuelle politische Fragestellungen und bestehende Informations-, Vernetzungs- und Handlungsbedarfe soll zunächst als Ausgangsthese gelten: "Digitalisierung kann als Hebel dienen, um Umweltaspekte in Strategien, deren Zuständigkeit bei anderen Ressorts liegt, einzubringen und zu stärken."

Zu beachtende relevante Strategie- und Politikprozesse sind dabei:

- ▶ EU-Ratspräsidentschaft 2020: Digitalisierung und Nachhaltigkeit,
- ▶ Bundesregierung: Rohstoffstrategie, Energieeffizienzstrategie, KI-Strategie (inkl. 50 KI-Leuchtturmprojekte des BMU), Blockchain-Strategie,
- ▶ BMU: Digitalstrategie zum Input in die digitalen Umsetzungsstrategien der Bundesregierung (Plattform zur Vernetzung im Geschäftsbereich des BMU sowie Einspeisung umweltrelevanter Fragestellungen in die Blockchain-Strategie), ProgRes, Green-IT Initiative, Re-foplan,
- ▶ UBA: Informeller Arbeitskreis "Digitalisierung" zur Entwicklung eines Impulspapiers "Umweltschutz und Digitalisierung".

Das Digitalisierungsreferat als zentraler Kompetenzträger innerhalb des BMU bündelt und steuert die Thematik, ist dabei aber auf übergreifende Zusammenarbeit angewiesen. Die Verbindung zwischen den Fachbereichen hat zwar bereits zugenommen, aber eine noch stärkere Vernetzung und Plattformbildung erscheint nötig.

Zudem sollten oftmals getrennt behandelte Bereiche, wie Ressourceneffizienz und Energieeffizienz sowie Klimaschutz und Biodiversität im Zuge der Digitalisierung stärker gemeinsam behandelt werden.

Die zahlreichen Fragestellungen der Digitalisierung müssen auf Kernfragen verdichtet und die zentralen Handlungsfelder benannt werden. Hierzu muss das technologische und informationstechnische Know-how innerhalb des BMU und des UBA weiter ausgebaut werden.

3.4.4 Bewertungen der Handlungsoptionen aus Stakeholdersicht

Aufgrund des vorne beschriebenen Ablaufs, welcher von den Abläufen der anderen Stakeholderdialoge abweicht, wurden auch keine nachgelagerten Bewertungen vorgenommen, sondern stattdessen die Workshop-Ergebnisse dokumentiert.

3.5 Einsatz digitaler Technologien im Konsum und deren Umweltauswirkungen

3.5.1 Definition und Abgrenzung des Anwendungsfeldes

Der Einsatz digitaler Technologien im Konsum, bestehend aus den Schritten Auswahl, Kauf, Nutzung, Reparatur und Entsorgung von Produkten und Dienstleistungen, verändert sowohl die Informationssuche der Konsument*innen und das Online-Shopping, als auch den Konsum im stationären Handel.

Die Digitalisierung kann dabei ein Treiber für maßlosen, ebenso wie für nachhaltigen Konsum sein. Ohne Änderungen im Konsumverhalten (hin zu mehr Suffizienz) werden verbundene ökologische Probleme allein durch die Digitalisierung vermutlich nicht gelöst. Dennoch kann die richtige Ausgestaltung bzw. die richtige Rahmensetzung bezüglich des Einsatzes digitaler Technologien im Konsum zu positiven Umweltauswirkungen beitragen.

Folgende Themenschwerpunkte zur Digitalisierung im Konsum standen im Mittelpunkt eines mehrwöchigen Online-Dialogs, der einem Workshop im Bundesumweltministerium vorgelagert war:

- ▶ **Themenschwerpunkt A: Potenziale der Blockchain für einen nachhaltigen Konsum**
- ▶ **Themenschwerpunkt B: Konsumentenbeeinflussung in Zeiten der Künstlichen Intelligenz**

Die beiden Themenschwerpunkte werden im Folgenden in Form von in Fragen formulierten Punkten kurz vorgestellt.

Themenschwerpunkt A: Potenziale der Blockchain für einen nachhaltigen Konsum

Wenn neue Technologien, wie die Blockchain-Technologie, die Rückverfolgbarkeit von Produkten und deren Bestandteilen verbessern, Produktions- und Logistikprozesse effizienter machen und die Schließung von Produktkreisläufen fördern können, stellt sich die Frage, wie derartige Anwendungen systematischer als bislang für einen Umweltnutzen eingesetzt werden können. Welche Potenziale für einen nachhaltigeren Konsumstil stecken in der digitalen Rückverfolgbarkeit von Waren durch Tracking- und Tracing?

Themenschwerpunkt B: Konsumentenbeeinflussung in Zeiten der Künstlichen Intelligenz

Der Einsatz von Künstlicher Intelligenz ermöglicht werbliche Maßnahmen, die anhand von Big-Data-Analysen auf die Motive und Ziele des einzelnen Konsumenten zugeschnitten sind. Gleichzeitig werden Verbraucher in den sozialen Medien teilweise subtil durch Influencer-Marketing und virale Kampagnen sowie in Online-Shops mit personalisierten Produktvorschlägen und manipulierten Kundenbewertungen beeinflusst. Ist eine unabhängige Entscheidungsfindung für die Verbraucher*innen damit noch möglich? Welchen Einfluss haben diese Formen der digitalen Konsumentenbeeinflussung für Umwelt- und Klimaschutz und wie können diese Effekte sinnvoll gesteuert werden? Welche Möglichkeiten bietet KI, den Bedürfnissen des Konsumenten individuell zu begegnen und strategisch für die Zielsetzung des nachhaltigen Konsums zum Einsatz zu bringen? Welche regulativen Hebel sind hierfür nötig? Wie kann man für alle KI-Systeme die gleichen Rahmenbedingungen schaffen?

3.5.2 Thesen und Bewertung aus Stakeholdersicht

Folgende Thesen wurden in einem dem Workshop vorgelagerten Online-Dialog von den Stakeholdern diskutiert.

Themenschwerpunkt A: Potenziale der Blockchain für einen nachhaltigen Konsum

Der Einsatz der Blockchain-Technologie bietet, im Vergleich zu den klassisch verwendeten Verfahren, neue Chancen für einen nachhaltigeren Konsum. So können z. B.

1. Vorbehalte, die heute insbesondere aufgrund des fehlenden Vertrauens in weitverzweigte und teils unüberschaubare Netzwerke bestehen, durch fälschungssichere Blockchain-Lösungen ihre Grundlage verlieren,
2. durch die bessere Rückverfolgbarkeit von Produkten, Manipulationen und Umweltverstöße besser verhindert werden, als z. B. bei klassischen Zertifikaten und damit das Vertrauen der Verbraucher in die Produkte deutlich gesteigert werden,
3. durch die Anwendung von Smart Contracts in der Supply-Chain papier- und logistikbasierte Systeme teilweise ersetzt werden sowie
4. Beiträge zur besseren Schließung von Produktkreisläufen gegeben werden.

Generell kann die Transparenz der kompletten Lieferkette durch eine Blockchain-Lösung unterstützt werden. Derart ließe sich der ökologische Fußabdruck einer Ware transparent ableiten und die Endkonsumenten erhielten vollumfängliche Informationen über die Ware, die sie als Grundlage einer nachhaltigen Konsumententscheidung verwenden könnten. Wenn aber neue Technologien, wie die Blockchain-Technologie, die Rückverfolgbarkeit von Produkten und deren Bestandteilen verbessern, Produktions- und Logistikprozesse effizienter machen und die Schließung von Produktkreisläufen fördern, stellt sich die Frage, wie derartige Anwendungen systematischer als bislang für einen Umweltnutzen eingesetzt werden können.

Folgende Thesen wurden in den vorgelagerten Onlinedialog eingespeist. Die Stakeholder konnten dabei ihre Zustimmung zu den Thesen in Form von drei Antwortmöglichkeiten (Stimme voll zu; Stimme teilweise zu; Lehne ab) signalisieren,

Thesen

► **These A1:**

Der Einsatz der Blockchain-Technologie bietet im Vergleich zu alternativen Verfahren neue Chancen und Möglichkeiten für einen nachhaltigen Konsum. Aufgrund der aktuellen technologischen Entwicklungen und Neuerungen, entsteht eine neue Legitimation zur Regulierung, die jetzt genutzt werden muss.

Bewertung: Stimme voll zu: 5; Stimme teilweise zu: 3; Lehne ab: 0

► **These A2:**

Damit die Blockchain-Technologie ihr Nachhaltigkeitspotenzial beim Tracking und Tracing von Waren im Supply Chain Management voll entfalten kann, müssen gesetzliche Vorgaben etwa zur (digitalen) Dokumentationspflicht in allen involvierten Ländern, angepasst werden. Durch entsprechende Vorgaben müssten insbesondere das Vorhalten und die Weitergabe von Informationen zur Rohstoff-Gewinnung und sämtliche anschließende Veredelungsprozesse verpflichtend werden, um Nachweise zur Nachhaltigkeit von Produkten erstellen zu können.

Bewertung: Stimme voll zu: 6; Stimme teilweise zu: 3; Lehne ab: 0

► **These A3:**

Rechtliche und regulatorische Rahmenbedingungen zum Einsatz von Blockchain-Lösungen in Lieferketten, müssten, um insbesondere auch länderübergreifende Lieferketten abzudecken, nicht in nationalen Insellösungen, sondern in internationalen Vereinbarungen geregelt werden.

Bewertung: Stimme voll zu: 7; Stimme teilweise zu: 1; Lehne ab: 0

► **These A4:**

Durch rechtliche und regulatorische Anforderungen aus dem Umweltmanagement, die den Einsatz der Blockchain-Technologie oder einer vergleichbaren technischen Lösung fördern,

können ökologische und soziale Missstände in Liefer- und Wertschöpfungsketten transparenter werden. Unternehmen wären daher stärker gezwungen, ökologische und soziale Standards entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu beachten und einzuhalten.

Bewertung: Stimme voll zu: 4; Stimme teilweise zu: 3; Lehne ab: 1

► **These A5:**

Der Einsatz der Blockchain-Technologie oder anderer digitaler Lösungen, kann zur Schließung von Produktkreisläufen, von der Gewinnung von Rohstoffen, über die industrielle Fertigung bis zum Recycling am Ende des Produktlebenszyklus beitragen. Aufgrund der aktuell fehlenden wirtschaftlichen Anreize zur Schließung von Produktkreisläufen sind regulatorische Eingriffe notwendig, um die technologischen Potenziale zu erschließen.

Bewertung: Stimme voll zu: 0; Stimme teilweise zu: 4; Lehne ab: 1

► **These A6:**

Der Bedarf nach zusätzlichen und digital verfügbaren Informationen zu Produkten und zur Transparenz der Lieferkette (z. B. Herkunftsnachweise und Umweltauswirkungen), der über eine Blockchain-Lösung technisch leichter als bisher zu befriedigen wäre, beschränkt sich auf eine vergleichsweise kleine Gruppe von ökologisch motivierten Konsumenten. Die positiven Effekte wären daher eingeschränkt und rechtfertigen keine regulatorischen Eingriffe.

Bewertung: Stimme voll zu: 1; Stimme teilweise zu: 1; Lehne ab: 3

Bewertung der Thesen aus Stakeholdersicht

Der Einsatz der Blockchain-Technologie bietet, im Vergleich zu den klassisch verwendeten Verfahren, neue **Chancen für einen nachhaltigeren Konsum**. So können zum einen Vorbehalte, die heute insbesondere aufgrund des fehlenden Vertrauens in weitverzweigte und teils unüberschaubare Netzwerke bestehen, durch fälschungssichere Blockchain-Lösungen ihre Grundlage verlieren. Zum anderen können durch die bessere Rückverfolgbarkeit von Produkten, mögliche Manipulationen und Umweltverstöße besser verhindert werden, als z. B. bei klassischen Zertifikaten und damit das Vertrauen der Verbraucher in die Produkte deutlich gesteigert werden,

Aufgrund der genannten denkbaren Vorteile, die durch die aktuellen technologischen Entwicklungen teilweise erst möglich werden, entsteht derzeit eine neue **Legitimation zur Anpassung der Rahmenbedingungen und der Regulierung**, die jetzt genutzt werden sollte. So verhindern teilweise bestehende Regulierungen den Einsatz neuer Technologien (z. B. Unterschriftserfordernis für bestimmte Transaktionen). Eine zukünftig anzupassende Regulierung sollte dabei insbesondere darauf abzielen, Anreize zur Nutzung der Technologie zu schaffen sowie international abgestimmt erfolgen, da um länderübergreifende Lieferketten abdecken zu können, nicht nationale Insellösungen, sondern internationale Vereinbarungen notwendig sind.

Durch neue rechtliche und regulatorische Anforderungen, die den Einsatz der Blockchain-Technologie oder einer vergleichbaren technischen Lösung fördern, könnten ökologische und soziale Missstände in Liefer- und Wertschöpfungsketten transparenter werden. Unternehmen wären stärker gezwungen, ökologische und soziale Standards entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu beachten und einzuhalten. Damit neue Technologien, wie z. B. die Blockchain-Technologie, ihr Nachhaltigkeitspotenzial im Supply Chain Management jedoch voll entfalten können, müssten zunächst technologieunabhängige gesetzliche Vorgaben zur (digitalen) Dokumentationspflicht von Informationen zur Rohstoff-Gewinnung und sämtlichen anschließenden Veredelungsprozessen verpflichtend werden, um Nachweise zur Nachhaltigkeit von Produkten erstellen zu können. Tatsächlich wird sich das gerade bei globalen Lieferketten jedoch nur schwer realisieren lassen. Hier werden wahrscheinlich weiterhin Intermediäre benötigt, sodass die Effizienz von z. B. Blockchain-Lösungen nur eingeschränkt funktioniert. Zudem

müssten sich deutlich sichtbare Vorteile auch für den Händler und den Konsumenten ergeben, damit nicht alle Akteure nur das Minimum umsetzen bzw. auf alternative Angebote ausweichen.

Themenschwerpunkt B: Konsumentenbeeinflussung in Zeiten der Künstlichen Intelligenz

Der Einsatz von Künstlicher Intelligenz ermöglicht werbliche Maßnahmen, die anhand von Big-Data-Analysen auf die Motive und Ziele des einzelnen Konsumenten zugeschnitten sind. Gleichzeitig werden Verbraucher in den sozialen Medien teilweise subtil durch Influencer-Marketing und virale Kampagnen sowie in Online-Shops mit personalisierten Produktvorschlägen bis hin zu manipulierten Kundenbewertungen beeinflusst. Eine objektive Entscheidungsfindung für die Verbraucher*innen ist damit erschwert. Aus Umweltsicht stellen sich dabei insbesondere folgende Fragen:

1. Welchen Einfluss haben diese Formen der digitalen Konsumentenbeeinflussung für Umwelt- und Klimaschutz und wie können diese Effekte gesteuert werden?
2. Wird ein nachhaltiger Konsum durch die neuen Formen der KI-basierten Konsumentenbeeinflussung erschwert? Werden regulatorische Eingriffe gegebenenfalls sogar konterkariert? Kommt es durch die KI-basierten Konsumvorschläge zu festgefahrenen Konsummustern, welche eine Transformation hin zu nachhaltigem Konsum erschweren?
3. Birgt die Konsumentenbeeinflussung durch KI Chancen für den Umweltschutz? Welche Möglichkeiten bietet KI, den Bedürfnissen des Konsumenten individuell zu begegnen und strategisch für die Zielsetzung des nachhaltigen Konsums zum Einsatz zu bringen? Gibt es Hebel, die der Staat nutzen kann, damit Konsumentenbeeinflussung (z. B. im Sinne von Nudging) in Richtung eines nachhaltigen Konsums gelenkt werden kann?
4. Sind privatwirtschaftliche Angebote denkbar, welche individualisierte Werbung vor allem für nachhaltige Produkte und damit nachhaltigen Konsum geben? Wie kann der Staat derartige von privatwirtschaftlicher Seite kommende Angebote wirksam unterstützen? Wie können für alle auf KI basierenden Formen der Konsumentenbeeinflussung die gleichen Rahmenbedingungen geschaffen werden?
5. Durch welche Indikatoren kann der Erfolg von regulatorischen oder freiwilligen Maßnahmen zur Konsumentenbeeinflussung in Richtung nachhaltigen Konsums durch KI gemessen und bewertet werden? Derzeit wird der Erfolg aller Maßnahmen der nachhaltigen Konsumpolitik lediglich über zwei (Energieverbrauch und CO₂-Emissionen beim Konsum; Marktanteil von Produkten mit staatlichen Umweltzeichen) abgebildet, die aber methodisch weiterentwickelt werden müssen. Es bedarf einer Ausdifferenzierung der Indikatoren, um solche differenzierten Aktivitäten sinnvoll einschätzen und kontinuierlich durch tatsächlich erfassbare Daten messen zu können.

Folgende Thesen wurden in den vorgelagerten Onlinedialog eingespeist. Die Stakeholder konnten dabei ihre Zustimmung zu den Thesen in Form von drei Antwortmöglichkeiten (Stimme voll zu; Stimme teilweise zu; Lehne ab) signalisieren,

Thesen:

► **These B1:**

Die zunehmende Auswertung von Daten zum Konsumentenverhalten durch Formen der künstlichen Intelligenz wird in Zukunft noch wesentlich stärker das Konsumentenverhalten beeinflussen, da die Entwicklung des maschinellen Lernens immer präzisere Interventionen und Werbeangebote für den einzelnen Konsumenten ermöglicht. Da KI beinahe ausschließlich durch privatwirtschaftliche Unternehmen genutzt wird, sind starke Effekte in Richtung der jeweiligen unternehmerischen Ziele (und nicht in Richtung eines nachhaltigen Konsums) zu erwarten, wenn nicht passende gesetzliche Vorgaben dem entgegenwirken.

Bewertung: Stimme voll zu: 4; Stimme teilweise zu: 2; Lehne ab: 0

- ▶ **These B2:**
Durch den Trend, immer größere Anteile der Konsumentenentscheidungen durch Automatisierung auszulagern (z. B. Instant Shopping, automatisierte Einkaufslisten & Nachbestellungen) und Individualisierung voranzutreiben (z. B. personalisierte auf KI-Auswertungen basierende Produktvorschläge), wird die Lücke zwischen latent vorhandenem Bedürfnis und der Bedürfnisbefriedigung durch Konsum beinahe nahtlos geschlossen. Um dem Konsumenten überhaupt die Möglichkeit zur umweltbewussten Konsumententscheidung zu geben, müssen hier geeignete regulatorische Maßnahmen entwickelt und eingesetzt werden.
Bewertung: Stimme voll zu: 6; Stimme teilweise zu: 1; Lehne ab: 0

- ▶ **These B3:**
Eine gesetzliche Regulierung zur verbindlichen Kenntlichmachung von KI-basierter individualisierter Werbung würde für eine größere Transparenz bei den Verbrauchern sorgen und sich positiv auf das Konsumverhalten [i.S. eines geringeren oder nachhaltigen Konsums] auswirken.
Bewertung: Stimme voll zu: 3; Stimme teilweise zu: 3; Lehne ab: 0

- ▶ **These B4:**
Strengere Regularien, welche spezifischen Konsumenten-Daten von Unternehmen zur Entwicklung KI-basierter individualisierter Information und Werbung genutzt werden dürfen und welche explizit nicht, würden die subtile Beeinflussung von Konsumenten beschränken und sich so positiv auf einen nachhaltigen Konsum auswirken.
Bewertung: Stimme voll zu: 1; Stimme teilweise zu: 6; Lehne ab: 0

- ▶ **These B5:**
Durch die Anwendung von KI-basierten Konsumvorschlägen wächst die Gefahr von "Echo-Chambers" im Konsumbereich. Die Endverbraucher kommen durch die entstehende Blase an Konsumvorschlägen mit einem immer kleiner werdenden Teil der Konsumwelt in Kontakt. Dieser Prozess führt bei einem Teil der Verbraucher zu immer weniger Berührungspunkten mit nachhaltigen Produkten. Um diesem Trend effektiv entgegenzuwirken bräuchte es Regulierungen, die sicherstellen, dass auch nachhaltige Produktalternativen in KI-basierten Wahlalternativen aufgeführt werden.
Bewertung: Stimme voll zu: 2; Stimme teilweise zu: 5; Lehne ab: 1

- ▶ **These B6:**
Personalisierte Produktvorschläge, die auf KI-basierten Auswertungen basieren, müssen nicht zwangsweise zu Mehrkonsum und zu negativen Effekte für Ressourcenverbrauch und Nachhaltigkeit führen. KI-Anwendungen können durch gezielte Produktvorschläge auch helfen nachhaltigere Produkte zu konsumieren. Um dem Konsumenten die Möglichkeit zu geben, bei seinem Kauf z. B. Nachhaltigkeitskriterien zu berücksichtigen, wäre ein visuelles Hervorheben besonders nachhaltiger Produkte sinnvoll. Für eine solche optionale Hervorhebung, welche die Entscheidungsfreiheit nicht einschränkt, aber dem Nutzer die Möglichkeit gibt, selbst Produktvorschläge vorzuselektieren, könnten gesetzgeberische Maßnahmen sinnvoll sein.
Bewertung: Stimme voll zu: 3; Stimme teilweise zu: 3; Lehne ab: 0

Bewertung der Thesen aus Stakeholdersicht

Der Einsatz von Künstlicher Intelligenz ermöglicht werbliche Maßnahmen, die anhand von Big-Data-Analysen auf die Motive und Ziele des einzelnen Konsumenten zugeschnitten sind. Gleichzeitig werden

Verbraucher in den sozialen Medien teilweise subtil durch Influencer-Marketing und virale Kampagnen sowie in Online-Shops mit personalisierten Produktvorschlägen bis hin zu manipulierten Kundenbewertungen beeinflusst. Eine objektive Entscheidungsfindung für die Verbraucher*innen ist damit erschwert.

Die zunehmende Auswertung von Daten zum Konsumentenverhalten durch Formen der künstlichen Intelligenz wird **in Zukunft sogar noch wesentlich stärker das Konsumentenverhalten beeinflussen**, da die Entwicklung des maschinellen Lernens immer präzisere Interventionen und Werbeangebote für den einzelnen Konsumenten ermöglicht. Da KI beinahe ausschließlich durch privatwirtschaftliche Unternehmen genutzt wird, sind starke Effekte in Richtung der jeweiligen unternehmerischen Ziele (und nicht in Richtung eines nachhaltigen Konsums) zu erwarten. Durch den Trend, immer größere Anteile der Konsumentenentscheidungen durch Automatisierung auszulagern und Individualisierung voranzutreiben, wird die Lücke zwischen latent vorhandenem Bedürfnis und der Bedürfnisbefriedigung durch Konsum beinahe nahtlos geschlossen. Um dem Konsumenten hier überhaupt die Möglichkeit zur umweltbewussten Konsumententscheidung zu geben, müssen zwingend geeignete Maßnahmen (siehe weiter unten) entwickelt und eingesetzt werden.

Durch die Anwendung von KI-basierten Konsumvorschlägen wächst zudem die Gefahr von **"Echo-Chambers" im Konsumbereich**. Die Endverbraucher kommen durch die entstehende Blase an Konsumvorschlägen mit einem immer kleiner werdenden Teil der Konsumwelt in Kontakt. Dieser Prozess führt bei einem Teil der Verbraucher zu immer weniger Berührungspunkten mit nachhaltigen Produkten. Um diesem Trend effektiv entgegenzuwirken bräuchte es Regulierungen, die sicherstellen, dass auch nachhaltige Produktalternativen in KI-basierten Wahlalternativen aufgeführt werden. Eine solche Umsetzung könnte nachhaltigen Konsum dann sogar fördern.

Die Konsumentenbeeinflussung durch KI bietet nämlich auch vielfältige **Chancen für einen nachhaltigen Konsum**, da es möglich wird, den Bedürfnissen der Konsumenten individuell zu begegnen und KI dadurch strategisch für den nachhaltigen Konsum eingesetzt werden kann. So müssen personalisierte Produktvorschläge, die auf KI-basierten Auswertungen basieren, nicht zwangsweise zu Mehrkonsum und zu negativen Effekten für Ressourcenverbrauch und Nachhaltigkeit führen. KI-Anwendungen können durch gezielte Produktvorschläge auch helfen, nachhaltigere Produkte zu konsumieren. Durch diese Produktvorschläge können dann bestimmte nachhaltige (Nischen-)Produkte auch global verfügbar gemacht werden und damit in bestimmten Märkten in Konkurrenz zu bisher dominanten nicht-nachhaltigen Produkten treten.

Um dem Konsumenten die Möglichkeit zu geben, bei seinem **Kauf Nachhaltigkeitskriterien zu berücksichtigen**, wäre ein visuelles Hervorheben besonders nachhaltiger Produkte sinnvoll. Für eine solche optionale Hervorhebung oder eine gezielte Konsumentenbeeinflussung (z. B. im Sinne von Nudging), welche die Entscheidungsfreiheit nicht einschränkt, aber dem Nutzer die Möglichkeit gibt, selbst Produktvorschläge vorzuselektieren, könnten gesetzgeberische Maßnahmen sinnvoll sein.

Damit personalisierte Produktvorschläge nicht zum Mehrverbrauch führen, könnten zudem nicht nur nachhaltige Produkte, sondern auch manchmal der bewusste **Nichtkauf/Konsumverzicht als "nachhaltige Alternative"** vorgeschlagen werden. Hierzu müsste jedoch ein entsprechendes wettbewerbsfähiges Geschäftsmodell entwickelt werden, welches als Alternative zum Kauf eine bezahlte Dienstleistung anbietet, die ggf. einen Produkterwerb ersetzt und weniger ressourcenintensiv ist.

3.5.3 Erarbeitete Handlungsoptionen

Potenziale der Blockchain für einen nachhaltigen Konsum

Folgende Handlungsoptionen waren das Ergebnis der Stakeholderdialoge in Bezug speziell auf die Potenziale der Blockchain für einen nachhaltigen Konsum.

Handlungsoption A1: Technologieoffene Regulierung mit Fokus auf Nachhaltigkeits-KPI

- ▶ Regulierung soll grundsätzlich maßvoll erfolgen und – die Schnelllebigkeit von Technologien berücksichtigend – nicht auf konkrete Aspekte der Technologie selbst, sondern auf die Wirkung von Technologie im Anwendungskontext bezogen werden (zum Beispiel zur Sanktionierung der Externalisierung von Kosten). Zertifizierungen sollen an Nachhaltigkeits-Key Performance Indicators (KPIs) ausgerichtet werden (z. B. im Public Procurement oder für Cross Compliance Bestimmungen).

Bewertung: Stimme voll und ganz zu: 5, Stimme teilweise zu: 0, Lehne ab: 0

Handlungsoption A2: Use Cases mit Nachhaltigkeitsfokus

- ▶ Die Blockchain kann als Zero-Trust-Technologie Transparenz erzeugen (z. B. im Supply-Chain-Management). Allerdings fehlen bis jetzt überzeugende Nachweise, dass auf diese Weise substanzielle Effekte für nachhaltigen Konsum erzielt werden können. Es sollten daher insbesondere solche Projekte als Use Case gefördert werden, die zeigen, dass die verwendete Technologie (in diesem Fall die Blockchain) kein Selbstzweck ist, sondern zu konkreten positiven Umwelteffekten führen kann.

Bewertung: Stimme voll und ganz zu: 4, Stimme teilweise zu: 1, Lehne ab: 0

Handlungsoption A3: Offene Schnittstellen

- ▶ Offene Schnittstellen zu umweltbezogenen Daten – wie z. B. Daten zur Umweltqualität, Produktinformationen, CO₂-Bilanz von Produkten und Verfahren - können innovative Anwendungen der Blockchain-Technologie im nachhaltigen Konsum ermöglichen (Beispiele dafür sind die Bereitstellung von Unternehmensdaten über das Handelsregister oder die „Tankstellen-API“). Offene Daten von Produzenten könnten durch die damit verbundene Transparenz zudem zu mehr Konkurrenz bei der Verbesserung von Nachhaltigkeitswerten führen. Um die Vorteile offener Schnittstellen realisieren zu können, wären folgende Punkte anzugehen: Die Nutzung der Daten durch zivilgesellschaftliche Akteure sollte gefördert werden. Für die kommerzielle Nutzung der Daten ist hingegen ein Preismodell zu entwickeln. Daten, die über die offenen Schnittstellen zur Verfügung gestellt werden, könnten zudem in ausgewählten Fällen von geeigneten Behörden verifiziert werden.

Bewertung: Stimme voll und ganz zu: 4, Stimme teilweise zu: 1, Lehne ab: 0

Handlungsoption A4: Besserer Service für Blockchain-Unternehmen

- ▶ Blockchain-Unternehmen sind häufig international organisiert und in der Korrespondenz mit Behörden (z. B. zu nationalen Förderinstrumenten und Regelwerken) auf mehrsprachige Informationen angewiesen. Anders als in einigen Ländern in Europa sind Informationen von Behörden in Deutschland häufig ausschließlich auf Deutsch und nur zum Teil auf Englisch abrufbar. Weiterhin müssen Kapazitäten und Kompetenzen in den Behörden aufgebaut werden, um Anfragen und Anträge zügig zu bearbeiten. Angesichts des schnellen technologischen Wandels müssen auch Behörden zu „mitlernenden Behörden“ werden.

Bewertung: Stimme voll und ganz zu: 5, Stimme teilweise zu: 0, Lehne ab: 0

Konsumentenbeeinflussung in Zeiten der Künstlichen Intelligenz

Folgende Handlungsoptionen waren das Ergebnis der Stakeholderdialoge in Bezug auf die skizzierte Konsumentenbeeinflussung in Zeiten der Künstlichen Intelligenz.

Handlungsoption B1: Entwicklung von Indikatoren zur Beurteilung

- ▶ Es müssen zunächst neue Indikatoren (zusätzlich zu CO₂-Emissionen beim Konsum und dem Marktanteil von Produkten mit staatlichen Umweltzeichen) entwickelt werden, die den Erfolg von regulatorischen oder freiwilligen Maßnahmen zur Konsumentenbeeinflussung in Richtung nachhaltigen Konsum durch KI messen und bewerten können. Danach können auch Zielvorgaben für diese benannt werden. Generell bedarf es einer Ausdifferenzierung der Indikatoren, die den Erfolg aller Maßnahmen einer nachhaltigen Konsumpolitik erfassen, um differenzierte Aktivitäten sinnvoll einschätzen und kontinuierlich durch tatsächlich erfassbare Daten messen zu können.

Bewertung: Stimme voll und ganz zu: 4, Stimme teilweise zu: 1, Lehne ab: 0

Handlungsoption B2: Einbindung aller relevanten Stakeholder

- ▶ Die Planung und Umsetzung freiwilliger oder regulatorischer Maßnahmen zur Konsumentenbeeinflussung in Zeiten der Künstlichen Intelligenz sollte generell partizipativ und unter Beteiligung aller relevanten Stakeholder erfolgen. Insbesondere die Zivilgesellschaft sollte nicht nur als passiv betroffen, sondern vielmehr als direkt involviert, aktiv eingebunden werden. Möglichkeiten bestehen u. a. durch die partizipative Entwicklung von KI-Softwarelösungen, z. B. im Rahmen von Hackathons. Das Thema KI und Nachhaltigkeit sollte zudem stärker in relevanten Gremien (z. B. Digitalrat, Agentur für Sprunginnovationen) und Veranstaltungen (z. B. Forschungsgipfel) platziert werden, in denen die Stakeholder bereits zum Austausch zusammenkommen.

Bewertung: Stimme voll und ganz zu: 4, Stimme teilweise zu: 1, Lehne ab: 0

Handlungsoption B3: Thematisierung im Bildungsbereich

- ▶ Eine Stärkung und Kompetenzentwicklung der Konsumenten müsste zwingend erfolgen. Dies betrifft insbesondere die Förderung der Kompetenzen der zukünftigen Konsumenten (z. B. Kinder und Jugendliche) hin zu einem selbstbestimmten und reflektierten Konsum, auch in Zeiten von durch KI beeinflussten Kaufentscheidungen. Dies könnte z. B. durch eine stärkere Thematisierung von KI im Bildungsbereich oder durch die Durchführung von Bootcamps als Grundausbildung für Schüler zum Thema KI und Konsum, umgesetzt werden.

Bewertung: Stimme voll und ganz zu: 5, Stimme teilweise zu: 1, Lehne ab: 0

Handlungsoption B4: Entwicklung einer "German Digital Responsibility"

- ▶ Die Entwicklung einer eigenständigen und chancenbetonenden Zugangsweise und Strategie zum Thema KI und Konsum könnte ein mögliches Alleinstellungsmerkmal für Deutschland sein. Eine sogenannte "German Digital Responsibility" als Überbau und Leitbild zu bereits bestehenden Ansätzen einer Corporate Digital Responsibility auf Unternehmensebene, erweitert um Regulierungs- und Konsumentenebenen, wäre eine Möglichkeit. An diesem Leitbild könnten dann alle konkreten Maßnahmen ausgerichtet werden. Dabei müsste gewährleistet sein, dass die Konsumenten selbst entscheiden können, welche Daten sie teilen (z. B. durch Mitbestimmung bei der Datensammlung, vereinfachte digitale AGBs, usw.). Insbesondere sollten jedoch die Möglichkeiten, die KI für das Erreichen umweltpolitischer Ziele bietet (wie z. B. visuelles Hervorheben besonders nachhaltiger Produkte) stärker in den Mittelpunkt rücken. Der Weg hin zu einer derartigen "German Digital Responsibility" kann z. B. durch Überprüfungen und gegebenenfalls auch Anpassungen an bestehen-

den KI-relevanten Gesetzen und Regulierungen (z. B. Produkthaftung, Garantieverpflichtung, Gewährleistungspflicht, usw.) beginnen und durch die Einrichtung einer nationalen Stelle für gemeinwohlorientierte KI fortgeführt werden.

Bewertung: Stimme voll und ganz zu: 3, Stimme teilweise zu: 3, Lehne ab: 0

Handlungsoption B5: Ansätze der Regulierung

- ▶ In Zeiten der digitalen Transformation muss neu ausgehandelt werden, in welcher Gesellschaft und unter welchen Rahmenbedingungen wir leben wollen. Es stellt sich also die Frage, wie stark der Staat bei neuen Techniken, wie z. B. KI, regulierend eingreifen soll oder muss. Da KI momentan beinahe ausschließlich durch privatwirtschaftliche Unternehmen genutzt wird, sind starke Effekte in Richtung der jeweiligen unternehmerischen Ziele zu erwarten, wenn nicht passende gesetzliche Vorgaben dem entgegenwirken. Um den ökologischen Fußabdruck des KI-beeinflussten Konsums transparenter (und wenn möglich kleiner) zu machen, könnten z. B. folgende regulatorische Ansatzpunkte einen Beitrag leisten: Vergabe von staatlichen Siegeln und Labels (z. B. für vorbildliche Transparenz in den KI-Anwendungen), Kennzeichnungspflicht von ökonomischen Interessen (z. B. verbindliche Kenntlichmachung von KI-basierter Werbung), gesetzliche Vorgaben für die Entwicklung von neuen KI-basierten Anwendungen (z. B. Vorgaben, dass auch nachhaltige Produktalternativen in KI-basierten Wahlalternativen aufgeführt werden müssen).

Bewertung: Stimme voll und ganz zu: 4, Stimme teilweise zu: 1, Lehne ab: 1

Handlungsoption B6: Fragen der "Data Ownership"

- ▶ Daten von Bürgern und vernetzten Geräten werden fast ausschließlich von privatwirtschaftlichen, zumeist ausländischen Großkonzernen, gesammelt. Dies erfolgt oftmals ohne expliziten Hinweis darauf. Eine Datennutzung sollte jedoch grundsätzlich nur nach aktiver Zustimmung der Konsumenten erfolgen dürfen (z. B. derart, dass die Zustimmung zu AGBs so gestaltet wird, dass ein einfacher Haken nicht ausreicht, sondern stattdessen Zusammenfassungen der AGBs gelesen werden müssen). Diese freigegebenen Daten sollten durch Koalitionen mit Datenproduzenten und Datensammlern (mit angemessenem Datenschutz) dann auch öffentlichen Zwecken zugänglich gemacht werden. Zudem sollten die Schaffung von öffentlichen Alternativen zu den Angeboten ausländischer Großkonzerne (z. B. Entwicklung einer staatlichen europäischen Datencloud), rechtliche Vorgaben zum Angebot eines anonymen Browsings (ohne Tracking) und die Besteuerung der Datensammlung im Erhebungsland angegangen werden.

Bewertung: Stimme voll und ganz zu: 4, Stimme teilweise zu: 2, Lehne ab: 0

3.5.4 Bewertungen der Handlungsoptionen aus Stakeholdersicht

Im Rahmen des Face-to-Face-Workshops erfolgte eine Bewertung der Thesen und eine Weiterentwicklung zu Handlungsoptionen aus Sicht verschiedener Stakeholdergruppen. Unter anderem konnten zu den folgenden Aspekten konkrete praxistaugliche Handlungsempfehlungen für staatliche Stellen und Stakeholder zur umweltpolitischen Begleitung des Trendthemas abgeleitet werden.

Potenziale der Blockchain für einen nachhaltigen Konsum

Das derzeitige Zeitfenster zur Anpassung der Rahmenbedingungen und der Regulierung sollte genutzt werden. Die Regulierung sollte dabei grundsätzlich maßvoll und vor allem technologieoffen erfolgen und – die Schnelligkeit von Technologien berücksichtigend – nicht auf konkrete Aspekte der Technologie selbst, sondern auf die Wirkung von Technologie im Anwendungskontext bezogen sein. Die Blockchain selbst kann hierbei als Zero-Trust-Technologie Transparenz erzeugen (z. B. im Supply-

Chain-Management). Allerdings fehlen bis jetzt noch wirklich überzeugende Nachweise, dass auf diese Weise substanzielle Effekte auch für nachhaltigen Konsum erzielt werden. Es sollten daher insbesondere solche **Projekte oder Forschungsvorhaben als Use Case gefördert werden**, die zeigen, dass die verwendete Technologie (in diesem Fall die Blockchain) kein Selbstzweck ist, sondern zu konkreten positiven Umwelteffekten führen kann.

Offene Schnittstellen zu umweltbezogenen Daten – wie z. B. Daten zur Umweltqualität, Produktinformationen, CO₂-Bilanz von Produkten und Verfahren - können innovative Anwendungen der Blockchain-Technologie im nachhaltigen Konsum ermöglichen (z. B. Bereitstellung von Unternehmensdaten über das Handelsregister oder „Tankstellen-API“). Offene Daten von Produzenten könnten durch die damit verbundene Transparenz zudem zu mehr Konkurrenz bei der Verbesserung von Nachhaltigkeitswerten führen. Um die skizzierten Vorteile offener Schnittstellen realisieren zu können, wären folgende Punkte anzugehen: Die Nutzung der Daten durch zivilgesellschaftliche Akteure sollte gefördert werden. Für die kommerzielle Nutzung der Daten ist hingegen ein Preismodell zu entwickeln. Daten, die über die offenen Schnittstellen zur Verfügung gestellt werden, könnten zudem in ausgewählten Fällen von geeigneten Behörden verifiziert werden.

Relevante Technologie-Unternehmen, wie z. B. **Blockchain-Unternehmen sind häufig international aufgestellt** und in der Korrespondenz mit Behörden (z. B. zu nationalen Förderinstrumenten und Regelwerken) auf mehrsprachige Informationen angewiesen. Anders als in einigen Ländern in Europa sind Informationen von Behörden in Deutschland häufig ausschließlich auf Deutsch und nur zum Teil auf Englisch abrufbar. Weiterhin müssten zusätzliche Kapazitäten und Kompetenzen in den Behörden aufgebaut werden, um Anfragen und Anträge auch zügig bearbeiten zu können. Angesichts des schnellen technologischen Wandels müssen auch Behörden zu „mitlernenden Behörden“ werden.

Konsumentenbeeinflussung in Zeiten der Künstlichen Intelligenz

Es müssten zunächst **neue Indikatoren** (zusätzlich zu CO₂-Emissionen beim Konsum und dem Marktanteil von Produkten mit staatlichen Umweltzeichen) entwickelt werden, die den Erfolg von regulatorischen oder freiwilligen Maßnahmen zur Konsumentenbeeinflussung in Richtung nachhaltigen Konsum durch KI messen und bewerten können. Danach können auch Zielvorgaben für diese benannt werden.

Zudem müsste zwingend eine **Stärkung und Kompetenzentwicklung der Konsumenten** erfolgen. Dies betrifft insbesondere die Förderung der Kompetenzen der zukünftigen Konsumenten (z. B. Kinder und Jugendliche) hin zu einem selbstbestimmten und reflektierten Konsum, auch in Zeiten von durch KI beeinflussten Kaufentscheidungen. Dies könnte z. B. durch eine stärkere Thematisierung von KI im Bildungsbereich oder durch die Durchführung von "Bootcamps" als Grundausbildung für Schüler zum Thema KI und Konsum, umgesetzt werden.

Um den **ökologischen Fußabdruck des KI-beeinflussten Konsums zumindest transparenter** zu machen, könnten unter anderem folgende regulatorische Ansatzpunkte einen Beitrag leisten: Vergabe von staatlichen Siegeln und Labels (z. B. für vorbildliche Transparenz in den KI-Anwendungen), Kennzeichnungspflicht von ökonomischen Interessen (z. B. verbindliche Kenntlichmachung von KI-basierter Werbung), gesetzliche Vorgaben für die Entwicklung von neuen KI-basierten Anwendungen (z. B. Vorgaben, dass auch nachhaltige Produktalternativen in KI-basierten Wahlalternativen aufgeführt werden müssen).

Die Entwicklung einer eigenständigen und **chancenbetonenden Zugangsweise und Strategie zum Thema KI und Konsum könnte ein mögliches Alleinstellungsmerkmal für Deutschland bzw. Europa** sein. Digitalisierung und KI enden nicht an der deutschen Landesgrenze. Es braucht daher eine europäische Vision von einem Europa als ein nachhaltiger Lebens- und Wirtschaftsraum, der sich

durch eine wettbewerbsfähige Wirtschaft und eine intakte Umwelt auszeichnet und eine EU-Nachhaltigkeitsstrategie besitzt. Die **deutsche EU-Ratspräsidentschaft** sollte genutzt werden, um eine solche Vision mit den anderen Mitgliedsstaaten zu erarbeiten.

Eine Möglichkeit hierzu wäre die Entwicklung einer sogenannten "**European Digital Responsibility**" als Überbau und Leitbild zu bereits bestehenden Ansätzen einer Corporate Digital Responsibility auf Unternehmensebene, erweitert um Regulierungs- und Konsumentenebenen. An diesem Leitbild könnten dann alle konkreten Maßnahmen ausgerichtet werden. Dabei müsste gewährleistet sein, dass die Konsumenten selbst entscheiden können, welche Daten sie teilen (z. B. durch Mitbestimmung bei der Datensammlung, vereinfachte digitale AGBs, usw.). Die Daten von Konsumenten und vernetzten Geräten werden derzeit fast ausschließlich von privatwirtschaftlichen, zumeist ausländischen Großkonzernen, gesammelt. Dies erfolgt oftmals ohne expliziten Hinweis darauf. Eine Datennutzung sollte jedoch grundsätzlich nur nach aktiver Zustimmung der Konsumenten erfolgen dürfen (z. B. derart, dass die Zustimmung zu AGBs so gestaltet wird, dass ein einfacher Haken nicht ausreicht, sondern stattdessen Zusammenfassungen der AGBs gelesen werden müssen). Diese freigegebenen Daten sollten durch Koalitionen mit Datenproduzenten und Datensammlern (mit angemessenem Datenschutz) dann auch öffentlichen Zwecken zugänglich gemacht werden. Zudem sollten die Schaffung von öffentlichen Alternativen zu den Angeboten ausländischer Großkonzerne (z. B. Entwicklung einer staatlichen europäischen Datencloud), rechtliche Vorgaben zum Angebot eines anonymen Browsers (ohne Tracking) und die Besteuerung der Datensammlung im Erhebungsland angegangen werden.

Neben diesen insbesondere den Umgang mit Daten betreffenden Maßnahmen, sollten jedoch auch die Möglichkeiten, die KI für das Erreichen umweltpolitischer Ziele bietet, stärker in den Mittelpunkt rücken. Der Weg hin zu einer derartigen "European Digital Responsibility" kann z. B. durch Überprüfungen und gegebenenfalls auch Anpassungen an bestehenden KI-relevanten Gesetzen und Regulierungen (z. B. Produkthaftung, Garantieverpflichtung, Gewährleistungspflicht, usw.) beginnen und durch die Einrichtung nationaler Stellen für gemeinwohlorientierte KI fortgeführt werden.

3.6 ERP-Systeme als digitale Steuerungsinstrumente für das Umweltmanagement

3.6.1 Definition und Abgrenzung des Anwendungsfeldes

Nahezu alle private Unternehmen und öffentliche Institutionen aller Art und Größe setzen sogenannte Enterprise Resource Planning (ERP)-Systeme ein, um verschiedenste Unternehmensbereiche – von Kostencontrolling und Buchhaltung über Auftragsabwicklung, Materialwirtschaft und Produktion bis hin zu Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten – digital zu steuern.

Ebenfalls immer größere Relevanz und entsprechende Verbreitung erfahren das betriebliche Umweltmanagement (zur Erhebung und Steuerung von Umweltauswirkungen und damit verbundenen umweltbezogenen Daten, wie z. B. Energie- und Materialverbrauch, Wasserverbrauch, Abfälle, Emissionen, CO₂-Ausstoß, usw.) und entsprechende zur Unterstützung dienende digitale Umweltmanagementsoftware (bestehend aus Lösungen für z. B. umweltbezogene Kennzahlen, Audits, Berichtswesen, Dokumentation, Prozessmanagement oder Verantwortlichkeiten). Mit seinem Querschnittscharakter vereint das Umweltmanagement dabei verschiedenste Disziplinen und arbeitet eng mit anderen zentralen Funktionen zusammen. Vermehrt wird es zunehmend auch dazu genutzt, um in Unternehmen oder Behörden Klimaneutralität zu erreichen.

Zur digitalen Unterstützung des Umweltmanagements kommen allerdings oftmals alleinstehende Softwarelösungen zum Einsatz, die keine oder kaum Schnittstellen zu den zentralen ERP-Systemen der Unternehmen aufweisen. Im Stakeholderdialog sollte daher der Frage nachgegangen werden, welche Möglichkeiten bestehen, umweltbezogene Daten, Ziele und Prozesse stärker über ERP-Systeme abzubilden und damit zu einer Integration des Umweltmanagements in die zentrale Unternehmenssteuerung beizutragen. Derart könnten die Belange des Umweltmanagements eine größere Verbreitung innerhalb der Unternehmen und Behörden erfahren und damit zielgerichteter einen größeren Beitrag zum Schutz der Umwelt leisten.

In einer On- und Offline-Workshop-Phase wurden daher alle Aspekte des Einsatzes von ERP-Systemen als digitale Steuerungsinstrumente für das Umweltmanagement entlang ausgewählter Themenschwerpunkte mit Entwicklern und Nutzern von ERP-Systemen diskutiert. Dabei war es das abschließende Ziel, praxistaugliche Handlungsempfehlungen für staatliche Stellen und Stakeholder zur umweltpolitischen Begleitung des Trendthemas abzuleiten. Folgende Themenschwerpunkte standen dabei im Mittelpunkt des Online-Dialoges, der dem Workshop vorgelagert war:

- ▶ Themenfeld A: "ERP-Systeme als Steuerungsinstrumente für das Umweltmanagement"
- ▶ Themenfeld B "Integration umweltbezogener Informationen in die Module von ERP-Systemen"
- ▶ Themenfeld C "Staatliche Unterstützungs- und Regulierungsbedarfe für eine gelingende Integration"

Diesen drei einzelnen Themenschwerpunkten wurden in diesem Rahmen die folgenden Fragen zugeordnet

Themenschwerpunkt A: ERP-Systeme als Steuerungsinstrumente für das Umweltmanagement

- ▶ Haben Unternehmen überhaupt ein Interesse, Entscheidungen stärker an Umwelt- und Klimazielen auszurichten? Wenn ja, gibt es eine Lücke zwischen ihrem Bedarf und dem Angebot geeigneter Umweltmanagementsoftware?
- ▶ Was sind Vor- und Nachteile von in ERP-Systemen integrierten Lösungen gegenüber eigenständiger Umweltmanagementsoftware? Kommt eine Betrachtung aus ökologischer und aus ökonomischer Perspektive zu unterschiedlichen Ergebnissen?

- ▶ Welche umweltbezogenen Daten (z. B. Energieverbrauch, Wasserverbrauch, Emissionen, Abfälle, usw.) werden bereits aus unternehmensinternen Gründen (z. B. Kostenmanagement, etc.) erhoben und bereits in ERP-Systemen abgebildet? Welche Daten sind zusätzlich steuerungsrelevant und damit ebenfalls zu integrieren?
- ▶ Können die Bestandteile eines Umweltmanagementsystems, die keine reinen umweltbezogenen Daten sind, sinnvoll in ein ERP-System integriert werden (z. B. Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten im Umweltschutz, Dokumentationswesen, Notfallvorsorge, interne Audits, Beauftragtenwesen, externe Dienstleister)?

Themenschwerpunkt B: Integration umweltbezogener Informationen in die Module von ERP-Systemen

- ▶ Wie können bis jetzt noch nicht integrierte umweltbezogene Daten von Produkten, aus der Produktion oder von Lieferanten in die Module von ERP-Systemen (Lieferantenmanagement/Beschaffung, Buchhaltung, Fertigung, Personalmanagement, etc.) konkret integriert werden?
- ▶ Was sind die vielversprechendsten Anwendungsfälle digitaler Steuerungsinstrumente für das Umweltmanagement bzw. in welchen Themenbereichen des Umweltmanagements (Produktion, Lieferantenmanagement, Umweltcontrolling, Risikomanagement, Compliance) sind die größten Auswirkungen zu erwarten?
- ▶ Könnten vorgefertigte Branchenlösungen einen Beitrag zur Integration umweltbezogener Informationen in die Module von ERP-Systemen leisten?

Themenschwerpunkt C: Staatliche Unterstützungs- und Regulierungsbedarfe für eine gelingende Integration

- ▶ Da zusätzliche umweltbezogene Daten wahrscheinlich nur dann in die Module von ERP-Systemen integriert werden, wenn den damit verbundenen Kosten ein höherer interner Nutzen (z. B. durch Effizienzgewinne) gegenübersteht, sind staatliche Unterstützungs- und Regulierungseingriffe erforderlich?
- ▶ Welche konkret unterstützende Rolle kann der Staat für eine stärkere Verbreitung digitaler Steuerungsinstrumente für das Umweltmanagement spielen? Reichen betriebswirtschaftliche Vorteile aus oder müssen gesetzliche Regulierungen und/oder Anreize geschaffen werden?
- ▶ Was wären geeignete regulatorische Maßnahmen, die Steuerungsrelevanz für alle als wichtig erachteten Umweltparameter herstellen?

3.6.2 Thesen und Bewertung aus Stakeholdersicht

Zu den drei oben vorgestellten Themenschwerpunkten wurden Thesen zur Kommentierung und Diskussion in einen vorgelagerten Online-Dialog eingespeist, die im Folgenden verdichtet vorgestellt werden und zeigen sollen, wie derartige Anwendungen systematischer als bislang für einen Umweltnutzen eingesetzt werden können.

Themenschwerpunkt A: ERP-Systeme als Steuerungsinstrumente für das Umweltmanagement

Enterprise Resource Planning (ERP)-Systeme ermöglichen es, verschiedenste Unternehmensbereiche, von Kostencontrolling und Buchhaltung über Auftragsabwicklung, Materialwirtschaft und Produktion bis hin zu Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten, digital zu steuern. Das betriebliche Umweltmanagement - durch entsprechende digitale Umweltmanagementsoftware unterstützt - vereint verschiedenste Disziplinen und arbeitet eng mit anderen zentralen Funktionen zusammen, um die betrieblichen Umweltauswirkungen zu erfassen und zu steuern.

Zur digitalen Unterstützung des Umweltmanagements kommen allerdings oftmals alleinstehende Softwarelösungen zum Einsatz, die keine oder kaum Schnittstellen zu den zentralen ERP-Systemen der Unternehmen aufweisen. Zwei Arten von Anforderungen könnten eine Integration umweltbezogener Daten in die Module von ERP-Systemen unterstützen:

1. Höhere interne Anforderungen auf Seiten der Unternehmen:

- ▶ Kosteneinsparungen,
- ▶ Effizienzgewinne,
- ▶ Bessere Risikokontrolle,
- ▶ Neue Geschäftsmodelle.

2. Externe Impulse von Seiten der Regulierung:

- ▶ Anreize,
- ▶ Zwang (z. B. Verpflichtende Offenlegung),
- ▶ Öffentlicher Druck.

Folgende Thesen zum Themenschwerpunkt A wurden daher zur Kommentierung und Diskussion in den vorgelagerten Online-Dialog eingespeist. Die Zustimmung der teilnehmenden Stakeholder in Form von drei Antwortmöglichkeiten (Stimme voll zu; Stimme teilweise zu; Lehne ab) ist jeweils aufgeführt:

Thesen:

1. These A1:

- ▶ "Eigenständige Umweltmanagementsoftwarelösungen (z. B. für umweltbezogene Kennzahlen, Audits, Berichtswesen, Dokumentation, Prozessmanagement oder Verantwortlichkeiten) werden entweder eingesetzt um Einsparpotenziale aufzudecken oder aus Gründen der Compliance (zur Sicherstellung der Konformität mit Umweltrechtsvorschriften) und Sicherung der "Licence to operate". "

Bewertung: Stimme voll und ganz zu: 4, Stimme teilweise zu: 4, Lehne ab: 0

2. These A2:

- ▶ "Von wenigen Ausnahmen abgesehen, werden bis jetzt nur diejenigen umweltbezogenen Daten (wie z. B. der Energieverbrauch) in die Module von ERP-Systemen integriert, welche von den Unternehmensleitungen als direkt steuerungsrelevant angesehen werden und damit aus unternehmensinternen Gründen (z. B. Kosteneinsparung, etc.) wichtig sind."

Bewertung: Stimme voll und ganz zu: 4, Stimme teilweise zu: 2, Lehne ab: 0

3. These A3:

- ▶ "Zusätzliche umweltbezogene Kennzahlen werden aus eigenem Antrieb nur dann in die Module von ERP-Systemen integriert, wenn den damit verbundenen Kosten ein höherer interner Nutzen (z. B. Effizienzgewinne, bessere Risikokontrolle, Erfüllung von Berichtspflichten, Aussicht auf ordnungsrechtliche Privilegierungen, neue attraktive Geschäftsmodelle) gegenübersteht."

Bewertung: Stimme voll und ganz zu: 3, Stimme teilweise zu: 3, Lehne ab: 0

4. These A4:

- ▶ "Bei einer Betrachtung rein aus ökonomischer Perspektive macht die Integration umweltbezogener Kennzahlen in ERP-Systeme vor allem dann Sinn, wenn die ökologischen Folgen

des unternehmerischen Handelns auch direkte finanzielle Auswirkungen haben. Wenn umweltbezogene Daten (wie z. B. Energie- und Materialverbrauch, CO₂-Ausstoß) den ökonomischen Erfolg eines Unternehmens mitbeeinflussen bzw. wenn mit ihnen eine Berichtspflicht zu Umweltaspekten bedient werden kann oder wenn die Möglichkeit der ordnungsrechtlichen Privilegierung besteht, werden sie auch steuerungsrelevant."

Bewertung: Stimme voll und ganz zu: 4, Stimme teilweise zu: 2, Lehne ab: 0

Themenschwerpunkt B: Integration umweltbezogener Informationen in die Module von ERP-Systemen

Folgende Fragen sollten im Rahmen des zweiten Themenschwerpunktes beantwortet werden: Welche konkreten Möglichkeiten bestehen, umweltbezogene Daten stärker über ERP-Systeme abzubilden und damit zu einer Integration des Umweltmanagements in die zentrale Unternehmenssteuerung beizutragen? Wie können bis jetzt noch nicht integrierte umweltbezogene Daten von Produkten, aus der Produktion oder von Lieferanten in die Module von ERP-Systemen integriert werden? Was sind die vielversprechendsten Anwendungsfälle digitaler Steuerungsinstrumente für das Umweltmanagement bzw. in welchen Themenbereichen des Umweltmanagements (Produktion, Lieferantenmanagement, Umweltcontrolling, Risikomanagement, Compliance) sind die größten Auswirkungen zu erwarten? Welche Maßnahmen können einen Beitrag zur Integration umweltbezogener Informationen in die Module von ERP-Systemen leisten?

Folgende Thesen zum Themenschwerpunkt B wurden daher zur Kommentierung und Diskussion in den vorgelagerten Online-Dialog eingespeist. Die Zustimmung der teilnehmenden Stakeholder in Form der Zustimmungsrate ist ebenfalls aufgeführt:

Thesen:

1. These B1:

- ▶ "Durch den Einsatz von ERP-Systemen als digitale Steuerungsinstrumente könnten viele Themenbereiche des Umweltmanagements (z. B. Produktion, Lieferantenmanagement, Umweltcontrolling, Risikomanagement, Compliance) deutlich profitieren, da sie automatisierter und weniger aufwändig umzusetzen wären, eine höhere Sichtbarkeit im Unternehmen hätten und besser an andere Unternehmensprozesse anknüpfen würden."

Bewertung: Stimme voll und ganz zu: 4, Stimme teilweise zu: 1, Lehne ab: 0

2. These B2:

- ▶ "Die Produktion würde durch eine Integration umweltbezogener Daten ressourcenschonender und umweltfreundlicher. Ist z. B. eine intelligente Sensor- und Zählerinfrastruktur im Produktionsbereich installiert, welche die aufgenommenen Daten in einer ERP-Plattform verwertet, können Emissionen in die Umwelt und Energieverluste schneller festgestellt oder eine vorausschauende Instandhaltung („Predictive Maintenance“) durch die Nutzung von Big-Data-Analysen präzisiert werden. Derart können die Umweltauswirkungen der Produktion reduziert, Wiederverwendungskreisläufe von Wasser, Material oder Energie integriert oder energieeffizientere Produktionsprozesse gefördert werden."

Bewertung: Stimme voll und ganz zu: 2, Stimme teilweise zu: 2, Lehne ab: 0

3. These B3:

- ▶ "Die Überwachung der, dem Unternehmen vorgelagerten, Lieferkette und des damit verbundenen Lieferantenmanagements (im Sinne eines verantwortungsvollen Umweltmana-

gements) würden durch eine Abbildung im ERP-System profitieren und könnten automatisierter und damit kosteneffizienter erfolgen. Zudem würden mögliche Risiken, die sich aus der zunehmenden Verantwortungsübernahme auch für vorgelagerte Wertschöpfungsstufen ergeben, früher erkannt werden."

Bewertung: Stimme voll und ganz zu: 3, Stimme teilweise zu: 2, Lehne ab: 0

4. These B4:

- ▶ "Die Integration umweltbezogener Kennzahlen in ERP-Systeme unterstützt deren qualitative Gleichstellung mit Finanzdaten und erleichtert sowohl die Erstellung interner Audits, als auch die automatisierte Erstellung von externen Reportings oder Berichtspflichten, welche den Anforderungen aus dem Compliance-Bereich (z. B. CSR-Berichtspflicht, EMAS-Umwelterklärung, Berichtspflichten im Umweltrecht, usw.) genügen müssen."

Bewertung: Stimme voll und ganz zu: 4, Stimme teilweise zu: 1, Lehne ab: 0

5. These B5:

- ▶ "Beispielhafte Branchenlösungen von Anbietern der ERP-Systeme, die interessierten Anwendern eine leichte Integration steuerungsrelevanter umweltbezogener Daten ermöglichen, könnten einen Beitrag zur schnelleren Integration umweltbezogener Informationen in die Module von ERP-Systemen leisten."

Bewertung: Stimme voll und ganz zu: 1, Stimme teilweise zu: 3, Lehne ab: 1

Themenschwerpunkt C: Staatliche Unterstützungs- und Regulierungsbedarfe für eine gelingende Integration

Da zusätzliche umweltbezogene Daten für Module von ERP-Systemen wahrscheinlich dann stärker nachgefragt werden, wenn den damit verbundenen Kosten ein höherer interner Nutzen gegenübersteht, könnten staatliche Unterstützungs- und Regulierungsbedarfe von größerer Bedeutung sein. Daher stellt sich die Frage, welche unterstützende Rolle der Staat für eine stärkere Verbreitung digitaler Steuerungsinstrumente für das Umweltmanagement spielen kann? Reichen betriebswirtschaftliche Vorteile allein aus oder bedarf es einer zusätzlichen staatlichen Lenkung durch ordnungsrechtliche Vorgaben und ökonomische Anreize? Was wären geeignete regulatorische Maßnahmen, die Steuerungsrelevanz für alle als wichtig erachteten Umweltparameter herstellen?

Folgende Thesen zum Themenschwerpunkt C wurden daher zur Kommentierung und Diskussion in den vorgelagerten Online-Dialog eingespeist. Die Zustimmung der teilnehmenden Stakeholder ist ebenfalls aufgeführt:

Thesen:

1. These C1:

- ▶ "Ausgehend von den Thesen A2 und A4 sind Umweltkennzahlen aus Unternehmenssicht dann steuerungsrelevant und zu integrieren, wenn diese aus rein ökonomischer Perspektive relevant sind. Das führt dazu, dass nicht alle aus Umweltsicht relevanten Kennzahlen integriert werden. Es ist die Aufgabe der Politik eine unterstützende Rolle für eine stärkere Verbreitung digitaler Steuerungsinstrumente für das Umweltmanagement zu spielen und durch geeignete regulatorische Maßnahmen Steuerungsrelevanz für die als wichtig erachteten umweltbezogenen Daten herzustellen."

Bewertung: Stimme voll und ganz zu: 1, Stimme teilweise zu: 4, Lehne ab: 0

2. These C2:

- ▶ "Geeignete regulatorische Maßnahmen, die Steuerungsrelevanz für alle als wichtig erachteten umweltbezogenen Daten herstellen, sollten in erster Linie aus ökonomischen Instrumenten (z. B. CO₂-Bepreisung) bestehen."

Bewertung: Stimme voll und ganz zu: 3, Stimme teilweise zu: 2, Lehne ab: 0

3. These C3:

- ▶ "Für Fälle, in denen Anreize nicht ausreichen, um eine Steuerungsrelevanz für umweltbezogene Daten herzustellen, sollte die Steuerungsrelevanz durch Ordnungsrecht (z. B. verpflichtende Offenlegung bestimmter Umweltkennzahlen und Strafen bei nicht Nicht-Befolgung) hergestellt werden."

Bewertung: Stimme voll und ganz zu: 2, Stimme teilweise zu: 3, Lehne ab: 1

4. These C4:

- ▶ "Zusätzlich zu umweltbezogenen Kennzahlen (und den sowieso schon vorhandenen ökonomischen Kennzahlen) sollten (notfalls mithilfe staatlicher Unterstützungs- und Regulierungsmaßnahmen) auch wesentliche Sozial-Kennzahlen in die entsprechenden Module von ERP-Systemen integriert werden. Erst dadurch kann die notwendige Verbindung aller drei Dimensionen der Nachhaltigkeit gewahrt werden."

Bewertung: Stimme voll und ganz zu: 3, Stimme teilweise zu: 3, Lehne ab: 0

Bewertung der Thesen aus Stakeholdersicht

ERP-Systeme als Steuerungsinstrumente für das Umweltmanagement

Bezüglich der Diskussion von Vor- und Nachteilen von in ERP-Systemen integrierten Lösungen gegenüber eigenständiger Umweltmanagementsoftware zeigt sich, dass eigenständige Umweltmanagementsoftwarelösungen zumeist aus Gründen der Compliance (also zur Sicherstellung der Konformität mit den gültigen Umweltrechtsvorschriften) und zur Sicherung der gesellschaftlichen Akzeptanz (Licence to operate) eingesetzt werden. Diese Compliance-Thematik setzt ein Expertenwissen voraus, welches bei klassischen ERP-Anbietern nicht zwingend vorhanden sein muss sowie benötigt eine hohe Flexibilität, auf die eigenständige Software-Lösungen unter Umständen schneller reagieren können als in ERP-Systemen integrierte Lösungen. Dennoch herrscht weitgehende Einigkeit dahingehend, dass eine stärkere Integration umweltbezogener Daten, Ziele und Prozesse in ERP-Systeme wünschenswert wäre, um eine stärkere Berücksichtigung umweltrelevanter Themen in der Unternehmenssteuerung sicherzustellen. Alternativ müssten geeignete Schnittstellen die Verknüpfung von Spezialsoftware und ERP-Systemen gewährleisten.

In Bezug auf die Frage, welche konkreten umweltbezogenen Daten (z. B. Energieverbrauch, Wasserverbrauch, Emissionen, Abfälle, usw.) in ERP-Systemen abgebildet sein sollten, zeigt sich, dass von wenigen Ausnahmen abgesehen, bis jetzt nur diejenigen umweltbezogenen Daten in die Module von ERP-Systemen integriert werden, welche von den Unternehmensleitungen als direkt steuerungsrelevant bzw. kostenrelevant angesehen werden und damit aus unternehmensinternen Gründen (z. B. Kosteneinsparung, etc.) wichtig sind. Bei der Berücksichtigung den Energieverbrauch betreffender Daten scheinen die ERP-Anbieter momentan am weitesten zu sein, da aufgrund der damit relativ schnell zu realisierenden Kosteneinsparungen, und damit getrieben aus ökonomischen Gründen, eine große Nachfrage nach Energiemanagementfunktionalitäten bei den Anwendern besteht.

Bei einer Betrachtung aus ökonomischer Perspektive des jeweiligen Unternehmens wird die Integration umweltbezogener Kennzahlen in ERP-Systeme voraussichtlich also nur dann erfolgen, wenn die ökologischen Folgen des unternehmerischen Handelns auch direkte finanzielle Auswirkungen haben. D. h. wenn umweltbezogene Daten (wie z. B. Energie- und Materialverbrauch, CO₂-Ausstoß) den ökonomischen Erfolg eines Unternehmens mitbeeinflussen bzw. wenn mit ihnen eine Berichtspflicht zu Umweltaspekten bedient werden kann oder wenn die Möglichkeit der ordnungsrechtlichen Privilegierung besteht, werden sie auch steuerungsrelevant und damit mit einer höheren Wahrscheinlichkeit in ERP-Systeme integriert.

Integration umweltbezogener Informationen in die Module von ERP-Systemen

Durch den Einsatz von ERP-Systemen als digitale Steuerungsinstrumente könnten spezifische Themenbereiche des Umweltmanagements, wie z. B. Produktion, Lieferantenmanagement sowie Compliance, deutlich profitieren, da sie automatisierter und weniger aufwändig umzusetzen wären, eine höhere Sichtbarkeit im Unternehmen hätten und besser an andere Unternehmensprozesse anknüpfen würden.

Insbesondere die Produktion könnte durch eine Integration umweltbezogener Daten ressourcenschonender und umweltfreundlicher erfolgen. Ist z. B. eine intelligente Sensor- und Zählerinfrastruktur im Produktionsbereich installiert, welche die aufgenommenen umweltbezogenen Daten mit den entsprechenden Kostendaten in einer ERP-Plattform direkt verknüpft, können Emissionen in die Umwelt und Energieverluste schneller festgestellt oder eine vorausschauende Instandhaltung durch die Nutzung von Big-Data-Analysen präzisiert werden. Derart können die Umweltauswirkungen der Produktion reduziert, Wiederverwendungskreisläufe von Wasser, Material und Energie integriert oder energieeffiziente Produktionsprozesse gefördert werden.

Die Überwachung der, dem Unternehmen vorgelagerten, Lieferkette und des damit verbundenen Lieferantenmanagements (im Sinne eines verantwortungsvollen Umweltmanagements) würden durch eine Integration von Umweltdaten und -zielen in das Lieferantenmanagement-Modul eines ERP-Systems profitieren. So könnten z. B. neben der Optimierung von Preis, Qualität und Lieferfähigkeit auch ökologische und soziale Ziele bei der Lieferantenauswahl und -entscheidung automatisierter und damit kosteneffizienter berücksichtigt werden. Zudem würden mögliche Risiken, die sich aus der zunehmenden Verantwortungsübernahme auch für vorgelagerte Wertschöpfungsstufen ergeben, früher erkannt werden.

Auch unter Compliance-Gesichtspunkten entstünden Vorteile. Die Integration umweltbezogener Kennzahlen in ERP-Systeme unterstützt deren qualitative Gleichstellung mit Finanzdaten und erleichtert sowohl die Erstellung interner Audits, als auch die automatisierte Erstellung von externen Berichten, welche den Anforderungen aus dem Compliance-Bereich (z. B. CSR-Berichtspflicht, EMAS-Umwelterklärung, Berichtspflichten im Umweltrecht, usw.) genügen müssen.

Staatliche Unterstützungs- und Regulierungsbedarfe für eine gelingende Integration

Da zusätzliche umweltbezogene Daten von privatwirtschaftlichen Unternehmen vor allem dann in die Module von ERP-Systemen integriert werden, wenn den damit verbundenen Kosten ein höherer interner Nutzen (z. B. durch Effizienzgewinne) gegenübersteht, scheinen staatliche Unterstützungs- und Regulierungseingriffe unumgänglich zu sein. Es müsste somit die Aufgabe der Politik sein, eine unterstützende Rolle für eine stärkere Verbreitung digitaler Steuerungsinstrumente für das Umweltmanagement zu spielen und durch geeignete regulatorische Maßnahmen Steuerungsrelevanz für die als wichtig erachteten umweltbezogenen Daten herzustellen. Die Politik sollte folglich entsprechende

Rahmenbedingungen schaffen, so dass Umweltkennzahlen zwangsläufig als steuerungsrelevant erachtet werden. Auf geeignete Anreizsetzungen und regulatorische Maßnahmen wird in den folgenden Handlungsoptionen eingegangen.

3.6.3 Erarbeitete Handlungsoptionen

Während des Face-to-Face-Workshops wurden von den anwesenden Stakeholdern für die vorne vorgestellten Thesen in den betrachteten Anwendungsfeldern jeweils zunächst vertiefende Einschätzungen vorgenommen, um dann geeignete gesetzgeberische Handlungsoptionen zu entwickeln.

Es erfolgte folglich eine Bewertung der Thesen und eine Weiterentwicklung zu Handlungsoptionen aus Sicht verschiedener Stakeholdergruppen. Dabei wurden die Themenfelder A und C gemeinsam in einer Gruppe behandelt, das Themenfeld B getrennt davon. Unter anderem konnten folgende praxistaugliche Handlungsoptionen, geordnet nach unterschiedlichen Themenschwerpunkten, für staatliche Stellen und Stakeholder zur umweltpolitischen Begleitung des Trendthemas abgeleitet werden. Die Handlungsoptionen wurden dabei, zur besseren Übersicht und Einordnung, 6 verschiedenen Themenschwerpunkten zugeordnet.

Themenschwerpunkt I "Anreizsetzung"

Handlungsoption 1: Steuerungsrelevanz der Umweltauswirkungen herstellen

- ▶ "Um die Umweltauswirkungen eines Unternehmens für das Management besser kommunizierbar und steuerungsrelevant zu machen, muss eine Monetarisierung, d. h. eine Vergleichbarkeit der gesellschaftlichen Kosten der Umweltauswirkungen mit der ökonomischen Leistung des Unternehmens, angestrebt werden. Dies erleichtert auch die Integration in Unternehmenssteuerungssoftware. Es ist die Aufgabe des Staates - als vertrauensschaffende Instanz - geeignete Rahmenbedingungen zu schaffen, in denen diese Monetarisierung erfolgen kann."

Bewertung: Stimme voll und ganz zu: 2, Stimme teilweise zu: 3, Lehne ab: 0

Handlungsoption 2: Mehrwerte der Berücksichtigung von Umweltauswirkungen in Unternehmensentscheidungen stärker in den Fokus rücken

- ▶ "Um eine erweiterte Unternehmensverantwortung in Bezug auf Umwelt und Nachhaltigkeit breit zu verankern, sollte in erster Linie eine geeignete Anreizsetzung zu einer (freiwilligen) Umsetzung erfolgen. Neben den bestehenden Berichtspflichten (wie z. B. aus dem CSR-Richtlinie-Umsetzungsgesetz) sollte noch stärker der Mehrwert der Steuerungsrelevanz für die Unternehmen selbst herausgestellt werden (z. B. Honorierung der Transparenz durch Investoren und Kapitalmärkte)."

Bewertung: Stimme voll und ganz zu: 4, Stimme teilweise zu: 1, Lehne ab: 0

Handlungsoption 3: Belohnungen für umsetzende Unternehmen

- ▶ "Unternehmen, die ein Umweltmanagementsystem (z. B. nach EMAS) etablieren, haben ideale Voraussetzungen um ihre Umweltauswirkungen steuerungsrelevant zu machen und umweltbezogene Daten in die Unternehmenssteuerungssoftware zu integrieren. Daher sollte die Verbreitung von Umweltmanagementsystemen durch Vollzugsvereinfachungen oder finanzielle Anreize (wie z. B. Steuererleichterungen) gestärkt werden."

Bewertung: Stimme voll und ganz zu: 3, Stimme teilweise zu: 2, Lehne ab: 0

Themenschwerpunkt II "Offenlegungs- und Transparenzpflichten"

Handlungsoption 4: Berichtspflichten

- ▶ "Konkrete Transparenzanforderungen an Unternehmen hinsichtlich der Berichtspflichten zu umweltbezogenen Daten (inkl. unabhängiger Prüfung) sollten ausformuliert und entsprechende Möglichkeiten zur Sanktionierung bei Nichteinhaltung der Berichtspflichten geschaffen werden."

Bewertung: Stimme voll und ganz zu: 3, Stimme teilweise zu: 2, Lehne ab: 0

Themenschwerpunkt III "Standardisierung der Indiktorik"

Handlungsoption 5: Festlegung von Key Performance Indicators (KPIs)

- ▶ "Eine definierte Liste von wesentlichen Umwelt- und Sozial-Key Performance Indicators (KPIs) kann als gemeinsames Set eine einheitliche, transparente und vergleichbare Bewertung von Unternehmen ermöglichen. Es sollte aus allgemeingültigen Umwelt-Kennzahlen sowie wesentlichen branchenspezifischen Kennzahlen bestehen. Diese Vergleichbarkeit schafft Anreize, sich am Markt gegenüber Konkurrenz, Kunden und Investoren besser zu positionieren."

Bewertung: Stimme voll und ganz zu: 5, Stimme teilweise zu: 0, Lehne ab: 0

Themenschwerpunkt IV "Standardisierung und Interoperabilität"

Handlungsoption 6: Standards für die Interoperabilität

- ▶ "Entscheidend für eine erfolgreiche Umsetzung sind funktionierende Schnittstellen zwischen den digitalen Unterstützungssystemen verschiedenster Anbieter von Umweltmanagementsoftware und ERP-Systemen. Sollte sich eine Wirtschaftsinitiative zur Herausbildung von Industriestandards durch Normungsprozesse als zu langwierig erweisen bzw. sollten Umweltdaten hier nicht berücksichtigt werden, so sollte der Staat den Anstoß hierzu liefern (z. B. über ein Normungsmandat), und derart die notwendige Interoperabilität der Systeme zukünftig sicherstellen."

Bewertung: Stimme voll und ganz zu: 2, Stimme teilweise zu: 3, Lehne ab: 0

Themenschwerpunkt V "KMU im Fokus"

Handlungsoption 7: Abgestufte Berichtspflichten für KMU

- ▶ "Um die Geschäftsmodelle von KMU nicht zu gefährden, müssen für diese Unternehmen vereinfachte Berichtspflichten gelten (siehe Handlungsoption 4). Die Berichtspflichten für KMU sollten daher abgestuft erfolgen und ohne größeren bürokratischen Aufwand praxisnah umsetzbar sein."

Bewertung: Stimme voll und ganz zu: 5, Stimme teilweise zu: 0, Lehne ab: 0

Handlungsoption 8: Umsetzung bei KMU

- ▶ "KMU dürfen bei der Umsetzung von Berichtspflichten nicht allein gelassen werden. Hier ist mehr Aufklärungsarbeit notwendig. Neue Gesetze und Regularien müssen dabei Hand in Hand gehen mit finanzierbaren Softwarelösungen (z. B. nicht nur Single, sondern auch Pool-Lösungen). KMU sollten zudem bei der Umsetzung unterstützt werden, z. B. durch finanzielle Anreize oder durch ein Programm zum Investitionsanschub."

Bewertung: Stimme voll und ganz zu: 5, Stimme teilweise zu: 0, Lehne ab: 0

Themenschwerpunkt VI "Förderprogramme und Forschungsförderung"

Handlungsoption 9: Förderung von Forschungsvorhaben

- ▶ "Im Rahmen von Förderprogrammen sollte eine gezielte Forschungsförderung für Vorhaben erfolgen, welche die Chancen der Digitalisierung für nachhaltigere Geschäftsmodelle untersuchen. Konkret sollten hier Vorhaben ermöglicht werden, die in einer ergebnisoffenen Auseinandersetzung die positiven, aber auch negativen Folgen des Einbezugs von umwelt- und sozialrelevanten Daten in die Unternehmenssteuerung untersuchen und z. B. Good-Practice-Beispiele oder Branchenlösungen erarbeiten."
Bewertung: Stimme voll und ganz zu: 5, Stimme teilweise zu: 0, Lehne ab: 0

3.6.4 Bewertungen der Handlungsoptionen aus Stakeholdersicht

Die vorgestellten Handlungsoptionen wurden in einem nachgelagerten Online-Dialog von einem erweiterten Kreis identifizierter Stakeholder bewertet und kommentiert. Zielsetzung war es, diese zu konkreteren Handlungsempfehlungen weiterzuentwickeln.

Folgende Leitfragen werden hierzu den Stakeholdern gestellt:

1. Wie sinnvoll und effektiv finden Sie die Handlungsoptionen?
2. Wie kann die Umsetzung der Handlungsoptionen konkret aussehen?
3. Welche unerwünschten Nebenwirkungen sollten in Betracht gezogen werden?

Unter Berücksichtigung der Anmerkungen und Kommentare der beteiligten Stakeholder im Sinne dieser Leitfragen zu den einzelnen Handlungsoptionen konnten abschließend folgende Handlungsempfehlungen formuliert werden.

Themenschwerpunkt "Anreizsetzung"

Um die Umweltauswirkungen eines Unternehmens für das Management besser kommunizierbar und steuerungsrelevant zu machen, muss eine Monetarisierung, d. h. eine Einbeziehung der gesellschaftlichen Kosten der Umweltauswirkungen eines Unternehmens in die ökonomische Leistung des Unternehmens, angestrebt werden. Dies erleichtert dann auch die Integration in Unternehmenssteuerungssoftware. Es ist somit tatsächlich die Aufgabe des Staates - als vertrauensschaffende Instanz - geeignete Rahmenbedingungen zu schaffen, in denen diese Monetarisierung erfolgen kann. Um eine erweiterte Unternehmensverantwortung in Bezug auf Umwelt und Nachhaltigkeit breit zu verankern, sollte in erster Linie eine geeignete Anreizsetzung für eine (freiwillige) Umsetzung erfolgen. Hierzu sollte noch stärker der Mehrwert der Steuerungsrelevanz für die Unternehmen selbst herausgestellt werden (z. B. Honorierung der Transparenz durch Investoren und Kapitalmärkte).

Unternehmen, die bereits ein Umweltmanagementsystem (z. B. nach EMAS) etablieren, haben ideale Voraussetzungen um ihre Umweltauswirkungen steuerungsrelevant zu machen und umweltbezogene Daten in die Unternehmenssteuerungssoftware zu integrieren. Daher sollte die Verbreitung von Umweltmanagementsystemen generell durch Vollzugsvereinfachungen oder finanzielle Anreize (wie z. B. Steuererleichterungen) gestärkt werden, auch vor dem Hintergrund, dass die Anzahl der gemäß EMAS validierten Unternehmen gegenwärtig leicht rückläufig ist. Gleichwohl dürfte die Nachhaltigkeitsberichterstattung mit Basis eines Umweltmanagementsystems, wie z. B. EMAS eine günstige Grundlage für weitergehende Schritte bieten.

Themenschwerpunkt "Offenlegungs- und Transparenzpflichten"

In Fällen, in denen die zuvor beschriebene Anreizsetzung nicht zum gewünschten Ergebnis führt, könnten konkrete Transparenzanforderungen an die Unternehmen hinsichtlich der Berichtspflichten zu umweltbezogenen Daten ausformuliert und entsprechende Möglichkeiten zur Sanktionierung bei Nichteinhaltung der Berichtspflichten geschaffen werden. Zusätzlich zu den bereits bestehenden Berichtspflichten für Großunternehmen (wie z. B. aus dem CSR-Richtlinie-Umsetzungsgesetz), sollte eine Geschäfts- bzw. Finanzberichterstattung in abgestufter Weise (gestaffelt nach den Möglichkeiten der

Unternehmen, z. B. nach Anzahl der Mitarbeiter oder Umsatzhöhe) für alle Unternehmen eingeführt werden. Derart ließen sich Versäumnisse und Lücken der traditionellen Geschäftsberichterstattung beheben und eine verbindliche Nachhaltigkeitsberichterstattung ausgestalten lassen.

Themenschwerpunkt "Standardisierung der Indikatorik"

Eine definierte Liste von wesentlichen Umwelt- und Sozial-Key Performance Indicators (KPIs) als gemeinsames Set, würde eine einheitliche, transparente und vergleichbare Bewertung von Unternehmen ermöglichen. Diese Liste sollte aus allgemeingültigen Umwelt-Kennzahlen sowie den wesentlichen branchenspezifischen Kennzahlen bestehen. Diese Vergleichbarkeit schafft dann Anreize, sich am Markt gegenüber Konkurrenz, Kunden und Investoren besser zu positionieren.

Themenschwerpunkt "Standardisierung der Interoperabilität"

Entscheidend für eine erfolgreiche Umsetzung sind funktionierende Schnittstellen zwischen den digitalen Unterstützungssystemen verschiedener Anbieter von Umweltmanagementsoftware und ERP-Systemen. Sollte sich eine Wirtschaftsinitiative zur Herausbildung von Industriestandards durch Normungsprozesse als zu langwierig erweisen bzw. sollten Umweltdaten hier nicht berücksichtigt werden, so sollte der Staat den Anstoß hierzu liefern (z. B. über ein Normungsmandat), und derart die notwendige Interoperabilität der Systeme zukünftig sicherstellen.

Themenschwerpunkt "KMU im Fokus"

Um die Geschäftsmodelle von KMU nicht zu gefährden, sollten für diese Unternehmen vereinfachte Berichtspflichten gelten (siehe Themenschwerpunkt "Offenlegungs- und Transparenzpflichten"). Die Berichtspflichten für KMU müssten daher abgestuft erfolgen und ohne größeren bürokratischen Aufwand praxisnah umsetzbar sein. KMU dürfen zudem bei der Umsetzung von Berichtspflichten nicht allein gelassen werden. Hier ist mehr Aufklärungsarbeit notwendig. Erste Leitfäden speziell für KMU liegen bereits vor und es gibt vereinfachte Software-Werkzeuge, z.T. sogar erstellt von KMU. Neue Gesetze und Regularien müssen dabei Hand in Hand gehen mit finanzierbaren Softwarelösungen (z. B. spezielle Pool-Lösungen für KMU, die keine flächendeckende Installation auf allen Endgeräten erfordern). KMU sollten zudem bei der Umsetzung unterstützt werden, z. B. durch spezielle finanzielle Anreize oder durch ein Programm zum Investitionsanschub.

Themenschwerpunkt "Förderprogramme und Forschungsförderung"

Abschließend und mit Blick auf die mittelfristige Entwicklung sollte im Rahmen von Förderprogrammen eine gezielte Forschungsförderung für Vorhaben erfolgen, welche die Chancen der Digitalisierung für nachhaltigere Geschäftsmodelle untersuchen. Konkret sollten hier Vorhaben ermöglicht werden, die in einer ergebnisoffenen Auseinandersetzung die positiven, aber ggf. auch negativen Folgen des Einbezugs von umwelt- und sozialrelevanten Daten in die Unternehmenssteuerung untersuchen und z. B. Good-Practice-Beispiele oder Branchenlösungen erarbeiten.

4 Zusammenfassung zu den Auswirkungen der Digitalisierung in den Trendthemen

Bei der **Digitalisierung in der Landwirtschaft** sind bei den indirekten Effekten deutliche Effizienzgewinne und positive Auswirkungen auf die Umwelt (wie z. B. weniger Pestizideinsatz notwendig) zu erwarten. Auch die systemischen Effekte zeigen ein enormes Potenzial für den Umweltschutz. Zum einen lassen sich Stoffeinträge reduzieren und Betriebsprozesse optimieren, zum anderen kann sich die präzisere, auf besserer Datenbasis fundierten Bewirtschaftung positiv auf die Ökologie des landschaftlichen Umfelds auswirken. Zudem zeigt sich ein positives Transformationspotenzial hinsichtlich nachhaltiger Betriebs- und Konsumstrukturen. Negative systemische Effekte der Digitalisierung der Landwirtschaft können sich dann einstellen, wenn ausschließlich Großbetriebe die kapitalintensive Umrüstung finanziell stemmen können und damit die vielen KMU, gerade auch im Ökolandbau, relativ schlechter gestellt werden.

Bei einer Untersuchung der möglichen Anwendungsfälle von Lösungen auf Basis der **Blockchain-Technologie** zeigt sich, dass die Auswirkungen auf systemischer Ebene aufgrund der vielseitigen Anwendbarkeit und Ausgestaltbarkeit schwer abzuschätzen sind. Aus wirtschaftlicher Perspektive stellt die Blockchain-Technologie eine Enabler-Technologie dar, die ganze Wertschöpfungsprozesse optimieren und gesamtwirtschaftliche Auswirkungen haben kann. Beispielsweise können Smart Contracts als plattformübergreifender Standard zur Buchungsabwicklung eingesetzt werden und so die Realisierung geteilter Mobilitätskonzepte unterstützen. Weiterhin können durch eine verbesserte Transparenz der Lieferkette ein nachhaltiges Konsumverhalten und damit der Anteil nachhaltig produzierter Güter gefördert werden. Denkbar sind jedoch auch negative direkte Reboundeffekte, da durch eine effizientere Abwicklung des Handels und bei Buchungen sich auch Produktion und Konsum erhöhen können. Entsprechend ist die Gesamtwirkung durch die Blockchain-Technologie nicht zu prognostizieren. Werden weitere Fortschritte hinsichtlich der Senkung des Energieverbrauchs durch verbesserte Konsensmechanismen erzielt, können Smart Contracts als transparenter Standard für den Austausch im Internet of Things Einzug in viele Bereiche erhalten.

Die **Digitalisierung der Mobilität, insbesondere automatisiertes Fahren**, zeigt ein ambivalentes Bild. Zwar können deutliche Effizienzgewinne durch automatisierte Fahrzeuge und durch Vernetzung einzelner Fahrzeuge untereinander erreicht werden. Dem stehen jedoch negative direkte Reboundeffekte auf systemischer Ebene gegenüber, die durch die Kostenreduktion des Straßenverkehrs verursacht werden. Dies könnte zu einer Verschiebung des Modal Splits zu Lasten des Schienenverkehrs und damit zu Lasten der Umwelt führen. Auch auf wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Ebene können sich weitreichende Effekte in beide Richtungen ergeben. Mit der steigenden Vernetzung sind neue geteilte Mobilitäts-Konzepte mit Car-/Bike-/Ridesharing in Verbindung mit dem ÖPNV denkbar, die zunehmend den motorisierten Individualverkehr ersetzen könnten. Zusammen mit einem deutlich höheren Komfort kann so auch die Wohnortwahl beeinflusst werden. Es werden größere Entfernungen in Kauf genommen, wodurch das Verkehrsaufkommen wieder steigt, der ländliche Raum jedoch wieder an Attraktivität gewinnt. Eine genauere Wirkungsabschätzung der gegenläufigen systemischen Effekte auf die Umwelt und der zentralen Steuergrößen ist erstrebenswert.

Die **Ressourcenbedarfe und Ressourceneffizienz durch Digitalisierung** wurden im Rahmen des Workshops „Digitalisierung - Rohstoffe und Ressourceneffizienz“ untersucht. Dabei wurden beiden Seiten der einen Medaille - "Rohstoffbedarfe der Digitalisierung" auf der einen sowie "Ressourceneffizienzpotenziale durch Digitalisierung" auf der anderen - betrachtet. Es zeigte sich, dass ein vollständiger Verzicht auf die Gewinnung von Primärrohstoffen nicht praktikabel erscheint und somit der Fokus auf den Sekundärrohstoffen liegen sollte. Durch eine stärkere Verwendung von Sekundärrohstoffen in der Zukunft könnte eine relevante Verminderung des Bedarfs an Primärrohstoffen ermöglicht werden.

Der **Einsatz digitaler Technologien im Konsum** und deren Umweltauswirkungen sowie die Untersuchungen bezüglich des Einsatzes von **ERP-Systemen als digitale Steuerungsinstrumente für das Umweltmanagement** wurden erst nachträglich in das Untersuchungsportfolio aufgenommen, so dass hierzu keine Einschätzungen hinsichtlich der drei Effektebenen vorgenommen wurden.

Die **Kern-Ergebnisse zu den Auswirkungen der Digitalisierung auf den drei Effektebenen** lassen sich daher abschließend wie folgt zusammenfassen: Bei einer anschließenden anwendungsfeldübergreifenden Betrachtung lässt sich erkennen, dass insbesondere Effekte auf der zweiten und dritten Ebene ausschlaggebend sind. Grundsätzlich führen die direkten Effekte der Digitalisierung immer zunächst zu einem Material- und Energiebedarf und damit zu einer höheren Umweltbelastung. Ihnen gegenüber stehen jedoch die indirekten Effekte der Effizienzgewinne und positiven Ersatzwirkungen, die mal mehr, mal weniger Relevanz entfalten können. Jedoch können hier auch teilweise negative Obsoleszenzeffekte von Bedeutung sein. Die auf der dritten Ebene angesiedelten strukturellen Effekte können die positiven Wirkungen der Effizienzgewinne bzw. Ersatzwirkungen durch systemische Transformationen verstärken oder aber auch entgegenwirken und dadurch insgesamt zu einer schlechteren Umweltsituation führen.

Um folglich positive strukturelle Effekte erzielen zu können, müssen die politischen Rahmenbedingungen passfähig sein und entsprechende Anreize gegeben werden. Die aufgedeckten möglichen Effekte geben Aufschluss über Ansatzpunkte für rahmenpolitische Maßnahmen, um Verbesserungen zu erzielen. Ansonsten könnte z. B. eine durch Digitalisierung ermöglichte höhere Materialeffizienz, durch in Folge auftretende Reboundeffekte, ausschließlich zu einer Kostensenkung, Mehrproduktion, Preisverfall und Konsumanstieg führen. Es sind folglich - bedingt durch geeignete politischen Rahmenbedingungen - gesamtgesellschaftliche systemische Verhaltensänderungen, beispielsweise hin zu einer stärkeren Suffizienz notwendig, um die Digitalisierungsgewinne auch im Sinne einer positiven Umweltwirkung realisieren zu können.

Bezüglich der angesprochenen politischen Rahmenbedingungen sollen im abschließenden fünften Abschnitt die wichtigsten umweltpolitischen Maßnahmen zu den sechs Bereichen in Form von Handlungsempfehlungen zusammengefasst werden.

5 Handlungsempfehlungen zu den wichtigsten umweltpolitischen Maßnahmen in den ausgewählten Trendthemen

Im Folgenden werden Handlungsempfehlungen zu den wichtigsten umweltpolitischen Maßnahmen in den untersuchten sechs Bereichen, unter Ableitung der im Rahmen der Stakeholderdialoge geführten Diskussionen, aus Auftragnehmersicht zusammengefasst. Es handelt sich dabei um eine Quintessenz der vielfältigen Diskussionen aus den Dialogen ohne einen Anspruch auf Vollständigkeit. Hierzu wurden Thesen und Handlungsoptionen kombiniert und komprimiert, um möglichst konkrete umweltpolitische Maßnahmen ableiten zu können.

Die Maßnahmen lassen sich jeweils unter einen der vier Begriffe einordnen:

- ▶ „Chancen stärken“,
- ▶ „Risiken minimieren“,
- ▶ „Anreize setzen“,
- ▶ „Regulierungen vorgeben“.

Selbstverständlich ist diese Einteilung nur als grober Anhaltspunkt zu sehen. Zudem sind die umweltpolitischen Maßnahmen nicht immer trennscharf zuzuordnen.

Wichtig ist zudem, dass im Rahmen der jeweiligen Face-to-Face-Workshops eine Bewertung der Thesen und eine Weiterentwicklung zu Handlungsoptionen, immer aus Sicht verschiedener Stakeholdergruppen, erfolgte. Aus diesen Handlungsoptionen wurden dann praxistaugliche Handlungsempfehlungen für staatliche Stellen und Stakeholder zur umweltpolitischen Begleitung des Trendthemas abgeleitet, die jedoch noch immer aus Sicht der jeweiligen Stakeholder und damit als **"Forderung an die Politik"** zu lesen sind.

5.1 Digitalisierung in der Landwirtschaft

Die Digitalisierung des Ackerbaus in landwirtschaftlichen Flächen ist in Deutschland bereits vergleichsweise weit fortgeschritten. Wichtig, um auch aus Umweltsicht einen positiven Beitrag, z. B. zu mehr Boden- und Wasserqualität, erreichen zu können, wären dabei insbesondere folgende Entwicklungen, die es zu unterstützen gilt:

- ▶ Digitalisierung und Vernetzung des Landmaschinenparks mit hybriden Daten-Clouds (z. B. herstellerübergreifende Plattformen, in welche sowohl privat erhobene als auch öffentlich generierte Daten einfließen);
- ▶ Optimierter Einsatz von Betriebsmitteln in zeitlicher Hinsicht (u. a. Bestimmung eines geeigneten Düngezeitpunkts) und räumlicher Hinsicht (u. a. Anpassung an lokale Bedingungen);
- ▶ Bewirtschaftung mit miniaturisierten Feldrobotern: Biologisch wirtschaftende Betriebe bekommen mit der rein mechanischen Unkrautbekämpfung durch Feldroboter eine wesentliche Erweiterung ihrer stark begrenzten Möglichkeiten der Unkrautbekämpfung.

Konkrete umweltpolitische Maßnahmen, die sich aus den genannten Entwicklungen ergeben, könnten dann insbesondere die folgenden sein:

„Chancen stärken“ und „Risiken minimieren“

- ▶ ***Digital Farming fördert unter den jetzigen Rahmenbedingungen eher eine Optimierung bestehender landwirtschaftlicher Prozesse. Einen ökologischen Strukturwandel der Landwirtschaft wird die Digitalisierung alleine weder auslösen, noch wesentlich beschleunigen.***

gen. Ohne politische Interventionen und damit einhergehende kontroverse Auseinandersetzungen kann eine Agrarwende nicht eingeleitet werden. Es wird deshalb empfohlen, einen solchen Prozess auf Bundesebene unter Beteiligung anderer Ressorts anzustoßen.

„Chancen stärken“ und „Regulierungen vorgeben“

- ▶ **Im Hinblick auf umweltpolitische Weichenstellungen wird empfohlen, die gute landwirtschaftliche Praxis unter dem Blickwinkel der neuen Möglichkeiten und Grenzen der Digitalisierung, einschließlich Algorithmen, konsequent fortzuentwickeln und ihre Anwendung und Einhaltung effektiv zu erfassen.**

„Anreize setzen“ und „Regulierungen vorgeben“

- ▶ **Mit fortschreitender Digitalisierung ergeben sich bessere Möglichkeiten, die Einhaltung von Ordnungsrecht (z. B. Düngemittelausbringung) und eine zielgemäße Verwendung von Fördermitteln (z. B. Durchführung von Ausgleichmaßnahmen) effizient sicherzustellen (z. B. durch Satellitenkontrolle statt Vor-Ort-Kontrolle).² Es wird insbesondere empfohlen, zu prüfen, öffentliche raum- und umweltbezogene Daten (z. B. Schutzgebiete) in hybriden und herstellerübergreifenden Daten-Clouds zur Verfügung zu stellen, damit landwirtschaftliche Betriebe sie beim Ackerbau zur automatisierten Erfüllung staatlicher Anforderungen (z. B. Einhaltung gesetzlicher Bestimmungen und Erfüllung von Dokumentationspflichten aus Pflanzenschutzmittelgesetzen und Düngeverordnung) und zur Honorierung darüber hinaus gehender Umweltschutzleistungen (z. B. Schaffung von dynamischen Anreizwirkungen für den Umweltschutz in der Fördermittelvergabe) nutzen können.³**
- ▶ **Voraussetzung für ein zielorientiertes Lernen der Agrartechnik (Feldroboter, autonome Systeme, etc.) ist die Spezifikation eines Regelwerkes auf dessen Maßgaben hin maschinelles Lernen ausgerichtet sein soll. Es wird empfohlen, die Initiative zur Erstellung eines solchen Regelwerkes für ein nachhaltiges Agrarsystem zu ergreifen. Empfohlen wird zudem die Etablierung eines Forschungsgebietes "Multifunktionalität von Agrarrobotern", um die Voraussetzung zu schaffen, einen Markt für nachhaltigkeitsorientierte Agrarrobotik zu etablieren.**

5.2 Anwendungen der Blockchain-Technologie

Insbesondere drei Alleinstellungsmerkmale sprechen für den Einsatz von sogenannten „Distributed Ledger Technologies“ (DLT), wie z. B. der Blockchain-Technologie: Unabhängigkeit von zentralen Instanzen als Intermediäre; Nicht-Manipulierbarkeit sowie Sicherheit. Die Blockchain-Technologie ermöglicht somit durch dezentrale Authentifizierungs-, Dokumentations- und Abrechnungsmechanismen insbesondere dort Anwendungen, wo Etablierung von zentralen Plattformen durch einzelne Anbieter nicht gelingt.

Insbesondere mit Hilfe der Blockchain-Technologie umgesetzte Smart Contracts sind dabei von großem Interesse. Smart Contracts sind vordefinierte gemeinsame Regeln, welche in einem Multipartei-

² Die Kontrolle der Einhaltung von umweltbezogenem Ordnungsrecht durch digitale Erfassung sowie eine Harmonisierung und Flexibilisierung der umweltbezogenen Berichtspflichten zur Senkung des Dokumentationsaufwands für landwirtschaftliche Betriebe im Zuge der Digitalisierung wird einhellig befürwortet, wohingegen die Zweckbindung von Fördermitteln an über das Ordnungsrecht hinausgehende Umweltschutzleistungen umstritten ist.

³ Breitbandabdeckung auf dem Land und die Klärung von differenzierten Eigentums- und Zugangsrechten, einschließlich Datenschutz, sind dabei Schlüsselvoraussetzungen für solche hybriden Daten-Clouds.

ensystem mit einem unveränderlichen Register, automatisch geprüft und ausgeführt werden. Ein Vorteil von Smart Contracts ist, dass die Transaktionskosten marginal, gleichzeitig aber die Ergebnisse und Informationen unveränderbar sind. Es wird also möglich, auch ganz kleine Verträge, Festlegungen, Transaktionen und Abrechnungen von Cent-Beträgen unter ökonomisch sinnvollen Gesichtspunkten durchzuführen.

Zu beachten sind dabei aber auch die steigenden Energiebedarfe, da dezentrale Technologien mehr Energie als zentrale Datenbanklösungen benötigen. Folgende umweltpolitische Maßnahmen lassen sich in Bezug auf die Blockchain-Technologie damit formulieren:

„Chancen stärken“

- ▶ ***Blockchain-Pilotanwendungen ermöglichen und begleiten sowie Experimentierfelder fördern. Mögliche Anwendungsfälle von Blockchain-Lösungen, die insbesondere Umweltentlastungen versprechen, werden in folgenden Bereichen gesehen:***
 - ▶ ***Dezentrale Energieerzeugung und Energieeinspeisung***
 - ▶ ***Intermodale Lösungen aus dem Bereich Mobility as a Service (MaaS)***
 - ▶ ***Dokumentation und Transparenz von Lieferketten***

„Chancen stärken“ und „Regulierungen vorgeben“

- ▶ ***Die Transparenz der Lieferkette kann durch sogenannte digitale Zwillinge (beispielsweise umgesetzt durch eine Blockchain-Lösung) unterstützt werden. Derart ließe sich der ökologische Fußabdruck einer Ware transparent ableiten und die Endkonsumenten erhielten vollumfängliche Informationen über die Ware, die sie als Grundlage ihrer Konsumentenscheidung verwenden könnten. Durch gesetzliche Vorgaben könnte das Vorhalten und die Weitergabe derartiger Informationen über die Rohstoff-Gewinnung und sämtliche anschließende Veredelungsprozesse verpflichtend werden.***
- ▶ ***Diese rechtlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen für Blockchain-Lösungen sollten, um insbesondere auch länderübergreifende Lieferketten abdecken zu können, in internationalen Vereinbarungen verbindlich geregelt werden.***
- ▶ ***Für momentan ausschließlich in Papierform rechtlich gültige Dokumente sollten digitale Standards, wie digitale Urkunden und digitale Inhaberwertpapiere sowie digitale Versicherungen des Handelsgutes etabliert werden, was Papierdokumentation und -transport überflüssig machen würde.***
- ▶ ***Auf der Basis der Blockchain-Technologie sollte von staatlicher Seite die Realisierung eines intermodalen digitalen ökologischen Tickets unterstützt werden, welches unterschiedlichste Mobilitätsdienstleister vereint und aus Kundensicht intermodale Mobilität von Endpunkt zu Endpunkt einer jeden Reise vereinfachen und nutzerfreundlich gestalten würde. Das einheitliche intermodale Ticketsystem könnte die ökologischen Kosten der Mobilität transparent machen und Anreize bieten, die aus ökologischen Gesichtspunkten optimierte Mobilitätsform zu wählen.***

„Anreize setzen“

- ▶ ***Initiativer Einsatz von ökologisch nachhaltigen Blockchain-Lösungen speziell in der Öffentlichen Verwaltung und im Bereich eGovernment mit Vorbildfunktion für die Privatwirtschaft etablieren.***

- ▶ ***Bislang zeichnete sich die Digitalisierung der Verwaltung dadurch aus, vorhandene Prozesse entweder effizienter zu gestalten oder zu beschleunigen. Der Einsatz der Blockchain-Technologie birgt darüber hinaus das Potenzial, diese nicht nur zu vereinfachen, sondern auch die Transparenz in den Verwaltungsprozessen zu erhöhen. Blockchain-Technologie könnte nicht nur dabei helfen, die Prozesse zwischen unterschiedlichen Verwaltungsorganen zu optimieren, sondern auch bei der verwaltungsinternen Zusammenarbeit, zum Beispiel zur Prüfung, ob bestimmte Daten oder Dokumente in einer Verwaltung vorliegen.***
- ▶ ***Auch ist es möglich, mithilfe der Blockchain-Technologie die Integrität von Daten und Dokumenten abzusichern oder die Identitäten von Personen und Gegenständen zu verifizieren.***
- ▶ ***Konkrete Einsatzfelder in der öffentlichen Verwaltung finden sich z. B. bei Grundbüchern, Handelsregistern, Bundesanzeiger, Datenaustausch im Steuerwesen, etc.***
- ▶ ***Grundsätzlich wird von den beteiligten Stakeholdern ein Bedarf an mehr Qualifizierung und Kompetenzaufbau auf Seiten des Gesetzgebers und der Regulierung bzw. der zuständigen Behörden gesehen. Der Gesetzgeber wird nur dann eine Chance haben, seinen Aufgaben nachzukommen, wenn Fachpersonal in den Behörden aufgebaut wird, das in der Lage ist, diese Entwicklung zu verstehen und auch mitzugestalten. Folglich besteht Aufklärungs- und Qualifikationsbedarf, um politische und wirtschaftliche Entscheider in die Lage zu versetzen, die Chancen und Risiken aber auch ökologischen Auswirkungen der Technologie adäquat beurteilen zu können.***
- ▶ ***Da die Auswirkungen zudem ressortübergreifend sind, könnte darüber nachgedacht werden, ein behördenübergreifendes Kompetenzzentrum aufzubauen, das den einzelnen Ministerien, Behörden und Ämtern einerseits für Fragen zur Verfügung steht, andererseits aber auch genügend Kapazitäten hat, die eigenen Kompetenzen zu erweitern und Digitalisierungslösungen zu entwickeln.***

5.3 Digitalisierung der Mobilität, insbesondere automatisiertes Fahren

Der Mobilitätssektor befindet sich derzeit in einer Phase des Umbruchs. Neue, individuelle Mobilitätslösungen erfahren an Bedeutung. Gleichzeitig nehmen die Zulassungszahlen für Pkw und ihr Modalanteil nicht ab. Der Beitrag des Mobilitätssektors zur Erreichung der Klimaschutzziele kann und muss über unterschiedliche Wege erfolgen:

- ▶ Steigender Anteil Elektrofahrzeuge bei PKW;
- ▶ Bau von Oberleitungen für LKW an Autobahnen;
- ▶ Digitalisierung bzw. „Smart Mobility“.

Die Digitalisierung der Mobilität bietet einen möglichen Hebel für eine umweltfreundliche Verkehrswende. Durch die zunehmende Verbreitung von leistungsfähigen mobilen Endgeräten werden Konzepte wie Car- und Bikeshaaring, Rideshaaring und Rideselling erst möglich. Auf dem Weg zum automatisierten und vernetzten Fahren ist bereits die Stufe des hochautomatisierten Fahrens erreicht.

Auch für die Massenverkehrsträger Bahn und ÖPNV bieten die neuen Technologien Chancen, wie z. B. eine bessere Organisation komplexer Mobilitätsketten mit stärkerer Flexibilisierung und Optimierung; Effizienzsteigerung durch eine bessere Verknüpfung von unterschiedlichen Verkehrsmitteln, verbunden mit einfacheren Abrechnungsmöglichkeiten; Kundenfreundlichere Services (1 Ticket für die gesamte Strecke – verkehrsträgerübergreifend und Verkehrsverbund- und grenzüberschreitend).

Entscheidend ist, wie die technologischen Lösungen ausgestaltet und insbesondere welche rechtlichen und finanziellen Rahmenbedingungen bestehen oder gesetzt werden. Hierzu könnten die folgenden umweltpolitischen Maßnahmen entscheidend beitragen:

„Chancen stärken“

- ▶ ***Um gegenüber dem motorisierten Individualverkehr bestehen zu können, muss eine Stärkung der Öffentlichen Verkehre erfolgen. Ein Gesamtansatz aus mehreren aufeinander abgestimmten Verkehrsmitteln (Fernbahn, ÖPNV, On-Demand Kleinbus-Systeme, CarSharing) kann durchaus mit der Attraktivität automatisierter Pkw in Privatbesitz konkurrieren und sollte auf- und ausgebaut sein, bevor automatisierte Pkw für private Haushalte im Massenmarkt etabliert sind.***
- ▶ ***Ein einheitliches intermodales Ticketsystem (siehe obige Handlungsempfehlung zur Blockchain-Technologie) könnte aus Kundensicht eine intermodale Mobilität von Endpunkt zu Endpunkt einer jeden Reise vereinfachen und nutzerfreundlich gestalten. Zudem wäre es in der Lage die ökologischen Kosten der Mobilität transparent zu machen und Anreize zu bieten, die aus ökologischen Gesichtspunkten optimierte Mobilitätsform zu wählen.***
- ▶ ***Wenn umweltfreundliche Mobilität das oberste Ziel ist und der motorisierte Individualverkehr daher reduziert werden soll, dann müssen (neben der Stärkung der Öffentlichen Verkehre) aber auch neue Mobilitätsangebote entsprechenden Entwicklungsraum erhalten und sollten nicht durch Maßnahmen, die ausschließlich dem Schutz des klassischen ÖPNV dienen, eingeschränkt werden.***
- ▶ ***Die Verknüpfung des ÖPNV mit neuen innovativen Mobilitätsangeboten sollte folglich in Experimentierfeldern erprobt werden. Auf diese Weise entstehen Beispiele zur anschaulichen Demonstration der Vision digital unterstützter Intermodalität.***

„Anreize setzen“ und „Regulierungen vorgeben“

- ▶ ***Effizienzvorteile durch fahrerloses und vernetztes Fahren (wie z. B. Eco Driving; optimierte Routen; verbesserter Verkehrsfluss) ergeben sich nur dann, wenn der zukünftige Besetzungsgrad der Fahrzeuge das Niveau des heutigen Besetzungsgrads privater Pkw deutlich übersteigt.***
 - ▶ ***Es sollten insofern mit hoher Priorität Maßnahmen und Anreizsysteme entwickelt werden, um den Besetzungsgrad der Fahrzeuge zu erhöhen.***
 - ▶ ***Eine Unterstützung der Verbreitung geteilter automatisierter und vernetzter Verkehrsmittel durch staatliche Behörden – sowohl durch Förderung als auch durch geeignete rechtlich-regulatorische Rahmenbedingungen – sinnvoll.***
 - ▶ ***Eine Entwicklung intelligenter Roadpricing-Systeme (Maut) mit Berücksichtigung der Fahrleistung und insbesondere dem Besetzungsgrad der Fahrzeuge wäre eine denkbare Möglichkeit hierzu.***

5.4 Rohstoffbedarfe und Ressourceneffizienz Digitalisierung

In Hinblick auf die Rohstoffbedarfe der Digitalisierung muss zwingend zwischen Primärrohstoffen und Sekundärrohstoffen unterschieden werden. Eine große Zahl der für die Digitalisierung relevanten Primärrohstoffe werden nicht einzeln gefördert, sondern sind Beiprodukte anderer Rohstoffförderung. Die Endlichkeit dieser benötigten Ressourcen wird dabei nicht als kritischer oder limitierender Faktor

gesehen. Vielmehr erscheinen aus Umweltgesichtspunkten folgende Punkte bei der Rohstoffgewinnung von besonderer Wichtigkeit und sollten eine stärkere Beachtung erfahren:

- ▶ Umweltbelastung durch Rückstände der Gewinnungsverfahren,
- ▶ Umweltzerstörung durch Folgen des Bergbaus und des einhergehenden Flächenverbrauchs,
- ▶ Gefahr der großflächigen Umweltverschmutzung durch Unfälle,
- ▶ Soziale Randbedingungen im Bergbau der jeweiligen Gewinnungsregionen.

Da ein vollständiger Verzicht auf die Gewinnung von Primärrohstoffen nicht umsetzbar erscheint und zudem nicht im Einflussbereich des deutschen Gesetzgebers liegt, muss der Fokus auf den Sekundärrohstoffen liegen. Durch Verwendung von Sekundärrohstoffen wird eine relevante Verminderung des Bedarfs an Primärrohstoffen ermöglicht. Umweltpolitischen Maßnahmen, um dies zu unterstützen, wären in erster Linie:

„Anreize setzen“

- ▶ **Ziel sollte eine relevante Verminderung des Bedarfs an Primärrohstoffen sein. Folgende Ansatzpunkte für größere Verwendung von Sekundärrohstoffen gibt es:**
 - ▶ **Anreize schaffen, um der Hortung von Gebrauchsgütern entgegen zu wirken, z. B. durch Förderung der Sammlung und innovativer Recyclingwege,**
 - ▶ **Einsparmaßnahmen und längere Nutzung von Endgeräten müssen sich für den Verbraucher stärker lohnen,**
 - ▶ **Förderung der Nutzung von innovativen Geschäftsmodellen (z. B. Leasing statt Kauf) bei digitalen Endgeräten,**
 - ▶ **Bessere Aufklärungsarbeit durch entsprechende Kampagnen, in denen die Verwertungswege mit den einhergehenden Effekten besser präsentiert werden.**

„Regulierungen vorgeben“

- ▶ **Anforderungen an die spätere Recycling-Fähigkeit der Geräte verschärfen.**
- ▶ **Quote für einen vorgeschriebenen Einsatz von Recyclingmaterialien und Sekundärrohstoffe bei neuen Geräten erwägen.**

5.5 Einsatz digitaler Technologien im Konsum und deren Umweltauswirkungen

Der Einsatz digitaler Technologien im Konsum, bestehend aus den Schritten Auswahl, Kauf, Nutzung, Reparatur und Entsorgung von Produkten und Dienstleistungen, verändert sowohl die Informationssuche der Konsument*innen und das Online-Shopping, als auch den Konsum im stationären Handel.

Die Digitalisierung kann dabei ein Treiber für maßlosen, ebenso wie für nachhaltigen Konsum sein. Durch eine richtige Rahmensetzung bezüglich des Einsatzes digitaler Technologien im Konsum kann die Wahrscheinlichkeit, dass positive Umweltauswirkungen entstehen, gesteigert werden. Im Rahmen der Stakeholderdialoge standen dabei mit Blockchain und KI zwei ausgewählte digitale Technologien im Mittelpunkt, zu denen als wichtigste umweltpolitische Maßnahmen die folgenden abgeleitet wurden:

„Chancen stärken“

- ▶ **Offene Schnittstellen zu umweltbezogenen Daten – wie z. B. Daten zur Umweltqualität, Produktinformationen, CO₂-Bilanz von Produkten und Verfahren – können innovative Anwendungen der Blockchain-Technologie im nachhaltigen Konsum ermöglichen. Um die Vorteile offener Schnittstellen realisieren zu können, wären folgende Punkte anzugehen:**
 - ▶ **Die Nutzung der Daten durch zivilgesellschaftliche Akteure sollte gefördert werden.**
 - ▶ **Für die kommerzielle Nutzung der Daten ist hingegen ein Preismodell zu entwickeln.**
 - ▶ **Daten, die über die offenen Schnittstellen zur Verfügung gestellt werden, könnten zudem in ausgewählten Fällen von geeigneten Behörden verifiziert werden.**
- ▶ **Die Entwicklung einer eigenständigen und chancenbetonenden Zugangsweise und Strategie zum Thema KI und Konsum könnte ein mögliches Alleinstellungsmerkmal für Deutschland sein. Eine sogenannte "German Digital Responsibility" als Überbau und Leitbild zu bereits bestehenden Ansätzen einer Corporate Digital Responsibility auf Unternehmensebene, erweitert um Regulierungs- und Konsumentenebenen, wäre eine Möglichkeit. Der Weg hin zu einer derartigen "German Digital Responsibility" kann z. B. begonnen werden durch:**
 - ▶ **Überprüfungen und gegebenenfalls auch Anpassungen an bestehenden KI-relevanten Gesetzen und Regulierungen (z. B. Produkthaftung, Garantieverpflichtung, Gewährleistungspflicht, usw.).**
 - ▶ **Einrichtung einer nationalen Stelle für gemeinwohlorientierte KI.**

„Risiken minimieren“

- ▶ **Eine Stärkung und Kompetenzentwicklung der Konsumenten müsste zwingend erfolgen. Dies betrifft insbesondere die Förderung der Kompetenzen der zukünftigen Konsumenten (z. B. Kinder und Jugendliche) hin zu einem selbstbestimmten und reflektierten Konsum, auch in Zeiten von durch KI beeinflussten Kaufentscheidungen. Dies könnte umgesetzt werden. z. B. durch:**
 - ▶ **stärkere Thematisierung von KI im Bildungsbereich.**
 - ▶ **Durchführung von sogenannten Bootcamps als Grundausbildung für Schüler zum Thema KI und Konsum.**

„Regulierungen vorgeben“

- ▶ **Regulierung soll grundsätzlich maßvoll erfolgen und – die Schnelllebigkeit von Technologien berücksichtigend – nicht auf konkrete Aspekte der Technologie selbst, sondern auf die Wirkung von Technologie im Anwendungskontext bezogen werden (zum Beispiel zur Sanktionierung der Externalisierung von Kosten).**
- ▶ **Da KI momentan beinahe ausschließlich durch privatwirtschaftliche Unternehmen genutzt wird, sind starke Effekte in Richtung der jeweiligen unternehmerischen Ziele zu erwarten, wenn nicht passende gesetzliche Vorgaben dem entgegenwirken. Um den ökologischen Fußabdruck des KI-beeinflussten Konsums transparenter (und wenn möglich kleiner) zu machen, könnten z. B. folgende regulatorische Ansatzpunkte einen Beitrag leisten:**

- ▶ ***Vergabe von staatlichen Siegeln und Labels (z. B. für vorbildliche Transparenz in den KI-Anwendungen),***
- ▶ ***Kennzeichnungspflicht von ökonomischen Interessen (z. B. verbindliche Kenntlichmachung von KI-basierter Werbung),***
- ▶ ***gesetzliche Vorgaben für die Entwicklung von neuen KI-basierten Anwendungen (z. B. Vorgaben, dass auch nachhaltige Produktalternativen in KI-basierten Wahlalternativen aufgeführt werden müssen).***

5.6 ERP-Systeme als digitale Steuerungsinstrumente für das Umweltmanagement

Damit die Belange des Umweltmanagements eine größere Verbreitung innerhalb der Unternehmen und Behörden erfahren und damit zielgerichteter einen größeren Beitrag zum Schutz der Umwelt leisten, müssen Möglichkeiten geschaffen werden, umweltbezogene Daten, Ziele und Prozesse stärker über ERP-Systeme abzubilden und damit zu einer Integration des Umweltmanagements in die zentrale Unternehmenssteuerung beizutragen.

Da zusätzliche umweltbezogene Daten von privatwirtschaftlichen Unternehmen vor allem dann in die Module von ERP-Systemen integriert werden, wenn den damit verbundenen Kosten ein höherer interner Nutzen (z. B. durch Effizienzgewinne) gegenübersteht, scheinen staatliche Unterstützungs- und Regulierungseingriffe unumgänglich zu sein. Es müsste somit die Aufgabe der Politik sein, eine unterstützende Rolle für eine stärkere Verbreitung digitaler Steuerungsinstrumente für das Umweltmanagement zu spielen und durch geeignete regulatorische Maßnahmen Steuerungsrelevanz für die als wichtig erachteten umweltbezogenen Daten herzustellen.

Die Politik sollte folglich entsprechende Rahmenbedingungen schaffen, so dass Umweltkennzahlen zwangsläufig als steuerungsrelevant erachtet werden. Auf geeignete Anreizsetzungen und regulatorische Maßnahmen wird im Folgenden eingegangen.

„Chancen stärken“

- ▶ ***Digitalisierung als Treiber einer stärkeren Verbreitung des Umweltmanagements auf Betriebsebene nutzen, da durch die Digitalisierung eine stärkere Verzahnung von Umweltmanagementsoftware zu ERP-Systemen (entweder über Schnittstellen oder durch Integration) erleichtert wird.***

„Anreize setzen“

- ▶ ***Mehrwert der Steuerungsrelevanz für die Unternehmen selbst herausstellen (z. B. Honorierung der Transparenz durch Investoren und Kapitalmärkte).***
- ▶ ***Durch Vollzugsvereinfachungen oder finanzielle Anreize (wie z. B. Steuererleichterungen) Verbreitung von Umweltmanagementsystemen (z. B. nach EMAS) stärken, da derart eine optimale Grundlage für weitergehende Schritte gegeben ist.***

„Regulierungen vorgeben“

- ▶ ***Konkrete Transparenzanforderungen an Unternehmen hinsichtlich der Berichtspflichten zu umweltbezogenen Daten ausformulieren.***
- ▶ ***Definierte Liste von wesentlichen Umwelt- und Sozial-Key Performance Indicators (KPIs) als gemeinsames Set entwickeln und vorgeben.***
- ▶ ***Möglichkeiten zur Sanktionierung bei Nichteinhaltung der Berichtspflichten schaffen.***

- ▶ ***Verbindliche Nachhaltigkeitsberichterstattung ausgestalten (in abgestufter Weise analog zu bestehender Finanzberichterstattung, sprich gestaffelt nach den Möglichkeiten der Unternehmen, z. B. nach Anzahl der Mitarbeiter, Umsatzhöhe).***

6 Literaturverzeichnis

- Achterkamp, M.C. und Vos J.F.J. (2007): Critically identifying stake-holders. In: *Systems Research and Behavioral Science*, 25(1) 3-14.
- BMEL (2017): *Digitalpolitik Landwirtschaft - Zukunftsprogramm: Chancen nutzen - Risiken minimieren*, online verfügbar unter https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/DigitalpolitikLandwirtschaft.pdf?__blob=publicationFile.
- BGL (2017): *Kostenentwicklung und -Anteile im Güterkraftverkehr nach Fern- und Nahverkehr 2016*, Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL) e. V., online verfügbar unter http://www.bgl-ev.de/web/der_bgl/informationen/branchenkostenentwicklung.htm.
- Bitkom (2016): *Positionspapier Digitalisierung in der Landwirtschaft*, online verfügbar unter <https://www.bitkom.org/Bitkom/Publicationen/Digitalisierung-in-der-Landwirtschaft.html>.
- Crosby, M. et al. (2016): *Blockchain Technology: Beyond Bitcoin*, *Applied Innovation Review*, 2, 6–19.
- Dimitropoulos, A.; Oueslati, W. und Sintek, C. (2016): *The Rebound Effect in Road Transport: A Meta-analysis of Empirical Studies*, OECD Environment Working Papers, No. 113, OECD Publishing, Paris, online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1787/8516ab3a-en>.
- DLG (2018): *Digitalpolitik Landwirtschaft - Ein Positionspapier der DLG*, online verfügbar unter https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/fachinfos/DLG_Position_Digitalisierung.pdf.
- Fagnant, D.J. & Kockelman, Kara. (2015): Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations for capitalizing on self-driven vehicles. *Transportation Research Part A*. 77. 1-20.
- Fahrenkrog, F. et al. (2017): *Impact analysis for supervised automated driving applications*, Deliverable D7.3 des EU-Projekts Adaptive-IP, Aachen.
- Fraedrich, E. et al. (2017): *Automatisiertes Fahren im Personen- und Güterverkehr - Auswirkungen auf den Modal Split, das Verkehrssystem und die Siedlungsstrukturen*. Studie im Auftrag der eMobil-BW, Berlin.
- Hartmann, M.; Busch, F. und Vortisch, P. (2017): *Auswirkungen des teil- und hochautomatisierten Fahrens auf die Kapazität der Fernstraßeninfrastruktur*, Studie im Auftrag des VDA, FAT-Schriftenreihe 296, München.
- Horner, N. C. et al. (2016): *Known unknowns: indirect energy effects of information and communication technology*, *Environmental Research Letters* 11.10: 103001.
- Kaufmann, T. (2015): *Geschäftsmodelle in Industrie 4.0 und dem Internet der Dinge. Der Weg vom Anspruch in die Wirklichkeit*. Springer, Wiesbaden.
- Krail, M. et al. (2018): *Energie- und Treibhausgaswirkungen des automatisierten und vernetzten Fahrens im Straßenverkehr*.
- Mitchell et al. (1997): Mitchell, R.; Agle, B. & Wood., D. (1997): Toward a theory of stakeholder identification and salience: Defining the principle of who and what really counts. In: *The Academy of Management Review*, 22(4) 853-886.
- O'Dwyer, K. J. und Malone, D. (2014): *Bitcoin mining and its energy footprint*, 280-285.
- SAE International (2016): *Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles*.
- Schär, F. und Berentsen, A. (2017): *Bitcoin, Blockchain und Kryptoassets: Eine umfassende Einführung*, Books on Demand, Nordestedt.
- Schlatt, V. et al. (2016): *Blockchain: Grundlagen, Anwendungen und Potenziale*, https://www.fit.fraunhofer.de/content/dam/fit/de/documents/Blockchain_WhitePaper_Grundlagen-Anwendungen-Potentiale.pdf.
- Schütte, J. et al. (2017): *Blockchain und Smart Contracts – Technologien, Forschungsfragen und Anwendungen*, https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/forschung/artikel/2017/Fraunhofer-Positionspapier_Blockchain-und-Smart-Contracts_v151.pdf.
- Statista (2018): *Prognose zur Anzahl der vernetzten Geräte im Internet der Dinge (IoT) weltweit in den Jahren 2016 bis 2020 (in Millionen Einheiten)*, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/537093/umfrage/anzahl-der-vernetzten-geraete-im-internet-der-dinge-iot-weltweit/>.

Skwarek, V. (2017): *Blockchains as security-enabler for industrial IoT-applications*, Asia Pacific Journal of Innovation and Entrepreneurship, 11, 3, 301–311.

Teufel, B. und Erdmann, L. (2015): Akteurs- und Netzwerkanalyse. Arbeitspapier im Arbeitspaket 1 (AP 1.3) des INNOLAB Projekts. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe.

Walport, M. (2015): *Distributed Ledger Technology: beyond block chain*, https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/492972/gs-16-1-distributed-ledger-technology.pdf.

Whelan, T. und Fink, C. (2016): *The comprehensive business case for sustainability*. Harvard Business Review, 21.

Williams, E. (2011): *Environmental effects of information and communications technologies*, Nature, 479(7373), 354.

Wolters, V. et al. (2014): *Nachhaltige ressourceneffiziente Erhöhung der Flächenproduktivität: Zukunftsoptionen der deutschen Agrarökosystemforschung*, Grundsatzpapier der DFG-Senatskommission für Agrarökosystemforschung, Journal für Kulturpflanzen 7: 225-236.

7 Anhang

7.1 Glossar

Augmented Reality:

Augmented Reality (AR) ist eine computerunterstützte Wahrnehmung bzw. Darstellung, welche die reale Welt um virtuelle Aspekte erweitert. Dabei wird unsere Welt mit virtuellen Elementen überlegt, um Inhalte zu erklären.

Artificial Intelligence:

Artificial Intelligence oder zu Deutsch Künstliche Intelligenz (KI) bezeichnet die Übertragung bestimmter Fähigkeiten menschlichen Denkens auf Computersysteme und damit die Konstruktion von Maschinen, die selbstständig Probleme erkennen und lösen können. Automatisierung beschreibt dabei die Durchführung von Tätigkeiten durch künstliche Systeme.

Big Data:

Big Data beschäftigt sich mit der Erfassung einer Vielzahl unstrukturierter Daten über verschiedene Quellen sowie mit Technologien zur Verarbeitung und Auswertung riesiger Datenmengen.

Blockchain:

Die Blockchain-Technologie beschreibt eine dezentrale Datenbankstruktur, in welcher Transaktionsdaten ohne eine zentrale Kontrollinstanz und mit vollkommener Transparenz verwaltet werden können.

Cloud Computing:

Beim Cloud Computing werden Cloud Solutions und Ressourcen nicht von einem konkreten Rechner aus bereitgestellt, sondern es entsteht eine virtuelle Rechenwolke aus verschiedenen miteinander vernetzten und verbundenen Rechnern.

Internet of Things:

Internet of Things (IoT) ist ein Netzwerk, in welchem Gegenstände und Geräte miteinander kommunizieren können. Dadurch werden Menschen bei der Ausübung alltäglicher Arbeiten und Tätigkeiten unterstützt.

Mobile Computing:

Mobile Computing ist eine Umschreibung für den Zugriff mit einem mobilen Kommunikationsgerät auf ein zentrales Informationssystem. Der Anwender kann alle Tätigkeiten ausführen, ohne von einem festen Standort abhängig zu sein.

Virtual Reality:

Virtual Reality (VR) ist eine computergenerierte Wirklichkeit mit Bild (3D) und Ton und bietet somit die Möglichkeit, komplett neue Welten zu erschaffen.

7.2 Fraunhofer-Experten für die ausgewählten Trendthemen

- Anwendungsfeld 1: **Digitalisierung der Industrie, insbesondere Produktion mit Losgröße 1**
Dr. Christian Lerch (Fraunhofer ISI)
- Anwendungsfeld 2: **Digitalisierung der Landwirtschaft**
*Prof. Dr. Christoph Schäfers (Fraunhofer IME) und
Dr. Matthias Trapp (RP Agrosience)*
- Anwendungsfeld 3: **Digitalisierung der Mobilität, insbesondere automatisiertes Fahren**
Dr. Michael Krail (Fraunhofer ISI)
- Anwendungsfeld 4: **Digitalisierung des ländlichen Raums**
Steffen Hess (Fraunhofer IESE)
- Anwendungsfeld 5: **Digitalisierung im Bereich Energie**
Dr. Marian Klobasa (Fraunhofer ISI)
- Technologie 1: **Blockchain und ihre Anwendungsfelder**
Prof. Dr. Gilbert Fridgen (Fraunhofer FIT)

7.3 Teilnehmer Stakeholder-Workshop "Digital Farming"

Titel	Nachname	Vorname	Institution
Dr.	Bartelme	Hans	Naturland - Verband für ökologischen Landbau e. V.
	Bilo	Michael	Bundesamt für Naturschutz
	Czichy	Christoph	Hochschule Ruhr West
	Dege	Ilka	Deutscher Naturschutzring e. V.
	von der Decken	Henriek	Bundesamt für Naturschutz
Dipl. Ing.	Erdmann	Lorenz	Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Dr.	Gathmann	Achim	Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
	Golla	Burkhard	Julius-Kühn-Institut - Institut für Strategien und Folgenabschätzung
Dr.	Gotsch	Matthias	Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
	Hauert	Nora	Deutscher Raiffeisenverband e. V.
Dr.	Hofmann	Lili	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
Dr.	Kammerer	Florian	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
Dr.	Kaus	Volker	Industrieverband Agrar e. V.
	Frank	Klingenstein	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
Dr.	Julian	Klepatzki	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
Prof. Dr.	Lischeid	Gunnar	Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V.
Dr.	Osiek	Dirk	Umweltbundesamt
	Pascher	Peter	Deutscher Bauernverband e. V.
Prof. Dr.	Schäfers	Christoph	Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie
Dr.	Schneider	Christian	Umweltbundesamt
	Schüten-Schwedhelm	Andrea	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
Dr.	Sonnen	Johannes	DKE-Data GmbH & Co. KG
	Stiene	Stefan	Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz
Dr.	Trapp	Matthias	Institut für Agrarökologie RLP
	Trénel	Matthias	Zebralog GmbH & Co. KG
	Westermann	Kai	Zebralog GmbH & Co. KG

7.4 Teilnehmer Stakeholder-Workshop "Blockchain-Technologie"

Titel	Nachname	Vorname	Institution
	Bauer	Andrea	DEBLOCK.it
Dr.	Bosch	Robert	BearingPoint
Dr.	Burger	Andreas	Umweltbundesamt
Prof.	Fridgen	Gilbert	Fraunhofer FIT
Dr.	Gallehr	Sebastian	Förderverein European Business Council for Sustainable Energy (e5)
Dr.	Gotsch	Matthias	Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
	Honsel	Timo	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit – GIZ
Dr.	Jonuschat	Helga	Innovationszentrum für Mobilität und gesellschaftlichen Wandel (InnoZ) GmbH
Dr.	Kammerer	Florian	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
	Köhn	Marina	Umweltbundesamt
	Kröhnert	Marcel	Forschungszentrum Jülich
	Kunde	Elke	IBM
	Lambing	Julio	Verein zur Erforschung zukunftsfähiger Lebensweisen e. V.
	Meyer	Dirk	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
	Moosmann	Vanessa	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit - GIZ
	Müller	Ingrid	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
Prof.	Oelmann	Mark	Hochschule Ruhr West
Dr.	Osiek	Dirk	Umweltbundesamt
Dr.	Von Perfall	Axel	PricewaterhouseCoopers
	Plenk	Moritz	BearingPoint
	Richard	Philipp	Deutsche Energie-Agentur - dena
	Schäfstoß	Nicolas	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
	Schüten-Schwedhelm	Andrea	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
	Steffen	Lars	eco – Verband der Internetwirtschaft e. V.
	Sprick	Wolfgang	Verkehrsclub Deutschland (VCD)
	Trénel	Matthias	Zebralog GmbH & Co. KG
	Utescher-Dabitz	Tanja	BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V.
	Veenhoff	Sylvia	Umweltbundesamt
	Walden	Gunter	Circulartree
	Westermann	Kai	Zebralog GmbH & Co. KG

7.5 Teilnehmer Stakeholder-Workshop "Rohstoffe"

Titel	Nachname	Vorname	Institution
Dr.	Becker	Viktor	VDI ZRE
	Burger	Andreas	UBA, FG I 1.4 Wirtschafts- und sozialwissen. Umweltfragen, nachhaltiger Konsum
	Casper	Matthias	BMU, IK III 5 - Klimaschutz und Energieeffizienz
	Herlitz	Rudolf	BMU, IT-Beauftragter
Dr.	Hafner	Justine	BMU, WR II 3 - Branchenbezogene Produktverantwortung
	Gotsch	Matthias	Fraunhofer ISI
Dr.	Kammerer	Florian	BMU, Z III 4 Digitalisierung
	Krack	Juri	UBA, FG V I.2 Energiestrategien und -szenarien
	Lehmann	Harry	UBA, I Umweltplanung und Nachhaltigkeitsstrategien
	Meyer	Dirk	BMU, Leitung Zentralabteilung Verwaltung, Haushalt, Forschung, Digitalisierung
	Miehe	Anne	BMU, WR II 7 - Europäische und internationale Angelegenheiten der Ressourceneffizienz; Rohstoffpolitik
	Müller	Ingrid	BMU, Unterabteilung Z III Forschung, Bildung, gesellschaftliche Gruppen
	Osiek	Dirk	UBA, FG I 1.4 Wirtschafts- und sozialwissen. Umweltfragen, nachhaltiger Konsum
	Schäfstoß	Nicolas	BMU, Z III 4 Digitalisierung
	Schmidt-Stegemann	Silke	BMU, WR II 6 - Nationale und grundsätzliche Angelegenheiten der Ressourceneffizienz
	Schüten-Schwedhelm	Andrea	BMU, Z III 4 Digitalisierung
	Stolzenberg-Lindner	Melanie	BMU
	Tercero Espinoza	Luis	Fraunhofer ISI
	Trénel	Matthias	ZebraLog GmbH & Co. KG
Veenhoff	Sylvia	UBA I 1.1 Grundsatzfragen, Nachhaltigkeitsstrategien und -szenarien	
von Weizsäcker	Franz	GIZ	

7.6 Teilnehmer Stakeholder-Workshop "Smart Mobility"

Titel	Nachname	Vorname	Institution
	Bauer	Uta	Deutsches Institut für Urbanistik (Difu) gGmbH
	Blatt-von Raczeck	Julia	Rödl & Partner GbR
	Dörrie	Axel	BMU, IG I 5 Umwelt und Verkehr, Elektromobilität
Dr.	Dziekan	Katrin	UBA, FG I 3.1 Umwelt und Verkehr
Dr.	Feige	Irene	Institut für Mobilitätsforschung (IMFO, BMW Group)
	Fellermann	Arne	Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e. V. (BUND)
	Foljanty	Lukas	moovel Group GmbH
Dr.	Gotsch	Matthias	Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI)
	Hundertmark	Claas	Zebralog GmbH & Co. KG
Dr.	Kammerer	Florian	BMU, Z III 4 Digitalisierung und Gesellschaft
Prof.	Knie	Andreas	Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung (WBZ) gGmbH
Dr.	Kollosche	Ingo	Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gGmbH (IZT)
Dr.	Krail	Michael	Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI)
	Mauren	Norbert	Verband deutscher Verkehrsunternehmen (VDV)
	Merle	Estelle	ViaVan Technologies B.V.
	Meyer	Dirk	BMU, Leitung Zentralabteilung Verwaltung, Haushalt, Forschung, Digitalisierung
	Müller	Ingrid	BMU, Z III Forschung, Bildung, gesellschaftliche Gruppen
	Nehrke	Gunnar	Bundesverband CarSharing e. V.
	Oppermann	Michael	Deutscher Taxi- und Mietwagenverband e. V. (BZP)
	Osiek	Dirk	UBA, FG I 1.4 Wirtschafts- und sozialwissen. Umweltfragen, nachhaltiger Konsum
Prof.	Rammler	Stefan	Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gGmbH (IZT)
Dr.	Rapport-Moersch	Lisa	Uber B.V.
	Reinhardt	Johanna	Clevershuttle GmbH
Dr.	Ruhrort	Lisa	Innovationszentrum für Mobilität und gesellschaftlichen Wandel (InnoZ) GmbH
des.	Schippl	Jens	Karlsruher Institut für Technologie Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (KIT ITAS)
	Schüten-Schwedhelm	Andrea	BMU, Z III 4 Digitalisierung und Gesellschaft
	Schweikert	Andreas	Bitkom e. V.
	Stolzenberg-Lindner	Melanie	BMU, Z III 4 Digitalisierung und Gesellschaft
	Stuber	Martin	Deutscher Gewerkschaftsbund
	Von der Tann	Valerie	ViaVan Technologies B.V.
	Trénel	Matthias	Zebralog GmbH & Co. KG
Dr.	Wendorf	Gabriele	Technische Universität (TU) Berlin
	Westermann	Kai	Zebralog GmbH & Co. KG

7.7 Teilnehmer Stakeholder-Workshop "Einsatz digitaler Technologien im Konsum und deren Umweltauswirkungen"

Titel	Nachname	Vorname	Institution
Prof. Dr.	Dettling	Daniel	Zukunftsinstitut
	Domröse	Lena	adelphi
	Felser	Georg	HS Harz
	Garcia	Ricardo	Bergchain
Dr.	Gimkiewicz	Jan	UBA, FG III 1.1 Übergreifende Aspekte des Produktbezogenen Umweltschutzes, Nachhaltige Konsumstrukturen, Innovationsprogramm
	Gotsch	Matthias	Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI)
	Huisken	Matthias	ifixit
Dr.	Husmann	Anette	Greenpicks – Eco & Upcycling Market
	Jensen	Markus	PWC
Dr.	John	René	ISIconsult
Dr.	Kammerer	Florian	BMU, Z III 4 Digitalisierung und Gesellschaft
	Keppner	Benno	Adelphi
Prof. Dr.	Krümpel	Volker	Minespider
	Lais	David	Organisation für nachhaltigen Konsum
	Liedtke	Christa	Wuppertal Institut – Abteilung: Nachhaltiges Produzieren und Konsumieren
	Mätz	Jana	Cradle to Cradle e. V.
	Meyer	Dirk	BMU, Leitung Zentralabteilung Verwaltung, Haushalt, Forschung, Digitalisierung
Dr.	Müller	Ingrid	BMU, Z III Forschung, Bildung, gesellschaftliche Gruppen
	Osiek	Dirk	UBA, FG I 1.4 Wirtschafts- und sozialwissen. Umweltfragen, nachhaltiger Konsum
	Retsch	Riccarda	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit - GIZ
	Rödiger	Lisa	Institut für Ökologie und Politik GmbH
Dr.	Schuler	Johannes	Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI)
	Thinius	Max	Bundesverband E-Commerce und Versandhandel
Dr.	Trénel	Matthias	ZebraLog GmbH & Co. KG
	Uhle	Christian	Philosoph
	Veenhoff	Sylvia	UBA, FG I 1.1 Grundsatzfragen, Nachhaltigkeitsstrategien und -szenarien, Ressourcenschonung
	Walden	Gunther	CircularTree
	Westermann	Kai	ZebraLog GmbH & Co. KG
Dr.	Wilhelm	Ralph	DLR

7.8 Teilnehmer Stakeholder-Workshop "ERP-Systeme als digitale Steuerungsinstrumente für das Umweltmanagement"

Titel	Nachname	Vorname	Institution	
Dr.	Burger	Andreas	Umweltbundesamt	
	Eberling	Elisabeth	Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI)	
Dr.	Gotsch	Matthias	Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI)	
	Günther	Charlotte	Zebralog GmbH & Co. KG	
Prof. Dr.	Hassel	Fabian	Makersite GmbH	
	Isenmann	Ralf	Universität Bremen	
Dr.	Krause	Gerd	KPMG	
	Kühn	Melissa	bitkom – Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V.	
	Lorenz	Andreas	Umweltbundesamt	
	Meurer	Doris	Umweltbundesamt	
	Osiek	Dirk	Umweltbundesamt	
	Pecht	Günther	SAP Deutschland SE & Co. KG	
	Prox	Martina	Verein für Nachhaltigkeits- und Umweltmanagement (VNU)	
	Ritzrau	Will	SAP Deutschland SE & Co. KG	
	Schmidt-Räntsch	Annette	BMU, Referat G I 5	
	Schwarzmann	Vera	Rat für Nachhaltige Entwicklung - Büro DNK	
	Seubert	Franz	Universität Würzburg	
	Termer	Frank	bitkom – Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V.	
	Prof. Dr.- Ing.	Thimm	Heiko	IAT – Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement der Universität Stuttgart
		Töpfer	Christoph	Umweltbundesamt
Prof. Dr.	Trénel	Matthias	Zebralog GmbH & Co. KG	
	Weber	Manuel	VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH	
	Wohlgemuth	Volker	HTW Berlin	
Dr.	Beck	Gesa	Fraunhofer IWKS	