

Nachhaltigkeit digitaler Geschäftsmodelle

Entwicklung eines analytischen Bewertungskonzepts und Anwendung im Rahmen von ausgewählten Fallstudien in den Netzsektoren

23. März 2022

d-fine GmbH
Büro Frankfurt
An der Hauptwache 7
60313 Frankfurt/Main
Deutschland

Telefon: +49 89 7908617 0
Fax: +49 89 7908617 202
info@d-fine.de
www.d-fine.de

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
Abkürzungsverzeichnis	6
Management Summary.....	7
1. Einführung.....	10
2. Nachhaltigkeit.....	12
2.1 Nachhaltigkeit als konzeptionelles Konstrukt	12
2.1.1 Historische Verwendung	12
2.1.2 Begriffliche Weiterführung ab den 1980er Jahren	12
2.1.3 Moderne Erweiterungen und Variationen des Anwendungsrahmens.....	15
2.1.4 Fazit in Bezug auf die Entwicklung eines analytischen Bewertungskonzeptes	16
2.2 Wandel, Beitrag und Wille der internationalen Politik – Zielstellungen und Initiativen...	17
2.2.1 UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung.....	17
2.2.1 UN-Aktionsprogramme zur nachhaltigen Entwicklung	19
2.2.2 UN-Klimarahmenkonventionen – Kyoto-Protokoll, Übereinkommen von Paris	20
2.3 Rahmenbedingungen in Europa und Deutschland.....	22
2.3.1 Europa.....	22
2.3.1.1 Emissionshandel & Sustainable Finance	22
2.3.1.2 The European Green Deal	23
2.3.1.3 EU-Digitalstrategie	24
2.3.2 Deutschland	26
2.4 Gängige Systeme von Indikatoren zur Messung der Nachhaltigkeit.....	28
3. Nachhaltigkeitspotenziale digitaler Geschäftsmodelle	33
3.1 Begriffliche Abgrenzung und inhaltliche Struktur	33
3.1.1 Struktur dieses Abschnitts	33
3.1.2 Digitale Geschäftsmodelle	33
3.2 Technologie als Treiber für nachhaltige Geschäftsmodelle	33
3.2.1 Fragestellung und Prämissen	33
3.2.2 Internet of Things und Big Data	34
3.2.3 Moderne Netztechnologien	34
3.2.4 Plattform-Ökonomie und Cloud	35
3.2.5 Künstliche Intelligenz und Smarte Algorithmen	35
3.2.6 Distributed Ledgers und Blockchain	35
3.2.7 Quantum Computing.....	36
3.3 Digitale Geschäftsmodelle und Nachhaltigkeit.....	37
3.3.1 Berührungspunkte und Wechselwirkungen im Überblick.....	37

3.3.1.1	Kommunikation, Medien und öffentliche Debatte.....	37
3.3.1.2	Gesellschaft, Kultur und Bildung	37
3.3.1.3	Infrastruktur und Umwelt	37
3.3.1.4	Wirtschaft und Arbeit.....	38
3.3.1.5	Gesundheit und Krankheit	38
3.3.1.6	Kriminalität, Sicherheit und Freiheit	38
3.3.1.7	Politik, Recht und Verwaltung.....	38
3.3.2	Nachhaltigkeitstreiber für digitale Geschäftsmodelle	39
3.3.2.1	Ausgangspunkt der Analyse.....	39
3.3.2.2	Wirtschaftliche Treiber	40
3.3.2.3	Politische Treiber: Kontinuität und Transparenz	41
3.3.2.4	Gesellschaftliche Entwicklungen: Perzeption.....	42
3.4	Forschungsergebnisse und Praxisbeispiele.....	43
3.4.1	Digitalisierung und ökologische Nachhaltigkeit.....	43
3.4.1.1	Fokus Netzsektoren und Datenplattformen.....	43
3.4.1.2	Fokus industrielle Fertigung	45
3.4.2	Fokus Stoffkreisläufe und Ressourcenschonung.....	45
3.4.2.1	Forschungsinitiativen	45
3.4.2.2	Fokus Lieferkette und Zertifizierung	47
3.4.2.3	Bitkom e. V. zur Synergie von Digitalisierung und Nachhaltigkeit	48
3.4.2.4	Die NGO-Perspektive auf digitale Nachhaltigkeit - Greenpeace e. V.	49
3.4.3	Digitalisierung und soziale Nachhaltigkeit	51
3.4.3.1	Gesundheitswesen: Telemedizin und digitale Weiterbildung	51
3.4.3.2	Arbeitswelt	51
3.4.3.3	Soziale Interaktion und künstliche Intelligenz	52
3.4.3.4	Amnesty International – Menschenrechte im digitalen Zeitalter	52
3.4.4	Ökonomische Aspekte.....	53
3.4.4.1	Begriffliche Abgrenzung	53
3.4.4.2	Digitale Governance.....	54
3.4.4.3	Digitale Währungen als Mittel finanzieller Inklusion?	54
3.4.4.4	Nachhaltiger Wettbewerb durch faire Bedingungen.....	55
3.5	Schlussfolgerungen.....	55
3.5.1	Potenziale der Digitalisierung.....	55
3.5.2	Technologie als Katalysator für nachhaltige Geschäftsmodelle	56
3.5.3	Bewertungsmaßstäbe für die Nachhaltigkeitswirkung	56
3.5.4	Digitalisierung schafft Transparenz	57
4.	Indikatoren zur Bewertung von Nachhaltigkeit im Rahmen digitaler Geschäftsmodelle	58

4.1	Einführung eines Analyserahmens	58
4.1.1	Abgrenzung der vier Säulen.....	59
4.1.2	Indikatoren.....	60
4.1.3	Skalen	60
4.1.4	Berechnung eines Gesamt-Scores und Visualisierungen	61
4.2	Entwicklung von Indikatoren für die vier Säulen.....	61
4.2.1	Säule „Chancen und Potenziale“	62
4.2.1.1	Marktpotenzial.....	63
4.2.1.2	Wirtschaftlichkeit	64
4.2.1.3	Zugänglichkeit.....	65
4.2.1.4	Robustheit.....	66
4.2.1.5	Zukunftsfähigkeit.....	67
4.2.2	Säule „Ökonomische Nachhaltigkeit“ (Wirtschaft)	68
4.2.2.1	Wertschöpfung.....	69
4.2.2.2	Arbeitsmarkt.....	70
4.2.2.3	Gehaltsgefüge	71
4.2.2.4	Wettbewerb.....	72
4.2.2.5	Förderung lokaler Wirtschaft	73
4.2.3	Säule „Ökologische Nachhaltigkeit“ (Umwelt)	74
4.2.3.1	Treibhausgasemissionen	74
4.2.3.2	Energieverbrauch.....	75
4.2.3.3	Materialverbrauch	76
4.2.3.4	Kreislaufwirtschaft.....	76
4.2.3.5	Paris Alignment.....	76
4.2.4	Säule „Soziale Nachhaltigkeit“ (Soziales).....	77
4.2.4.1	Sozialgeographische Ungleichheit.....	79
4.2.4.2	Sozioökonomische Ungleichheit.....	80
4.2.4.3	Lieferkettensorgfalt	80
4.2.4.4	Lebensqualität	81
4.2.4.5	Sicherheit.....	81
4.3	Interpretierbarkeit der Ergebnisse des Analyserahmens.....	83
4.3.1	Unterschiedliche Gewichtungen der Nachhaltigkeitssäulen.....	83
4.3.2	Kategorisierung des Geschäftsmodells bzgl. regulatorischer Handlungsoptionen	83
5.	Fallstudien in den Netzsektoren.....	85
5.1	Consumer IoT	87
5.1.1	Motivation, Akteure und aktuelle Entwicklungen im Bereich Consumer IoT	88
5.1.2	Anwendung des Analyserahmens zur Bewertung der Nachhaltigkeit	89

5.1.2.1	Indikatoren der Säule „Chancen und Potenziale“	89
5.1.2.2	Indikatoren der Säule „Ökonomische Nachhaltigkeit“	92
5.1.2.3	Indikatoren der Säule „Ökologische Nachhaltigkeit“	95
5.1.2.4	Indikatoren der Säule „Soziale Nachhaltigkeit“	98
5.1.3	Ergebnisse und Fazit	100
5.2	City-Logistik-Kooperationen und -Plattformen	102
5.2.1	Motivation, Akteure und aktuelle Entwicklungen im Bereich City-Logistik	102
5.2.2	Bewertung des Geschäftsmodells hinsichtlich Nachhaltigkeit und Chancen & Potenziale	105
5.2.2.1	Indikatoren der Säule „Chancen und Potenziale“	105
5.2.2.2	Indikatoren der Säule „Ökonomische Nachhaltigkeit“	109
5.2.2.3	Indikatoren der Säule „Ökologische Nachhaltigkeit“	111
5.2.2.4	Indikatoren der Säule „Soziale Nachhaltigkeit“	114
5.2.3	Ergebnisse und Fazit	116
5.3	KI-basierte Einspeise- und Lastflussprognosen	118
5.3.1	Motivation, Akteure und aktuelle Entwicklungen im Bereich KI-basierte Einspeise- und Lastflussprognosen	118
5.3.2	Bewertung des Geschäftsmodells hinsichtlich Nachhaltigkeit und Chancen & Potenziale	119
5.3.2.1	Indikatoren der Säule „Chancen und Potenziale“	119
5.3.2.2	Indikatoren der Säule „Ökonomische Nachhaltigkeit“	122
5.3.2.3	Indikatoren der Säule „Ökologische Nachhaltigkeit“	124
5.3.2.4	Indikatoren der Säule „Soziale Nachhaltigkeit“	125
5.3.3	Ergebnisse und Fazit	126
5.4	Multimodale Vernetzung im Personenverkehr mittels Mobility-as-a-Service (MaaS) Plattformen	128
5.4.1	Motivation, Akteure und aktuelle Entwicklungen im Bereich Mobility-as-a-Service	128
5.4.2	Anwendung des Analyserahmens zur Bewertung der Nachhaltigkeit	130
5.4.2.1	Indikatoren der Säule „Chancen und Potenziale“	130
5.4.2.2	Indikatoren der Säule „Ökonomische Nachhaltigkeit“	132
5.4.2.3	Indikatoren der Säule „Ökologische Nachhaltigkeit“	134
5.4.2.4	Indikatoren der Säule „Soziale Nachhaltigkeit“	136
5.4.3	Ergebnisse und Fazit	138
5.5	Intelligente Straßenlaternen in der Smart City	140
5.5.1	Motivation, Akteure und aktuelle Entwicklungen im Bereich Smart City	140
5.5.2	Bewertung des Geschäftsmodells hinsichtlich Nachhaltigkeit und Chancen & Potenziale	141

5.5.2.1	Indikatoren der Säule „Chancen und Potenziale“	142
5.5.2.1	Indikatoren der Säule „Ökonomische Nachhaltigkeit“	145
5.5.2.2	Indikatoren der Säule „Ökologische Nachhaltigkeit“	147
5.5.2.3	Indikatoren der Säule „Soziale Nachhaltigkeit“	150
5.5.3	Ergebnisse und Fazit	153
6.	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	156
7.	Tabellen- und Abbildungsverzeichnis	158
7.1	Tabellenverzeichnis	158
7.2	Abbildungsverzeichnis	160
8.	Literatur- und Quellenverzeichnis	161

Abkürzungsverzeichnis

AR	Augmented Reality
BIEK	Bundesverband Paket und Expresslogistik
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (ehemals BMWi)
BMZ	Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
BPB	Bundeszentrale für politische Bildung
CO_{2e}	Kohlenstoffdioxidäquivalente, als Summe aus CO₂ und anderer klimaschädlicher Gase [128]
DGM	Digitales Geschäftsmodell
DNS	Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie
GRI	Global Reporting Initiative
IoT	Internet of Things
ITK	Informationstechnik und Telekommunikation
KEP-Dienst	Kurier-, Express- und Paketdienst
LZA	Lebenszyklusanalyse
MaaS	Mobility as a Service
MDG	Millennium Development Goal
NDC	Nationally determined contributions
SDG	Sustainable Development Goal
UBA	Umweltbundesamt
VR	Virtual Reality

Management Summary

Als Folge des digitalen Strukturwandels verändern sich nahezu alle Bereiche der Wirtschaft und Gesellschaft. Digitalisierung und Vernetzung sind dabei die grundlegenden Voraussetzungen für die Umsetzung von Innovationen und die Realisierung von Wertschöpfungspotenzialen. Das Internet ist zu einem zentralen Pfeiler unserer Volkswirtschaft geworden und hat fundamentale Veränderungen mit sich gebracht. Im Anblick der aktuellen Herausforderungen für die Nachhaltigkeit unseres Lebens und Wirtschaftens in sozialer, ökologischer und ökonomischer Hinsicht, wird die Digitalisierung zumeist als positive Kraft wahrgenommen, die hilft, effizientere Prozesse zu entwickeln, ressourcenintensive Handlungen zu substituieren und Willensbildung transparenter zu gestalten. Filterblasen, steigender Energiebedarf und prekäre Beschäftigungsverhältnisse in Teilen der *Digital Economy* sind Beispiele für die Kehrseite der Medaille.

Vor dem Hintergrund der Digitalisierung von Wirtschaft und Gesellschaft ergeben sich auch im Rahmen der Aufgabenbereiche der Bundesnetzagentur seit einigen Jahren zunehmend Fragestellungen, die eine Bewertung der Wirkung auf Aspekte der Nachhaltigkeit durch digitale Geschäftsmodelle notwendig machen. Die Bundesnetzagentur hat d-fine und Frontier Economics damit beauftragt, einen Rahmen für diese Bewertung zu entwickeln. Dabei sollten die Zusammenhänge zwischen digitalen Geschäftsmodellen und Nachhaltigkeitsaspekten betrachtet und der Analyse-rahmen anhand einer Reihe von Fallstudien erprobt werden.

Der erste Teil der Studie erläutert den Begriff der **Nachhaltigkeit** sowie die historische Entwicklung der damit verbundenen Konzepte. Dafür werden die **drei Kernaspekte Ökonomie, Umwelt und Gesellschaft/Kultur** und die Entwicklung nationaler und internationaler Ziele betrachtet. Das Pariser Klimaabkommen, die *Sustainable Development Goals* der Vereinten Nationen, der daraus abgeleitete *European Green Deal* mit Hauptaugenmerk auf die Dekarbonisierung und Klimaneutralität bis 2050 und nationale Maßnahmen wie die deutsche Nachhaltigkeitsstrategie, oder die Energieeffizienzstrategie und die darin formulierten Ziele bilden die Grundlagen zur Bewertung der Auswirkung digitaler Geschäftsmodelle.

Danach werden im zweiten Teil der Studie Aspekte von **digitalen Geschäftsmodellen** in Bezug auf deren Auswirkung auf Nachhaltigkeitsaspekte erörtert. Digitale Geschäftsmodelle sind solche **unternehmerischen Aktivitäten**, die zum Ziel haben, durch **Generierung und Nutzung digitaler Daten**, einen **ökonomischen Mehrwert** zu erwirtschaften. Konkret können dies Effizienzsteigerungen, verbesserte Produktqualität und Funktionssteigerungen, schnellere Marktanpassungen und/oder verbesserte Prozesssteuerungen sein. Dabei werden die folgenden Kerngebiete betrachtet:

- Internet of Things und Big Data,
- Moderne Netztechnologien,
- Plattform-Ökonomie und Cloud Computing,
- Künstliche Intelligenz und smarte Algorithmen,
- Distributed Ledgers und Blockchain-Technologien und
- Quantum Computing.

Aus der Beschreibung der Bereiche und typischen Geschäftsmodelle und deren Wechselwirkungen mit Umwelt und Gesellschaft werden **wirtschaftliche, gesellschaftliche und politische Nachhaltigkeitstreiber** entwickelt. Als wirtschaftliche Treiber werden gesteigerte Effizienz, Suffizienz, Konsistenz und Resilienz identifiziert. Gesellschaftliche Treiber stellen (i) Verbraucherentscheidungen, (ii) Arbeitnehmerpräferenzen und (iii) Anlegerentscheidungen dar. Schließlich wurden als politische Treiber (a) gesetzliche Limitierung, (b) Pönalisierung, (c) Incentivierung und (d) Allokation von Verantwortlichkeiten identifiziert.

Im dritten Teil der Studie wird ein **Analyserahmen für die Bewertung von digitalen Geschäftsmodellen** entwickelt. Dieser baut zunächst auf den drei Dimensionen der Nachhaltigkeit – Ökonomie, Ökologie und Soziales – auf und wird um eine Säule der einzelwirtschaftlichen Chancen und Potenziale ergänzt. Somit ergeben sich insgesamt **vier Säulen** zur Einordnung digitaler Geschäftsmodelle. Für jede dieser Säulen wurde aus einer Vielzahl von relevanten Aspekten eine Auswahl von fünf Indikatoren zur Bewertung eines Geschäftsmodells entwickelt. Diese sind in der nachstehenden Tabelle aufgelistet.

Chancen & Potenziale	Ökonomische Säule	Ökologische Säule	Soziale Säule
Marktpotenzial	Wertschöpfung	Treibhausgasemissionen	Sozialgeographische Ungleichheit
Wirtschaftlichkeit	Arbeitsmarkt	Energieverbrauch	Sozioökonomische Ungleichheit
Zugänglichkeit	Gehaltsgefüge	Materialverbrauch	Lieferkettensorgfalt
Robustheit	Wettbewerb	Kreislaufwirtschaft	Lebensqualität
Zukunftsfähigkeit	Förderung der lokalen Wirtschaft	Paris Alignment	Sicherheit

Tabelle 1: Überblick über die vier Säulen des Analyserahmens zur Bewertung digitaler Geschäftsmodelle.

Ziel dieser Auswahl war es, eine umfassende Abdeckung der jeweiligen Säulen mit einer überschaubaren Anzahl von Indikatoren zu ermöglichen. Diesen insgesamt 20 Indikatoren wird jeweils eine der **vier Ausprägungen** negativ (-1), neutral (0), positiv (1) oder sehr positiv (2) zugewiesen werden.

Im vierten und letzten Teil der Studie wird dieser entwickelte **Analyserahmen exemplarisch auf fünf digitale Geschäftsmodelle angewendet**. Ziel dieser Anwendung ist es, den Analyserahmen anhand konkreter Geschäftsmodelle zu verproben, jedoch ohne den Anspruch eine abschließende oder vollumfassende Bewertung vorzunehmen. Entscheidender Faktor bei der Auswahl der folgenden Fallstudien war eine möglichst breite Abdeckung von Wirtschaftsbereichen und Nachhaltigkeitsauswirkungen:

- Fallstudie 1: Consumer IoT am Beispiel smarterer Kühlschränke
- Fallstudie 2: City-Logistik-Kooperationen und -Plattformen
- Fallstudie 3: KI-basierte Einspeise- und Lastflussprognosen
- Fallstudie 4: Multimodale Vernetzung im Personenverkehr mittels Mobility-as-a-Service (MaaS)-Plattformen
- Fallstudie 5: Intelligente Straßenlaternen in der Smart City

In der Anwendung des Analyserahmens auf die Fallstudien erweist sich dieser als geeignetes Werkzeug. Insbesondere werden die Dimensionen der Nachhaltigkeit sowie die einzelwirtschaftlichen Chancen und Potenziale hinreichend und mit minimaler Überschneidung abgedeckt. Auf Basis der guten Übertragbarkeit des Analyserahmens in Anbetracht der Verschiedenheit der Fallstudien ist davon auszugehen, dass der Analyserahmen zukünftig auch als Vorlage für die **Bewertung weiterer digitaler Geschäftsmodelle** gut genutzt werden kann.

Im Hinblick auf die Anwendung des Analyserahmens auf die Fallstudien selbst, können folgende Schlüsse gezogen werden. Alle Geschäftsmodelle erzielen eine positive Bewertung in Bezug auf deren privatwirtschaftliche Chancen und Potenziale. Während die Nachhaltigkeitseffekte der meisten Fallstudien überwiegend positiv bewertet werden, bestehen möglicherweise Risiken im Hinblick auf die Nachhaltigkeit smarter Kühlschränke im Bereich Consumer IoT. Konkret bedeutet das, dass vier der fünf betrachteten Fallstudien in den Bereich wirtschaftlich erfolgsversprechender und gleichzeitig nachhaltig wirkender Geschäftsmodelle fallen.

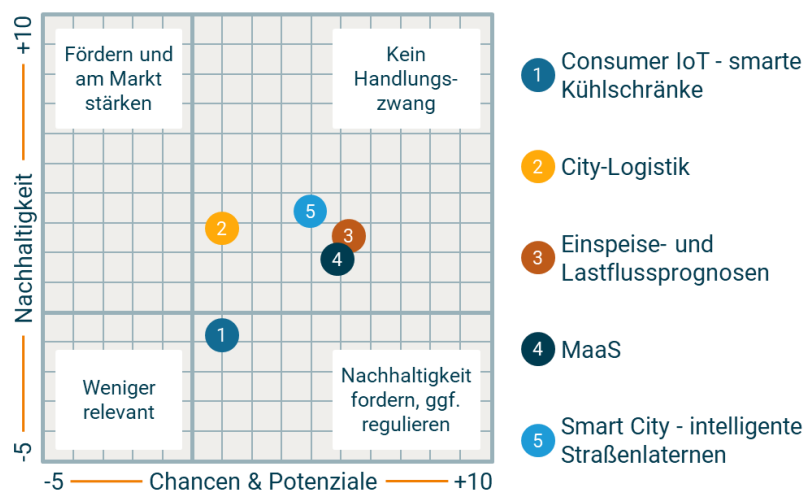


Abbildung 1: Einordnung der fünf untersuchten Fallstudien gemäß den Dimensionen "Chancen & Potenziale" und "Nachhaltigkeit".

Die Erkenntnisse der Studie, sowohl in Form des theoretischen Analyserahmens als auch jene der konkreten Fallstudien, können von der Bundesnetzagentur zur Einordnung und Bewertung digitaler Geschäftsmodelle genutzt werden. Da der Fokus der Studie auf der Entwicklung und der Anwendung des Analyserahmens liegt, wird auch kein Vergleich zwischen den Fallstudien vorgenommen. Dafür ist es zusätzlich nötig, eine regulatorische oder ordnungspolitische Fragestellung zu entwickeln, anhand derer die Vergleichbarkeit von Fallstudien, beispielsweise durch eine geeignete Gewichtung der Säulen sowie ggf. durch eine Anpassung der Indikatorbewertungen an einheitliche relevante Messgrößen, erfolgen kann.

1. Einführung

Als Folge des digitalen Strukturwandels verändern sich nahezu alle Bereiche der Wirtschaft und Gesellschaft. Digitalisierung und Vernetzung sind dabei die grundlegenden Voraussetzungen für die Umsetzung von Innovationen und die Realisierung von Wertschöpfungspotenzialen. Das Internet ist zu einem zentralen Pfeiler unserer Volkswirtschaft geworden und hat fundamentale Veränderungen mit sich gebracht und u. a. die Kosten von Informationsbeschaffung massiv gesenkt sowie die Medienlandschaft grundlegend verändert. Die Bereitstellung von Dienstleistungen in vielen Branchen ist ortsungebunden [1]. E-Commerce hat die Struktur des Handels nachhaltig verändert und das Internet hat für Anbieter und Nachfrager einen nie dagewesenen Grad an Transparenz geschaffen. Gleichzeitig wird immer deutlicher, dass der Ressourcenverbrauch durch die Art des Lebens und Wirtschaftens mit weitreichenden negativen Folgen in sozialer, ökologischer und ökonomischer Hinsicht verbunden sein kann.

Vor diesem Hintergrund kann beobachtet werden, dass digitale Technologien dazu beitragen können, ökonomische Prozesse nicht nur effizienter, sondern auch nachhaltiger zu gestalten. Dabei ist jedoch auch von Bedeutung, dass digitale Prozesse dies in unterschiedlichster Weise tun und ihre direkten Auswirkungen auf Umwelt und Gesellschaft sowohl positiv als auch negativ sein können. Folglich bietet der derzeit stattfindende Wandel aller Wirtschaftsbereiche eine große Chance, die durch den digitalen Transformationsprozess angestoßenen Veränderungen auch nachhaltig auszugestalten. Dies gilt nicht zuletzt für die volkswirtschaftlich bedeutenden regulierten Netzsektoren.

Viele digitale Innovationsprozesse weisen erhebliche Potenziale auf, um Nachhaltigkeitsziele zu unterstützen. Big Data, Internetplattformen, Künstliche Intelligenz, das Internet der Dinge (IoT) oder Industrie 4.0 ermöglichen auf vielfältige Weise, effizienter und ressourcenschonender zu wirtschaften. Ein vielversprechendes Potenzial der Digitalisierung ist die Dematerialisierung von Produkten sowie die Effizienzsteigerung ihrer Herstellung und Nutzung. Sie bietet auch zahlreiche Möglichkeiten für einen nachhaltigen Konsum. Allerdings werden die Nachhaltigkeitspotenziale von Innovationen im digitalen Bereich in der Praxis nicht zwangsläufig gehoben, wenn der volkswirtschaftliche Nutzen nicht unmittelbar in privatwirtschaftliche Gewinne umgesetzt werden kann. Andere digitale Geschäftsmodelle haben möglicherweise nur geringes Potenzial zur Verbesserung der Nachhaltigkeit, tragen aber selbst zum Ressourcenverbrauch durch Energieintensität und schnellere Produktlebenszyklen von IKT-Infrastrukturen und Endnutzengeräten oder haben unerwünschte Nebeneffekte.

Vor dem Hintergrund der Digitalisierung von Wirtschaft und Gesellschaft ergeben sich auch im Rahmen der Aufgabenbereiche der Bundesnetzagentur seit einigen Jahren zunehmend Fragestellungen, die eine Bewertung digitaler Geschäftsmodelle notwendig machen können. Die Bundesnetzagentur hat d-fine und Frontier Economics damit beauftragt, eine Studie zur Beantwortung dieser Fragestellung zu entwickeln. Insbesondere sollen die Zusammenhänge zwischen digitalen Geschäftsmodellen und Nachhaltigkeitsaspekten untersucht werden. Zudem soll ein Analysekonzept zur Bewertung der Nachhaltigkeit digitaler Geschäftsmodelle erarbeitet werden.

Die vorliegende Studie entwickelt daher einen Rahmen zur Untersuchung der Nachhaltigkeitsauswirkungen digitaler Geschäftsmodelle. Dazu betrachtet sie als Grundlage die Definition von Nachhaltigkeit und den gesellschaftlichen bzw. politischen Diskurs darüber. Ebenso werden Ansätze zur Definition von Nachhaltigkeitszielen sowie grundlegende Auswirkungen von digitalen Geschäftsmodellen auf diese und deren Messung behandelt. Des Weiteren wendet die Studie den Analyserahmen in einer Reihe von Fallstudien an.

Die Studie ist folgendermaßen gegliedert.

- Kapitel 2 behandelt das Konzept der Nachhaltigkeit. Dies umfasst einen historischen Abriss der Entwicklung des Begriffs, dessen breit gefasste heutige Interpretation sowie nachhaltigkeitsbezogene politische Zielsetzungen, Initiativen und Rechtsnormen auf nationaler, europäischer und globaler Ebene. Ebenso werden gängige Indikatoren zur Messung von Nachhaltigkeit wie etwa jene der Agenda 2030 der Vereinten Nationen sowie der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie betrachtet.
- Kapitel 3 behandelt die Nachhaltigkeitspotenziale digitaler Geschäftsmodelle. An dieser Stelle betrachten wir technologische Entwicklungen als Basis für digitale Innovationen und diskutieren Wechselwirkungen zwischen Technologie und sozialen sowie gesellschaftlichen Aspekten. Anschließend werden wirtschaftliche, politische und gesellschaftliche Nachhaltigkeitstreiber für digitale Geschäftsmodelle dargestellt. Schließlich analysieren wir empirische Belege und systematische Studien zur Bewertung der Nachhaltigkeitswirkungen von digitalen Geschäftsmodellen.
- In Kapitel 4 entwickeln wir einen Analyserahmen zur Bewertung digitaler Geschäftsmodelle im Hinblick auf deren unternehmerische Chancen und Potenziale sowie ihrer Nachhaltigkeitsauswirkungen. In Bezug auf Nachhaltigkeit unterscheiden wir zwischen ökonomischer, ökologischer und sozialer Nachhaltigkeit. Somit ergeben sich insgesamt vier Säulen zur Einordnung. Jede dieser Säulen umfasst wiederum fünf Indikatoren zur konkreten Bewertung eines Geschäftsmodells. Diesen Indikatoren weisen wir jeweils eine von vier verschiedenen Ausprägungen zu.
- Kapitel 5 betrachtet fünf konkrete digitale Geschäftsmodelle in den verschiedenen Netzsektoren und bewertet diese anhand des zuvor präsentierten Analyserahmens im Hinblick auf deren Chancen und Potenziale sowie Nachhaltigkeitseffekte. Das Ziel ist die exemplarische Anwendung des Analyserahmens und keine abschließende oder vollumfassende Bewertung des jeweiligen Geschäftsmodells.
- Kapitel 6 fasst die erzielten Ergebnisse zusammen und trifft darauf basierende Schlussfolgerungen.

2. Nachhaltigkeit

2.1 Nachhaltigkeit als konzeptionelles Konstrukt

2.1.1 Historische Verwendung

Das ursprünglichste Verständnis und die frühesten Verhaltensweisen in Bezug auf Nachhaltigkeit können heute noch beim Studium indigener Kulturen beobachtet werden [2]. Die von ihnen angewandten traditionellen Wirtschaftsformen sind eng mit dem sie umgebenden Ökosystem verbunden, denn die dauerhafte Rentabilität ist für ihre Lebensweisen sehr entscheidend. Es handelt sich dahingehend also um stabile und im ursprünglichen Sinne nachhaltige Systeme [3]. Tatsächlich ist es nicht entscheidend, ob es sich bei den betrachteten frühen Kulturen um extraktive (Wildbeuter und Feldbeuter) oder nahrungsproduzierende (Pflanzenbau und Tierproduktion) Wirtschaftsformen handelt. Das traditionelle nachhaltige Wirtschaften ging in allen Fällen sehr häufig einher mit moralischen Leitbildern, welche auf einer Erd- und/oder Naturverbundenheit aufsetzten. Der verständige Kern wurde innerhalb der Kultur bspw. durch Mythen und Rituale oder aber entgegengesetzt durch Tabus vermittelt [4].

Die in Folge wachsender Populationen notwendige Erhöhung des produktiven Outputs durch intensivere Formen der Landwirtschaft (bzw. Ressourcennutzung insgesamt) setzte weltweit vor etwa 10.000 Jahren ein [3] [5]. In [7] wird beleuchtet, inwiefern in weiterer Folge schon in der Antike (etwa 800 v.Ch. – 600 n.Ch.) erweiterte Konzepte der Nachhaltigkeit (i.S.v. Umgang mit Prozessen der Umweltveränderung und -erhaltung, Ressourcenmangel und ökologische Krisen) Anwendung fanden. Wobei zu bedenken ist, dass die alten Griechen oder Römer bei der Verwendung und Verteilung knapper Ressourcen und Rohstoffe, wie Nahrung, Wasser und Holz, nicht das heute gängige Verständnis von Nachhaltigkeit im Sinn hatten, sondern in weiten Teilen schlicht Versorgungsprobleme lösten. Ob auch Gedanken zur Umweltzerstörung und deren Vermeidung eine Rolle spielten, muss im Nachhinein unbeantwortet bleiben.

In Deutschland bzw. im deutschen Sprachgebrauch gilt Hans Carl von Carlowitz [8] als Begründer und Namensgeber des hinter dem Begriff „Nachhaltigkeit“ verborgenen Prinzips. In seinem 1713 erschienenen Werk „Sylvicultura Oeconomica“ formuliert er erstmalig das Prinzip „forstwirtschaftlicher Nachhaltigkeit“. Dass Nachhaltigkeit als formuliertes Prinzip zunächst in der Forstwirtschaft auftaucht, ist nicht ganz überraschend, ist doch die Forstwirtschaft an sich naturgebundener als viele andere Branchen und eine Planung weit in die Zukunft allein aufgrund des langsamen Wachstums der Bäume zwingend erforderlich.

2.1.2 Begriffliche Weiterführung ab den 1980er Jahren

Im heute vorherrschenden modernen Verständnis ist Nachhaltigkeit weniger als Systemeigenschaft zu verstehen, sondern vielmehr als Handlungsprinzip zur Nutzung begrenzter Ressourcen des Systems¹. Es erzeugt eine Verknüpfung zwischen Bedürfnisbefriedigung und Regenerationsfähigkeit von Systemkomponenten. Soll eine Nutzung dauerhaft erfolgen, so muss gewährleistet sein, dass eine Wiederherstellung betroffener Ressourcen in dem Maße erfolgt, wie es notwendig ist, um die weitere (evtl. intensivere) Nutzung abzusichern.

Neben dieser Sichtweise als Beeinflussung des Ressourcenkreislaufs beinhaltet das moderne Verständnis zudem implizit die Forderung, dass weitere Systemkomponenten, die nur mittelbar Teil

¹ Unter System kann bspw. die Wirtschaft eines Landes verstanden werden oder die Ressourcen der Erde. Möglich ist aber auch die Gesellschaft an sich, eine Kultur oder alles gemeinsam als System zu verstehen. Entsprechend unterschiedlich sind die „Ressourcen des Systems“ ausgeprägt.

des Kreislaufes sind oder auch gänzlich unabhängig davon im System existieren, nicht nachteilig beeinflusst werden sollen.

Der eher ökonomisch geprägten Sichtweise auf Nachhaltigkeit als Mittel zur dauerhaften („nachhaltigen“) Gewinnerhaltung aus der Forstwirtschaft [8] folgte etwa ab Mitte des 20. Jahrhunderts die Erweiterung um Forderungen aus dem sozialen und ethischen Kontext – also der Wandel hin zu einer eher ökologischen Nachhaltigkeit [9] [10]. Es ging in der Folge also nicht mehr nur um die Sicherung rein monetärer Erträge in einem wirtschaftlichen System, sondern zusätzlich um Belange der Gesellschaft und des Naturschutzes.

Aus wissenschaftlich-definitorischer Sicht wurde also das betrachtete System erweitert, indem zunächst eine Vielzahl weiterer notwendiger Ressourcen etabliert und die Existenz potenzieller Verknüpfungen und Abhängigkeiten postuliert wurden. Wie genau diese Ressourcen zu verstehen sind, welchen regenerativen Gesetzmäßigkeiten sie gehorchen und welche Arten von Verknüpfungen und Auswirkungen zwischen den Ressourcen selbst und Veränderungen dieser bestehen, wurde Teil allgemeiner Betrachtungen [10] [6].

Auf politischer Ebene und in der Öffentlichkeit erzeugte die Studie „The Limits to Growth“ [9] aus dem Jahr 1972, finanziert durch den Club of Rome und durchgeführt im Rahmen des „Project on the Predicament of Mankind“ am Massachusetts Institute of Technology (MIT), eine neue Stufe der Sichtbarkeit und befeuerte eine kontrovers geführte Debatte. Kernaussagen der Studie beinhalten insbesondere die Warnung, dass die absoluten Wachstumsgrenzen auf der Erde bei anhaltender Zunahme von Weltbevölkerung, Industrialisierung, Umweltverschmutzung, Nahrungsmittelproduktion und Ausbeutung natürlicher Rohstoffe innerhalb von 100 Jahren erreicht sein werden. Besonders an dieser Studie ist auch, dass erstmalig in großem Umfang Computersimulationen verwendet wurden, um Auswirkungen und Effekte auf Umwelt und Gesellschaft greifbar und sichtbar zu machen.

Als weiterer Meilenstein in der global-politischen Akzeptanz dieses erweiterten Verständnisses von Nachhaltig gilt der Brundtland-Report von 1987 [10]. Dieser von der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung der Vereinten Nationen („Brundtland-Kommission“) unter dem Vorsitz der ehemaligen norwegischen Ministerpräsidentin Gro Harlem Brundtland erstellte Bericht prägte und definierte den Begriff „nachhaltige Entwicklung“:

„Humanity has the ability to make development sustainable to ensure that it meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs.“
(Brundtland-Report, S. 15)

Diese auch als „Generationengerechtigkeit“ bezeichnete Konzept-Definition fand im den folgenden Jahren Einzug in alle internationalen Umweltabkommen und bildet den Grundstein des vorherrschenden Verständnisses von Nachhaltigkeit.

In Deutschland wurde das Konzept der nachhaltigen Entwicklung im weiteren Verlauf Thema der vom Bundestag einberufenen Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ (1992 – 1998). In ihrem Endbericht der ersten Phase (1994, [11]) werden als Leitbilder die drei Säulen bzw. Dimensionen Ökologie, Ökonomie und Soziales (bzw. sozialer Ausgleich) als Hauptbestandteil einer „nachhaltigen, zukunftsträchtigen Entwicklung“ verwendet und diese auf den Stoffmarkt angewandt. In der zweiten Phase (1998, [12]) wurden als Beispielfelder die Themen Bodenversauerung, Informations- und Kommunikationstechnik sowie Bauen und Wohnen gewählt.

Das in den Berichten implizit verwendete „Nachhaltigkeitsdreieck“ nutzt im Ansatz dieselben drei Dimensionen (Ökologie, Ökonomie und Soziales) wie das im weiteren Verlauf populärere „Drei-Säulen-Modell“ (basierend auf den Ausführungen des Brundtland-Reports [10]). Das im englischen Sprachraum verwendete Modell „Triple-Bottom-Line“ [15] entspricht im Wesentlichen dem Drei-Säulen-Modell, wird aber eher durch Unternehmen angewandt und in diesem Zusammenhang als Optimierungsproblem verstanden, das die drei „P’s“, Planet, People, Profit maximieren möchte. Allen Modellen ist gemein, dass Nachhaltigkeit nur im Einklang der grundlegenden Prinzipien Ökonomie, Ökologie und Soziales erreicht werden kann. Ob die Darstellung nun in Form von Dreiecken, Säulen oder Kreisen erfolgt, macht von der Grundaussage her wenig Unterschied. Genutzt werden die grafischen Besonderheiten auch, um auf die ein oder andere Art auszudrücken, dass die Prinzipien „gleichrangig“ oder „gleichgewichtet“ sind.

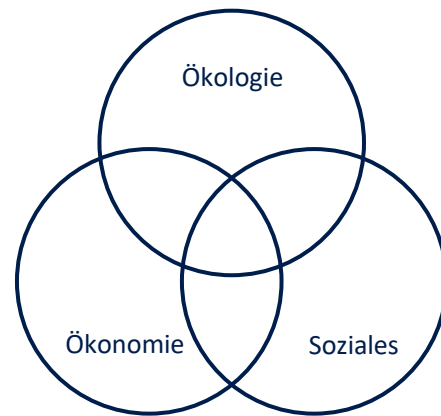


Abbildung 2: Nachhaltigkeitsdreieck.

In fortschreitenden Diskussionen wurde nun hinterfragt, was „gleichrangig“, denn bedeute und ob dies denn wirklich der Fall sei. In der allgemeinen gesellschaftlichen Auslegung wurde der Ökologie und Umwelt als grundlegende zu erhaltende Prinzipien regelmäßig ein höheres Gewicht zugestanden, als es über die Darstellung als Dreieck oder Säulen möglich ist. Als Reaktion wurde der Begriff der „starken Nachhaltigkeit“ eingeführt, deren Augenmerk nun darauf lag, die Gewichtung hin zur Ökologie zu verschieben [16]. In ersten Ansätzen wurden die Modelle entsprechend angepasst. Beispiele dafür sind das „gewichtete Säulenmodell“ [17], und das Modell der „Zauberscheiben der Nachhaltigkeit“ [18]. Ersteres erweiterte das Säulen-Modell um das Fundament Ressourcen und Klima, welches als Grundlage für die Aspekte Ökonomie, Soziales und (neu) Kultur dient. Das

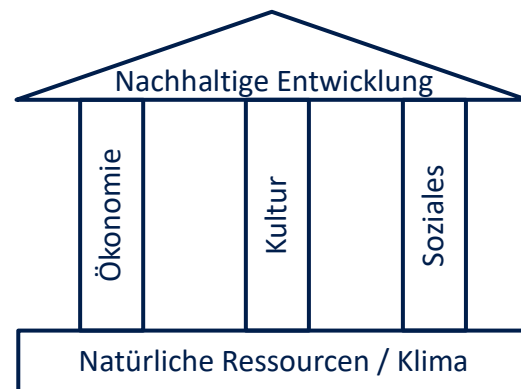


Abbildung 3: Gewichtetes Säulenmodell.

Modell der Zauberscheiben hält prinzipiell an einer Dreiteilung fest. Allerdings werden die drei Bereiche Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft/Soziales hier auf oberster Ebene weiter in relevante Unter Aspekte² ausdifferenziert und somit wird einzelnen Aspekten der drei großen Bereiche zusätzliches Gewicht verliehen. In der weiteren Beschreibung wird dann verdeutlicht, dass Umwelt der grundlegende Aspekt ist. In der grafischen Darstellung als im Dreieck angeordnete Scheiben, findet sich diese Gewichtung indes nicht wieder.

Neben der Kritik, dass das suggerieren gleicher Gewichte nicht adäquat sei, wurde auch festgestellt, dass über diese Darstellung jeder seine eigenen Präferenzen abbilden und somit eine defakto-Priorisierung einführen kann [19] [20]. Hierüber verliert das Modell seine Orientierungsfunktion und Widersprüche und Gegensätze werden verdeckt, wo eine Konsens notwendig wäre [20].

² Für Umwelt: Luft, Abfall, Energie, Ressourcen, Umweltschutz, Biodiversität; für Wirtschaft: Konsum, Arbeit, Regionalität, öffentlicher Haushalt, Preis, Wirtschaftsstruktur; für Gesellschaft/Soziales: Vermögen, Kultur, Siedlung, Gesundheit, Sicherheit, Mobilität.

Aufbauend auf diesem Rahmen hat sich die Modellsicht der Pyramide (oder auch des Kegels, siehe Abb. 3) als gängige Darstellung in weiten Teilen durchgesetzt. In ihr werden die Aspekte Umwelt/Biosphäre, Gesellschaft und Ökonomie als Stufen einer Pyramide gesehen. Die Stufen oder Schichten der Pyramiden werden je nach Kontext in unterschiedliche Unter Aspekte aufgeteilt. Auf diese Art wird einerseits ermöglicht, den Fokus zu variieren und andererseits verdeutlicht, dass der Umwelt als Basis der Pyramide der größte Stellenwert zusteht. Als zweite Schicht liegt darüber die Gesellschaft mit ihren sozialen Aspekten und erst darüber kommen Belange der Wirtschaft. Als prominentester Vertreter dieses Modells kann die Verknüpfung mit den Nachhaltigkeitszielen der Agenda 2030 (s.u.) durch Rockström und Sukhdev [14] gesehen werden.



Abbildung 4: SDG Illustration [14].

2.1.3 Moderne Erweiterungen und Variationen des Anwendungsrahmens

Je nachdem, in welchem Rahmen das System, auf das das Handlungsprinzip „Nachhaltigkeit“ angewandt wird, existiert, variieren die relevanten Dimensionen sowie die Kernaussagen.

Im „gewichteten Säulenmodell“ tauchte bereits explizit die Dimension Kultur auf, die eine Anknüpfung an eine Art spiritueller Ressource darstellt. Entsprechend der Analogie des Drei-Säulen-Modells zur Triple-Bottom-Line besteht eine Analogie des „gewichteten Säulenmodells“ zur Quadrupel-Bottom-Line, die den drei „P’s“ der Triple-Bottom-Line als weiteres „P“ Purpose hinzufügt. Herkunft dieser Dimension ist die Idee, auch die spirituelle Entwicklung zu fördern – also Kultur im weitesten Sinne.

Es soll an dieser Stelle nicht suggeriert werden, dass die genannten Modelle deckungsgleich wären. Verfechter des einen oder anderen Modells werden in der Lage sein, die Unterschiede zu benennen, die insbesondere die Messweise der Ressourcen, deren Verfügbarkeit und Zusammenspiel – also die Grundannahmen der Modellierung – betreffen. Die Analogien werden lediglich gezogen, um zu verdeutlichen, dass in der wissenschaftlichen wie politischen Diskussion eine Entwicklung im Verständnis der zu berücksichtigenden Kernressourcen erfolgte.

Neben der Identifikation der Kernressourcen gab es zudem auf natürliche Weise Unterschiede in der Ausdehnung der betrachteten Systeme. Während in der politischen Diskussion in aller Regel die Gesamtwirtschaft (eines Landes, eines Kontinents oder der Erde als Ganzes) betrachtet wurde, so galt in der Wirtschaft eher die Sicht auf Unternehmen oder – als eine Erweiterung dieser Sicht – auf Produktionsketten als angebracht.

Aus Sicht eines einzelnen Unternehmens bietet es sich an, die beschriebenen schützenswerten Aspekte Ökonomie, Ökologie, Soziales und Kultur auf folgende Weise zu interpretieren:

- **Ökologisches Verhalten (Environment):** Das ökologische Verhalten eines Unternehmens wird beispielsweise durch die Treibhausgasemissionen oder den Umgang mit den Ressourcen Wasser und Energie gemessen.
- **Soziales Verhalten (Social):** Zur Klassifizierung des sozialen Verhaltens eines Unternehmens werden Kenngrößen zur Wahrung der Menschenrechte oder zum Unterbinden von Kinderarbeit herangezogen.
- **Unternehmensführung (Governance):** Die Beurteilung der Unternehmensführung erfolgt beispielsweise durch die Bewertung der vorhandenen Maßnahmen zur Verhinderung von rechtswidrigen Handlungen wie Korruptionszahlungen.

Während Ökologie und Soziales in dieser Sichtweise unmittelbar erkennbar sind, sind die Aspekte Kultur und Ökonomie weniger offensichtlich. Auf Ebene eines Unternehmens kann die Unternehmensführung als Ausprägung der Kultur gesehen werden. Die Ökonomie wird indes nicht explizit erwähnt, da es sich für ein Unternehmen hierbei um die Existenzgrundlage handelt. Der wirtschaftliche Output soll oberhalb eines Infimums³ maximiert werden, wogegen es sich bei Environment, Social und Governance eher um zu erfüllende starke Nebenbedingungen handelt.

Aus wirtschaftlicher Sicht (und insbesondere aus Sicht der Unternehmensführung) sind die zuletzt genannten Kategorien zwar näher an notwendigen praktischen Handlungsanweisungen, aber in aller Regel immer noch zu vage, um darauf aufbauend bspw. konforme Produktionsketten zu etablieren. Im Bereich „ökologisches Verhalten“ hat sich mit Blick auf die Schaffung einer „Green Economy“⁴ [22] ein Strategiemodell bestehend aus den drei Leitstrategien Effizienz, Konsistenz und Suffizienz entwickelt (vgl. [18]).

Effizienz (quantitative Transformation): Eine Effizienzstrategie zielt darauf ab, Produktionsketten auf eine Art zu transformieren, dass der werthaltige ökonomische Output mit verringertem Einsatz von Material und Energie bei zumindest gleichbleibender Qualität erfolgt.

Konsistenz (qualitative Transformation): Das Anliegen einer Konsistenzstrategie ist es, Materialströme bspw. in Bezug auf Umweltverträglichkeit zu verbessern (z. B. Stoff anstelle von Plastik; erneuerbare Energien etc.). Das Schaffen von geschlossenen Warenkreisläufen ist ein weiterer möglicher Aspekt (bspw. Pfand anstelle von Einweg, ökologische Landwirtschaft, Verzicht auf persistente Stoffe).

Suffizienz (konsumtive Transformation): Ziel einer Suffizienzstrategie ist es, Muster im Konsumverhalten in Richtung einer ökologischen Nachhaltigkeit zu verschieben. Endnutzer sollen also zu einer ressourcenschonenden Lebensweise ermutigt werden (bspw. Car-Sharing, Nutzen-statt-Besitzen-Angebote).

Allen Leitstrategien wohnt ein unterschiedliches Transformationspotenzial inne, das auf natürliche Weise von vielen Faktoren abhängig ist: allgemeines Marktumfeld des Unternehmens, mögliche Auswirkungen auf Reputation, Verhalten der Peers, technologische Gegebenheiten u.a.

2.1.4 Fazit in Bezug auf die Entwicklung eines analytischen Bewertungskonzeptes

Im heute gängigen Verständnis sind also zwei Sichtweisen auf das zugrundeliegende System und das zugehörige Handlungsprinzip „Nachhaltigkeit“ zu unterscheiden: die politische und die unternehmerische Sichtweise. Als gemeinsame Grundlage dient beiden das im Verlauf der letzten Jahrzehnte entwickelte Verständnis über die zu betrachtenden Kernaspekte: Ökonomie, Umwelt, Gesellschaft/Kultur. Darauf aufbauend ist in der rein politischen Betrachtung eine Ergebnisorientierung (Reduzierung um ... bis ...; Erhöhung des Anteils des ... bis ... um ...) vorherrschend (und angebracht). Die Prozesse der Ressourcenumwandlung im Sinne eines Mikromanagements werden nicht vorgegeben oder thematisiert, wohl aber gegeneinander unter dem Aspekt der Zielerreichung verglichen.

In der unternehmerischen Sichtweise spielen die Prozesse, die dem Handlungsprinzip „Nachhaltigkeit“ letztlich seine Bedeutung verleihen, eine viel entscheidendere Rolle, da sie sich auf der

³ Das Infimum beschreibt in diesem Fall die minimale Wirtschaftlichkeit, die erforderlich ist, das Unternehmen erfolgreich am Leben zu erhalten.

⁴ Neben „nachhaltige Entwicklung“ (engl. „Sustainable Development“) war „Green Economy“ das zweite Kernthema der UN-Konferenz über nachhaltige Entwicklung in Rio 2012. Sie hat zum Ziel, rein ökonomisch geprägtes Wirtschaften, mit seinen Gefahren für Gesellschaft und Umwelt, in ein Wirtschaften zu transformieren, dass das menschliche Wohlergehen und soziale Gerechtigkeit unterstützt und gleichzeitig Risiken für Umwelt und Ressourcen reduziert.

Mannigfaltigkeit der ökonomischen Wertschöpfung befinden sollen und diese im Laufe der Anwendung von Transformationsstrategien (Effizienz, Konsistenz, Suffizienz) idealerweise auch nicht verlassen dürfen.

Es ist anzumerken, dass die eine Sichtweise ohne die andere natürlich nicht bestehen kann und nur im gemeinsamen Wirken eine Zielerreichung möglich ist. Der politischen Sicht fehlt es am Verständnis der Prozesse (nicht im Sinne von kognitiver Leistung, sondern vom Fokus) und der unternehmerischen Sicht an notwendigen Bedingungen, die den Rahmen der Transformationsfähigkeit auf konsistente Weise abgrenzen.

Zur Steuerung der Gesamttransformation hin zu einer „Nachhaltigen Entwicklung“ werden Indikatoren herangezogen. Sie sollen je Fokusgebiet die Messung der Zielerreichung ermöglichen. Die Festlegung der passenden Indikatoren sollte primär aus der unternehmerischen Sicht getrieben werden. Andernfalls sind die Indikatoren Wunschgrößen aus der politischen Sicht und im schlimmsten Fall nicht messbar (weder quantitativ noch qualitativ – und somit unbrauchbar).

2.2 Wandel, Beitrag und Wille der internationalen Politik – Zielstellungen und Initiativen

Fasst man die Betrachtung der politischen Ansätze über die letzten Jahrzehnte zusammen, so lassen sich drei Leitmotive erkennen, die im Kern denselben Ursprung und dasselbe abschließende Ziel haben, in ihrem Systemverständnis aber unterschiedliche Schwerpunkte setzen: nachhaltige Entwicklung, nachhaltiges Wirtschaften (Green Economy) und Klimaschutz.

- Im Zuge nachhaltiger Entwicklung soll das System Erde mit seinen vielfältigen Ökosystemen (worunter auch Gesellschaft und Kultur fallen) bewahrt und rekonstruiert werden.
- Nachhaltiges Wirtschaften thematisiert die weitere Entwicklung der Menschheit zum Nutzen der Allgemeinheit mit dem Ziel, die Lebensqualität aller Menschen zu verbessern und insbesondere bestehende Gefälle auszugleichen.
- Der Klimaschutz, mit seinen Vereinbarungen über Erwärmungsquoten etc., hat das Fortbestehen des Systems Erde an sich unter Einbezug der Menschheit als Motiv.

Das eine Motiv gegen das andere auszuspielen oder eine absolute Priorisierung vorzunehmen ist nicht zielführend. In der Betrachtung, auch im Hinblick auf Indikatorensysteme und Bewertungsverfahren, müssen alle Motive – wo sinnvoll – präsent sein. Dies auch, um dem Aspekt Akzeptanz die gebotene Beachtung zu schenken.

2.2.1 UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung

Als internationale Konferenz zum Thema Umwelt und Entwicklung mit der größten Tragweite im 20. Jahrhundert kann die Konferenz der Vereinten Nationen in Rio de Janeiro 1992 (auch Rio-Konferenz oder Erdgipfel) gelten. Kernthemen der Konferenz waren die Bereiche „Nachhaltige Entwicklung“ und „Green Economy“. Sie war wegweisend in zweierlei Hinsicht. Zum einen wurden im Zuge der Konferenz drei Dokumente mit enormer internationaler Tragweite erstellt:

- Als Hauptergebnis die **Rio-Deklaration** [24] mit ihren 27 Grundsätzen, die Staaten auf dem Weg zu einer nachhaltigen Entwicklung in den Bereichen Politik, Gesetzgebung, Wirtschaft und Wissenschaft beachten sollen,
- das Aktionsprogramm **Agenda 21** [25], das Leitlinien u.a. zur nachhaltigen Entwicklung für das 21. Jahrhundert fixierte, und
- die sog. „**Forest Principles**“ [26] als Empfehlung zur Erhaltung und nachhaltigen Nutzung von Wäldern.

Zusätzlich wurden die folgenden völkerrechtlichen Verträge für die nachfolgende Ratifizierung durch die Mitgliedsstaaten freigegeben:

- das **Übereinkommen über die biologische Vielfalt** (kurz: Biodiversitätskonvention, Convention on Biological Diversity CBD) [27] das am 29.12.1993 in Kraft trat,
- die **Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen** (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) [28] die am 12.03.1994 in Kraft trat und
- das **Übereinkommen der Vereinten Nationen zur Bekämpfung der Wüstenbildung** (kurz: Wüstenkonvention, UNCCD) [29] zur Vermeidung und Verhinderung von Desertifikation und Landdegradation. In Kraft am 17.06.1994.

Einen besonderen Stellenwert unter den Ergebnissen bzw. Initiativen der Rio-Konferenz nimmt die Agenda 21 ein. Als Aktionsprogramm enthält sie Aufträge, deren Empfänger die Staaten selbst sind. Sie sollen auf nationaler Ebene Programme, Strategien und Projekte initiieren, die geeignet sind, verschiedene Ebenen nachhaltiger Entwicklung zu unterstützen. Sie ist also Initialzündung für zahllose nationale Vorhaben (auch in Deutschland) mit dem jeweiligen Ziel, Aspekte nachhaltiger Entwicklung umzusetzen, zu ergründen und auszubauen. Speziell Kapitel 28 der Agenda 21 hebt auch die Verantwortung kommunaler Ebenen hervor.

Bereich	enthaltene Aspekte
Soziale und Wirtschaftliche Dimension	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Armutsbekämpfung ▪ Bevölkerungsdynamik ▪ Gesundheit ▪ Siedlungsentwicklung
Erhaltung und Bewirtschaftung der Ressourcen für die Entwicklung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schutz der Erdatmosphäre ▪ Bekämpfung der Entwaldung ▪ Biodiversität ▪ Biotechnologie ▪ Schutz der Ozeane ▪ Schutz der Süßwasserressourcen ▪ Toxische Chemikalien ▪ Entsorgung von Abfällen
Stärkung der Rolle wichtiger Gruppen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Frauen, Kinder, Jugendliche ▪ Eingeborene Bevölkerungsgruppen ▪ Stärkung von NGOs ▪ Verantwortung der Kommunen ▪ Arbeitnehmer & Gewerkschaften ▪ Wissenschaft und Technik
Möglichkeiten der Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Finanzierungsmechanismen ▪ Technologietransfer ▪ Bildung ▪ Internationale Zusammenarbeit

Tabelle 2: Aktionsbereiche und Unterkapitel des Agenda 21 Aktionsprogramms.

Als Reaktion hierauf haben europäische Kommunalverwaltungen (unterstützt durch die EU) 1994 ihrerseits ein internationales Treffen in Aalborg abgehalten, das mit der Charta von Aalborg [30] abschloss. In ihr wird eine „lokale Agenda 21“ und gegenseitige Hilfestellung erklärt.

2.2.1 UN-Aktionsprogramme zur nachhaltigen Entwicklung

Die bereits erwähnte Agenda 21 als ein Ergebnis der Rio-Konferenz setzt aus heutiger Sicht den Startpunkt eines der entscheidenden Aktionsbereiche hin zu Nachhaltigkeit. Sie gliedert sich in 40 Kapitel, die in vier Bereiche unterteilt werden können (Tabelle 2):

Die Anforderung an die Staaten war es, in den genannten Bereichen Anstrengungen zu unternehmen, insbesondere die genannten Aspekte voranzutreiben. Die erzielten Erfolge wurden von den Vereinten Nationen beobachtet und insbesondere in den Bereichen Armut und Benachteiligung von Frauen als ungenügend bewertet.

Auf dem Millenniumgipfel in New York im Jahr 2000, wurden als Extrakt aus der verabschiedeten Millennium-Erklärung [31] die sogenannten **Millenniumentwicklungsziele**

Millenniumsziele (MDGs)

1. den Anteil der Weltbevölkerung, der unter extremer Armut und Hunger leidet, halbieren
2. allen Kindern eine Grundschulausbildung ermöglichen
3. die Gleichstellung der Geschlechter fördern und die Rechte von Frauen stärken
4. die Kindersterblichkeit verringern
5. die Gesundheit der Mütter verbessern
6. HIV/Aids, Malaria und andere übertragbare Krankheiten bekämpfen
7. den Schutz der Umwelt verbessern
8. eine weltweite Entwicklungspartnerschaft aufbauen

(Millennium Development Goals, MDGs) formuliert, die in erster Linie für Entwicklungsländer gelten sollten. Die acht Ziele wurden zudem erstmals auf global-politischer Ebene mit Indikatoren versehen, um eine Messbarkeit der Ziele zu ermöglichen. Als Frist für die Erreichung der Ziele wurde das Jahr 2015 festgelegt.

Im Jahr 2012 – die Rio-Konferenz jährte sich zum 20. Mal – fand die dritte internationale Nachfolgekonferenz zum Thema „nachhaltige Entwicklung“ erneut in Rio de Janeiro statt. In der Vorbereitungsphase wurde bereits ersichtlich, dass auf politischer Ebene Uneinigkeit bzgl. Formulierungen der „Green Economy“ zwischen entwickelten und weniger entwickelten Ländern herrschte. Den Industrieländern gingen die Forderungen und Entwicklungen nicht schnell genug bzw. sollte die Formulierung strenger ausfallen, wohingegen die Entwicklungs- und Schwellenländer Probleme der Erfüllbarkeit und des erstickenden Wirtschaftswachstums bemängelten. Die Argumentation ging bis hin zur unterstellten Abschottung der Märkte unter Verwendung von Umweltstandards und dies begründet mit Nachhaltigkeitszielen. Das Ergebnisdokument "The Future we want" [34] wurde dann auch an vielen Stellen und aus vielen Aspekten heraus kritisiert. Kritikpunkte rührten häufig aus Bedenken bzgl. Eingriffe in die Souveränität der Staaten her und aus der Erhebung des UN-Umweltprogramms (UNEP) zu einer vollwertigen UN-Agentur (kritisiert insbesondere auch von Deutschland). Im Ergebnis wurden die schon etablierten Ziele lediglich erneut gefasst und bestätigt. Als grundsätzliche Weiterentwicklung kann dennoch gesehen werden, dass bereits beschlossen wurde, eine Erweiterung in Form neuer **Ziele**



Abbildung 5: Sustainable Development Goals (SDGs) [33].

für nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals, SDGs) vorzunehmen. Die konkreten Ziele blieben jedoch noch auszuformulieren.

Die heute bekannten 17 Ziele (SDGs, siehe Abbildung 5) mit ihren 169 Unterzielen sind in Anlehnung an die MDGs durch eine UN-Arbeitsgruppe im Zeitraum 2013/2014 als Vorarbeit entstanden. Im September 2015 wurden die Ziele dann während des folgenden Weltgipfels für nachhaltige Entwicklung in New York verabschiedet [32]. Im Unterschied zu den MDGs gelten die SDGs für alle Staaten und nicht nur primär für ärmere Länder. Wie schon die Agenda 21 handelt es sich um einen Katalog von Anforderungsbereichen, in denen die Staaten und kommunalen Ebenen aktiv werden sollen und auch hier sind im Nachgang lokale Abstimmungen über Herangehensweisen erfolgt. Im Unterschied zur lokalen Agenda 21 (in der EU) ist aber ein Paradigmenwechsel zu beobachten gewesen. Die lokale Agenda 21 beinhaltete im Kern die Bestätigung, dass auch die kommunalen Ebenen ihre Verantwortung sehen und akzeptieren und zugleich gegenseitige Hilfe anstreben. Im Ergebnis wurden sehr viele Einzelprojekte, -initiativen und -vorhaben gestartet, die (vermutlich mangels Gesamtkonzept) häufig nicht mit dem gewünschten Erfolg abgeschlossen werden konnten, vgl. [35]. Die neue Lokale Nachhaltigkeitsstrategie (Agenda 2030 kommunal [36]) sollte im Folgenden aus einer Vision, einem Leitbild, einem Programm und insbesondere auch einem Managementzyklus (inkl. Monitoring) bestehen. Das Leitbild sollte aus langfristigen Zielen zusammengesetzt sein und das Programm einen erfolversprechenden Ablauf in Form von Maßnahmen und Projekten beinhalten.

Wie bereits erwähnt kommen Indikatoren zur Überprüfung und Überwachung der Zielerreichung eine besondere Rolle zu. Dies im Hinterkopf wurde die Statistische Kommission der Vereinten Nationen (UNSC) beauftragt, zu den Zielen und Unterzielen passende Indikatoren zu entwickeln. Unterstützung sollte sie von den nationalen Statistischen Ämtern erhalten (u.a. auch vom Statistischen Bundesamt).

2.2.2 UN-Klimarahmenkonventionen – Kyoto-Protokoll, Übereinkommen von Paris

Neben den Aktionsprogrammen zur Schaffung einer nachhaltigen Entwicklung und der Green Economy ist die dritte Säule der „Nachhaltigkeit“ durch das Thema Klimaschutz repräsentiert. Bezogen auf das Gesamtkonzept „Nachhaltigkeit“ für das System Erde übernimmt der Klimaschutz zum einen die wichtige Rolle des Treibers – und zwar auf zeitlicher Ebene wie auch auf Ebene internationaler Kooperationen – und zum anderen dient er als notwendige Klammer für globale Aspekte, die nicht einfach in die Verantwortung einzelner Staaten gegeben werden können, da sie nur in globaler Betrachtung sinnvoll zu bewerten sind.

Nachdem Belange des Klimaschutzes zwar bereits früher auf internationalen Konferenzen thematisiert wurden (bspw. auf der Weltklimakonferenz in Genf 1979), gilt auch in diesem Fall die Rio-Konferenz 1992 als Meilenstein. In Rio wurde die Klimarahmenkonvention [44], verabschiedet und diese trat 1994 nach Ratifizierung durch die 50. Vertragspartei in Kraft (mittlerweile über 180 Vertragsstaaten). Eines der Hauptanliegen der Konvention war zunächst die Begrenzung des Ausstoßes von Treibhausgasen und die dadurch getriebene Gefahr durch eine geschwächte Ozonschicht.

Die somit gegründete Vertragsstaatenkonferenz tritt jährlich zusammen, um das Vorankommen zu bewerten und etwaige Beschlüsse zu fassen. Auf der Konferenz in Kyoto 1997 wurden dann erstmalig konkrete rechtsverbindliche Begrenzungs- und Verringerungsverpflichtungen beschlossen, die für die Industrieländer gelten sollten. Die Verpflichtungen wurden im sog. **Kyoto-Protokoll** festgehalten [37]. Da das Klimarahmenabkommen striktere Vorgaben für einzelne Staaten machte und die Nichterreichung auch mit Strafzahlungen belegte, scheuten sich große Treibhausgasemittenten, das Protokoll zu ratifizieren. In Kraft treten sollte das Protokoll, sobald mindestens 55 Staaten, die zusammen mindestens 55 % der weltweiten Kohlendioxidemissionen von 1990 verursachten, es ratifiziert hatten. Nachdem die USA es zwar unterzeichnet, dann aber 2001 nicht ratifiziert hatten, konnte das Ziel erst mit der Ratifizierung durch die russische Duma 2004 erreicht werden.

Kyoto-Protokoll

- Reduktion von 6 Treibhausgasen ... (Kohlendioxid, Methan, FCKW u. a.)
- in festgelegten Sektoren (Energie, Produktion, Landwirtschaft u. a.) ...
- um festgelegt Quoten im Vergleich zu einem Basisjahr (i. a. R. 1990) ...
- einzeln für Vertragsparteien.

Die verbleibenden Vertragsstaaten hielten ihre Ziele für die Verpflichtungsperiode 2008 – 2012 vollständig ein. Die Verhandlungen über eine Fortführung des Kyoto-Protokolls für eine zweite Phase 2012 – 2020 kamen nur sehr schleppend voran und waren getrübt vom Austritt durch Kanada. Der erzielte Kompromiss mit den zugesagten Minderungen wurden von Mitgliedsstaaten eingereicht, die allerdings gemeinsam für lediglich 14 – 15 Prozent des weltweiten CO₂-Ausstoßes verantwortlich waren. In der deutschen Presse wurde die Vereinbarung dann auch als „Mini-Kompromiss“ bezeichnet [38] [39].

Übereinkommen von Paris, Artikel 2 [45] (Paris Agreement)

(1) Dieses Übereinkommen zielt darauf ab, durch Verbesserung der Durchführung des Rahmenübereinkommens einschließlich seines Zieles die weltweite Reaktion auf die Bedrohung durch Klimaänderungen im Zusammenhang mit nachhaltiger Entwicklung und den Bemühungen zur Beseitigung der Armut zu verstärken, indem unter anderem

- a) der Anstieg der durchschnittlichen Erdtemperatur deutlich unter 2 °C über dem vorindustriellen Niveau gehalten wird und Anstrengungen unternommen werden, um den Temperaturanstieg auf 1,5 °C über dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen, da erkannt wurde, dass dies die Risiken und Auswirkungen der Klimaänderungen erheblich verringern würde;
- b) die Fähigkeit zur Anpassung an die nachteiligen Auswirkungen der Klimaänderungen erhöht und die Widerstandsfähigkeit gegenüber Klimaänderungen sowie eine hinsichtlich der Treibhausgase emissionsarme Entwicklung so gefördert wird, dass die Nahrungsmittelherzeugung nicht bedroht wird;
- c) die Finanzmittelflüsse in Einklang gebracht werden mit einem Weg hin zu einer hinsichtlich der Treibhausgase emissionsarmen und gegenüber Klimaänderungen widerstandsfähigen Entwicklung.

Als Ausweg aus dieser Situation, einigte sich die Staatengemeinschaft darauf, das Kyoto-Protokoll abzulösen und durch ein neues Abkommen zu ersetzen. Das am 12. Dezember 2015 verabschiedete **Übereinkommen von Paris (Paris Agreement [45])** änderte den Hauptfokus, weg von der effektiven Reduktion der Treibhausgasemissionen, hin zur Forderung der Begrenzung der menschgemachten globalen Erwärmung.

Die einzelnen Staaten waren aufgerufen, sogenannte „national festgelegte Beiträge“ (nationally determined contributions, NDCs) zu formulieren, deren Erfüllung regelmäßig überprüft und deren Formulierung regelmäßig angepasst werden sollen. Bei diesen NDCs handelt es sich allerdings um völkerrechtlich nicht bindende Ziele. Dieses neue Prinzip erlaubt den Staaten deutlich mehr Spielraum in der Ausgestaltung der Ziele im Vergleich zu den strengen Vorgaben des Kyoto-Protokolls, die politisch nicht durchsetzbar waren. Stattdessen wird verstärkt auf Mechanismen der Kooperation und Reputation gesetzt. Die ersten NDCs sollten bis 2020 formuliert, um dann in einem 5-Jahres-Rhythmus angepasst und überprüft zu werden. Zusätzlich sollen bis 2020 Langzeitstrategien zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen formuliert und veröffentlicht werden (long-term low greenhouse gas emission development strategies; LT-LEDS). In Deutschland ist dies mit der Übermittlung des Klimaschutzplans 2050 [59] erfolgt.

2.3 Rahmenbedingungen in Europa und Deutschland

Startpunkt für die weiteren Betrachtungen sind die internationalen Initiativen Agenda 2030 (nachhaltige Entwicklung), Green Economy und das Übereinkommen von Paris. Es werden jeweils die Initiativen auf EU-Ebene und die nationalen Initiativen Deutschlands thematisiert, wie sie aktuell vorliegen. Wo im Einzelnen sinnvoll und verfügbar wird der Fokus auf die Bereiche Elektrizität und Gas, Telekommunikation, Digitalisierung, Post sowie Eisenbahnen gelegt.

2.3.1 Europa

2.3.1.1 Emissionshandel & Sustainable Finance

Um die Gesamtwirtschaft zu unterstützen, einen Kurs in Richtung nachhaltigem Wirtschaften einzuschlagen und somit den politisch und gesellschaftlich bereits vorliegenden Tendenzen zu entsprechen, wurde in der EU auch ein Augenmerk auf das Finanzwesen gerichtet. Hierbei ging es auch darum, die Enabler-Rolle der Finanzwirtschaft zu nutzen und wo möglich auszubauen. Es sollen für Unternehmen Regelungen geschaffen werden, die ein nachhaltiges Wirtschaften attraktiver bzw. zwingend machen. In diesem Zusammenhang sind zwei Initiativen der EU zu erwähnen. Das EU-Emissionsrechtehandelssystem [40] und der EU Sustainable Finance Action Plan [41].

Emissionsrechtehandel (Emission Allowance Trading)

Eines der im Kyoto-Protokoll verankerten Instrumente ist der Emissionsrechtehandel zwischen Staaten. Hierbei sollten die zu Beginn der Verpflichtungsperiode zugewiesenen Emissionszertifikate durch Zu- oder Verkauf zum Ende der Verpflichtungsperiode den tatsächlichen Emissionen entsprechen. Das Kyoto-Protokoll sieht zusätzlich weitere Mechanismen der Reduktion, Umwandlung oder Gegenrechnung vor. Im Kern läuft es aber darauf hinaus, dass eine Verknappung der Rechte auf Emission genutzt werden soll, um eine Reduzierung dort zu bewirken, wo sie sinnvoll und notwendig ist bzw. wo sie am effizientesten / kostengünstigsten ist. Zertifikate selbst legen die erlaubte Menge an Treibhausgas fest, die in einem festgelegten Zeitraum ausgestoßen werden dürfen.

In der EU⁵ wurde ein solches System auch für die Ebene der Unternehmen etabliert. Hierbei werden nicht jedem Land eine Menge Zertifikate gutgeschrieben, sondern einzelnen Unternehmen und Produktionsstätten. Es handelt sich also um marktbasierende Umweltregulierung, die in Form einer

⁵ Weitere Systeme, die den Handel mit Emissionsrechten beinhalten, wurden in der Schweiz, Nordamerika, China, Japan und Australien eingeführt.

Mengenlösung das Bindeglied zwischen politischem Ziel (Begrenzung des Ausstoßes) und unternehmerischem Anreiz in Bezug auf Nachhaltigkeit schafft. Das Europäische System basierte im ersten Schritt auf den Nationalen Allocation Plans, die die einzelnen Mitgliedsstaaten, beisteuern mussten. Der zeitraubende Prozess der Erstellung wurde hierbei schrittweise verbessert, so dass das EU ETS nunmehr in der vierten Phase (2021 – 2030) vorliegt und außerdem die angepassten Ziele aus dem EU Green Deal (s.u.) beinhalten.

EU Sustainable Finance Action Plan

Die Europäische Kommission verabschiedete 2018 den Vorschlag eines Aktionsplans, der die Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten in der Wirtschaft fördern sollte. Hierbei soll das Finanzwesen stärker mit nachhaltigem Wirtschaften verzahnt werden. Die 10 Hauptaktionen lassen sich hierbei in drei Kategorien unterteilen:

Umleiten der Kapitalflüsse hin zu einer nachhaltigen Wirtschaft:

- Schaffung einer EU Taxonomy, die es ermöglicht, nachhaltiges Handeln zu klassifizieren
- Schaffung von EU Green Bonds und Kennzeichnungen für grüne Finanzprodukte
- Förderung von Investitionen in nachhaltige Projekte
- Berücksichtigung von Nachhaltigkeit in der Finanzberatung
- Entwicklung von Nachhaltigkeits-Benchmarks, die eine gezielte Investition für Anleger möglich machen

Etablieren des Aspekts Nachhaltigkeit im Risikomanagement:

- Integration von Nachhaltigkeit in Ratings und Marktbeobachtungen
- Festlegung von Pflichten für Vermögensverwalter und institutionellen Investoren in Bezug auf Nachhaltigkeit
- Einführung bzw. Gewährung eines „grünen“ Unterstützungsfaktors für Eigenkapitalregelungen von Banken und Versicherungen

Förderung von Transparenz und längerfristigem Handeln:

- Verstärkte Pflichten in Bezug auf Nachhaltigkeit für Unternehmensveröffentlichungen und Wirtschaftsprüfungen
- Förderung von nachhaltiger Unternehmensführung und Dämpfen einer Fokussierung auf Kurzfristigkeit

In der EU (und schlussendlich auch in Deutschland) dienen der Handel mit Emissionszertifikaten und die Aktionen aus dem Bereich Sustainable Finance zusätzlich als Enabler aus dem Finanzwesen. Sie sollen die Wirtschaft und Gesellschaft bei einer erfolgreichen Umsetzung von Nachhaltigkeitsstrategien unterstützen. Die nachfolgend beschriebenen Aktionspläne bauen auf ihnen auf und ermöglichen erstmals die Veränderung der Wirtschaft und Produktionsketten in dem erforderlichen Umfang.

2.3.1.2 The European Green Deal

Im Dezember 2019 stellte die Europäische Kommission ihre Wachstumsstrategie „**European Green Deal**“ vor [46]. In ihr bekräftigt sie ihr Engagement für die Bewältigung anstehender Herausforderungen in Bezug auf Nachhaltigkeit. Vorgänger dieser umfassenden Strategie waren die Ansätze und Aktionsprogramme, die im Laufe der letzten 20 Jahre im Zuge der Entwicklung hin zu einer „nachhaltigen Wirtschaft“ in der EU gestartet oder durchgeführt wurden. Hierzu zählen bspw.:

- Die **Klima-Roadmap 2050** von März 2011, [47], die den Übergang zu einer wettbewerbsfähigen CO₂-armen Wirtschaft bis 2050 thematisiert
- Die **Energie-Roadmap 2050** mit seinem Energieeffizienzaktionsplan, [48], und der Energiestrategie 2020, [49]

- Das Forschungsförderprogramm **Horizon 2020** [50], das insbesondere auch Innovationen im Bereich Nachhaltigkeit fördert.

Der „Green Deal“ beinhaltet für die EU aus einer internationalen Sicht alle drei großen Aktionsgebiete: nachhaltige Entwicklung (Agenda 2030), nachhaltige Wirtschaft (Green Economy) und aktuelle Klimaschutz Übereinkommen (Paris). Die Aktionsbereiche des Green Deal umfassen: Klima, Energie, Landwirtschaft, Industrie, Umwelt & Ozeane, Transport, Finanzen & Entwicklung, sowie Forschung und Innovation.

Im Sommer 2020 wurde schließlich der aktuell gültige Umsetzungsplan „Fit-for-55“, [51], von der Europäischen Kommission veröffentlicht, der konkrete Aktionen beinhaltet. Leitthema und Namensgeber ist das Vorhaben „die Nettoemissionen bis 2030 um mindestens 55 % gegenüber 1990 zu verringern und bis 2050 zum ersten klimaneutralen Kontinent zu werden“, wie es bereits im „European Climate Law“ festgeschrieben wurde [53]. Die Aktionsgebiete sind umfangreich und darauf ausgerichtet, die notwendigen Änderungen in Wirtschaft und Gesellschaft anzustoßen und zu vertiefen. Jeder Aktionsbereich beinhaltet bereits eine Vielzahl von Maßnahmen, die in Form von Sub-Kategorien gegeben sind.

Für die vorliegenden Betrachtungen relevant sind die Bereiche [52]:

Energie

Hauptaugenmerk der „Fit-for-55“-Maßnahmen bzgl. Energie ist die Dekarbonisierung der Energiewirtschaft unter Gewährleistung der Sicherheit der Versorgung und Bezahlbarkeit. Zusätzliche Aspekte sind Energieeffizienz und die Schaffung eines integrierten, vernetzten und digitalisierten EU-Energiemarktes. Folgende Maßnahmen liegen im Fokus der Aktionen:

- Strategie zur Integration des Energiesystems (inkl. Transeuropäische Energienetze)
- Strategien zum Ausbau der Nutzung von Wasserstoff und Methan
- Strategie für erneuerbare Offshore-Energie

Industrie & Umwelt

Anliegen der Maßnahmen ist es, den Übergang zu einer grünen (blauen⁶) Wirtschaft zu ermöglichen, die zudem eine Transformation im Bereich Digitalisierung erfährt (s.u.). Neben dem allgemeinen Anliegen einerseits den EU-Binnenmarkt und andererseits die EU als Weltmarkt zu stärken, sind Themen wie Kreislaufwirtschaft, Abfall & Recycling, Wasserstoff und nachhaltige Batterien Thema.

Verkehr

Im Bereich Transport liegt ebenfalls der EU-Binnenmarkt und seine Vernetzung im Fokus. Zusätzlich auch alle Digitalisierungsaspekte, die für eine nachhaltige & Smarte Mobilität relevant sind. Das Jahr 2021 wurde zudem als das „European Year of Rail“ ausgerufen, um insbesondere die Wichtigkeit des Schienenverkehrs für Europa (Wirtschaft und Gesellschaft) zu betonen.

2.3.1.3 EU-Digitalstrategie

Neben dem Green Deal gibt es ein zweites großes Aktionsprogramm, das weite Teile der Wirtschaft und Gesellschaft betrifft: die EU-Digitalstrategie („A Europe fit for the digital age“) [54].

⁶ Neben der Bezeichnung Green Economy ist in den letzten Jahren vermehrt auch die Bezeichnung Blue Economy in Verwendung. Sie wird benutzt, um einen stärkeren Fokus darauf zu legen, dass Ozeane ebenfalls Teil der Umwelt sind. In diesem Zusammenhang müssen sie gleichermaßen als Ökosystem wie auch als Ressource in Bezug auf Nachhaltigkeit verstanden werden.

Das Anliegen ist es, insbesondere neue Technologien und digitale Geschäftsmodelle zu ermöglichen, zu fördern und hierfür einen (rechts)sicheren Rahmen zu schaffen. Zusätzlich stellt die Europäische Kommission in ihrer Kommunikation, explizit heraus, dass die Förderung digitaler Technologien dazu beiträgt, die Ziele des Green Deal – also Nachhaltigkeit – zu erreichen. Es stellt sich aus Sicht der EU nicht die Frage, ob fortgeschrittene digitale Geschäftsmodelle nachhaltig sind, sondern wie man die implizite Annahme, dass sie Nachhaltigkeit positiv unterstützen, besser nutzen kann.

Wesentliche Aktionsgebiete auf EU Ebene umfassen folgende Bereiche [55]:

Künstliche Intelligenz

Erfahrungen und Fortschritte der jüngeren Vergangenheit zeigen ein enormes Potenzial für Anwendungen, die auf Künstlicher Intelligenz beruhen. Gleichzeitig werden aber Fragen der Sicherheit und des Vertrauens in diese Technologie immer drängender. Der Aktionsbereich „AI“ der Europäischen Digitalstrategie befasst sich zum einen mit der Frage, wie diese Technologie sinnvoll gefördert werden kann, aber auch mit Bedenken in Bezug auf Akzeptanz in der Gesellschaft und notwendigen Schutz bzw. Kontrollmechanismen. Gerade mit Blick auf den Punkt Sicherheit wird auf EU-Ebene an einer Festlegung gearbeitet, die KI-Systeme in gewissen Bereichen unter besondere Kontrollbedürftigkeit stellt bzw. deren Anwendung einschränkt oder verbietet [56].

Daten

Digitale Technologien basieren auf Daten. Daten werden in mannigfaltiger Form gesammelt, ausgewertet, weiterverarbeitet und geteilt. Ziel der EU-Datenstrategie ist es, einen rechtssicheren Rahmen zum Sammeln, Verarbeiten und Teilen von Daten zu schaffen. Hierbei sollen insbesondere sektorübergreifende Anwendungen ermöglicht und gefördert werden. Außerdem erhofft sich die EU eine deutliche Steigerung der Qualität digitaler Technologien, wenn Anwendungen und Entscheidungsprozesse Zugriff auf ausreichend gesicherte und frei verfügbare Daten haben. Im Blick ist hier unter anderem der Bereich „Mobility“.

Digitale Märkte und Services

Das Sammeln von Daten unter gleichzeitigem Schutz der Persönlichkeitsrechte ist eine wesentliche Säule der Digitalstrategie. Eine weitere ist die eng damit verbundene Regelung digitaler Märkte und Dienstleistungen. Hierbei stehen einerseits große Online-Plattformen im Fokus und andererseits Vermittler digitaler Services, deren Rechtsrahmen ausdetailliert werden muss. Wesentlich an diesen Vorhaben ist die Fixierung von Verantwortlichkeiten einzelner Marktteilnehmer zum Schutz der Anwender.

Industrie

Der Aktionsbereich Industrie bildet als Gesamtkomplex ein Bindeglied zwischen Aktionen in Bezug auf Nachhaltigkeit und Digitalisierung. Industrieunternehmen in allen Sektoren sollen u.a. mit Hilfe digitaler Technologien zukunftsfähig gemacht werden, wobei der Übergang zu einer nachhaltigen Wirtschaft immer mitberücksichtigt wird. Themenschwerpunkte sind bspw. Kreislaufwirtschaft, Ressourcenschonung und Abfallwirtschaft.

Telekommunikation

Hinter dem Aktionsplan „Connectivity“ verbirgt sich eine Vielzahl von Vorhaben, die die Vernetzung von Mensch und Umwelt thematisieren. Von 5G über „Open Internet“ bis hin zu „Connected Mobility“ und Cybersicherheit sind Vorhaben erfasst, die aus Sicht der EU die Grundlage für eine digitale Gesellschaft schaffen (Enabler der Digitalisierung). Erklärtes Ziel ist es, die EU bis zum Jahr 2030 zum am besten vernetzten Kontinent zu machen.

2.3.2 Deutschland

Die Aktionspläne in Deutschland unterscheiden sich in ihrem thematischen Ursprung nicht von denen der EU (Green Deal und Digital Decade). Unterschiede liegen in evtl. Verschärfungen der Ziele, die auf nationaler Ebene immer möglich sind, und der Detaillierung von konkreten Projekten und Maßnahmen. Die übergeordneten Aktionspläne, die die allgemeine Richtung der deutschen Nachhaltigkeitspolitik vorgeben, sind die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie und die Deutsche Digitalstrategie.

Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie (DNS)

Die deutsche Nachhaltigkeitsstrategie [57] orientiert sich an den 17 Zielen der Agenda 2030. Die bis dato vorliegenden Nachhaltigkeitsstrategien wurden diesbzgl. angepasst und erweitert. Zusätzlich hat die Bundesregierung die Geschwindigkeit internationaler Bemühungen bemängelt und ihrerseits die Ziele verschärft und angepasst. Dazu gehören insbesondere die Beschleunigung der Energiewende und die Festlegung, dass Deutschland bereits 2045 klimaneutral sein soll – und somit 5 Jahre früher als bspw. im European Climate Law gefordert.

In der Strategie selbst werden jedem SDG konkrete Maßnahmen, politische Prioritäten sowie Indikatoren mit Zielen zugewiesen. Zusätzlich wird dem Aspekt Globalisierung mehr Gewicht eingeräumt, mit dem Argument, dass eine weltweite nachhaltige Entwicklung auch global behandelt werden muss. Maßnahmen werden entsprechend in Kategorien unterteilt, die sich nach ihrem Wirkungsbereich unterscheiden

- „Maßnahmen in Deutschland“: Wirkung lediglich in Deutschland
- „Maßnahmen durch Deutschland“: Wirkung Deutschlands in der Welt und
- „Maßnahmen mit Deutschland“: Unterstützung anderer Länder durch Deutschland

Klima

Teil des Übereinkommens von Paris ist die Verpflichtung der Vertragsstaaten eine langfristige Strategie zum Klimaschutz zu formulieren. Deutschland hat dies als einer der ersten Vertragsstaaten in Form ihres Klimaschutzplans 2050 [59], getan. Eingebettet in die Aktionsprogramme, wie sie zuletzt in der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie dargestellt wurden, beschreibt der Klimaschutzplan 2050 Deutschlands ambitionierte Ziele (u.a. in den Bereichen Energie, Mobilität, Industrie und Wirtschaft) und unterstreicht damit den Willen in Sachen Klimapolitik Vorreiter zu sein.

Das eingangs erwähnte Ziel bereits bis 2045 klimaneutral zu sein, ist in Deutschland im Klimaschutz-Gesetz [58] verankert. Hierbei ist das Hauptziel wie in §1 beschrieben zunächst die Verankerung der internationalen Vorgaben aus dem Übereinkommen von Paris und weiterer europäischer Zielvorgaben in die nationale Gesetzgebung. Die Verschärfung um 5 Jahre ist in §3 „nationale Klimaschutzziele“ verankert.

In der DNS ist Klimaschutz analog zum SDG der Agenda 2030 unter Punkt 13 „Maßnahmen zum Klimaschutz“ behandelt. Unter den Maßnahmen als Teil der Strategie werden neben dem Klimaschutzplan und dem Klimaschutz-Gesetz noch weitere Programme, Gesetze und Aktionspläne aufgezählt. Hierzu zählen:

- Das **Klimaschutzprogramm 2030**, das insbesondere eine verstärkte Förderung wissenschaftlicher Bemühungen (Forschung und Innovation) vorsieht.
- Das **Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) [69]**, das insbesondere eine Erweiterung des Anwendungsrahmens auf Wärme und Verkehr einführt.

- Die **Deutschen Anpassungsstrategie (DAS)**, bei der es sich ganz wesentlich auch um ein Monitoring Instrument der Bundesregierung handelt. Es werden bisherige Erfolge und weitere Handlungsbedarfe thematisiert und in passende Maßnahmen übersetzt.
- Das **Förderprogramm „Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels“**, das auf regionaler und kommunaler Ebene auf Bildungseinrichtungen und Novationen durch mittelständische Unternehmen abzielt.

Energie

Kernaspekte im Bereich Energie sind die Steigerung der Energieeffizienz und der Ausbau erneuerbarer Energien mit dem Ziel bis 2050 mit dem gesamten erzeugten und verbrauchten Strom treibhausgasneutral zu sein. Als große deutsche Aktionspläne und Gesetze in diesem Bereich ist die **Energieeffizienzstrategie 2050 [61]** und die **Novelle des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG 2021)** zu nennen. Der **Integrierte Nationale Energie- und Klimaplan [65]** der Bundesregierung (als Lieferobjekt der EU Verordnung (EU) 2018/1999, über das Governance-System der Energieunion und für den Klimaschutz), fasst die EU relevanten Maßnahmen insbesondere in den Bereichen Energieeffizienz und Erneuerbare Energien zusammen.

Weitere Strategien und Vorhaben, die auch mit den Maßnahmen der DNS unter Punkt 7 „bezahlbare und saubere Energie“ der SDGs verknüpft sind, sind:

- Die nationale Wasserstoffstrategie⁷
- Der Gebäudesektor wird gleich durch mehrere Aktionspläne und Förderprogramme avisiert. Die Langfristige Renovierungsstrategie (LTRS), der weiterentwickelte Nationale Aktionsplan Energieeffizienz (NAPE 2.0) und das Marktanzreizprogramm zur Förderung der Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (MAP)
- Das **Energieforschungsprogramm** zur Ausrichtung der Energieforschung auf die Energiewende
- das Rahmenprogramm der Bundesregierung für Forschung und Innovation 2021–2024 „Mikroelektronik. Vertrauenswürdig und nachhaltig. Für Deutschland und Europa“, legt ebenfalls im Rahmen der Initiative „Green ICT“ einen Schwerpunkt auf Forschung.

Industrie & Infrastruktur & Mobilität

Die Aspekte Industrie und Infrastruktur (inkl. Mobilität) sind im DNS unter SDG Punkt 9 „Industrie, Innovation und Infrastruktur“ zusammengefasst. Haupttreiber der Aktionspläne sind Maßnahmen in Bezug auf die Industrie 4.0, Verkehr und 5G.

- Im Bereich Verkehrsinfrastruktur werden unter dem **Bundesverkehrswegeplan (BVWP) 2030** Verkehrsnetze von Straße, Schien und Wasserstraßen berücksichtigt.
- Die Breitbandinfrastruktur teilt sich in die zwei Bereiche **Breitbandförderprogramm** (Reduzierung „weißer“ Flecke) und **mobile Datenübertragung (5G)**
- Der Bereich Forschung ist u.a. gezielt durch die Hightech-Strategie 2025 (HTS 2025) und die FONA-Strategie (FONA = Forschung für Nachhaltigkeit) berücksichtigt.
- Der kombinierte Bereich Digitalisierung und Nachhaltigkeit beinhaltet bspw. die im **BMBF-Aktionsplan „Natürlich. Digital. Nachhaltig.“** enthaltene **Initiative „Green ICT – Grüne IKT“**, die gezielt auf die Entwicklung technologischer Lösungen zur Reduzierung von Energieverbrauch und CO₂-Emission bei der Verarbeitung und Speicherung von Informationen ausgerichtet ist.

⁷ Neben Wasserstoff ist auch Methan verstärkt in Fokus der Klimabetrachtungen und Erneuerbare Energie getreten. Die EU hat hier kürzlich ihre Strategie zur Reduzierung von Methanemissionen vorgestellt, [60].

Digitalisierung

Allgemein ist das Thema Digitalisierung in jüngerer Vergangenheit durch die bereits 2016 veröffentlichte Digitale Strategie 2025 [62], thematisiert und angegangen worden. Darauf aufbauend veröffentlichte die Bundesregierung im Juni 2021 die 6. Ausgabe der Broschüre **Digitalisierung gestalten - Umsetzungsstrategie der Bundesregierung [63]** eine aktualisierte Zusammenfassung der Umsetzungsaktivitäten im Bereich Digitalisierung. Querschnittsthemen wie die Industrie 4.0 und der Ausbau der 5G-Infrastruktur sind ebenfalls in der DNS thematisiert, wobei der Fokus auf Nachhaltigkeit gelegt ist.

Einen gesonderten Fokus hat das Thema Künstliche Intelligenz erhalten, das auch auf EU Ebene ein Schwerpunkt im Bereich Digitalisierung ist. In der **Strategie Künstliche Intelligenz der Bundesregierung [64]** werden neben der systematischen Forschung (bspw. in den Bereichen Mobilität, Gesundheit, Landwirtschaft) und Überlegungen zur Anwendung in der Realwirtschaft insbesondere die gesellschaftlichen Aspekte (z. B. Akzeptanz) und Sicherheit/Nachhaltigkeit bearbeitet.

2.4 Gängige Systeme von Indikatoren zur Messung der Nachhaltigkeit

Um zu bewerten, ob Prozesse, Handlungen oder Entwicklungen nachhaltig sind, ist es erforderlich eine Messgröße oder Anzeige verfügbar zu haben, die relevante Aspekte greifbar macht. Es geht hierbei nicht nur darum ein Monitoring zu ermöglichen, sondern außerdem um die Verdeutlichung bestehender Anforderungen und beobachtbare Auswirkungen der Herangehensweise.

Globale Nachhaltigkeitsindikatoren der Agenda 2030 [66]

Im Anschluss an die Verabschiedung der Agenda 2030 wurde eine internationale Arbeitsgruppe, die Inter-Agency and Expert Group on SDG Indicators (IAEG-SDG), beauftragt, für die in den 17 Zielen enthaltenen 169 Zielvorgaben passende Indikatoren zu entwickeln. Als Resultat ist eine Liste von insgesamt 231 Indikatoren erstellt und definiert worden, welche jährlich geprüft und angepasst werden (aktuell 247 Indikatoren).

Auf globaler Ebene basiert die Auswertung der Daten zum großen Teil auf Anlieferungen der Mitgliedsstaaten. Zusätzlich werden gesammelte Daten von internationalen Organisationen (insbesondere der UN – bspw. WHO, UNEP, UNICEF) verwendet, um ein regelmäßiges Monitoring zu ermöglichen. Hier kommen insbesondere auch von den internationalen Organisationen veröffentlichte Indizes zum Einsatz.

Indikatoren der EU-Kommission [67]

Auf europäischer Ebene hat die EU ihrerseits einen aus ihrer Sicht relevanten Satz von Indikatoren erstellt. Unter der Federführung von Eurostat wurden etwa 100 Indikatoren für die 17 SDGs festgelegt und zuletzt durch ein Review 2021 bestätigt bzw. modifiziert.

Im Gegensatz zur UN arbeitet die EU mit einer Begrenzung von 6 Indikatoren je Ziel, um jedem Ziel die gleiche Gewichtung beizumessen und eine ausgewogene Messung der Zielerreichung zu ermöglichen. Im Indikatoren System der EU finden als Ausgleich vermehrt „Multi-Purpose-Indicators (MPIs)“ Anwendung. Also Indikatoren, die für die Messung mehr als eines Zieles geeignet sind. Dadurch wird die effektive Zahl an Indikatoren je SDG auf 6-11 erhöht. Von den 102 Indikatoren sind per Review 2021 bereits 67 in der UN-Liste der Indikatoren enthalten. Unterschiede rühren hauptsächlich aus der Tatsache her, dass innerhalb der EU ein weiter entwickeltes System an Index-Beobachtungen etabliert ist, als es im Gesamtschnitt der UN-Mitgliedsstaaten der Fall ist.

SDG	Titel	# Unterziele	# Indikatoren
1	Keine Armut	7	13
2	Kein Hunger	8	14
3	Gesundheit und Wohlergehen	13	28
4	Hochwertige Bildung	10	12
5	Geschlechtergleichheit	9	14
6	Sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen	8	11
7	Bezahlbare und saubere Energie	5	6
8	Menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum	12	16
9	Industrie, Innovation und Infrastruktur	8	12
10	Weniger Ungleichheit	10	14
11	Nachhaltige Städte und Gemeinden	10	14
12	Nachhaltiger Konsum und Produktion	11	13
13	Massnahmen zum Klimaschutz	5	8
14	Leben unter Wasser	10	10
15	Leben an Land	12	14
16	Frieden, Gerechtigkeit und starke Institutionen	12	24
17	Partnerschaften zur Erreichung der Ziele	19	24

Tabelle 3: Sustainable Development Goals (SDGs) mit Anzahl Unterzielen und Indikatoren.

Indikatoren der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie [43]

Die Bundesregierung hat im Anschluss an die Verabschiedung der Agenda 2030 ihre eigene Nachhaltigkeitsstrategie auch im Hinblick auf Indikatoren überarbeitet. Die im März 2021 veröffentlichte DNS beinhaltet einen Satz von insgesamt 72 Indikatoren. Die Zielerreichung wird alle zwei Jahre durch den Indikatorenbericht des Statistischen Bundesamtes, [68], bewertet. Um sich inhaltlich stärker an der Agenda 2030 zu orientieren, wurden zu jedem Ziel mindestens ein Indikator in die DNS aufgenommen.

In Tabelle 4: DNS / Agenda 2030 Verwandtschaft der Indikatoren im Zielbereich SDG 7 „Bezahlbare und saubere Energie“ ist die Verwandtschaft der Indikatoren der DNS für SDG 7 „Bezahlbare und saubere Energie“ exemplarisch dargestellt. Von den drei in der DNS enthaltenen Indikatoren sind zwei bereits Teil der Agenda 2030 Indikatorenliste. Bei den übrigen 4 Indikatoren, die nicht enthalten sind, handelt es sich um:

- Agenda 2030 Indikator 7.1.1: Anteil der Bevölkerung mit Zugang zu Elektrizität
- Agenda 2030 Indikator 7.1.2: Anteil der Bevölkerung, der vorwiegend saubere Energieträger und Technologien nutzt

- Agenda 2030 Indikator 7.a.1: Internationale Finanzströme in Entwicklungsländer zur Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich saubere Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien, einschließlich mittels Hybridsystemen
- Agenda 2030 Indikator 7.b.1: Installierte Kapazitäten zur Erzeugung erneuerbarer Energie in Entwicklungsländern (in Watt pro Kopf)

Indikatorenbereich – SDG 7	Nationaler DNS Indikator	- Verwandter globaler Indikator – Agenda 2030
Ressourcen sparsam und effizient nutzen	Indikator 7.1.a, b: Endenergieproduktivität und Primärenergieverbrauch a) Endenergieproduktivität b) Primärenergieverbrauch	Indikator 7.3.1 Energieintensität gemessen als Primärenergie zum BIP
Zukunftsfähige Energieversorgung ausbauen	Indikator 7.2.a: Anteil erneuerbarer Energien am Brutto-Endenergieverbrauch	Indikator 7.2.1 Anteil der erneuerbaren Energien am gesamten Endenergieverbrauch
	Indikator 7.2.b: Anteil des Stroms aus erneuerbaren Energiequellen am Bruttostromverbrauch	-

Tabelle 4: DNS / Agenda 2030 Verwandtschaft der Indikatoren im Zielbereich SDG 7 „Bezahlbare und saubere Energie“.

Das Statistische Bundesamt ist zusätzlich damit beauftragt, Messung der nationalen Indikatoren mit eigenen Daten aus der amtlichen Statistik zu stützen und fachlich unabhängig aufzuwerten.

Neben den präsentierten Indikatoren zur Quantifizierung der Nachhaltigkeitsziele der Agenda 2030 auf internationaler, europäischer und nationaler Ebene gibt es weitere Klassifizierungen, die insbesondere nicht nur die politische, sondern auch die unternehmerische Sichtweise berücksichtigen. Im Folgenden gehen wir näher auf die EU-Taxonomie und Standards zur Nachhaltigkeitsberichterstattung ein.

EU-Taxonomie – Klassifizierungssystem nachhaltige wirtschaftliche Aktivitäten

Die EU-Taxonomie ist ein Klassifizierungssystem für Nachhaltigkeit, in dem verbindlich definiert wird, welche wirtschaftlichen Aktivitäten mit den sechs europäischen Umweltzielen vereinbar sind [101]. Die sechs europäischen Umweltziele sind (1) Klimaschutz, (2) Anpassung an den Klimawandel, (3) Nachhaltige Nutzung und Schutz von Wasser- und Meeresressourcen, (4) Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft, (5) Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung und (6) Schutz und Wiederherstellung der Biodiversität und der Ökosysteme. Um als nachhaltige Wirtschaftsaktivität von einem Unternehmen ausgewiesen zu werden, muss eine Aktivität, neben sozialen Mindestanforderungen, einen wesentlichen Beitrag zu mindestens einem der Umweltziele leisten und darf dabei keinem der anderen Ziele einen Schaden zufügen. Im delegierten Rechtsakt der EU-Taxonomie-Verordnung werden unter anderem datengetriebene Lösungen, die zur Reduktion von Treibhausgasemissionen führen, als wirtschaftliche Aktivität mit einem wesentlichen Beitrag zum Umweltziel Klimaschutz eingestuft [102]. Die Verarbeitung und Analyse von Daten mit dem Ziel physische und nicht-physische Lösungen zu implementieren, die die wichtigsten physi-

schen Klimarisiken reduzieren, werden beispielsweise auch von der Europäischen Union als Aktivitäten kategorisiert, die einen wesentlichen Beitrag zu dem Umweltziel „Anpassung an den Klimawandel“ leisten [103]. Die EU-Taxonomie bezieht sich nur auf die sechs Umweltziele der Europäischen Union und führt kein Klassifizierungssystem für eine nachhaltige Entwicklung ein. Die verschiedenen Initiativen zur Nachhaltigkeitsberichterstattung hingegen definieren auch Indikatoren zu sozialen Aspekten und zur Unternehmensführung.

Nachhaltigkeitsberichterstattung

Im Jahr 2018 hat die Europäische Union die Richtlinie zur nichtfinanziellen Berichterstattung (2014/95/EU - NFRD) angepasst und um Aspekte der Nachhaltigkeit wie beispielsweise die Achtung der Menschenrechte und Informationen zum Umweltschutz erweitert. Die nichtfinanzielle Berichterstattung fokussiert sich dabei auf die Beschreibung der sozialen und ökologischen Auswirkungen des Geschäftsmodells sowie der unternehmensinternen Richtlinien. Bei der Auslassung eines der geforderten Aspekte muss dies explizit erklärt werden [109] [110].

Die Global Reporting Initiative (GRI) hat einen internationalen Standard zur Nachhaltigkeitsberichterstattung etabliert [105]. Die GRI-Standards gelten als globale Best Practices für die öffentliche Berichterstattung. Der GRI-Standard gliedert sich in 38 Module mit über 120 Indikatoren. Die Module mit ihren Leistungsindikatoren können jedoch auch in die drei Bereiche (1) Ökonomische Indikatoren, (2) Ökologische Indikatoren und (3) Gesellschaftliche Indikatoren eingegliedert werden.

Ein weiterer internationaler Standard zur Nachhaltigkeitsberichterstattung wurde von dem Sustainability Accounting Standards Board (SASB) definiert [107]. Während der GRI-Standard vor allem den Einfluss eines Unternehmens auf die Umwelt und die Gesellschaft misst, so liegt der Fokus des Ansatzes des SASBs auf dem externen Einfluss der Umwelt und der Gesellschaft auf ein Unternehmen. Der SASB-Standard ist industriespezifisch. Für den Bereich „Telecommunication Services“ werden zum Beispiel Analysen zum Umgang mit Datensicherheitsrisiken und quantitative Messgrößen wie die Summe der monetären Verluste aufgrund von Rechtsprozessen assoziiert mit der Privatsphäre der Kunden eingefordert [108].

Ein nationaler Standard zur Berichterstattung der Nachhaltigkeitsleistungen eines Unternehmens ist der Deutsche Nachhaltigkeitskodex [104]. Die Kriterien der Berichterstattung gliedern sich in die vier Bereiche (1) Strategie, (2) Prozessmanagement, (3) Umwelt und (4) Gesellschaft. Die Unternehmen haben dabei die Wahl, ob sie Indikatoren nach der Global Reporting Initiative oder der European Federation of Financial Analysts Societies offenlegen. Im Bereich Umwelt werden zum Beispiel die Indikatoren GRI SRS-302-1 „Energieverbrauch innerhalb der Organisation“ und GRI SRS-306-2 „Abfall nach Art und Entsorgungsverfahren“ abgefragt.

Die Empfehlungen zur Berichterstattung der Task Force on Climate-Related Financial Disclosure (TCFD) des Financial Stability Board heben die Risiken und Chancen hervor, die sich aus zukünftigen Entwicklungen für ein Unternehmen ableiten. Die vier Kernbereiche der Empfehlung sind (1) Governance, (2) Strategy, (3) Risk Management und (4) Metrics and Targets [111]. In einem Best Practice Beispiel des japanischen Technologiekonzerns Fujitsu werden unter anderem Industrierisiken durch den Verlust des Marktvorteils mangels innovativer Entwicklungen und Umweltrisiken durch die Unterbrechung von Lieferketten aufgeführt [112].

Fazit gängige Indikatorsysteme zur Messung von Nachhaltigkeit

Die vorgestellten Indikatorsysteme zur Messung von Nachhaltigkeit konzentrieren sich einerseits auf die politischen und andererseits auf die unternehmerischen Aspekte. Zur Bewertung der Nachhaltigkeit von digitalen Geschäftsmodellen in dieser Studie wird ein individuelles und maßgeschneidertes System von Indikatoren abgeleitet. Somit wird sichergestellt, dass insbesondere die unternehmerische Sichtweise zur Bewertung von Nachhaltigkeit adäquat repräsentiert ist. Die politische Sichtweise fließt über den Vergleich mit abgeleiteten internationalen und nationalen Benchmarks in die Bewertung der digitalen Geschäftsmodelle ein. Chancen und Potenziale spielen eine entscheidende Rolle in unternehmerischen Entscheidungen. Diese Studie greift deshalb die Empfehlung der TCFD auf und bewertet auch die Chancen und Potenziale der digitalen Geschäftsmodelle.

3. Nachhaltigkeitspotenziale digitaler Geschäftsmodelle

3.1 Begriffliche Abgrenzung und inhaltliche Struktur

3.1.1 Struktur dieses Abschnitts

In diesem Kapitel fassen wir die grundsätzlichen Chancen und Potenziale von digitalen Geschäftsmodellen (DGM) kurz zusammen und untersuchen, ob deren digitale Aspekte nur dem ökonomischen Nutzen oder auch einem Nachhaltigkeitsziel dienen. Die Darstellung gliedert sich wie folgt:

- Wir beginnen in Abschnitt 3.2 mit einer Übersicht über die im Rahmen der Studie in den Fokus genommenen Technologien als Treiber ökonomischer und nachhaltiger Werte und somit als Determinanten von Nachhaltigkeit.
- Anhand einer Aufschlüsselung der *Digitalisierung als gesellschaftlichem Phänomen* belegen wir in Abschnitt 3.3 deren grundsätzliche Ambivalenz für *Nachhaltigkeit als gesellschaftlichem Ziel*. Anschließend identifizieren wir, welche Anreize („Treiber“) dazu führen, dass digitale Geschäftsmodelle nachhaltig ausgestaltet werden oder ex-ante ein Nachhaltigkeitsziel verfolgen.
- Zur Veranschaulichung stellen wir in Abschnitt 3.4 Beispiele für die genannten Wirkungen digitaler Geschäftsmodelle vor. Hier greifen wir auf die Inhalte der gesichteten Literatur und die Ergebnisse einer Befragung von Experten beim Digitalverband Bitkom, der Umweltschutzorganisation Greenpeace und der Menschenrechtsorganisation Amnesty International zurück.
- Im Abschnitt 3.5 fassen wir die wesentlichen Erkenntnisse zusammen.

3.1.2 Digitale Geschäftsmodelle

Die Digitalisierung des Wirtschaftsgeschehens setzt den Trend zur immer weitergehenden Automatisierung der Wertschöpfung fort und profitiert – wie alle wirtschaftlichen Umwälzungen – von technologischen Entwicklungen und Durchbrüchen. Digitale Geschäftsmodelle sind dabei nicht abschließend und eindeutig von „nicht-digitalen“ zu trennen, da so gut wie jeder Wertschöpfungsprozess in modernen Ökonomien von digitaler Technik betroffen ist.

*Für die Zwecke der weiteren Diskussion begreifen wir digitale Geschäftsmodelle als unternehmerische Aktivitäten, die bewusst durch vermehrte Erhebung und Zusammenführung, verbesserte Analyse und konsequente unternehmerische Nutzung von in digitaler Form vorliegenden oder erhobenen Daten einen **zunächst** rein ökonomischen Mehrwert für ein oder mehrere Unternehmen erzielen.*

Die konkrete Ausgestaltung ist hochgradig spezifisch für den jeweiligen Wirtschaftssektor und Anwendungsfall. Sie kann Sektoren übergreifen und verschiedenste Formen annehmen. Oft diskutierte unternehmerische Mehrwerte umfassen z. B. die folgenden Aspekte, sind jedoch keinesfalls auf diese beschränkt:

- effizientere Auslastung von Ressourcen (Logistik und/oder Infrastruktur)
- verbesserte Produktgüte und geringerer Ausschuss (datengetriebene Qualitätssicherung)
- schnelle Anpassung von Produktion / Preis an Marktentwicklungen (Load-Forecasting)
- digitaler lückenloser Zwilling von Prozessen und Produkten (digitale Compliance)

3.2 Technologie als Treiber für nachhaltige Geschäftsmodelle

3.2.1 Fragestellung und Prämissen

Wenngleich die industrielle Automatisierung erheblichen gesellschaftlichen Fortschritt ermöglicht – wie beispielsweise bei der Delegation anstrengender oder gefährlicher Tätigkeiten an Maschinen

und Roboter – sind entsprechende unternehmerische Bestrebungen ex-ante meist auf die Hebung ökonomischer Mehrwerte ausgerichtet. Dies gilt auch für die Digitalisierung im Sinne der Automatisierung von Unternehmensprozessen [74] [75] mit Methoden der Informationstechnik (vgl. [117], Abschnitt 1.1).

Die durch die Digitalisierung ermöglichte sogenannte vierte industrielle Revolution fußt auf verschiedenen technologischen Entwicklungen, die im Folgenden abgegrenzt und hinsichtlich ihrer grundsätzlichen Potenziale für Nachhaltigkeitsaspekte eingeordnet werden.⁸

3.2.2 Internet of Things und Big Data

Der Wunsch Industrieanlagen oder Consumer-Produkte durch Daten besser zu beschreiben und zu verstehen, erfordert den Einsatz von immer mehr und kostengünstigerer Sensorik und Elektronik. Der Begriff „**IoT**“ [223] [224] [225] beschreibt zunächst den Sachverhalt, dass „Dinge“ aller Art Daten im Netzwerk zur Verfügung stellen und darüber steuerbar werden. Ein konkretes Beispiel ist die zunehmende Ausstattung industrieller Anlagen mit Sensoren und die Erhebung von Zustands- und Betriebsdaten, sowie das entsprechende „Retrofitting“ bestehender Maschinen, zur Erstellung eines lückenlosen Datenwillings der Betriebsmittel.

Um die Wertversprechen des IoT einzulösen, ist es erforderlich die „5V“, **V**olumen, **V**ariabilität, **V**elocity (Geschwindigkeit), **V**eracity (Güte) und **V**alue (Wert), dieser Daten zu handhaben, die im Begriff „**Big Data**“ zusammengefasst werden. Datenquellen sind nicht nur die Wertschöpfungsprozesse selbst, sondern auch Transport und Logistik, sowie der beim Endverbraucher stattfindende Teil des Lebenszyklus. Auch der Digitalverband Bitkom rekurriert in einem Leitfaden zum Thema Big Data auf die vorgenannten Charakteristika [228] und grenzt den Begriff wie folgt ab [229]: *„Der Begriff Big Data wurde geprägt, um die wirtschaftlich sinnvolle Gewinnung und Nutzung entscheidungsrelevanter Erkenntnisse aus qualitativ vielfältigen, unterschiedlich strukturierten Informationen zu bezeichnen, die zudem einem schnellen Wandel unterliegen und in bisher ungenanntem Umfang anfallen. Big Data umfasst Konzepte, Methoden, Technologien, IT-Architekturen sowie Tools, mit denen sich die Informationsflut in Bahnen lenken lässt.“*

Bei der Einordnung dieser Technologien hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit sind besonders ihre Wirkung hinsichtlich **Energieverbrauch / Ressourceneffizienz, Datenschutz und Informationssicherheit** von Bedeutung.

3.2.3 Moderne Netztechnologien

Eine notwendige Bedingung für die Handhabung von Datenmengen, die dem Big-Data-Begriff entsprechen, ist der Ausbau der Kommunikationsnetze zu deren Übertragung, da der Ort der Entstehung und der Ort der Analyse bzw. Nutzung meist nicht identisch sind. Dementsprechend ist die **Vernetzung von (vielen) „Dingen“** auf verschiedenen räumlichen Skalen mittels anwendungsspezifischer funk- und leitungsgebundener Standards (Siehe bspw. [230]) eine Grundvoraussetzung für digitale Geschäftsmodelle. Insbesondere Echtzeitanwendungen wie das autonome Fahren sind hiervon in kritischer Weise abhängig. Kaum ein moderner Kommunikationsprozess wäre ohne die stetige Weiterentwicklung leistungsfähiger Netze denkbar.

Unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten sind hier neben **Effizienzgewinnen bspw. auch der Arbeitsschutz zu nennen**: Die Möglichkeit, Daten schnell und zuverlässig auch über lokale Netze

⁸ Vgl. [118]: Hier werden als weitere Aspekte Virtual bzw. Augmented Reality (VR/AR), Robotik und 3D-Druck genannt. Wir betrachten diese jedoch nicht als technologische Grundlagen für die Digitalisierung in dem Sinne, wie es bspw. die Möglichkeit zur Gewinnung, Speicherung und Analyse großer Daten (Big Data) mit KI oder deren Management mit Blockchain-Technologien sind. Vielmehr sind sie konkrete Ausprägungen bzw. Anwendungsfälle dieser Grundlagen.

auszutauschen spielt beispielsweise beim Einsatz von Virtual oder Augmented Reality zur Anleitung von Mitarbeitern bei sicherheitskritischen Tätigkeiten eine Rolle. **Dem gegenüber stehen die Aspekte des Energieverbrauchs sowie Datenschutz und Informationssicherheit.**

3.2.4 Plattform-Ökonomie und Cloud

Plattformen im digital-ökonomischen Sinn dienen der zentralisierten Bereitstellung standardisierter und preiswerter Netzwerkinfrastrukturen, Speicherkapazitäten, Rechenleistung, Algorithmen und Dienstkomponenten für zwei wesentliche Anwendungsfälle: Durch die Zusammenführung beider Seiten des Marktes (siehe [231]) ermöglichen sie einerseits die Skalierung und Vernetzung von Geschäftsmodellen betreffend den Handel mit Daten, Gütern und Dienstleistungen bzw. die zentrale Bereitstellung von Händler-Verzeichnissen oder „Online-Schaufenstern“ (sogenannte nicht-transaktionale Plattformdienste, siehe bspw. [232], [233]). Zum anderen dienen sie der „Vernetzung“ von Personen im Sinne sozialer Netzwerke, denen häufig Geschäftsmodelle zugrunde liegen, die auf gezielte Werbung abstellen.

Dieser Technologieaspekt ist unter dem Gesichtspunkt Nachhaltigkeit besonders ambivalent. Während eine Handelsplattform bspw. daran angeschlossenen Kleinunternehmen grundsätzlich erst einen **effizienten Markteintritt** ermöglicht, verfügen hinreichend große Anbieter über eine unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten – bspw. aus Datenschutzsicht – unter Umständen nicht akzeptable **Machtfülle**. (Zur Problematik der Messung eines „Marktanteils“ siehe bspw. [226]) Ebenso können soziale Netzwerke Nachhaltigkeitsgedanken befördern oder behindern (**Meinungspluralität und Manipulation**)

3.2.5 Künstliche Intelligenz und Smarte Algorithmen

Der Begriff der künstlichen Intelligenz (KI) umfasst aus technologischer Sicht eine Reihe von Durchbrüchen bei Datenanalysetechnologien, die mathematische Algorithmen in die Lage versetzen **scheinbare kognitive Leistungen** auf fast menschlichem Niveau zu erbringen (Siehe zur begrifflichen Abgrenzung bspw. [234] und [236]). Katalysiert wird der Erfolg dieser Methoden durch die Verfügbarkeit **großer Mengen von Daten** hoher Güte, **mathematisch-algorithmischer Fortschritte** (Siehe u. A. [237] [239]) der letzten 20 Jahre und Entwicklungen der **Halbleitertechnik** [240], die KI überhaupt erst in die Lage versetzt, ihren Parameterraum hinreichend schnell an eine Problemstellung anzupassen. (Dieser Optimierungsvorgang wird i. A. als „Lernen“ bezeichnet.)

Den unbestreitbaren Erfolgen von KI-Verfahren hinsichtlich **Effizienzgewinn, Ressourcenentlastung und Vereinfachung des Arbeitslebens** stehen die Gefahren der **Manipulation und Fälschung** durch indifferenten oder kriminellen Einsatz der Technologien entgegen. Zudem sind die Entscheidungen vieler fortgeschrittener KI-Methoden nicht ohne großen algorithmischen Aufwand nachvollziehbar bzw. erklärbar. Dieser Aspekt ist vor allem dann von großer Bedeutung, wenn Entscheidungen auf Basis von durch KI-Verfahren erzeugten Ergebnissen gefällt werden.

3.2.6 Distributed Ledgers und Blockchain

Die Blockchain-Technologie und verwandte technologische Ansätze beruhen auf kryptographischen Verfahren, die (im Allgemeinen) eingesetzt werden, um Daten irreversibel miteinander zu verketten und somit **manipulationssicher** zu speichern (Siehe z. B. [145] [146] [249] [377]). Anwendungsfälle betreffen die geteilte Souveränität aller an einem Geschäftsvorfall beteiligten Personen oder Unternehmen über gemeinschaftlich genutzte oder geschaffene Daten sowie digitale Methoden für effizientere Geschäftsprozesse. Sie reichen von der Substitution von Zahlungsmitteln über die Vermeidung komplexer Ketten von Intermediären bei Handelsprozessen bis zur lückenlosen Dokumentation des Lebenszyklus von Bauteilen oder ganzen Anlagen in der Industrie.

Dabei werden keineswegs immer die Nutzdaten selbst auf der Blockchain abgespeichert – insbesondere, wenn es sich dabei um große Datenmengen handelt. Viel häufiger werden unternehmensübergreifende Geschäftsprozesse zum Austausch von Daten, Rechten und Werten irreversibel abgebildet.

Den Vorteilen der **Datensouveränität** und der algorithmisch gestützten **Automatisierung** anderweitig komplexer Prozesse stehen auch Nachteile gegenüber: So ist zum Beispiel ein „Recht auf Vergessenwerden“ in vielen Distributed Ledger Technologien nicht angelegt, da eine Löschung von Informationen aus einer Verkettung von Datenblöcken die Kette unbrauchbar machen würde. Dieser Umstand erfordert erhöhte Sorgfalt bei der Vermeidung von Möglichkeiten gespeicherte Daten bzw. Transaktionen personenbezogenen Informationen zuzuordnen, die an anderer Stelle gespeichert werden. Außerdem muss – wie bei allen modernen Technologien – im spezifischen Anwendungskontext eine eventuell erhöhte **Komplexität** der technischen Umsetzung gegen den Mehrwert (bspw. einfachere Nutzerprozesse oder erhöhte Sicherheit) abgewogen werden.

Unter dem Gesichtspunkt des Einsatzes als Zahlungsmittel sind zwei Aspekte zu würdigen: Einige, wenn auch keineswegs alle Krypto-Währungen sind **Spekulationsobjekte** und stellen ein nicht unerhebliches **finanzielles Risiko** für uninformierte Anleger dar. Digitales Zentralbankgeld (Central Bank Digital Currencies - CBDCs) und privatwirtschaftlich organisierte sogenannte Stable-Coins stellen hingegen darauf ab, solche Probleme durch technologische und regulatorische Maßnahmen und durch eine Preisbindung an nationale Währungen zu vermeiden. (Siehe hierzu Abschnitt 3.4.4.2). Außerdem sind - auch wenn die Architektur Blockchain-basierter Infrastrukturen inhärent auf erhöhte Sicherheit abstellt - die Infrastrukturen für den Handel mit Krypto-Währungen ein lukratives Angriffsziel für **Cyberkriminalität** [390] [391] [392].

Bei einzelnen Blockchain Implementierungen insbesondere im Bereich der Krypto-Währungen, die auf rechenintensiven Konsensmechanismen basieren, ist der **ökologische Fußabdruck** mit dem Gedanken der Nachhaltigkeit nicht zu vereinbaren. Daher hat beispielsweise die Ethereum Foundation [394] angekündigt, die von ihr entwickelte Krypto-Währung *Ether* auf einen deutlich effizienteren Konsensalgorithmus umzustellen [393]. Insbesondere zugangsbeschränkte (*permissioned*) Blockchains, bei denen der Anwenderkreis ex-ante auf „akkreditierte“ Parteien beschränkt ist, profitieren nicht nur von erhöhter Energieeffizienz dieser Verfahren, sondern beispielsweise auch von einer deutlich höheren Zahl möglicher Transaktionen je Zeiteinheit (Siehe [377] Abschnitte 2 und 3).

3.2.7 Quantum Computing

Die Nutzung quantenmechanischer Überlagerungszustände atomarer Systeme für die Bearbeitung ansonsten nicht effizient lösbarer algorithmischer Herausforderungen ist eine sehr junge Disziplin. Ihr wird grundsätzlich größtes Potenzial – bspw. bei großen und komplexen Optimierungsproblemen oder in der Kryptographie – zugeschrieben, jedoch beschränken sich verfügbare Systeme mit wenigen Ausnahmen auf die Grundlagenforschung. Im Serieneinsatz sind sie bislang nicht anzutreffen. Nennenswerte Erfolge wurden nur mit maßgeschneiderten Anwendungsfällen erzielt [119]. Aufgrund des geringen technologischen Reifegrads und des damit verbundenen Mangels an empirischen Daten findet in dieser Studie keine vertiefte Betrachtung statt.⁹

⁹ Vgl. [121]: Hier werden QC für die Simulation treibhausgas-effizienter Katalysatoren in der Düngemittelherstellung diskutiert. Jedoch sind die notwendigen Quantensysteme von einer Größe, die gegenwärtig und auf absehbare Zeit technologisch nicht in Reichweite ist.

3.3 Digitale Geschäftsmodelle und Nachhaltigkeit

3.3.1 Berührungspunkte und Wechselwirkungen im Überblick

Die genannten technologischen Entwicklungen sind *keine Konsequenz* des gesellschaftlichen Strebens nach einer nachhaltigen Gestaltung wirtschaftlicher oder sozialer Prozesse. Sie tragen vielmehr sowohl eigene Potenziale als auch eigene Risiken für unterschiedliche Nachhaltigkeitsziele in sich [79] [117] [118].

Dass somit auch die meisten digitalen *Geschäftsmodelle* positive und negative Wirkung hinsichtlich unterschiedlicher Nachhaltigkeitsziele haben, lässt sich bspw. anhand eines thematischen Überblicks der Bundeszentrale für politische Bildung zum Thema Digitalisierung (BPB) [74] diskutieren. Digitalisierung wird dort primär als eine gesamthafte, übergreifende Entwicklung verstanden, die alle Bereiche von Wirtschaft und Gesellschaft betrifft. Die nachfolgende Darstellung orientiert sich an der thematischen Gliederung der BPB und verweist an geeigneter Stelle auf Überlegungen aus betriebswirtschaftlicher [117] und techniksoziologischer Sicht [79] [118].

3.3.1.1 Kommunikation, Medien und öffentliche Debatte

Die deutlich erhöhte Verfügbarkeit von Informationen im Internet in vielen Regionen der Welt leistet einerseits einen Beitrag zu einer besseren Bildungsgerechtigkeit (UN SDG 4; siehe Abschnitt 2.2.1). Andererseits werden zahlreiche „neue Medien“ missbraucht, um – teilweise mit Methoden des sogenannten „Roboter-Journalismus“, bei dem KI-Anwendungen ganze Texte produzieren – gezielt Meinungen und ganze gesellschaftliche Gruppen zu manipulieren. Das konterkariert die positiven Effekte und steht dem UN SDG 16 (Frieden, Gerechtigkeit und starke Institutionen) diametral entgegen. So diskutieren bspw. Sühlmann-Faul und Rammler die gesellschaftlichen Gefahren durch „algorithmisierten Nachrichtenkonsum“ und Echokammern als Gefahr für die demokratische Gesellschaftsordnung (vgl. [118], Abschnitt „Echokammer“).

3.3.1.2 Gesellschaft, Kultur und Bildung

Die Wichtigkeit digitaler Werkzeuge für das gesellschaftliche Miteinander und insbesondere im Bildungsbereich wurde durch die CoViD19-Pandemie besonders deutlich. Digitale Plattformen waren trotz eines oft holprigen Starts die Basis für das Home-Schooling von Millionen von Schülern in ganz Europa. Während in diesem Fall Inhalte durch qualifiziertes Personal kuratiert und eingeordnet werden, findet in vielen kommerziellen Plattformen, die Menschen zur Weiterbildung und zur Diskussion nutzen – namentlich in sozialen Netzen – weder eine Qualitätsprüfung statt, noch wird die Einhaltung sozialer Standards beim Umgang miteinander hinreichend geprüft (vgl. [118], Abschnitt „Bildung“ sowie Abschnitt 3.4.2.4.1 zu Defiziten und Handlungsempfehlungen hinsichtlich Medienkompetenz in der digitalen Gesellschaft und einer angemessenen Bildungspolitik).

3.3.1.3 Infrastruktur und Umwelt

In diesem Segment sind zwei der seitens der BPB hervorgehobenen Sachverhalte von besonderer Bedeutung für diese Studie: Während die „Smart City“ bspw. hilft, den Verkehrsfluss umweltfreundlich zu regeln und Behördenprozesse zu beschleunigen, kann sie auch als Werkzeug der Überwachung der Bürger dienen. Insbesondere in weniger freien Gesellschaften ist dies ein offen kommuniziertes Ziel entsprechender Infrastrukturen [129].

Den digital ermöglichten Effizienzgewinnen bei Verbrauch und Transport von Materialien sowie dem intelligenten Energieeinsatz stehen erhöhter Ressourcenbedarf durch kurzlebige Hardware und erhöhter Energiebedarf durch den Betrieb von Rechenzentren entgegen. Auf diesen sogenannte **Rebound-Effekt** (vgl. [117], Kapitel 1.2.3; vgl. [79], Teil 3: „Was ist der Rebound-Effekt“) werden wir in Abschnitt 3.4.1.1.3 noch eingehen.

3.3.1.4 Wirtschaft und Arbeit

Als nächste logische Stufe der Automatisierung der Wertschöpfung bieten digitale Technologien bspw. im Bereich der Produktionsoptimierung und Ressourceneffizienz unbestrittene Vorteile. Die Notwendigkeit der entsprechenden Fortbildung des Personals wird von den Unternehmen erkannt und mit zunehmender Konsequenz umgesetzt. Jedoch fehlen laut BPB [74] in Deutschland insbesondere Weiterbildungsmaßnahmen für geringqualifizierte Menschen.

Während digitale Technologien bspw. dabei helfen können, Menschen mit Behinderung die Teilnahme am Arbeitsleben zu ermöglichen (siehe Abschnitt 3.4.3.2), schaffen sie gleichzeitig neue Risiken für Daten- und Informationssicherheit und ermöglichen die immer umfassendere „Quantifizierung“ aller Prozesse und auch der dabei anfallenden (persönlichen) Daten. Dies erfordert – beispielsweise bei Kreditvergabe oder Personalauswahl und -beurteilung (siehe Abschnitt 3.4.3.3) – adäquate Regulierung und Maßnahmen zur Nachvollziehbarkeit datengetriebener Entscheidungsprozesse.

3.3.1.5 Gesundheit und Krankheit

Von der Prävention über die Diagnostik bis zur Medikamentenentwicklung profitieren zahlreiche Prozesse des Gesundheitswesens von der Verfügbarkeit und einem besseren Verständnis großer Datenmengen über Patienten und chemische oder biologische Prozesse [130]. Entsprechend entstehen Geschäftsmodelle zu deren Sammlung und Analyse. Vor allem persönliche Daten benötigen jedoch besonderen Schutz, um bspw. Diskriminierung erkrankter Personen zu verhindern.

Ein weiterer Trend in der digitalen Medizin bzw. Pflege ist die Robotisierung oder Tele-Unterstützung von Operationen. In der Pflege wird der Einsatz von Robotern nicht nur für körperlich anstrengende Tätigkeiten, sondern auch für die Unterstützung sozialer Interaktionen und das Training kognitiver Fähigkeiten bei älteren Menschen zur Mitigation des Pflegenotstands in absehbarer Zeit unvermeidlich werden [131]. Der Grad der Akzeptanz solcher digitalen Unterstützungssysteme durch Pflegenden und betroffene Patientinnen und Patienten wird davon beeinflusst sein, ob die menschlichen Pflegekräfte derart entlastet werden, dass ihren Arbeitsalltag für sich und die Betreuten menschenwürdig gestalten können, oder ob lediglich Effizienzgewinn und Ressourceneinsparung im Vordergrund stehen.

3.3.1.6 Kriminalität, Sicherheit und Freiheit

Neben den bereits erwähnten Sicherheitsaspekten aller zur Vernetzung und Datensammlung eingesetzten Hard- und Softwarekomponenten besteht ein besonderer Gegensatz zwischen verbesserter (öffentlicher) Sicherheit und Terrorprävention durch den Einsatz digitaler Überwachungstechnologien und der impliziten Einschränkung der Freiheitsrechte und des Datenschutzes für überwachte Personen. Dies betrifft sowohl die Kommunikation im Internet als auch beispielsweise die Möglichkeiten in der realen Welt Personen effizient zu identifizieren, zu belauschen und ihre Bewegungen zu überwachen. Der Umgang mit diesem Gegensatz ist in Europa tendenziell sensibler und wird von gesellschaftlichen Akteuren [132] kritischer hinterfragt als in anderen Regionen. Wissenschaftliche Untersuchungen weisen zudem immer wieder Schwachstellen solcher Systeme nach [133] [134]. Dennoch gibt es auch in freiheitlichen Gesellschaften das Bestreben des Staates mit den Methoden der digitalen Überwachung niederschwelliger und schneller Daten über verdächtige Personen zu sammeln.

3.3.1.7 Politik, Recht und Verwaltung

Einige der wichtigsten privatwirtschaftlichen Akteure der Digitalisierung sind internationale Plattformbetreiber mit großer Marktmacht. Mit ihren Angeboten ermöglichen sie Privatpersonen, kleinen

Digitalunternehmen und Unternehmen in der Realwirtschaft einen vereinfachten Zugang zu Informationen, Gütern und Diensten sowie eine Erhöhung der Reichweite unternehmerischer Angebote. Demgegenüber stehen national fragmentierte Regulierer, welche die Rechte der Bürger in einer zunehmend komplexen und vernetzten Wirtschaft schützen, Standards durchsetzen und Machtmissbrauch beschränken müssen.

Mit großen finanziellen und technischen Ressourcen etablieren die Plattformbetreiber immer schneller neue Geschäftsmodelle, die von den Gesetzgebern und Behörden verstanden und hinsichtlich ihrer Wirkung auf Datenschutz, Wettbewerb und Sicherheit eingeschätzt werden müssen. Nicht ohne Grund legt Europa bei seiner Förderpolitik mit Initiativen wie dem digitalen Ökosystem *GAIA-X* [120] und dem darauf aufbauenden Projekt *IPCEI Nächste Generation Cloud Infrastrukturen und Services* [135] einen entsprechenden Schwerpunkt auf die Schaffung digitaler Strukturen, die den europäischen Standards hinsichtlich dieser Aspekte Priorität einräumen.

3.3.2 Nachhaltigkeitstreiber für digitale Geschäftsmodelle

Im Folgenden wird dargestellt, welche Maßnahmen bzw. Treiber geeignet sind, eine Ausrichtung digitaler Geschäftsmodelle an Nachhaltigkeitsaspekten zu fördern. Dem Blickwinkel gesamtgesellschaftlicher Prozesse wird dabei aufgrund des explizit gesetzten Schwerpunkts der Studie eine von primär unternehmerischen Zielen geprägte Perspektive auf die Beziehung von Digitalisierung und Nachhaltigkeit gegenübergestellt.

3.3.2.1 Ausgangspunkt der Analyse

Für die Betrachtung aus unternehmerischer Sicht sind zunächst einige Kernfeststellungen zu treffen, welche dazu beitragen, die weitere Argumentation zu strukturieren:

- Ökologisch, sozial und wirtschaftlich nachhaltiges Handeln ist ein gesamtgesellschaftliches Ziel. Digitalisierung ist hingegen aus Sicht der Unternehmen zunächst ein Werkzeug zur Erreichung (nicht notwendigerweise nachhaltiger) unternehmerischer Ziele.
- Im Sinne der Förderung des Nachhaltigkeitsgedankens muss den Unternehmen entweder „exogen“ ein Nachhaltigkeitsziel „verordnet“ werden oder sie müssen ein solches selbst als unternehmerische Aufgabe formulieren (endogene Motivation).
- Eine explizite Forderung nach der Wahl explizit digitaler Methoden (Geschäftsmodelle) zur Erreichung dieser Nachhaltigkeitsziele ist nicht zielführend. Vielmehr muss jedes Unternehmen selbst beurteilen, ob die Ziele durch Digitalisierung effizienter zu erreichen sind als ohne. Laut einer Studie des BMWi [127] ist beispielsweise der Aspekt der Energieeffizienz als Treiber von Digitalisierungsprojekten nur nachrangig gegenüber anderen Themen wie Kundenwünschen, Innovationsdruck, Kosteneinsparung und Gesetzesanforderungen.

Ob ein digitales Geschäftsmodell im Nachhaltigkeitssinn positiv wirkt, ist daher zunächst nicht durch den digitalen Charakter bestimmt, sondern ausschließlich durch seine Wirkung auf die gesetzten Ziele. Jedoch hat der digitale Charakter selbstverständlich besondere Implikationen hinsichtlich

- der spezifischen Risiken des Geschäftsmodells für Nachhaltigkeitsaspekte
- des Grades der Dienlichkeit für die – wie oben betont unabhängig zu formulierenden – Nachhaltigkeitsziele (bspw. im Sinne der Wahrscheinlichkeit oder der Geschwindigkeit, mit der diese erreicht werden können).

Dieser Logik folgend identifizieren wir zunächst – aus dediziert unternehmerischer Perspektive – wesentliche Treiber für nachhaltiges Wirtschaften, die unabhängig von der digitalen oder nicht-digitalen Natur der Geschäftsmodelle sind. Dann beleuchten wir solche Aspekte, die dem besonderen digitalen Charakter von Geschäftsmodellen inhärent sind.

Die wesentlichen Gründe, die aus unternehmerischer Perspektive ein nachhaltiges Wirtschaften incentivieren können, sind [123]:

- die Hebung direkter oder indirekter ökonomischer Mehrwerte, die mit den gleichen Maßnahmen erreicht werden können wie das Nachhaltigkeitsziel
- gesetzliche Rahmenbedingungen hinsichtlich Nachhaltigkeit, deren Einhaltung als notwendige Voraussetzung für die Fortsetzung der unternehmerischen Tätigkeit zu verstehen ist
- gesellschaftliche Entwicklungen, wie bspw. ein erhöhtes Bewusstsein für nachhaltigen Konsum. Diese wirken sich schlussendlich ebenfalls auf dem wirtschaftlichen Erfolg aus – und zwar in Form von geändertem Nachfrageverhalten und in Form von Zugang zu Kapital seitens nachhaltig orientierter Anleger.

Sicherlich spielt bei vielen Unternehmen – bspw. im Bereich des Sozialunternehmertums - der Verantwortungsgedanke und somit eine vornehmlich endogene Motivation für nachhaltiges Handeln eine Rolle. Jedoch hängt auch der Erfolg solcherart motivierter Geschäftsmodelle maßgeblich von den genannten wirtschaftlichen, politischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen ab. Die vorgenannten Wirkmechanismen sind daher auch hier die relevanten Anreize für eine Ausrichtung von Digitalisierung an Nachhaltigkeit - bspw. in Form ökonomisch attraktiver Förderinitiativen oder durch die Schaffung von Öffentlichkeit [220] für Startups mit nachhaltigem (und ggfs. digitalem) Geschäftsmodell.

3.3.2.2 Wirtschaftliche Treiber

3.3.2.2.1 Ressourceneffizienz, Suffizienz und Konsistenz

Die *Reduktion von Kosten durch gesteigerte Effizienz bei gleichzeitig reduziertem ökologischem Fußabdruck* in der industriellen Fertigung ist ein häufig angeführtes Beispiel für synergetische Effekte von Digitalisierung und Nachhaltigkeit. Zu hinterfragen ist hier, ob bspw. durch datengetriebene Einsparung von Ressourcen in Produktion und Logistik lediglich der unternehmerische Output bei gleicher Ressourcennutzung erhöht wird oder ob tatsächlich deren Verbrauch reduziert werden kann. Des Weiteren, ob es zu einem **Rebound-Effekt** kommt, bei dem die Ressourceneinsparung und die damit verbundene Kostenersparnis durch erhöhten (weil verbilligtem) Konsum überkompensiert wird, oder ob an anderen Stellen der Wertschöpfungskette nachteilige Effekte entstehen, die einfach ausgeblendet werden.

In diesem Kontext sind neben dem **Effizienzbegriff** zwei weitere Termini zur Beschreibung nachhaltigen Wirtschaftens gebräuchlich (vgl. [117], Kapitel 1.2.3):

- Die **Suffizienz** beschreibt das Ziel den Ressourcenverbrauch durch Reduktion des Konsums zu vermindern und die Steigerung der Lebensqualität nicht mit einem gesteigerten ökonomischen Lebensstandard gleichzusetzen.
- **Konsistenz** meint im Kontext des nachhaltigen wirtschaftlichen Handelns die Schaffung von Wirtschaftssystemen, in denen die Bedürfnisse der natürlichen Umwelt und der technischen Lebenswelt gleichermaßen berücksichtigt werden. Hier ist bspw. der Aspekt geschlossener Stoffkreisläufe (Siehe auch Abschnitt 3.4.2) zu nennen, der eines der neben der CO₂-Neutralität drängendsten Probleme, nämlich den Ressourcenverbrauch und die Abfallproblematik adressiert.

Ansatzpunkte zur Beurteilung digitaler Geschäftsmodelle unter Nachhaltigkeitsaspekten

Wo die Digitalisierung der Gewinnmaximierung durch Effizienzsteigerung dient, kann sie zudem einen Mehrwert für Nachhaltigkeit liefern, wenn

- durch Effizienzsteigerung und gesteigerte Prozesskonsistenz tatsächlich Ressourcen geschont werden und nachweislich eine Überkompensation (Rebound) vermieden wird
- die Suffizienz durch die Möglichkeit der Entkopplung von Lebensstandard und Verbrauch gesteigert werden kann.

3.3.2.2.1 Unternehmerische Resilienz

In der Literatur¹⁰ wird der Begriff der **Resilienz** im Zusammenhang mit nachhaltigem Agieren eines Unternehmens eingeführt, um Robustheit gegenüber krisenhaften Entwicklungen zu beschreiben und langfristige Erfolgsaussichten zu verbessern. Dies betrifft beispielsweise

- Die Schaffung **besserer Arbeitsbedingungen bei gleichzeitiger Mitigation des Fachkräftemangels**. Diese erfüllen soziale Nachhaltigkeitsziele und adressieren das zunehmende Problem des Transfers sogenannten „impliziten Wissens“ in den Köpfen der älteren Belegschaft.
- Auch die Schaffung einer nachhaltigen Lieferkette – beispielsweise durch **verbesserte Arbeitsbedingungen bei Zulieferern** in Niedriglohnländern – hat neben der offensichtlichen Wahrnehmung der Corporate Social Responsibility unter dem Gesichtspunkt der Stabilität von Produktion und Lieferfähigkeit positive Wirkung auf die ökonomische Stellung des Unternehmens.
- Eine nachhaltige (resiliente) Lieferkette profitiert außerdem von der **Diversifizierung der Beschaffungskanäle** („second / third source“) oder deren Verlagerung in die Nähe der Kunden („Local for Local“) – ein Aspekt, der insbesondere in der Corona-Krise offensichtlich wurde (siehe auch [124]). Wo globalisierte Lieferketten billiger sind als lokale, besteht hingegen eine klare Konkurrenzsituation zwischen ökonomisch und ökologisch nachhaltiger Optimierung.

Ansatzpunkte zur Beurteilung digitaler Geschäftsmodelle unter Nachhaltigkeitsaspekten

Digitalisierungsmaßnahmen, die auf eine Linderung der Problematik des Fachkräftemangels abzielen, dienen auch der Nachhaltigkeit des Unternehmens, wenn sie

- gesundheitliche Belastungen reduzieren oder zumindest an Alter und Gesundheitszustand des Personals anpassen
- eine erhöhte Verweildauer insbesondere älterer Arbeitskräfte im Arbeitsmarkt ermöglichen
- die Ausbildung von Arbeitskräften erleichtern oder verbessern und ihre Einsatzmöglichkeiten im Unternehmen flexibilisieren (siehe bspw. 3.4.3.2)

Im nicht der direkten eigenen Kontrolle unterliegenden Teil der Wertschöpfung – insb. in der Lieferkette – fördert die Digitalisierung die unternehmerische Nachhaltigkeit, wenn sie

- neben der Stabilisierung der Wertschöpfung (Resilienz) die Einhaltung sozialer und ökologischer Standards fördert und
- diese messbar macht und zum Nachweis entsprechender Verbesserungen unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten beiträgt. (Siehe auch Abschnitt 3.5)

3.3.2.3 Politische Treiber: Kontinuität und Transparenz

Verschärfte gesetzliche Anforderungen an die Einhaltung von Nachhaltigkeitszielen bieten aus unternehmerischer Perspektive zunächst keinen direkten „Mehrwert“. Sie sind jedoch prinzipielle Bedingung für die Aufrechterhaltung der Geschäftstätigkeit (**Kontinuität**) und somit zur Erzwingung nachhaltigen Wirtschaftens geeignet. Hier sind die folgenden Aspekte zu nennen:

- Gesetzliche **Limitierung** bspw. durch die Festlegung von Recyclingquoten im Verpackungsgesetz [158] oder das Gesetz zur Weiterentwicklung der Treibhausgasminderungsquote [165].
- Monetäre **Pönalisierung** bspw. durch Erhebung von Strafzahlungen gemäß EU-Verordnung zu den CO₂-Flottengrenzwerten für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge [159] oder durch den von der EU erwogenen CO₂-Grenzausgleichsmechanismus [166]

¹⁰ Vgl. [117], Kapitel 1.2.3: Hier wird unterschieden zwischen *Resilienz* und *Subsistenz*, wobei letztere die Fähigkeit eines Unternehmens beschreibt, sich (begrenzt) selbst mit Betriebsmitteln zu versorgen. Die genannten Beispiele *Recycling* und *Autonomie in der Energieversorgung* können jedoch ebenso den Aspekten *Effizienz / Konsistenz* bzw. *Resilienz* zugeordnet werden.

- Die **Incentivierung** nachhaltiger Geschäftsmodelle durch steuerliche Entlastungen, Fördermaßnahmen und Investitionsbeihilfen (Siehe bspw. den Förderkatalog von Bund, Ländern und EU [157])¹¹
- Die gesetzliche Regelung von **Verantwortlichkeiten** – bspw. durch das Lieferkettengesetz [164], das deutschen Unternehmen Sorgfaltspflichten hinsichtlich des Schutzes der Menschenrechte in ihrer Lieferkette auferlegt.

Wesentliche Herausforderungen bei Wahl und Ausgestaltung des Anreizmechanismus bestehen stets in der Beschreibung und Messung

- der erheblichen Komplexität der Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Teilen der Wertschöpfungskette (bspw. im Falle der ökologischen Mehrbelastung bei der Rohstoffgewinnung für die Elektromobilität)
- des Einflusses auf gesellschaftliche Prozesse (Rebound-Effekt durch Konsumsteigerung, Arbeitsplatzabbau durch Automatisierung, überproportionale Belastung einkommensschwacher Haushalte etc.)
- der Ausweicheffekte durch Import nicht nachhaltig produzierter, jedoch kostengünstigerer Waren aus dem Ausland

Ansatzpunkte zur Beurteilung digitaler Geschäftsmodelle unter Nachhaltigkeitsaspekten:

Digitale Technologien bieten unter dem Aspekt der politischen Anreizsetzung überall dort einen Mehrwert, wo sie die **Transparenz** steigern, indem sie

- zu einem verbesserten, idealerweise quantitativen Verständnis ganzer Wertschöpfungsketten beitragen
- die Wirkung von Limitierung, Pönalisierung und Incentivierung messbar und damit objektiv steuerbar machen.
- die Führung des Nachweises über die Einhaltung der Anforderungen ermöglichen
- die Auswirkungen auf andere Bereiche der Nachhaltigkeit sichtbar machen.

3.3.2.4 Gesellschaftliche Entwicklungen: Perzeption

Mindestens ebenso wichtig ist der Aspekt der **Transparenz** für Unternehmen vor dem Hintergrund der Außenwahrnehmung, da die **öffentliche Perzeption** bei Verbrauchern, Arbeitnehmern und Investoren im Endeffekt ein offensichtlicher ökonomischer Erfolgsfaktor ist. Diese achten zunehmend auf den ökologischen Fußabdruck, die soziale Ausrichtung des Unternehmens und die Umsetzung der Corporate Social Responsibility auf allen Ebenen und orientieren sich bei Konsum- und Anlageentscheidungen [136] an entsprechenden Kennziffern¹².

Ansatzpunkte zur Beurteilung digitaler Geschäftsmodelle unter Nachhaltigkeitsaspekten:

Aus rein unternehmerischer Sicht sind digitale Technologien im Sinne einer *Reaktion* auf gesellschaftliche Entwicklungen unter zwei Einsatzszenarien denkbar:

- Messung der Wirksamkeit der eigenen Corporate Social Responsibility und Einordnung der eigenen Produkte unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten
- Nachweis von Nachhaltigkeitszielen (vgl. [117], Kapitel 2.1.2) und Kommunikation der Ergebnisse

¹¹ Lenkungssteuern (wie etwa eine Carbon Tax) können im Sinne der beschriebenen Differenzierung sowohl als negative Incentivierung als auch als Pönalisierung verstanden werden.

¹² Die Wechselwirkungen zwischen gesamtgesellschaftlichen Prozessen und politischen Initiativen werden hier nicht diskutiert, da der Fokus der Studie explizit auf dem unternehmenszentrierten Aspekt der nachhaltigen Ausgestaltung digitaler Geschäftsmodelle liegt.

3.4 Forschungsergebnisse und Praxisbeispiele

Im folgenden Abschnitt analysieren wir empirische Belege und systematische Studien zur Bewertung der Nachhaltigkeitswirkungen von digitalen Geschäftsmodellen. Dabei fokussieren wir uns auf jene Themenbereiche, in denen bereits Nachhaltigkeitsaspekte hinreichend untersucht wurden.

Die Beschreibung der Beziehungen und Wechselwirkungen zwischen Digitalisierung und Nachhaltigkeit muss mehreren Aspekten Rechnung tragen, die in den voranstehenden Abschnitten bereits herausgearbeitet wurden:

- Nachhaltigkeit ist ein mehrdimensionales gesellschaftliches Ziel mit den „Hauptachsen“ Ökologie, Soziales und Ökonomie und einer Vielzahl von möglichen Differenzierungen.
- (Digitale) Geschäftsmodelle dienen oder schaden Nachhaltigkeitszielen nicht nur in ihrer geplanten unternehmerischen Funktion, sondern haben stets unvermeidliche Nebeneffekte und einen eigenen Fußabdruck. Die Quantifizierung beider Wirkungen ist unterschiedlich anspruchsvoll, selten exakt und an vielen Stellen Gegenstand der Forschung.
- Richtig eingesetzt kann Digitalisierung in hohem Maße dazu beitragen, die Nachhaltigkeit unternehmerischen Tuns messbar zu machen. Dieser Aspekt ist von größter Bedeutung, da er nicht nur explizit „digitale“ Geschäftsmodelle betrifft, sondern auch Maßnahmen zur Digitalisierung von bereits existierenden unternehmerischen Prozessen, die sich einer solchen Analyse bisher aufgrund mangelhafter Messung und Modellierung entzogen haben.

Im Folgenden diskutieren wir diese Aspekte anhand ausgewählter Studien, Praxisbeispiele und Interviews mit ausgewählten Experten. Dabei strukturieren wir die Diskussion anhand der genannten Nachhaltigkeitsdimensionen.

3.4.1 Digitalisierung und ökologische Nachhaltigkeit

3.4.1.1 Fokus Netzsektoren und Datenplattformen

3.4.1.1.1 Digitalisierung und Europäische Klimaziele

Wenngleich laut einer Untersuchung des BMWi [127] die Erhöhung der Energieeffizienz für Unternehmen nicht der primäre Treiber von Digitalisierungsprojekten ist, so sehen laut einer Studie des Bitkom e. V. [128] drei Viertel einen positiven Effekt auf Ihren CO₂e-Ausstoß durch Digitalisierungsinitiativen. Die Studie „Klimaeffekte der Digitalisierung“ des Branchenverbands Bitkom kommt zu dem Ergebnis, dass durch Digitalisierungsmaßnahmen – nach Berücksichtigung des intrinsischen ökologischen Fußabdrucks – ein Viertel bis ein Drittel der CO₂-Einsparung erzielt werden kann, die Deutschland bis 2030 anstrebt (103 – 152 MT). Die Studie beurteilt die ökologische Nachhaltigkeit im Sinne einer CO₂e-Bilanz, d.h. unter Einbeziehung von Emissionen aus Produktion und Nutzung der digitalen Systeme.

Einsparpotenziale sind insbesondere in den Bereichen Fertigung, Mobilität, Energie, Gebäude, Arbeit & Business, Landwirtschaft und Gesundheit gegeben. Aus Perspektive dieser Studie ist dabei die Betrachtung der von der Bundesnetzagentur verantworteten Netzsektoren von besonderem Interesse:

- Die Untersuchung kommt zu dem Ergebnis, dass Primäremissionen im Individualverkehr durch digitale Unterstützung von effizientem Fahrverhalten und ein digitales Verkehrsnetz um bis zu 14 % reduziert werden können und ermittelt ein Einsparpotenzial für Emissionen im Gütertransport durch intelligente Logistik von bis zu 16 %.
- Großes Potenzial schreibt die Studie Smart Grids zu, mittels derer durch intelligente Netzsteuerung und Verhaltensänderung 8-10 % der Primärenergieemissionen (14 – 17 MT CO₂) vermieden werden sollen. Weitere Einsparpotenziale von 6 – 7 MT CO₂ werden durch Überwachung, Analyse und vorausschauende Wartung von Produktionsanlagen veranschlagt.

- Im Bereich Gebäude sehen die Autoren durch intelligentes Energiemanagement – bspw. mittels Smart Metern und intelligenten Klimaanlage - ein Einsparpotenzial von 17 – 21 MT CO₂.

3.4.1.1.2 Das „Rennen um das grüne Internet“

In einer Greenpeace-Studie [147] aus dem Jahr 2017 wurden große IT-Unternehmen, deren Geschäftsmodell maßgeblich auf der Nutzung von Data-Centern und Cloud-Infrastrukturen beruht, einem Ranking hinsichtlich ihrer Maßnahmen zur energetischen Nachhaltigkeit unterzogen. Die Studie nutzt ein Ranking in den fünf Dimensionen *Transparenz*, *Unternehmerische Verpflichtung (Commitment) und Policy*, *Energieeffizienz und Mitigationsstrategie*, sowie *Eintreten für entsprechende Maßnahmen (Advocacy)* für die Beurteilung. Sie kommt zu folgenden wesentlichen Ergebnissen:

- Treiber für den Umstieg auf erneuerbare Energien sind a) konkrete Anforderungen von Kunden, die ihren eigenen Footprint reduzieren wollen, b) ökonomische Überlegungen – bspw. kompetitivere Preise für erneuerbare Energien und c) die Perzeption des Unternehmens bei Kunden und Mitarbeitern.
- Eine Vorreiterrolle beim Umstieg auf erneuerbare Energien – einschließlich einer entsprechenden Lobbyarbeit – nehmen große US-Amerikanische IT-Konzerne ein, wenngleich die Transparenz ihrer Bemühungen nicht ausreicht, um die Fortschritte nachvollziehbar zu machen. Der IT-Sektor ist sogar „Katalysator“ für ein breiteres Spektrum an Unternehmen hinsichtlich eines Übergangs zu erneuerbaren Energien.
- Immer mehr Unternehmen ziehen nach, jedoch kommt es verstärkt zu „Ausweichmanövern“, die zu nur scheinbarer Nachhaltigkeit führen. Hierzu zählen bspw. der Kauf von Zertifikaten für erneuerbare Energien anstelle einer echten Substitution, sowie die „Aufweichung“ der Definition erneuerbarer Energien.¹³
- Die Maßnahmen zum Umstieg auf erneuerbare Energien werden partiell dadurch konterkariert, dass in Gebieten, in denen neue Data-Center entstehen, das entsprechende Angebot nicht existiert. Dies gilt insbesondere für asiatische Unternehmen, deren Energiebedarf absehbar nur durch fossile oder nukleare Quellen gedeckt werden kann.

3.4.1.1.3 Rebound-Effekte als Herausforderung für die Quantifizierung der Nachhaltigkeitswirkung

In den in der Bitkom-Veröffentlichung ermittelten CO₂-Einsparungen sind Rebound-Effekte weder enthalten, noch sind Maßnahmen zu ihrer Vermeidung Gegenstand der Studie. Die Autoren stellen vielmehr fest, dass der Rebound nur sehr schwer zu quantifizieren ist und greifen auf Ergebnisse anderer Untersuchungen zurück, die wiederum eine große Bandbreite von 4 % bis 37 % für die Vernichtung von Nachhaltigkeitsgewinnen durch den Rebound angeben. Die zitierten Quellen sind sich dabei auch keineswegs einig in der Einschätzung welcher Wirtschaftssektor für Rebound-Effekte besonders anfällig ist.

Die Schwierigkeit der exakten Rebound-Messung wird auch an anderer Stelle betont (vgl. [117], Abschnitt 1.2.3) In der dort zitierten Analyse des Umweltbundesamtes [221] wird auf empirische Schätzungen von bis zu 30 % für den Rebound-Effekt verwiesen. Als Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Berücksichtigung von Rebound-Effekten identifiziert das UBA eine hinreichend strikte Formulierung von Umweltvorgaben, die monetäre Neutralisierung von Effizienzgewinnen durch Abgaben, so dass Kostenvorteile nicht weitergegeben werden können oder die Setzung absoluter Emissions-

¹³ In diesem Zusammenhang wird auch oft der Begriff „Greenwashing“ gebraucht. Er bezieht sich jedoch vor allem auf Kommunikationsstrategien von Unternehmen, die ohne echte Maßnahmen zur Verbesserung ihrer Ökobilanz mit nur scheinbar umweltfreundlichem Verhalten und irreführenden Aussagen werben.

bzw. Verbrauchsobergrenzen. Dass dies nur auf Ebene gesamtwirtschaftlicher Steuerungselemente erfolgreich sein kann zeigen die zitierten Beispiele CO₂-Emissionshandel und Fischfangquoten.

3.4.1.2 Fokus industrielle Fertigung

3.4.1.2.1 CO₂-Bilanz in der Werkzeugherstellung

In [123] wird die CO₂-Bilanz eines Fräswerkzeugs ermittelt, das wiederum für die Herstellung von Bauteilen in der Luftfahrt eingesetzt wird. Ziel der Autoren ist es, den Anteil des Fräswerkzeugs an der „**Scope 3-Betrachtung**“ in der Ökobilanz der eigentlichen Bauteilproduktion zu ermitteln: Während im **Scope 1** nur die direkten Emissionen innerhalb der Unternehmensgrenzen berücksichtigt werden (bspw. durch eigene Betriebsmittel), erweitert der **Scope 2** die Betrachtung auf indirekte Emissionen durch Zukauf von Energie für den Betrieb der eigenen Anlagen. Jedoch werden erst im **Scope 3** Emissionen betrachtet, die der eigenen Wertschöpfung vor- oder nachgelagert sind und nicht im Unternehmen anfallen. Dazu gehören bspw. Geschäftsreisen, sowie zugekaufte Leistungen und Güter sowie Entsorgungsthemen [241]. Die Autoren weisen ausdrücklich darauf hin, dass „...die Digitalisierung ein Kernelement in der Nachhaltigkeitsbetrachtung von komplexen Systemen [bildet], da mit Hilfe der digitalen Vernetzung und Bereitstellung von Daten eine prozess- oder logistikkettenübergreifende Wirkungsabschätzung von Umweltfaktoren überhaupt erst möglich wird“.

In diesem Kontext spielt der in der industriellen Fertigung gebräuchliche Begriff des *Digitalen Zwilings* der Prozesskette eine wichtige Rolle. Ein solch digitales Abbild ermöglicht es, Daten aus unterschiedlichen Quellen zusammenzuführen und auszuwerten und schafft so die Voraussetzung für eine konsistente Betrachtung von Nachhaltigkeitsaspekten wie z. B. die ganzheitliche Betrachtung und *Zertifizierung der Lieferkette*, die digital unterstützte *Nachhaltigkeitsberichterstattung* sowie die *automatisierte Bewertung des CO₂-Footprints* in industriellen Wertschöpfungsketten.

3.4.1.2.2 Lifecycle-Assessment in der Stahlherstellung

Das vom BMWi geförderte Forschungsprojekt „TWBlock“, modelliert die CO₂-Emissionen während der Herstellungsphase von Leichtbaukomponenten auf Basis eines Lebenszyklusanalysemodells des Stahlherstellungsprozesses. Die Ergebnisse fließen in ein digitales Abbild der Prozesskette ein, um die auf ein Bauteil zu attribuierenden CO₂-Emissionen während der Entwurfsphase zu berechnen und zu vergleichen [163].

3.4.2 Fokus Stoffkreisläufe und Ressourcenschonung

3.4.2.1 Forschungsinitiativen

Die Schließung von Stoffkreisläufen zur Eliminierung von Umweltbelastung und Ressourcenverbrauch dient ökologischen und ökonomischen Nachhaltigkeitszielen. Das Themengebiet ist daher Gegenstand aktueller Forschung, beispielsweise in einem seitens des BMU aufgelegten Förderprogramm zur Entwicklung entsprechender Technologien [155]. Das BMU betont die Bedeutung der Digitalisierung als Katalysator entsprechender Prozesse für ökologische und ökonomische Nachhaltigkeit: „Energie- und Ressourcenbedarfe können bedarfsgerechter gesteuert werden und damit oftmals reduziert werden, wenn mittels Digitalisierung von Produktionsprozessen notwendige Informationen über Qualitäten und Mengen u.a. von Sekundärrohstoffen zuverlässig erfasst werden. Dies ist von entscheidender Bedeutung für die Kreislaufwirtschaft und erhöht die Wettbewerbsfähigkeit.“

3.4.2.1.1 Agrar- und Textilwirtschaft

Dass geschlossene Stoffkreisläufe mit Mitteln der Digitalisierung in verschiedenen Größenordnungen und in verschiedensten unternehmerischen Bereichen erfolgreich umgesetzt werden kann belegen zwei Beispiele:

- Auf dem Food & Energy Campus in Groß-Gerau (Hessen) werden digitale Technologien verwendet, um einen geschlossenen Stoffkreislauf in der Lebensmittelproduktion herzustellen, indem Abfallprodukte als Rohstoffe für einen weiteren Schritt in der Fertigung genutzt werden [154] [175] [176]. Die Gärreste einer Biogasanlage, mit der Energie für Gewächshäuser produziert wird, finden als Dünger Verwendung. Die Gewächshäuser werden digital gesteuert und liefern wiederum einen Teil der Pflanzenreste für die Biogasanlage. Das System ermöglicht ressourcenschonende Pflanzenzucht ohne den Einsatz von Düngemitteln.
- Ein weiteres Beispiel zur Schließung des Stoffkreislaufs mithilfe digitaler Technologien ist die Circularity.ID [160] in der Textilbranche. Hierbei wird jedem Kleidungsstück eine ID zugewiesen, z. B. mittels QR-Code oder RFID-Etikett, und detaillierte Informationen dazu in einer Datenbank abgelegt. Dies vereinfacht die Materialsortierung während des Recyclings, da Informationen wie Faserzusammensetzung und Schadstoffe abgerufen werden können. Im Anschluss können Produzenten auf sortenreine, recycelte Materialien bei der Textilherstellung zugreifen, was den ökologischen Fußabdruck durch Senkung des Verbrauchs neuer Rohstoffe, wie z. B. Baumwolle, reduziert.

3.4.2.1.2 Digitale Endgeräte

Stoffkreislaufkonzepte und das gesamthafte Management des Lebenszyklus sind bei den meisten komplexen Massenprodukten nicht oder mangelhaft ausgestaltet. Häufig stellt das Obsoleszenzmanagement von Endverbraucherprodukten ausschließlich darauf ab, mittels der Substitution (scheinbar) „veralteter“ Produktgenerationen durch eine neue mit teilweise nur marginalen Verbesserungen Umsätze zu steigern. Dieses Problem ist keinesfalls auf Mobilfunkgeräte beschränkt, jedoch war (und ist) der Lebenszyklus dieser Geräte ein besonders deutliches Negativbeispiel für die Nachhaltigkeit digitaler Geschäftsmodelle (vgl. [118]): Bei der Gewinnung und Entsorgung der Rohstoffe kommt es zu katastrophalen Umweltschäden und sozialen Verwerfungen und trotz eines extremen Grades an Automatisierung und umfassender effizienzsteigernder Maßnahmen ist der Produktionsprozess durch hohen Energieverbrauch gekennzeichnet. Problematisch könnten hier vor allem das fehlende Wissen der Konsumenten und der oft isolierte Fokus auf effizientere Fertigungsprozesse – bspw. zur Einsparung von Energie – sein, denen ohne Betrachtung des Kontexts zugeschrieben wird, der Nachhaltigkeit der Wertschöpfung zu dienen.

Bereits im Jahr 2008 hat auch die Umweltorganisation Greenpeace auf das Problem der Umweltzerstörung durch die Entsorgung von Elektroschrott in Ghana [149] [150] und China [152] hingewiesen und entsprechende Maßnahmen durch die Hersteller eingefordert. Jüngere Veröffentlichungen zeigen, dass die Problematik unverändert besteht [151].

In [148] unterzieht Greenpeace die größten Consumer-Elektronik-Hersteller einer Analyse hinsichtlich ihres ökologischen Fußabdrucks in den Dimensionen Energieverbrauch, Ressourcenverbrauch und Handhabung von Chemikalien. Hervorzuheben ist, dass die Studie in allen drei Bereichen ein mehrstufiges *Scoring*system nutzt, das auf öffentlich verfügbaren Informationen der beteiligten Unternehmen basiert. Drei der Hauptfeststellungen sind:

- Die Lieferkette der meisten Hersteller und deren ökologischer Fußabdruck sind hochgradig intransparent, obwohl sie für mindestens 70 % des CO₂-Ausstoßes verantwortlich ist
- Gleiches gilt für die Recyclingprozesse der oft gesundheits- und umweltgefährdeten Bestandteile. Geschlossene Stoffkreisläufe sind nicht in nennenswertem Umfang ausgebildet.
- Der Einsatz giftiger Chemikalien und ihre Freisetzung in die Umwelt wird im Allgemeinen unzureichend überwacht, auch wenn einzelne Unternehmen hier eine Vorreiterrolle einnehmen.

Auch hier belegen diese explizit benannten Defizite die Notwendigkeit einer vollständigen Betrachtung der Wertschöpfung bei der Diskussion von Nachhaltigkeitsaspekten.

3.4.2.2 Fokus Lieferkette und Zertifizierung

3.4.2.2.1 Studienergebnisse zu Potenzialen für Effizienz und Transparenz

In einer Studie von Studie von Systain Consulting und adelphi consult GmbH [143] werden digitale Geschäftsmodelle auf ihre Nachhaltigkeitswirkung in der Lieferkette untersucht. Die Studie macht zwar keine quantitativen Angaben zu Nachhaltigkeitskennziffern. Die Autoren kommen zu dem Ergebnis, dass Digitalisierung die Effizienz in der Produktion erhöht und dass der Transport von Gütern durch Einsatz von digitalen Kollaborationsplattformen und IoT-Systemen optimiert werden kann. Digitale Technologien schaffen Transparenz, sodass Hersteller von Gütern auf Veränderungen im eigenen Unternehmen und bei Lieferanten hinwirken können, um negative Auswirkungen auf Umwelt und Gesellschaft zu reduzieren.

3.4.2.2.2 Die Ambivalenz der Blockchain unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten

Die Blockchain und andere Distributed Ledger-Technologien ermöglichen es, Informationen über Transport- und Fertigungsprozesse über mehrere Stufen der Wertschöpfungskette abzuspeichern und damit z. B. Emissionen oder die Einhaltung gesetzlicher Vorschriften zumindest prinzipiell nachverfolgbar zu machen [214] [215]. In dieser Hinsicht ist die Blockchain unter Nachhaltigkeitsaspekten also primär als dienlich einzuordnen. Mehrere Aspekte der führen jedoch zur Kritik hinsichtlich der praktischen Anwendbarkeit:

- Die relevanten Informationen können auch mit bereits etablierten, digitalen Technologien, wie einer zentralen Datenbank, abgelegt werden. Somit erscheint die die Blockchain-Technologie (vgl. [143]) als „komplexe Lösung für Probleme, die sich heute bereits mit einfacheren Mitteln lösen ließen“.
- Ein weiteres Problem besteht im Übergang von der physischen und der digitalen Repräsentation, da die Daten – beispielsweise zu den in der Fertigung verwendeten Rohmaterialien – zum Zeitpunkt der Eingabe nicht gegen Manipulation geschützt sind. Der „Beweis“, dass ein physisches Gut auch tatsächlich mit den abgelegten Daten korrespondiert, würde ein physisches, fälschungssicheres Pendant der digitalen Identität erfordern, das in den allermeisten Fällen an praktischen Aspekten scheitern dürfte.
- Wie Eingangs beschrieben muss die quantitative Beurteilung eines digitalen Geschäftsmodells immer den Effekt der genutzten Technologien beinhalten. Das auch hinsichtlich dieses intrinsischen Fußabdrucks selbst Unsicherheiten bestehen, belegt beispielsweise eine Studie des Wuppertal Instituts [146] zur Nachhaltigkeit von Blockchain-Anwendungen. Auch hier weisen die Autoren auf bestehenden Schwierigkeiten der Messung der Nachhaltigkeitseffekte hin und fordern entsprechende Forschungsvorhaben¹⁴.

3.4.2.2.3 Delegierung von Nachweispflichten in der Lieferkette

Die Transparenz der Lieferkette erfordert die Einbeziehung der Zulieferer. Problematisch ist dies, wenn die die Sicherstellung der gewünschten Nachhaltigkeitseffekte einfach abgewälzt wird, kleinen und mittleren Unternehmen eine Infrastruktur zur Messung ihres Fußabdrucks jedoch nicht zur Verfügung steht. So ist z. B. in der Automobilindustrie [161] bei den Automobilherstellern eine entsprechende Erfassung des Energieverbrauchs meist darstellbar, wohingegen die Ökobilanzierung

¹⁴ Nichtsdestoweniger wird auch dort der Aspekt der Nachvollziehbarkeit von nachhaltigkeitsrelevanten Daten hervorgehoben: „Dabei können die Eigenschaften, die Qualität und Quantität, der Ort sowie die Besitzstrukturen von Produkten und Dienstleistungen nachverfolgt werden. Somit kann auch überprüft werden, ob Menschenrechte sowie Nachhaltigkeits- und Qualitätsstandards bis zum Ursprung des Produkts eingehalten werden.“

bei Zulieferern mit geographisch weit verteilter Wertschöpfung und eigener Lieferkette oft hochkomplex ist. Hier fehlen nicht nur die technischen Lösungen, sondern auch die entsprechenden Standards, die eine solche Messung ermöglichen würden. (Siehe zu diesem Aspekt auch die Stellungnahme des Bitkom in Abschnitt 3.4.2.3.)

3.4.2.2.4 Mehrwert durch Kollaborationsplattformen

Die Transparenz entlang der Lieferkette kann von digitalen Kollaborationsplattform profitieren [162]. Der Agrartechnikkonzern Syngenta optimiert beispielsweise Logistikabläufe auf einer Kollaborationsplattform, um die Produktivität zu erhöhen. Gleichzeitig reduziert das System Leerfahrten und CO₂-Emissionen. Der Sportartikelhersteller Puma optimiert Abläufe in der Lieferkette und sammelt Informationen über die Herstellungsbedingungen bei den Zulieferern auf einer Plattform. Das Unternehmen bietet Zulieferern finanzielle Anreize, die bestimmte soziale und ökologische Standards erfüllen.

3.4.2.2.5 Nachhaltigkeitsnachweise für den Endverbraucher

Es existieren zahlreiche nicht-digitale Siegel und Zertifikate für Endverbraucher, die beanspruchen, die Einhaltung ökologischer Standards zu gewährleisten. Die Vielzahl verschiedener Labels mit unterschiedlichen Standards für denselben Sektor erschwert jedoch die Orientierung. So führt z. B. die Plattform Label-online [177] über 200 verschiedene Labels in der Kategorie „Essen und Trinken“ auf. Digitale Anwendungen können hier die Orientierung in der Vielfalt existierender Nachhaltigkeitslabel erleichtern. Dies demonstriert eine App des Naturschutzbundes Deutschland, die anhand eines Handybildes Informationen über die Aussagekraft von Lebensmittelsiegeln zur Verfügung stellt [142].

3.4.2.3 Bitkom e. V. zur Synergie von Digitalisierung und Nachhaltigkeit

Im Rahmen der Datenerhebung für diese Studie hat sich der Bereich Umwelt & Nachhaltigkeit des Branchenverbandes Bitkom bereit erklärt, eine Einschätzung zu den Potenzialen und Risiken der Digitalisierung für unterschiedliche Nachhaltigkeitsziele zu geben. Der Fokus lag dabei auf der Synergie zwischen ökonomischen und ökologischen Mehrwerten. Neben einer Vielzahl unternehmerischer Beispiele, wurden im Gespräch die folgenden für diese Studie relevanten Kernthesen diskutiert:

Digitalisierung und Nachhaltigkeit müssen als tiefgreifende Transformationsprozesse konsequent gesamthaft als „Twin Transition“ betrachtet werden. Nur wenn Digitalisierung als Werkzeug sowohl für ökonomische als auch ökologische und soziale Ziele begriffen wird, kann ein nachhaltiges Wirtschaftswachstum erreicht werden.

Digitale Geschäftsmodelle sind auch aus Sicht des Bitkom generell nicht notwendigerweise ein Treiber für Nachhaltigkeitsziele, aber sie sind bei geeignetem Einsatz häufig Katalysatoren einer verbesserten Nachhaltigkeit. Wie in der voranstehend zitierten Bitkom-Studie „Klimaeffekte der Digitalisierung“ differenziert dargelegt wird, tragen technologische Entwicklungen grundsätzlich entsprechendes Potenzial in sich. Eine Beurteilung des konkreten Anwendungsfalls ist jedoch stets erforderlich.

Besonderen Wert legt der Verband darauf, dass auch energieintensivere Geschäftsmodelle wie der Betrieb von Rechenzentren oder digitalen Plattformen in einer Netto-Betrachtung positive CO₂-Wirkung hat, weil sie durch die Bereitstellung von Rechenkapazität und Plattformfunktionalität eine gegenüber dem Inselbetrieb deutlich effizientere und gleichmäßigere Auslastung sowie eine bedarfsgerechte Skalierung von Ressourcen ermöglichen.

Der Gebäudesektor wird trotz seiner Wesentlichkeit für den ökologischen Fußabdruck in der Diskussion hinsichtlich des Potenzials der Digitalisierung noch nicht adäquat repräsentiert. Wichtig wäre beispielsweise ein durchgehendes digitales Energie- und Wärmemanagement für Gebäude

und öffentliche Einrichtungen, mit dem Nutzer und Gebäudemanager Verbräuche messen, das Nutzungsverhalten optimieren und Emissionen senken können. Solche Dienstleistungen werden kommerziell bereits angeboten (vgl. [395]). Digitale Lösungen sind in einem schnelleren Tempo und mit geringeren Investitionen als die bauliche Veränderung bzw. Renovierung von Gebäuden umzusetzen. Gebäudeautomation muss daher, neben baulichen Maßnahmen (Dämmung, etc.) und der Dekarbonisierung von Energieträgern, die dritte Säule der Energiewende im Gebäudesektor bilden.

Im Sinne der bereits mehrfach thematisierten Notwendigkeit, Nachhaltigkeitskennziffern besser messbar zu machen, sieht der Bitkom Geschäftsmodelle im Fokus, die sich mit dem digitalen Carbon Accounting befassen. Hier wären insbesondere Fördermaßnahmen wünschenswert, die es Anbietern und Anwendern (insb. im KMU Bereich) erleichtern, eine CO₂-Buchhaltung zu etablieren. Beispielhafte Geschäftsmodelle für das Carbon-Accounting haben z.B. die Unternehmen ecotrek, planA und Planetly entwickelt:

- ecotrek [183] liefert Daten zur Nachhaltigkeit von mehr als zwei Millionen Unternehmen und unterstützt Kunden beispielsweise dabei, ihr Lieferantenportfolio nach Nachhaltigkeitsgesichtspunkten zu strukturieren
- planA [184] stellt eine digitale Plattform zur Verfügung, in der Emissionen aus verschiedenen Bereichen der Wertschöpfungskette erfasst werden können und berät Unternehmen bei der Erstellung ihrer CO₂-Bilanz und der Dekarbonisierung
- Planetly [185] bietet Software an, mit der CO₂-Emissionen eines Unternehmens transparent gemacht und ausgeglichen werden können

3.4.2.4 Die NGO-Perspektive auf digitale Nachhaltigkeit - Greenpeace e. V.

Greenpeace fördert mit seiner weltweiten Arbeit nicht nur das gesellschaftliche Bewusstsein für ökologische Nachhaltigkeit und die Setzung entsprechender politischer Agenden, sondern trägt mit eigenen Forschungsarbeiten zu einer verbesserten Datenlage über die ökologischen Wirkungen wirtschaftlicher Strukturen bei. Zusammen mit Greenpeace Deutschland wurden einzelne Ergebnisse dieser Forschungsaktivitäten ausgewählt, die im Kontext dieser Studie von besonderer Relevanz sind und an geeigneter Stelle in die Darstellung integriert (siehe die Abschnitte 3.4.1.1.2 und 3.4.2.1.2). Im Rahmen der Gespräche wurden weitere wichtige Impulse in die Diskussion eingebracht. Diese betreffen bspw. den Nutzen digitaler Technologien für die Schärfung des gesellschaftlichen Diskurses – auch und insbesondere über Nachhaltigkeitsziele und die besonderen Potenziale der Digitalisierung für einzelne Wirtschaftssektoren.

3.4.2.4.1 Gesellschaftliche Aspekte

Die oft diskutierte Förderung digitaler Kompetenzen in Schulen muss nicht nur den gleichberechtigten und damit sozial nachhaltigen Zugang zu entsprechendem Wissen gewährleisten. Digitale Technologien sind vielmehr auch geeignet, Kindern und Jugendlichen einen ihrer Lebensrealität entsprechenden Zugang zum Thema Nachhaltigkeit zu erschließen, indem bspw. der eigene Fußabdruck mit einem digitalen CO₂-Schulrechner [190] messbar wird. Der Fokus muss dabei jedoch auf der pädagogischen Aufbereitung und nicht auf der Anschaffung von Hardware für den digitalen Unterricht liegen [191] [192].

Digitale Instrumente sind darüber hinaus Mittel der Bürgerbeteiligung Willensbekundung und -bildung, wobei Greenpeace sowohl auf entsprechende Erfolge in anderen Staaten – bspw. bei der Bekämpfung der COVID-Pandemie [205] als auch auf international angelegte Studien zu den Herausforderungen der Umsetzung verweist [206].

Eine gesetzgeberische Herausforderung sieht Greenpeace bei der Regulierung digitaler Plattformen und der Durchsetzung von Interoperabilitätsstandards mit Diensten anderer Anbieter (vgl.

[207]). In diesem Kontext sieht Greenpeace eine gesetzlich verankerte Bereitstellungspflicht bestimmter Daten - z. B. im Verkehrs- und Gebäudesektor - als unerlässlich an, damit die öffentliche Hand und andere Akteure diese Daten nutzen können und die Konzentration von Marktmacht, die Bildung von Monopolen und eine ökologisch und ökonomisch nicht nachhaltige Mehrfacherhebung vermieden werden.

3.4.2.4.2 Technologische Aspekte

Greenpeace sieht – siehe dazu auch die Aussagen des Bitkom in 3.4.2.3 – eine grundsätzlich positive ökologische Wirkung durch den Einsatz von Cloud-Computing und digitalen Plattformen, da zentral verwaltete Ressourcen effizienter genutzt werden. Zu beachten ist jedoch, dass ein positiver CO₂-Effekt insbesondere vom Einsatz erneuerbarer Energien und der intelligenteren Weiterverwendung der Abwärme abhängt.

IoT-Technologien tragen zu einer verbesserten Nachvollziehbarkeit der Wertschöpfung bei. Dies betrifft nicht nur die effizientere Nutzung von Produktionsmitteln, sondern auch den Bereich Natur- und Umweltüberwachung, wo IoT-Geräte beispielsweise zur Luftqualitätsmessung [194] oder zur Erkennung illegalen Holzeinschlags [196] genutzt werden.

Methoden der künstlichen Intelligenz sind aus Nachhaltigkeitssicht ambivalent: Aus ökologischer Sicht können entsprechende Konzepte bei guter Datenqualität positive Wirkung haben. Beispiele sind der Einsatz von KI zur Kühlung von Rechenzentren [211], oder die Analyse von Satellitenbildern, um Ölverschmutzungen [195] oder illegalen Fischfang [197] aufzudecken. Problematisch ist jedoch die oft noch mangelhafte Transparenz der Algorithmen, insbesondere bei Nutzung personenbezogener Daten, sowie bzgl. der Basis der Trainingsdaten und der Gewichtung von wirtschaftlichen vs. ökologischen Kriterien (siehe auch die Diskussion zu KI in der sozialen Interaktion 3.4.3.3).

In allen „Big-Data“-Anwendungen wäre aus ökologischer Sicht eine konsequente Umsetzung des Prinzips der Datensparsamkeit wünschenswert, da die indifferente Sammlung möglichst vieler Daten ohne einen ex-ante konkret bezifferbaren oder beschreibbaren Nutzen mit hohem Energie- und Ressourcenverbrauch verbunden ist.

Der Einsatz von Blockchains bzw. Distributed Ledger-Technologien wird kritisch beurteilt, wenn es funktional gleichwertige Technologien mit geringerem Energieverbrauch gibt, die benutzt werden können (siehe hierzu auch die Diskussion zur Ambivalenz dieser Technologie in Abschnitt 3.4.2.2.2).

3.4.2.4.3 Wirtschaftliche Aspekte

Wie auch der Bitkom sieht Greenpeace erhebliches Nachhaltigkeitspotenzial durch Digitalisierung im Gebäudesektor. Dies reicht von der digitalen Beantragung staatlicher Fördermaßnahmen bis hin zum Einsatz von intelligenter Sensorik und Vernetzung von Gebäuden (siehe bspw. das Forschungsprojekt DROPS [199] [200]) und zur Entwicklung digital unterstützter ressourcensparender 3D-Druck-Verfahren im Bausektor [198].

Hingegen wird der Einsatz digitaler Hilfsmittel in der Landwirtschaft - auch unter Verweis auf die Analysen anderer NGOs - ambivalent betrachtet [208] [209]. Positive Beispiele sind der Einsatz von Feldrobotern, um den Bedarf an Herbiziden und Pestiziden zu reduzieren, und moderne Verfahren zur Datenanalyse, um den Anbau zu optimieren oder Krankheiten an Tieren und Pflanzen frühzeitig zu erkennen. Jedoch bestehen Risiken durch die dauerhafte Bindung der Landwirte an einzelne Anbieter digitaler Dienste, Geräte und Daten sowie durch die damit verbundene teilweise Aufgabe der unternehmerischen Eigenständigkeit und die Monopolbildung von Agrarkonzernen. Kritisch beurteilt wird auch der Einsatz von implantierten Sensoren zur Überwachung von Tieren [210] aufgrund der dadurch zum Ausdruck gebrachten Haltung - Tiere werden nicht wie Lebewesen behandelt, sondern wie digitalisierte Produktionsgüter in der Massenproduktion.

Die besondere Bedeutung eines präzisen Verständnisses und einer quantitativen Steuerung der Lieferkette unter ökologischen und sozialen Nachhaltigkeitsaspekten ist auch aus Sicht von Greenpeace ein wichtiger Ansatzpunkt für Digitalisierungsmaßnahmen (Zu Beispielen für einschlägige Geschäftsmodelle siehe Abschnitt 3.4.2.3 und [201], [202] und [204]). Greenpeace sieht hier insbesondere Nachholbedarf für den öffentlichen Sektor, der entsprechende Standards nicht nur erfassen, sondern ihre Einhaltung insbesondere in der eigenen Lieferkette auch durchsetzen muss.

3.4.3 Digitalisierung und soziale Nachhaltigkeit

3.4.3.1 Gesundheitswesen: Telemedizin und digitale Weiterbildung

Im Bereich des Gesundheitswesens kann Digitalisierung in der Ausbildung und in der Patientenbetreuung dabei helfen, einer zunehmenden Patientenzahl, dem Fachkräftemangel und steigenden Kosten zu begegnen.

- Ein prominentes Anwendungsfeld ist die Telemedizin, bei der medizinische Leistungen über räumliche Distanzen hinweg angeboten werden. Dabei kommen z. B. Apps, digitale Beratungsplattformen oder eine Videoberatung zum Einsatz, ohne dass der Patient vor Ort anwesend sein muss. Die Techniker Krankenkasse bietet hierzu bspw. eine digitale Videosprechstunde bei acht Krankheitsbildern an, die die Behandlungskette von der Diagnose über die Verschreibung von Medikamenten bis hin zur Krankschreibung digital abdeckt [170].
- Das Projekt Telemed5000 hat das Ziel, Herzpatienten telemedizinisch zu betreuen [171]. Mit verschiedenen digitalen Technologien soll die Patientenzahl pro Telemedizinzentrum deutlich erhöht werden.
- Im Projekt TwIN-MoVe¹⁵ [172] werden Ärzte untereinander vernetzt und können sich per Videokonferenz beraten. Dadurch profitieren auch ländliche Gesundheitsversorger von der fachlichen Unterstützung einer größeren Einrichtung, wie z. B. einer Universitätsklinik.
- Ein sehr aktuelles Anwendungsbeispiel für Unterstützung medizinischer Einrichtungen durch mobile Apps ist die CovApp [167], die von der Charité Berlin zusammen mit Data4Life entwickelt wurde, um Ärzte und Patienten im Umgang mit der Covid-19-Erkrankung zu unterstützen [168].
- Ein weiteres wichtiges Gebiet, auf dem die Digitalisierung hilft, die personellen Engpässe des Gesundheitswesens zu handhaben ist die digitale Aus- und Weiterbildung: So bietet beispielsweise die StellDirVor GmbH [169] Virtual Reality Lösungen an, um die Aus- und Weiterbildung zu verbessern, das Personal direkt im Beruf zu unterstützen und die Arbeits- und Patientensicherheit zu erhöhen.

3.4.3.2 Arbeitswelt

3.4.3.2.1 Arbeitsunterstützungssysteme

Exoskelette sammeln Bewegungsdaten des Trägers mittels Sensoren und setzen sie in bewegungsunterstützende Befehle an Aktoren um. Die Technologie findet nicht nur in der Rehabilitation Anwendung [174], sondern auch bei der Unterstützung anstrengender körperlicher Tätigkeiten [173].

3.4.3.2.2 Assistenzsysteme zur Unterstützung von Arbeitskräften mit Behinderung

Die Schubs GmbH, ein Hersteller von Schaltanlagen, arbeitet bei der Montage Ihrer Produkte mit paritätischen Einrichtungen zusammen, um auch Menschen mit Behinderung einen Arbeitsplatz

¹⁵ Netzwerk für Tele-Intensivmedizin in Mecklenburg-Vorpommern

anbieten zu können. Hierzu hat das Unternehmen mit dem Industrie-4.0-Zentrum für Niedersachsen und Bremen ein Assistenzsystem [137] [138] [139] entwickelt, das die Beschäftigten visuell anleitet, indem ein Bauplan auf die Montageplatte projiziert wird. Das digitale Unterstützungssystem erkennt auch fehlende oder falsche Komponenten. Durch dieses Konzept werden außerdem dringend benötigte Fachkräfte für andere Aufgaben freigesetzt.

3.4.3.3 Soziale Interaktion und künstliche Intelligenz

3.4.3.3.1 Diskriminierung durch KI

In einem Whitepaper der Plattform Lernende Systeme [140] werden Fälle von ethnischer, geschlechtsspezifischer und sozialer Diskriminierung durch KI diskutiert und ihre Ursachen herausgearbeitet. Diese sind im Wesentlichen eine bereits den Trainingsdaten innewohnende Verzerrung („Bias“) und eine fehlerhafte Anwendung der KI in Domänen, für welche sie nicht vorgesehen ist. Der Bias kommt insbesondere durch bewusst oder unbewusst durch die Trainingsdaten repräsentierten Vorurteile – bspw. gegenüber der Kriminalität ethnischer Minderheiten – zum Ausdruck.

3.4.3.3.2 Echokammern in sozialen Netzwerken

Der Einfluss digitaler Geschäftsmodelle auf die Gesellschaft kann anhand der Interaktion in sozialen Netzwerken diskutiert werden [118]. Die Plattformen protokollieren die Aktivitäten ihrer Nutzer, z. B. welche Beiträge sie kommentieren oder welche Nachrichten sie konsumieren. Die gesammelten Daten werden mittels künstlicher Intelligenz analysiert und dazu verwendet, den Nutzern passende Werbung und Beiträge zu zeigen. Dies führt im Extremfall zu einer „Echokammer“, in der nur noch kompatible Meinungen geäußert und teilweise gezielt durch Falschmeldungen verstärkt werden [180] [181].

3.4.3.3.3 Überwachungssysteme im Arbeitsalltag

In den USA wird teilweise bereits KI-gestützte Überwachungssoftware zur Mitarbeiteranalyse, auch als „People Analytics“ bezeichnet, eingesetzt [179]. Personalverantwortliche und Manager erhoffen sich davon, Mitarbeiter besser einschätzen und allgemein bessere Entscheidungen treffen zu können. So setzt Amazon bspw. ein KI-gestütztes Kamerasystem in manchen seiner Lieferwägen ein, um die Sicherheit in kritischen Fahrsituationen zu erhöhen [178]. Dabei werden jedoch die Zusteller an ihrem Arbeitsplatz überwacht und erhalten Lohnabzug bei Fahrfehlern.

3.4.3.4 Amnesty International – Menschenrechte im digitalen Zeitalter

Die Menschenrechtsorganisation Amnesty International recherchiert und publiziert regelmäßig zur Wirkung digitaler Technologien auf Freiheits- und Menschenrechte. Dabei spielen die Themen Überwachung, Freiheit der Meinungsäußerung und Verantwortung für die Lieferkette eine zentrale Rolle. Amnesty verbindet dabei die Ergebnisse der eigenen Arbeit mit konkreten Anforderungen an die gesetzgebenden Organe und die maßgeblichen digitalen Akteure.

Die Allgegenwärtigkeit von Möglichkeiten zur Datenerhebung im öffentlichen Raum wird oft mit der (subjektiven) Zunahme an Sicherheit und der Erleichterung der Strafverfolgung begründet. Dabei spielen naturgemäß staatliche Akteure die Hauptrolle. Um der naheliegenden Möglichkeit der indifferenten und lückenlosen Überwachung entgegenzuwirken, fordert Amnesty ein Verbot der automatisierten Gesichtserkennung für die öffentliche Überwachung [132] und Exportkontrollen für entsprechende Technologien [219]. In diesem Zusammenhang wird auch auf die Ergebnisse der Recherche zur Funktion und zum Einsatz der Überwachungssoftware Pegasus verwiesen [217], die auch für die Überwachung von Journalisten und Politikern genutzt wurde.

Social-Media-Plattformen werden im Hinblick auf die Freiheit der Meinungsäußerung differenziert bewertet: In Staaten mit mangelhaft entwickelter oder staatlich kontrollierter Kommunikationsinfrastruktur sind sie oft der stabilste Kanal zum Austausch zwischen Menschen und zur Organisation von zivilgesellschaftlichem Engagement oder Widerstand gegen staatliche Willkür. Aufgrund ihrer zentralen Stellung und großen Reichweite, nutzen autoritäre Staaten sie jedoch auch zur Verfolgung freier Meinungsäußerung und als „Jagdrevier für Zensoren, Cyber-Truppen des Militärs und Trolle mit staatlichem Auftrag“ [218]. Auch in stabilen Demokratien und auch ohne die Einmischung staatlicher Akteure bergen die Macht der Plattformen und ihr umfassendes Wissen über die Lebensumstände ihrer Nutzer großes Missbrauchspotenzial [248], beispielsweise durch die gezielte und beschleunigte Verbreitung von Falschmeldungen in „Echokammern“ des Internets (siehe auch Abschnitt 3.4.3.3.2) und durch die algorithmische Selektion von Werbeangeboten. Zu den zentralen Forderungen von Amnesty International gehören hier gesetzliche Regelungen, die die Plattformen zwingen, den Zugang zu ihren Diensten nicht mehr grundsätzlich an die Zustimmung zur Sammlung und Auswertung persönlicher Daten zu koppeln und die die Interoperabilität im Sinne des Wechsels auf eine andere Plattform ermöglichen. Außerdem soll die Zustimmung zur Datennutzung künftig nicht mehr standardmäßig voreingestellt werden (Opt-Out-Modell), sondern in Form eines expliziten Opt-In von den Nutzerinnen und Nutzern eingeholt werden.

Das bereits mehrfach diskutierte Thema der Lieferkettenüberwachung erfährt von gesetzgeberischer Seite durch das Lieferkettengesetz eine deutliche Aufwertung. Amnesty International begrüßt das Gesetz grundsätzlich, kritisiert jedoch, dass zu wenige Unternehmen betroffen sind, dass im Wesentlichen nur direkte Zulieferer im Fokus stehen, während der vorgelagerte Teil der Wertschöpfungskette unbeachtet bleibt und dass die zivilrechtliche Haftung bei Verstößen nicht geregelt ist [216].

3.4.4 Ökonomische Aspekte

3.4.4.1 Begriffliche Abgrenzung

Auch Nachhaltigkeitsziele, die in ihrer Formulierung ex ante eine stärkere Betonung ökonomischer Aspekte nahelegen, werden bei näherer Betrachtung meist hinsichtlich ihrer Wirkung auf das soziale Gefüge entlang der Wertschöpfungskette oder hinsichtlich der ökologischen Folgen wirtschaftlichen Handelns definiert und gemessen. So wird bspw. das SDG 12 [242] („Ensure sustainable consumption and production patterns“) hinsichtlich seiner Ziele hauptsächlich in ökologische und soziale Faktoren differenziert. Aspekte, die nicht originär auf diese beiden Themen abstellen, befassen sich entweder mit Regulierung bzw. Regierungshandeln oder der Setzung internationaler politischer Rahmenbedingungen und stehen weniger im Fokus privatwirtschaftlicher Akteure. (Siehe bspw. Ziel 12.a: „Support developing countries to strengthen their scientific and technological capacity to move towards more sustainable patterns of consumption and production“ und einige der Ziele des SDG 8: „Promote sustained, inclusive and sustainable economic growth, full and productive employment and decent work for all“).

Die von uns interviewten NGOs (Siehe 3.4.2.4 und 3.4.3.4) formulieren die Ziele ihrer Arbeit ebenfalls in sozialen und ökologischen Nachhaltigkeitsbegriffen und schärfen in Politik und Gesellschaft das Bewusstsein für die Konsequenzen wirtschaftlicher Strukturen und Geschäftsmodelle für ebendiese. Auch in der Auswertung der gesichteten Literatur ergeben sich nur wenige dediziert ökonomische Aspekte, die hinsichtlich der Entwicklung oder Beurteilung von Geschäftsmodellen losgelöst von sozialen oder ökologischen Zielen sinnvoll untersucht werden könnten. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der digitalen Unterstützung von Governanceprozessen.

3.4.4.2 Digitale Governance

Während das SDG 16 (*“Promote peaceful and inclusive societies for sustainable development, provide access to justice for all and build effective, accountable and inclusive institutions at all levels”*) sehr grundsätzliche Forderungen an Regierungen und Justizsysteme formuliert, eignen sich einzelne Aspekte durchaus für die Unterstützung durch digitale Maßnahmen. So könnten die Ziele 16.4 (*“By 2030, significantly reduce illicit financial and arms flows, strengthen the recovery and return of stolen assets and combat all forms of organized crime”*) und 16.5 (*“Substantially reduce corruption and bribery in all their forms”*) beispielsweise durch eine konsequente digitale Überwachung von Geldströmen zur Vermeidung von Geldwäsche gefördert werden. Jedoch ist hier privatwirtschaftliche Initiative ohne staatliches Engagement nicht ausreichend, da nicht nur die in vielen Ländern fehlenden Strukturen „guter Regierungsführung“ vorhanden sein müssen, sondern sowohl technische als auch insbesondere rechtliche Aspekte zu berücksichtigen sind, um markt-reife Geschäftsmodelle zu entwickeln. Im vom BMBF geförderten Projekt EuroDaT [244] entsteht beispielsweise in den kommenden Jahren eine Datentreuhänderstruktur für Finanzdaten gemäß dem Data Governance Act [245] der EU, die auf der GAIA-X Infrastruktur aufbauen wird. Einer der Anwendungsfälle, die das Konsortium für die Implementierung vorsieht, ist die Analyse von Geldströmen über mehrere Finanzinstitute hinweg, um verdächtige Transaktionen zu identifizieren, die auf Geldwäsche hindeuten. Dabei wird einer der Tätigkeitsschwerpunkte die datenschutzkonforme Ausgestaltung der Beziehungen zwischen Datengeber und Treuhänder sein.

Andere Aspekte wie bspw. das Ziel 16.9 (*“By 2030, provide legal identity for all, including birth registration”*) eignen sich aufgrund der Sensibilität der zu verwaltenden Daten und der oft mangelhaft entwickelten (nicht nur digitalen) Infrastruktur in Entwicklungsländern grundsätzlich nur unter entsprechenden Vorsichtsmaßnahmen für digitale Geschäftsmodelle in privater Hand. In diesem Zusammenhang sind sogenannte *Selbstbestimmte Identitäten* (Self-Sovereign Identities - SSIs) zu erwähnen, welche Individuen die eigenbestimmte Schaffung und Verwaltung einer digitalen Identität ermöglichen, ohne auf eine zentrale Instanz oder Behörde angewiesen zu sein, der die Hoheit über die Ausstellung entsprechender Dokumente vorbehalten ist. Die Blockchain-Technologie kommt dabei als eine mögliche technische Basis für SSI-Anwendungen in Betracht, die auf der Verifikation von Bestandteilen oder Eigenschaften einer Identität gegenüber Akteuren mit berechtigtem Interesse beruhen. Für eine thematische Einführung und eine kritische Betrachtung der Herausforderungen auf technischer, rechtlicher und Governance-Ebene – auch im Hinblick auf den Einsatz der Blockchain (vgl. [380]).

Es existieren bereits kommerzielle Anbieter für SSI-Dienste [385], die explizit auf die UN-Nachhaltigkeitsziele Bezug nehmen. Die Technologische Umsetzung weiterer Geschäftsmodelle wird in Deutschland außerdem vom Bundeswirtschaftsministerium gefördert [383]. Die EU regelt den Einsatz elektronischer Identifizierungsdienste mit der eIDAS-Verordnung [381] und schafft das damit konforme European Self-Sovereign Identity Framework (ESSIF), welches wiederum auf dem European Blockchain Service Infrastructure (EBSI) basiert [386] [387] [388]. Ein Beispiel für den Einsatz von SSI in Entwicklungsländern findet sich in Äthiopien, wo eine Zusammenarbeit von staatlichen und privatwirtschaftlichen Akteuren ins Leben gerufen wurde, um elektronische Identitäten für Lernende und Lehrende erstellen und bspw. schulische Leistungen zu verifizieren [382].

3.4.4.3 Digitale Währungen als Mittel finanzieller Inklusion?

Krypto-Währungen liegt meistens eine Blockchain oder eine davon abgeleitete Technologie zugrunde. Im Sinne wirtschaftlicher Nachhaltigkeit wird diesen Währungen oft zugebilligt, dass sie in Ländern mit instabiler politischer Situation und hoher Inflation eine Ausweichmöglichkeit für Transaktionen des täglichen Bedarfs sind, da sie unzuverlässige staatliche Akteure und Finanzintermediäre ausschalten. Im volkswirtschaftlichen Sinne sind Systeme wie Bitcoin oder Ether jedoch aus

mehreren Gründen problematisch [246]: Anders als digitales Zentralbankgeld entziehen sich staatlicher Kontrolle und finanzieller Regulierung auch dort, wo diese Akteure ihre Funktion korrekt ausüben und stabilisierend wirken und sind enormen Wertschwankungen unterworfen. Auch sogenannte Stable-Coins die in ihrem Wert an eine nationale Währung gekoppelt sind, stehen hinsichtlich ihrer Werthaltigkeit unter kritischer Beobachtung durch Märkte und Aufsicht [378] [379]. Zudem sind sie hinsichtlich ihrer Eignung als Zahlungsmittel für tägliche Bedarfsgüter stark eingeschränkt, da sie keineswegs überall als akzeptiert werden. Ein groß angelegter Versuch des U.S. Unternehmens Meta (ehemals Facebook), mit dem Libra-Projekt (inzwischen umbenannt in „Diem“) eine an stabile Referenzwährungen gekoppelte digitale Währungen zu schaffen, um bspw. die „finanzielle Inklusion“ in Entwicklungsländern zu fördern, scheiterte nicht zuletzt an den Bedenken und am Widerstand internationaler Finanzaufsichtsbehörden hinsichtlich der destabilisierenden Wirkung für das Weltfinanzsystem.

3.4.4.4 Nachhaltiger Wettbewerb durch faire Bedingungen

Im Kontext der ökonomischen Nachhaltigkeit wird häufig auf das UN SDG 9 recurriert. Hier stehen neben der Wechselwirkung mit den voranstehend diskutierten ökologischen und sozialen Aspekten insbesondere Themen im Fokus, die auf eine resiliente volkswirtschaftliche Gesamtstruktur, eine innovationsorientierte Infrastruktur- und Förderpolitik und einen fairen Markt- und Finanzierungszugang für kleinere und mittlere Unternehmen abstellen. (Siehe dazu beispielsweise [222])

Die Digital SME Alliance – eine Vereinigung kleiner und mittlerer Unternehmen im europäischen ITK-Sektor fordert in einem Positionspapier eine Reihe politischer Weichenstellungen [153], um die Digitalisierung nachhaltig auszugestalten. Obwohl auch ökologische Aspekte aufgegriffen werden, sind die Forderungen der SME Alliance nach politischer Flankierung wesentlich darauf ausgelegt, die Position kleiner Unternehmen gegenüber dominanten Marktteilnehmern zu stärken und daher grundsätzlich dem Aspekt der ökonomischen Nachhaltigkeit zuzuordnen.

- Zu den Forderungen gehören die Förderung *langfristig tragfähiger maßgeschneiderter Lösungen* anstelle digitaler Standardprodukte, der beruflichen *Weiterbildung* auf breiter Front, sowie *offener Standards* bei Hard- und Softwareprodukten.
- Außerdem wird angemahnt, *Wettbewerbsgleichheit* (Level Playing Field) sicherzustellen, Praktiken zur Beschränkung des Wettbewerbs sowie steuerliche Ungleichbehandlung zu beenden, die *Marktmacht großer Plattformbetreiber* zu begrenzen und *Interoperabilität* mit den Angeboten anderer Anbieter zu fordern.
- Verlangt wird auch ein verbindliches rechtliches Rahmenwerk zur *Sicherheit von drahtlosen Kommunikationstechnologien* und die Erleichterung des *Zugangs von digitalen KMUs zu Kundendaten*, die von Plattformanbietern zurückgehalten werden.
- Unter ökologischen Gesichtspunkten wird die Setzung eines Rahmens für einen *funktionsfähigen Aftersales-Markt* für ITK-Produkte gefordert, der *neuen Unternehmen den Markteintritt* ermöglicht, durch eine *Verlängerung des Lebenszyklus* digitaler Produkte zu geringeren Kosten und einem reduzierten ökologischen Footprint führt und Geschäftsmodelle stärkt, in welchen *wirtschaftliche Kreisläufe* ex-ante angelegt sind. Eine weitere Forderung ist ein verbesserter Zugang zu technischen Informationen und Gerätedaten für ITK-Geräte für Unternehmen, die Reparaturen anbieten wollen.

3.5 Schlussfolgerungen

3.5.1 Potenziale der Digitalisierung

Während *Nachhaltigkeit* ein gesamtgesellschaftliches Ziel beschreibt, ist *Digitalisierung* aus unternehmerischer Sicht ein Werkzeug zur Erreichung verschiedenster, nicht notwendigerweise nach-

haltiger Unternehmensziele. Digitale Geschäftsmodelle sind daher – ebenso wenig wie eine einzelne Technologie – nicht per se nachhaltig. Jedoch können *wirtschaftliche Synergien*, *gesetzliche Anforderungen* und *gesellschaftliche Entwicklungen* den nachhaltigen Einsatz konkreter Technologien und die nachhaltige Ausgestaltung von Geschäftsmodellen fördern.

Potenziale für verbesserte Nachhaltigkeit ergeben sich aus der Schaffung und Nutzung einer verlässlichen Datenbasis entlang der Wertschöpfungskette, die folgenden Zielen dient:

- Steigerung der Effizienz, bei gleichzeitiger Ressourceneinsparung und Vermeidung von Rebound-Effekten
- Stärkung der Resilienz gegen Krisen, Verbesserung von Arbeitsbedingungen und vorausschauende Personalentwicklung
- Präzises Verständnis sozialer und ökologischer Wirkung der Wertschöpfungs- und Lieferkette und Katalyse entsprechender Verbesserungen
- Nachweis von Nachhaltigkeitszielen gegenüber Kunden, Regulatoren und Anlegern

In der Zusammenschau der ausgewerteten Quellen ergibt sich vor allem hinsichtlich der Synergie von Digitalisierung und Nachhaltigkeitsaspekten folgendes Bild:

- Physikalisch gut beschreibbare und zumindest grundsätzlich messbare Größen wie Ressourcenverbrauch und CO₂-Bilanz sind oft Gegenstand digital unterstützter Nachhaltigkeitsmaßnahmen und digitaler Geschäftsmodelle. Der Schwerpunkt liegt hier meist auf der Betrachtung ökologischer Aspekte.
- Soziale Nachhaltigkeit wird keineswegs geringer eingeschätzt, jedoch spielen digitale Hilfsmittel bei der Messbarkeit entsprechender Kennzahlen aufgrund der notwendigerweise komplexeren und langfristigen Betrachtung nicht die gleiche Rolle wie bei ökologischen Aspekten.
- Für die ökonomische Nachhaltigkeit im Sinne eines fairen Marktzugangs und einer souveränen und innovationsfreundlichen Europäischen Wirtschaft spielt Digitalisierung einerseits als Werkzeug und Voraussetzung digitaler Geschäftsmodelle eine positive Rolle, andererseits muss ein fairer Markt mit mächtigen digitalen Akteuren adäquat reguliert werden.

3.5.2 Technologie als Katalysator für nachhaltige Geschäftsmodelle

Moderne digitale Technologien können bei geeigneter Ausgestaltung einen Beitrag zur Datenerhebung und Quantifizierung aller Nachhaltigkeitsziele leisten:

- **IoT / Big-Data und moderne Netztechnologien** ermöglichen die Sammlung und Bereitstellung großer Mengen hochqualitativer Daten zur Beschreibung von Wertschöpfungsprozessen, Lieferketten und Wirkungszusammenhängen.
- Die Infrastruktur zur Sammlung und Auswertung von Daten muss aufgrund ihres eigenen ökologischen Footprints effizient genutzt werden. **Plattformanbieter** spielen eine Katalysatorrolle, sofern sie ihre Infrastruktur ökologisch neutral betreiben.
- **Künstliche Intelligenz und moderne Verfahren der Datenanalyse** ermöglichen die Beschreibung und das Verständnis der Wertschöpfung. Ihr Einsatz zur Analyse personenbezogener Daten muss jedoch stets kritisch hinterfragt werden.
- **Die Blockchain- und Distributed-Ledger-Technologien** können überall dort eine Rolle spielen, wo ein algorithmisch gesteuerter Austausch von Daten, Rechten und Werten und ein lückenloser Nachweis über deren Herkunft und Güte notwendig ist. Ihre Wirkung auf Nachhaltigkeitsziele ist jedoch weiterhin nicht gesichert und Gegenstand der Forschung.

3.5.3 Bewertungsmaßstäbe für die Nachhaltigkeitswirkung

Die Digitalisierung stiftet umso direkteren Mehrwert, wenn das Verständnis für unternehmerische Prozesse auf der schnellen, zuverlässigen und häufigen Messung objektivierbarer Größen fußt.

Maßzahlen für ökologische Nachhaltigkeit sind grundsätzlich gut geeignet, da die Umweltwirkungen, auf deren Beeinflussung sie abstellen, seit langem und mit immer besserer Präzision erhoben werden. Besonders geeignet für die Überführung in ein **quantitatives Kennzahlensystem** sind daher:

- Verbrauchsdaten (Energie, Material) und Recyclingquoten (Rohstoffe)
- Nutzungs- und Ausbringungsdaten (Land und Düngemittel)
- Emissionsdaten (CO₂e, Schadstoffe, Lärm)

Deren konkrete Messung wird in langen Wertschöpfungsketten erschwert durch:

- eine unbefriedigende Datenlage über den Ressourcenverbrauch
- eine unzureichende „Allokation“ des Fußabdrucks auf einzelne Teile der Kette
- und hohe Aufwände für die Modellierung, die insbesondere kleine Unternehmen überfordern

Von besonderer Bedeutung ist die Messung von *Rebound-Effekten*, da kein allgemein gültiger Ansatz zu deren präziser Quantifizierung existiert. Bei der Berechnung oder Abschätzung von Nachhaltigkeitswirkungen müssen daher notwendigerweise auch ungünstige Szenarien in Betracht gezogen und optimistische Annahmen plausibilisiert werden.

Schwerer und weniger exakt zu quantifizieren sind Nachhaltigkeitsdaten gesellschaftlicher, sozialer und politischer Natur. Es ist dennoch möglich, „KPIs“ für entsprechende Nachhaltigkeitsziele zu definieren – in Frage kommen hier:

- Engagement für Transparenz oder politisches Eintreten für nachhaltige Rahmenbedingungen (Advocacy)
- Einfach und regelmäßig zu erhebende betriebliche Kennzahlen zur Ausbildungsquote und Diversität, der Anteil älterer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter an der Belegschaft, sowie der Rückgang alters- oder belastungsbedingter Unfall- und Krankheitszahlen durch digitale Unterstützungssysteme
- Daten über Gleichberechtigung, soziale Teilhabe, Gesundheit und Partizipation an Bildung in den Ländern der Lieferkette

Jedoch ist die *digitale Automatisierung* von deren Erhebung in weiten Teilen nur eingeschränkt und mit sehr viel längeren Messzyklen möglich und die Daten sind mit größeren Unsicherheiten verbunden. Ein sinnvolles Kennzahlensystem integriert daher auch **ordinale Werte bzw. Rankings** für „weiche“ Faktoren.

3.5.4 Digitalisierung schafft Transparenz

Die Beurteilung der Nachhaltigkeitswirkung *nicht nur digitaler, sondern grundsätzlich aller Geschäftsmodelle* erfordert ein möglichst vollständiges, idealerweise quantitatives Verständnis der Prozesse entlang der Wertschöpfung und des Produktlebenszyklus. Je länger und komplexer Produktionsnetze und Wertschöpfungsketten sind, desto wichtiger ist es, dass nicht nur die unternehmensinterne Wertschöpfung berücksichtigt wird, sondern auch die vor- und nachgelagerten Teile.

Die Beurteilung digitaler Geschäftsmodelle muss daher nicht nur berücksichtigen, ob sie zu einer messbaren Verbesserung quantitativer oder ordinaler Nachhaltigkeits-KPIs beitragen, sondern auch, ob Digitalisierungsmaßnahmen ein verbessertes quantitatives Verständnis von Nachhaltigkeitsmehrwerten und Rebound-Effekten überhaupt erst ermöglichen.

4. Indikatoren zur Bewertung von Nachhaltigkeit im Rahmen digitaler Geschäftsmodelle

4.1 Einführung eines Analyserahmens

Der im Folgenden vorgeschlagene Analyserahmen soll es ermöglichen, allgemeine Geschäftsmodelle mit digitalen Merkmalen (DGM) in den Netzsektoren unter Nachhaltigkeitsaspekten zu bewerten. Grundlage des Analyserahmens sind zu Gruppen (Säulen) zusammengefasste Indikatoren, die je Säule einen bestimmten Nachhaltigkeitsaspekt thematisieren. Als Basis zur Spezifizierung der Säulen dient der in Kapitel 4 beschriebene heute gängige Umfang des Nachhaltigkeitsbegriffs. Es werden hierbei ebenso die SDGs der Agenda 2030 herangezogen, wie auch die Forderungen des Pariser Klimaabkommens. Zusätzlich werden Ergebnisse aus Kapitel 3 berücksichtigt, in dem die Chancen und Potenziale von DGM thematisiert wurden.

In Bezug auf die Bewertungssystematik wird ein einheitliches Vorgehen gewählt. Ziel ist es hierbei eine individuelle Bewertung einzelner DGM verfügbar zu machen und gleichzeitig eine systematische Vergleichbarkeit zu ermöglichen. Es wird also ein einheitlicher Rahmen und die Struktur für eine spätere Bewertung allgemeiner DGM abgeleitet. Auf diese Art sollen auch zukünftige digitale Geschäftsmodelle unter den berücksichtigten Nachhaltigkeitsaspekten fundiert und anschaulich bewertbar sein.

Der Analyserahmen unterscheidet vier Säulen, die jeweils einen eigenen Nachhaltigkeitsaspekt bewerten:

Chancen & Potenziale	Einzelwirtschaftliche Nachhaltigkeit bzw. wirtschaftliche Nachhaltigkeit aus Unternehmenssicht
Ökonomische Nachhaltigkeit	Gesamtwirtschaftliche Nachhaltigkeit bzw. aus Unternehmenssicht externe ökonomische Aspekte
Ökologische Nachhaltigkeit	Schutz der Umwelt und Einflüsse auf Ökosysteme
Soziale Nachhaltigkeit	Einflüsse auf Gesellschaft bzw. gesellschaftliche Entwicklungen und allgemeine soziale Aspekte

Tabelle 5: Säulen der Bewertung digitaler Geschäftsmodelle.

Je Säule werden fünf Indikatoren vorgeschlagen, die die inhaltliche Bandbreite der betreffenden Säule abdecken und deren Bewertungen ordinal-skaliert sind. Es ist aufgrund der Skalierung also möglich, eine qualitative Reihung in der Bewertung vorzunehmen, auch wenn (Teil)Aspekte der Indikatoren möglicherweise nicht in jedem betrachteten Szenario nominal quantifizierbar sind. Die gewählten Indikatoren werden im weiteren Verlauf des Kapitels vorgestellt.

Anschließend wird zum einen ein Gesamtscore je Säule ermittelt, der eine Vergleichbarkeit der Bewertung je Säule zwischen unterschiedlichen DGM ermöglicht und zusätzlich können über eine Visualisierung bspw. als „Spider-Web“ die Bewertungsskalen veranschaulicht werden. Dies ermöglicht es, alle Rangordnungen der Bewertungsskalen auf einen Blick zu erfassen. Letztlich ist es möglich, Säulen und Indikatoren variabel mit unterschiedlichen Gewichtungen je Bewertungslauf auszustatten, wodurch eine Sensitivitätsanalyse der zugrundeliegenden Bewertungsannahmen ermöglicht wird.

4.1.1 Abgrenzung der vier Säulen

Die thematische Abgrenzung der vier Säulen folgt zunächst den drei in Kapitel 4 herausgearbeiteten Kernaspekten Ökonomie, Ökologie und Soziales, unter Einbezug der Entwicklung des Begriffs Nachhaltigkeit in Gesellschaft, Politik und Wirtschaft.

Ganz entscheidend für den Erfolg, auch bzgl. Nachhaltigkeit eines DGM, das per Definition einen innovativen digitalen Ansatz verfolgt, ist die Realisierung der inhärenten Möglichkeiten und des Leistungsvermögens in der Praxis. Unter diesem Gesichtspunkt gehört zu einem DGM auch immer eine Einschätzung zukünftiger systematischer Nutzbarmachung und möglicher Durchdringung.

Dieser Aspekt wird über eine separate Säule „Chancen und Potenziale“ abgebildet, wobei die in Kapitel 5 herausgearbeiteten Chancen und Potenziale unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit die Grundlage bilden.

Säule „Chancen und Potenziale“

Unter diesem Aspekt wird neben der eingangs beschriebenen Zukunftsfähigkeit die einzelwirtschaftliche Nachhaltigkeit verstanden. Es sind in dieser Kategorie Eigenschaften oder Kennzeichen zusammengefasst, die die unternehmerische Aktivität zur Entwicklung des DGM direkt betreffen. Gemeint ist aus einer Bewertungsperspektive also auch die direkte wirtschaftliche Profitabilität als Grundvoraussetzung im Sinne des betriebswirtschaftlichen Erfolgs. Nur wenn dies gegeben ist, kann sich das DGM (ohne Anwendung ordnungspolitischer Maßnahmen) längerfristig am Markt etablieren. Es werden demnach ganz wesentlich auch unternehmensbezogene Erfolgsfaktoren berücksichtigt. Aus Sicht der Säulen zu den Kernaspekten der Nachhaltigkeit (Ökonomie, Ökologie, Soziales) sind Abhängigkeiten und Wechselwirkungen mit den Faktoren unter dieser Säule möglich.

Säule „Ökonomische Nachhaltigkeit“ (Wirtschaft)

Ergänzend zur einzelwirtschaftlichen Betrachtung der Säule „Chancen und Potenziale“ wird unter dieser Säule auf die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen (volkswirtschaftlicher Einfluss) abgezielt. Gemeint sind (unternehmens-) externe ökonomische Aspekte, welche die Gesamtwirtschaft betreffen, jedoch unabhängig vom konkreten das DGM entwickelnde Unternehmen sind. Es handelt sich hierbei bspw. um gesamtwirtschaftliche Wertschöpfungseffekte, mögliche Auswirkungen eines erfolgreich etablierten DGMs auf den Arbeitsmarkt, den lokalen Wirtschaftsraum und den Wettbewerb. In diesem Sinne sind auch Effekte auf die DGM-Konkurrenz, notwendige Zulieferer, sowie Dienstleister und die Arbeitnehmerschaft inbegriffen.

Säule „Ökologische Nachhaltigkeit“ (Umwelt)

Betrachtet werden unter dieser Säule Aspekte in Bezug auf Ökosysteme und Umweltverschmutzung. Letzteres beinhaltet zum einen Treibhausgasemissionen und zum anderen nicht wiederverwertete Materialien. Der Verbrauch an eingeleiteter Energie und initial benötigter Ressourcen ist ein weiterer Punkt, der Berücksichtigung findet. Unterschieden werden kann zwischen direkten und indirekten Effekten sowie lokaler und globaler Verschmutzung. Verbrauch und Ausstoß von Material wird durch den Aspekt Kreislaufwirtschaft vervollständigt. In dieser Säule sind Aspekte zusammengefasst, mit denen sich auch die EU-Taxonomie und der Klimaschutz befasst.

Säule „Soziale Nachhaltigkeit“ (Soziales)

Neben den wirtschaftlichen und umweltbezogenen Auswirkungen des DGM spielen Auswirkungen auf die Gesellschaft eine ebenso wesentliche Rolle. Die Säule Soziale Nachhaltigkeit eines DGM betrachtet insbesondere Verbesserungen/Veränderungen sozioökonomischer und geographischer Ungleichheiten der Gesellschaft. Es werden zum einen Effekte auf Entwicklungen der Siedlungs-

und Infrastrukturanbindungen beleuchtet und zum anderen auch Auswirkungen auf Chancengleichheit und Angleichungen zwischen gesellschaftlichen Schichten thematisiert. Zusätzlich sind gesellschaftlich relevante Themen der Digitalisierung (bspw. Datenschutz, Kriminalität, Bildung) abgedeckt, sowie Veränderungen insbesondere in Bezug auf Konsumverhalten.

4.1.2 Indikatoren

Wie bereits beschrieben, werden je Säule fünf Indikatoren ausgewählt, die geeignet sind, die relevanten Aspekte adäquat abzubilden. Die Anzahl der Indikatoren ist so gewählt, dass die Abbildung der Säule sachgerecht erfolgen kann und der Fokus gleichzeitig auf den Kernaspekten der Säulen bleibt.

Bei der Auswahl und Formulierung der Indikatoren werden zum einen die Sustainable Development Goals (SDGs) der Agenda 2030 als allgemein anerkanntes Wertesystem sowie des Paris Agreement bemüht. Auf Seite der unternehmensbezogenen Standards werden stellvertretend die Standards der Global Reporting Initiative (GRI) verwendet. Bei der inhaltlichen Ausarbeitung der Indikatoren werden diesen u.U. mehrere passende GRI-Indikatoren zugeordnet. Es handelt sich hierbei um keine 1-zu-1-Zuordnung, sondern es fließen mehrere Indikatoren in die Bewertung ein. Dadurch soll ein Fundament geschaffen werden, das dauerhaft den Blick auf die relevanten Aspekte im Sinne der Agenda 2030 und des Paris Agreement bewahrt und im späteren Verlauf auch ermöglicht, eine konkrete Bewertung von praktischen Umsetzungen des DGMs abseits bloßer Fallstudien vorzunehmen.

Es liegt in der Natur innovativer DGM und der angestrebten Einschätzung von Nachhaltigkeit selbst, dass Indikatoren möglicherweise nicht direkt messbar sind. Die GRI-Standards werden bei der Einschätzung der Nachhaltigkeit eines DGMs nicht immer verfügbar sein (oder zumindest nicht in ausreichender Menge, um eine aussagekräftige Stichprobe zu einem konkreten DGM zu erhalten), so dass es daher häufig einer nominal quantifizierbaren (zusätzlichen) Expertenschätzung bedarf. Die Wahl der Skala und der möglichen Ausprägung je Indikator soll diesem Sachverhalt Rechnung tragen.

4.1.3 Skalen

In Anlehnung an die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie [57] gibt es pro Indikator vier qualitative Ausprägungen. Die Anzahl Ausprägungen ist gerade gewählt, damit keine Möglichkeit besteht lediglich immer die mittlere Ausprägung zu verwenden. Der Bewertung soll bezogen auf die Ausprägungen eine Tendenz gegeben werden.

Da die eigentliche Indikatorenbewertung wie bereits beschrieben nur teilweise auf nominal auswertbaren Teilen oder Kennzahlen basieren kann und notwendigerweise subjektive Expertenschätzungen ebenfalls Teil der Bewertung sind, handelt es sich um eine ordinal-skalierte Darstellung. Es wird demnach eine eindeutige Reihenfolge ermöglicht, die aber aufgrund der mangelnden Quantifizierbarkeit keine vergleichbaren Abstände zwischen den Ausprägungen erlaubt.

Die ordinale Skalierung bedingt zusätzlich, dass vier Ausprägungen adäquat einzuschätzen sind. Lediglich zwei Ausprägungen wären nicht angemessen, da sich eine daraus resultierende Bewertung auf „positiv“ oder „negativ“ reduzieren würde und dies insbesondere den Potenzialen der DGM nicht gerecht würde. Mehr als vier Ausprägungen hingegen würde eine Genauigkeit in der Bewertung suggerieren, die objektiv nicht vorliegen kann.

Die Ausprägungen der einzelnen Stufen bewerten den Erfüllungsgrad unter Nachhaltigkeitsaspekten als (sehr) vorteilhafte Einschätzung (Wert +1 bzw. +2) über einen neutralen Effekt (Wert 0) hin zu einer schädlichen Wirkung (Wert -1).

Stufe	Ausprägung	Wert
1	Erfüllungsgrad unter Nachhaltigkeitsaspekten sehr positiv	+2
2	Erfüllungsgrad unter Nachhaltigkeitsaspekten positiv	+1
3	Erfüllungsgrad unter Nachhaltigkeitsaspekten neutral	0
4	Erfüllungsgrad unter Nachhaltigkeitsaspekten negativ	-1

Tabelle 6: Ausprägungen der Indikatoren.

4.1.4 Berechnung eines Gesamt-Scores und Visualisierungen

Für die Zusammenfassung der Indikatorenergebnisse je Säule kann zunächst ein Säulenscore ermittelt werden. Es ergibt sich hieraus bei fünf Indikatoren eine Spannweite von -5 bis +10. Die Säulen Ökonomie, Ökologie und Soziales werden anschließend zu einem übergreifenden Nachhaltigkeitscore kombiniert. Die abschließende Bewertung des DGMs kann entlang der beiden Dimensionen „Chancen und Potenziale“ und „Nachhaltigkeit“ vorgenommen werden.

Zur Ermittlung des Säulenscores werden die Werte je Indikator gleichgewichtet. Die drei Säulen „Ökonomie“, „Ökologie“ und „Soziales“ gehen ebenfalls gleichgewichtet in den Nachhaltigkeitscore ein. Mittels zusätzlicher Sensitivitätsanalysen, bei denen die Gewichtung variiert werden kann, lässt sich ein Eindruck über die Robustheit der vorgenommenen Bewertung gewinnen und durch die Wahl einer geeigneten Visualisierung (vgl. Abb. 5) kann die Bewertung zudem anschaulich analysiert werden.

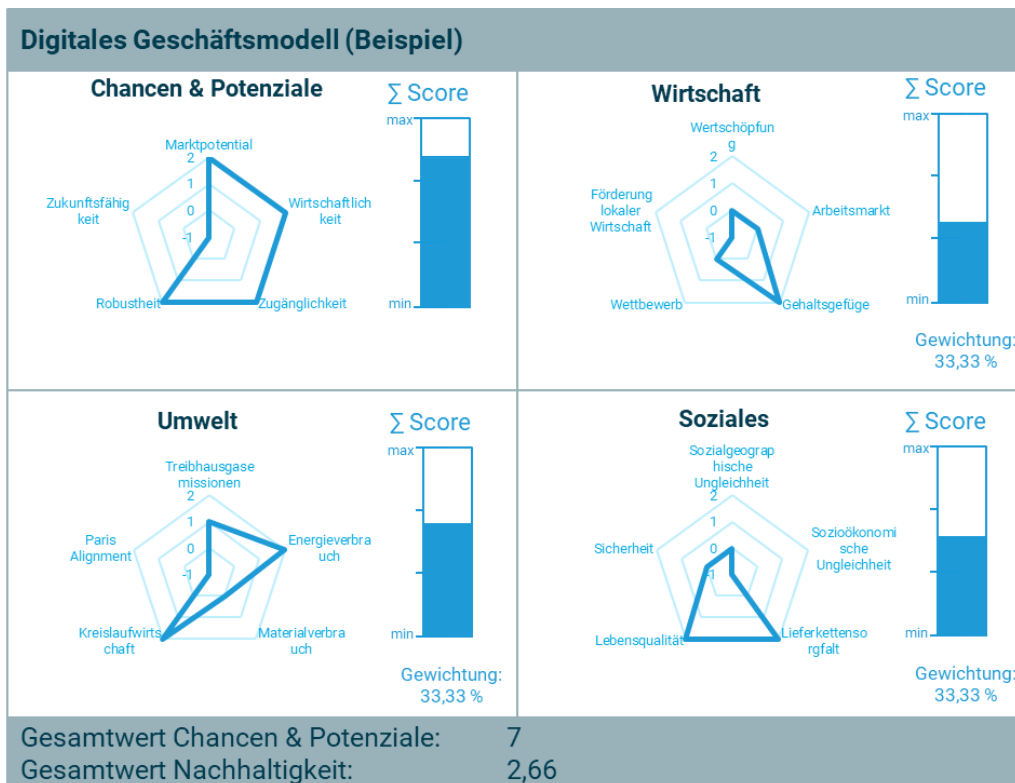


Abbildung 6: Visualisierung der Bewertung eines Beispiel-DGMs.

4.2 Entwicklung von Indikatoren für die vier Säulen

In diesem Kapitel werden die vier Bewertungssäulen mit ihren jeweils fünf Indikatoren erläutert. Zu Beginn jedes Unterkapitels erfolgt eine erste Übersicht der repräsentativen Indikatoren, bevor jeder

Indikator im Detail beleuchtet wird. Der Beschreibung und Abgrenzung der einzelnen Indikatoren folgt eine Darstellung der qualitativen oder quantitativen Bewertungskriterien. Aufbauend auf den Ausführungen in Kapitel 2 zu den Sustainable Development Goals und den Standards der Nachhaltigkeitsberichterstattung werden die Indikatoren der Säulen „Wirtschaft“, „Soziales“ und „Umwelt“ mit diesen Initiativen verknüpft.

4.2.1 Säule „Chancen und Potenziale“

Abschnitt 3.1.2 führt aus, dass bei der Entwicklung von digitalen Geschäftsmodellen die betriebswirtschaftlichen Perspektive, profitorientiert zu wirtschaften, von zentraler Bedeutung ist. Positive gesamtwirtschaftliche bzw. gesellschaftliche („externe“) Effekte können ebenfalls wichtige Motivation sein, stehen aber meist nicht an erster Stelle. Deshalb stellen betriebswirtschaftliche Faktoren die Grundvoraussetzung für die Existenz und den Erfolg eines DGMs dar. Diese werden im Rahmen der Säule „Chancen und Potenziale“ behandelt. Diese Säule fokussiert sich demnach nicht direkt auf Nachhaltigkeitsaspekte, sondern behandelt wichtige Indikatoren, die die Erfolgsaussichten eines DGMs beschreiben.

Die Größe des für das DGM relevanten Marktes hat jedoch einen bedeutenden Effekt auf dessen gesamtgesellschaftliche Nachhaltigkeitsauswirkungen. Denn selbst bei geringen individuellen nachhaltigkeitsrelevanten Konsequenzen eines einzelnen Produkts, könnte dessen weite Verbreitung zu bedeutenden aggregierten Effekten führen. Der potentielle Erfolg eines DGMs kann daher auch für die Bundesnetzagentur von Interesse sein, da sich daraus eine mögliche Regulierungsrelevanz für den jeweiligen Sektor ergibt.

Ein DGM wird sich nur dann ohne staatliche Unterstützung erfolgreich am Markt etablieren können, wenn dieses eine ausreichende Nachfrage („einen Markt“) generiert. Bei unternehmerisch unrentablen DGM mit stark positiven Auswirkungen in Bezug auf die Nachhaltigkeit, könnten allerdings eben jene staatlichen Subventionen sinnvoll sein, um die positiven externen Effekte des DGMs zu internalisieren und eine betriebswirtschaftliche Machbarkeit herzustellen.

Bei der Bewertung der erwarteten Profitabilität neuartiger Geschäftsmodelle würde eine rein auf den Status quo bezogene Perspektive zu kurz greifen. Aufgrund der inhärenten Dynamik digitaler Märkte und Innovationen ist eine Mitbetrachtung möglicher zukünftiger Entwicklungen notwendig. Eine solche ist naturgemäß mit zahlreichen Unsicherheiten verbunden und kann daher nur als Indikation bzw. Abschätzung und nicht als Vorhersage gelten.

Die Säule „Chancen und Potenziale“ umfasst die folgenden fünf Indikatoren, welche einzelunternehmerische Erfolgsfaktoren darstellen und jeweils untenstehend näher erläutert werden:

Marktpotenzial:

- Umfasst die Größe des erschließbaren Marktes des DGM und das damit einhergehende Erlöspotenzial.

Ausgehend von einer hypothetischen Gesamtnachfrage wird die realistisch erreichbare Nachfrage abgeschätzt.

Wirtschaftlichkeit:

- Analysiert zusätzlich zum Erlöspotenzial die Kostenseite des DGM, um dessen privatwirtschaftliche Tragfähigkeit zu untersuchen.
- Umfasst variable und fixe Kosten, welche inkrementell dem DGM zurechenbar sind. Betriebswirtschaftliche Kosten für Hintergrundinfrastruktur werden ebenfalls berücksichtigt.

Zugänglichkeit:

- Betrifft die „Accessibility“ des DGM für potentielle Kunden.

- Umfasst Anwendungsfreundlichkeit, Kundenerlebnis, Verständlichkeit und Integration des Produkts bzw. der Dienstleistung mit anderen Produkten.

Der Preis des Produkts kann hierbei ebenfalls eine Rolle spielen.

Robustheit:

- Betrachtet die Robustheit der Technologie, auf welcher das DGM basiert.
- Umfasst die Zuverlässigkeit, Sensibilität sowie Krisenfestigkeit der enthaltenen Komponenten und Dienstleistungen. Störfälle des Produktes führen zu negativen Auswirkungen auf Kunden sowie Unternehmen.

Zukunftsfähigkeit:

- Behandelt die Langfristigkeit der Nachfrage des DGM sowie dessen Enabler-Rolle für weitere DGM aufseiten des entwickelnden Unternehmens.
- Ermöglicht das DGM langfristige Einnahmen, auch über damit verbundene Dienstleistungen?
- Versetzt es das Unternehmen in die Lage, einfacher zukünftig weitere DGM zu entwickeln?

Diese fünf Indikatoren sind bewusst nicht scharf voneinander abgegrenzt, sondern beeinflussen sich gegenseitig. Insbesondere die Indikatoren „Zugänglichkeit“, „Robustheit“ und „Zukunftsfähigkeit“ behandeln jeweils spezifische Aspekte, welche sich auf das Marktpotenzial sowie die Wirtschaftlichkeit eines DGMs auswirken. Um eine möglichst objektive Bewertung der DGM zu ermöglichen, ist das Ziel, insbesondere die Indikatoren „Marktpotenzial“ und „Wirtschaftlichkeit“ quantitativ abzuschätzen. Die drei nachgelagerten Indikatoren bedingen hingegen aufgrund ihrer Definition sowie der jeweiligen Datenverfügbarkeit eine stärker qualitative Bewertung.

4.2.1.1 Marktpotenzial

Einer der wichtigsten Faktoren für den unternehmerischen Erfolg eines DGMs ist die Größe des erschließbaren Marktes und die damit einhergehenden potenziellen Erlöse. Konkret umfasst dieser Indikator die erzielbaren Gesamterlöse (Nachfragemenge multipliziert mit dem Preis) für das Produkt oder die Dienstleistung, die durch das DGM angeboten wird. Die Kostenseite wird in diesem Indikator bewusst ausgegrenzt und stattdessen im nachfolgenden Indikator „Wirtschaftlichkeit“ behandelt. Gemeinsam mit Letzterem hat das Marktpotenzial einen großen Einfluss darauf, ob ein (nachhaltiges) DGM im privatwirtschaftlichen Rahmen überhaupt gewinnbringend umgesetzt werden kann.

Eine Möglichkeit zur Bestimmung des Marktpotenzials ist, ausgehend von einem (hypothetischen) Gesamtmarkt, die realistisch erreichbare Nachfragemenge abzuschätzen (siehe [260] für weitere mögliche Methoden zur Abschätzung des Marktpotenzials). Der Gesamtmarkt stellt dabei die theoretisch maximale Nachfragemenge dar. Diese kann jedoch üblicherweise aufgrund einer Vielzahl von Gründen nicht erreicht werden. Diese Gründe können beispielsweise technologischer und ökonomischer Natur sein oder von Nachfragepräferenzen abhängen. Um mit dem Indikator „Marktpotenzial“ eine brauchbare Größe zu messen, sollten diese nachfragemindernden Faktoren berücksichtigt werden und eine Schätzung für das realistisch erreichbare Marktpotenzial vorgenommen werden. Dabei muss auch beachtet werden, dass der Preis und die Nachfragemenge interdependent sind [261]. Das heißt, dass der verlangte Preis für ein Produkt oder eine Dienstleistung die Nachfragemenge beeinflusst, welche wiederum einen Einfluss auf die Kosten und damit den Preis hat. Um einen dieser beiden Faktoren zu schätzen, muss also jeweils eine Annahme über die andere Größe getroffen werden.

Die Abschätzung des Marktpotenzials bedingt auch, dass der jeweils relevante Markt konkret definiert und von anderen Märkten abgegrenzt wird. So muss etwa festgelegt werden, ob beispielsweise das Marktpotenzial von Smart Watches durch den gesamten Uhrenmarkt gegeben ist oder durch eine Teilmenge dessen. Bei der Definition des Marktes sollte zudem dahingehend unterschieden werden, welche Kundengruppen das DGM anspricht. Je nach Verfügbarkeit von Daten

kann so das Marktpotenzial für Untergruppen wie Industrie, Haushalte oder staatliche Organisationen abgeschätzt werden.

Das Marktpotenzial lässt sich nur schwer einem Indikator der UN SDGs zuordnen. Dies bedeutet jedoch nicht, dass das Marktpotenzial eines nachhaltigen DGMs irrelevant für die Erreichung der SDGs oder anderer Nachhaltigkeitsziele ist. Neben den erreichbaren unternehmerischen Erlösen gibt dieser Indikator auch einen Hinweis auf die Skalierbarkeit eines DGMs und damit auf dessen Gesamteinfluss auf die Nachhaltigkeit. Wenn bspw. ein DGM den betreffenden Prozess bzw. das Produkt nur geringfügig nachhaltiger macht, kann es durch ein umfassendes Marktpotenzial in Summe dennoch einen wichtigen Beitrag zu nachhaltigerem Wirtschaften leisten.

Bewertung:

Das Marktpotenzial eines DGMs wird in der Praxis von Unternehmen untersucht, um die Rentabilität eines Markteintritts abzuschätzen. Diese unternehmerischen Studien sind jedoch oftmals nicht öffentlich verfügbar. Andere Studien aus der Forschung, von Branchenverbänden oder von öffentlichen Institutionen sind hingegen eher öffentlich verfügbar. Basierend auf diesen Studien könnte das Marktpotenzial eingeschätzt werden. Fehlen solche externen Quellen, kann das hypothetische Marktpotenzial über Schätzungen annähernd ermittelt werden und dann über Annahmen auf ein realistisches Marktpotenzial geschlossen werden, beispielsweise durch Erfahrungen mit anderen DGM. Um die Gesamterlöse zu schätzen, müssen zusätzlich zur erwarteten Marktnachfrage auch Annahmen über die Preisentwicklung des DGMs gemacht werden. Eigene Schätzungen des Marktpotenzials werden im Umfang dieser Studie nur indikativ ausfallen können.

4.2.1.2 Wirtschaftlichkeit

Neben dem Marktpotenzial, welches die Nachfrageseite umfasst und damit das Erlöspotenzial des DGM determiniert, muss eine Bewertung des ökonomischen Erfolgs ebenfalls die Kostenseite beinhalten. Die Profitabilität des DGM ergibt sich schließlich aus der Differenz zwischen Gesamterlösen (Preis multipliziert mit Absatzmenge) auf der einen Seite, sowie variablen und fixen Kosten auf der anderen. Dieser Aspekt soll im Indikator „Wirtschaftlichkeit“ erfasst werden.

Bei der Abschätzung von Kosten sollte dabei auf den inkrementellen Effekt des konkreten DGM abgestellt werden, um diesen von anderen Produkten und Dienstleistungen desselben Unternehmens abzugrenzen. Eine solche Trennung ist bei der Betrachtung variabler (mengenabhängiger) Kosten unter Umständen einfacher als bei der Schätzung von (mengenunabhängigen) Fixkosten, die mit der Entwicklung des DGM verbunden sind. Hier stellt sich die Frage, welcher Teil der Fixkosten konkret dem jeweiligen DGM zugerechnet werden kann und welcher Teil auch ohne Entwicklung des DGM angefallen wäre.

Ebenso könnte eine strikte Trennung in jenen Fällen schwieriger sein, in denen das DGM nicht ein vollkommen neuartiges Produkt (oder Dienstleistung) entwickelt, sondern ein bereits bestehendes verbessert, erweitert bzw. mit neuartigen Funktionen ausstattet. Dennoch sollte auch in diesen Fällen möglichst auf das „Delta“ aufgrund des DGMs Bezug genommen werden.

Bei der Abschätzung der Kosten aus einzelwirtschaftlicher Perspektive müssen auch jene Kosten berücksichtigt werden, die für die Hintergrundinfrastruktur anfallen. In Bezug auf DGM könnte dies etwa Serverräume, Cloud-Infrastruktur etc. umfassen. In dieser Kategorie werden allerdings lediglich jene Kosten betrachtet, die für das jeweilige Unternehmen relevant sind. Etwaige externe Effekte und Kosten, welche nicht einzelwirtschaftlich getragen werden, sondern auf die Gesamtgesellschaft ausgelagert werden, finden nicht hier, sondern in den übrigen Nachhaltigkeitssäulen Eingang.

Die Wirtschaftlichkeit ergibt sich daher aus der Gesamtbetrachtung aus möglichen Erlösen sowie sämtlichen damit verbundenen unternehmensbezogenen Kosten und betrifft die Frage, ob das

DGM dauerhaft profitabel von einem privatwirtschaftlichen Unternehmen angeboten werden kann, ohne auf staatliche Unterstützung angewiesen zu sein.

Wie oben erwähnt, sollte die Betrachtung nicht bloß den Status quo umfassen, sondern absehbare zukünftige Entwicklungen (beispielsweise fallende Kosten im Zeitverlauf) mitberücksichtigen.

Hierbei ist auch die (erwartete) Wettbewerbsstruktur des Marktes des jeweiligen DGMs relevant. Gewisse Innovationen und sich dadurch entwickelnde Märkte sind aufgrund technologischer Faktoren eher geneigt, dass sich bloß ein oder wenige Unternehmen durchsetzen, während andere Marktstrukturen den Wettbewerb einer Vielzahl an Unternehmen ermöglichen. So sind beispielsweise Märkte mit hohen Fixkosten, hohen Eintrittshürden, bedeutenden Skalen- oder Netzwerkeffekten eher für monopolistische oder oligopolistische Strukturen geeignet als Märkte, wo diese Faktoren weniger stark vorliegen [261]. Die Wettbewerbsstruktur eines Marktes hat zentrale Auswirkungen auf die Preissetzungsmacht und damit die Profitabilität sowie Strategie eines Unternehmens. Des Weiteren gibt es in Märkten, welche eher monopolistische Strukturen fördern, stärker ausgeprägte „First Mover Advantages“, also kompetitive Vorteile durch einen frühzeitigen Markteintritt, als in anderen.

Bewertung:

Möglichkeiten zur Abschätzung der Wirtschaftlichkeit eines DGM umfassen je nach verfügbarer Datenlage Gewinnmargen, Produktvergleiche und Kostenschätzungen. Diese sind jedoch vielfach nur firmenintern verfügbar und die entsprechenden Informationen müssten daher über externe Studien in Erfahrung gebracht werden. Falls relevante Daten nicht vorliegen, können für diesen Indikator auch stärker qualitative Einschätzungen in Betracht gezogen werden.

4.2.1.3 Zugänglichkeit

Dieser Indikator soll den nachfrageseitigen Aspekt betrachten, wie „zugänglich“ die Produkte bzw. Dienstleistungen, die sich aus dem DGM ergeben, für die jeweiligen Kunden sind. Zugänglichkeit (Englisch: „Accessibility“) soll an dieser Stelle weit interpretiert werden und verschiedene Ausprägungen umfassen, welche die Attraktivität des DGMs beeinflussen und damit auf deren Marktpotenzial und Wirtschaftlichkeit (s.o.) einwirken.

Ein Aspekt von Zugänglichkeit ist die Anwendungsfreundlichkeit des Produkts oder der Dienstleistung. Dies könnte zum Beispiel ein physisches Gerät oder eine mobile Applikation sein. Mit diesem Indikator wird demnach die Verständlichkeit des DGMs und deren Nutzung, also, ob dieses einer breiten Kundschaft einfach erklärt und nähergebracht werden kann, behandelt. Die intuitive Nutzung ist dabei eine Voraussetzung für die Akzeptanz der Kunden und damit eine höhere Nachfrage. Hierbei gilt es das DGM möglichst abstrakt zu behandeln und die Bewertung nicht auf konkrete Produkte von einzelnen Anbietern zu beziehen.

Ebenso beinhaltet ist der Grad der Integration des DGMs in weitere Anwendungen oder Produkte auf Kundenseite. Im Falle einer App stellt sich hierbei etwa die Frage, wie sehr diese mit anderen Applikationen verbunden werden kann, um eine friktionslose Kundenerfahrung zu gewährleisten. Im Falle eines physischen Produkts geht es hier um die Kommunikation mit anderen Geräten bzw. der umliegenden Infrastruktur.

Des Weiteren könnte sich die Zugänglichkeit des DGMs regional oder zwischen gewissen Bevölkerungsgruppen unterscheiden. Dies könnte etwa auf technologische Ursachen, wie etwa die regional unterschiedliche Abdeckung mit nötiger Internetinfrastruktur, oder unterschiedliche Nachfragemuster zurückzuführen sein. Der technologische Aspekt erscheint besonders relevant, da zahlreiche digitale Produkte eine konstante Netzanbindung erfordern, welche nicht an jedem Ort im selben Umfang gegeben sein könnten. Die Zugänglichkeit des DGMs könnte sich ebenso aus dessen Endkundenpreis ergeben. So wäre ein DGM, welches aufgrund sehr hoher Produktionskosten

einen hohen Endkundenpreis nötig macht, weniger für ein breites Publikum zugänglich als eines, welches aufgrund eines niedrigen Preises für einen weiteren Kundenkreis erschwinglich ist.

Bewertung:

Die Zugänglichkeit eines DGMs wird, wie eingangs beschrieben, eher qualitativ eingeschätzt werden müssen. Die Verständlichkeit eines DGMs hängt dabei auch davon ab, welcher Kundenkreis angesprochen wird. Dies erschwert die Vergleichbarkeit unter den untersuchten DGM. Eine qualitative Einschätzung kann aber auch durch quantitative Fakten, so vorhanden, unterstützt werden.

Auch in Bezug auf diesen Indikator sollte in der Analyse, sofern seriös möglich, eine vorausschauende Perspektive gewählt werden, da sich bei digitalen Produkten oftmals über relativ kurze Zeiträume starke Preissenkungen ergeben können, welche die anfangs beschränkte Zugänglichkeit des Produkts stark erhöhen.

4.2.1.4 Robustheit

Der Indikator „Robustheit“ geht näher auf die technologische Seite des Marktpotenzials ein und beleuchtet, wie robust die Technologie ist, auf der das DGM basiert. Dies umfasst zahlreiche Aspekte, wie beispielsweise die Zuverlässigkeit, Sensibilität und Krisenfestigkeit der enthaltenen Komponenten und Dienstleistungen.

Durch die inhärent digitale und meist elektronische Natur der verwendeten Komponenten in DGM wird die Robustheit des angebotenen Produkts bzw. Dienstleistung oftmals stärker bedroht sein als dies bei rein analogen Produkten der Fall ist [262]. Zudem ist zu beachten, dass die Einführung des DGMs keine negativen technologischen Auswirkungen auf bestehende Prozesse hat. Beispielsweise sollte die Verwendung von KI-basierten Einspeise- und Lastflussprognosen die Netzstabilität (allgemein oder in Ausnahmesituationen) nicht gefährden.

Ein damit zusammenhängender Aspekt ist die Sensibilität der zugrundeliegenden Technologie des DGMs. Also ob mit der Einführung des DGMs Technologien eingesetzt werden, die anfälliger gegenüber Einflüssen von außen sind als ihre nicht-digitalen Vorgänger. So sollten beispielsweise vernetzte Straßenlaternen durch ihre erhöhte Komplexität nicht anfälliger für Störfälle, Umwelteinflüsse wie Wind oder extreme Temperaturen sowie Vandalismus sein. Ein wichtiges Thema ist auch die Robustheit gegenüber Hackerangriffen. Es liegt in der Natur von DGM, dass durch sie mehr digitale, vernetzte und smarte Produkte eingesetzt werden. Diese bieten Möglichkeiten der ungewollten Fremdeinwirkung denen ihre analogen und nicht vernetzten Vorgänger nicht oder in geringerem Umfang ausgesetzt waren.

Der Aspekt der Krisenfestigkeit deckt ab, wie einsatzfähig das DGM während Krisensituationen wie Naturkatastrophen oder Blackouts ist. Aufgrund der starken Abhängigkeit vieler DGM von elektronischen Komponenten ist dieser Aspekt wohl besonders schwierig zu erfüllen. Gleichzeitig ist in diesem Zusammenhang zu bewerten, wie bedeutsam die digitale Anwendung in einem Ausnahmefall ist. Beispielsweise kann die Funktion eines durch IoT aufgewerteten Stromnetzes von besonders hoher Bedeutung sein, wogegen der Ausfall der smarten Funktionen eines Kühlschranks im Krisenfall verschmerzbar ist.

Neben dem direkten Einfluss auf die Nutzer und Kunden der DGM, sind die oben genannten Aspekte ebenfalls für die Unternehmen, welche das DGM entwickeln bzw. vermarkten, von Relevanz. Zum einen kann eine fehlende Robustheit bzw. hohe Störanfälligkeit des DGMs zu einem Reputationsschaden führen, der sich oftmals auch auf andere Tätigkeitsfelder des Unternehmens auswirkt. Zum anderen können Störungen und Hackerangriffe aber auch einen direkten, monetären Effekt auf die Unternehmen haben, wenn diese für den entstandenen Schaden aufkommen müssen. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Robustheit der Technologie einen Einfluss auf den unternehmerischen Erfolg der DGM haben kann und auch die Nachfragemenge nach den Produkten oder Dienstleistungen beeinflusst.

Bewertung:

Es wird wohl nur schwer möglich sein, die Robustheit exakt zu quantifizieren und unter verschiedenen DGM zu vergleichen. Dieser Indikator wird demnach vor allem qualitativer Natur sein. Bei der Bewertung können aber Einschätzungen zur Zuverlässigkeit, Sensibilität und Krisenfestigkeit aus vorhandenen Studien in Betracht gezogen werden. Diese können auch im Vergleich zu bisherigen, vergleichbaren Produkten oder Dienstleistungen formuliert werden. Beispielsweise könnte die Sensibilität von vernetzten Straßenlaternen daran gemessen werden, ob Städte mit diesem DGM mehr Reparaturen oder Störungen melden als dies mit traditioneller Straßenbeleuchtung der Fall ist.

4.2.1.5 Zukunftsfähigkeit

Der Indikator „Zukunftsfähigkeit“ deckt den zeitlichen Aspekt des DGMs aus Unternehmenssicht ab. Dabei geht es einerseits darum, wie sich dessen Marktpotenzial und Wirtschaftlichkeit über die nächsten Jahre entwickeln, aber auch welche weiteren Produkte und unternehmerischen Chancen sich aus einer heutigen Verfolgung des DGMs potentiell für das entwickelnde Unternehmen ergeben.

In Bezug auf die Nachfrageseite ist es aus Unternehmensperspektive wünschenswert, dass das DGM längerfristige Einnahmen ermöglicht. Dies kann durch eine immer wiederkehrende Nachfrage erreicht werden, etwa durch regelmäßigen Austausch nach Verbrauch des Produktes oder wenn eine neuere oder erweiterte Version der Produkte oder Dienstleistungen veröffentlicht wird. Zusätzlich zum Verkaufspreis entstammt bei vielen Produkten ein Teil der Erlöse aus nachgelagerten Angeboten wie Wartung, komplementären Produkten und sogenannten „After-Market Sales“ oder Einnahmen aus verbundenen Märkten (bspw. Werbeeinnahmen).

Auf die Angebotsseite bezogen ist als weitere Möglichkeit einer längerfristigen Einkommensquelle als Folge des DGMs an dieser Stelle eine mögliche „Enabler-Rolle“ hervorzuheben (siehe auch [263] aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive). Durch die Entwicklung eines DGMs kann ein Unternehmen bzw. ein Wirtschaftsstandort das Humankapital fördern bzw. neuartige Technologien entwickeln, woraus sich zukünftig weitere, möglicherweise erfolgreichere, DGMs ergeben können. Somit kann es für ein Unternehmen selbst dann lohnend sein, ein DGM zu erschließen, wenn dieses vorerst keinen positiven Cashflow verspricht, aber einen wichtigen Grundstein für etwaige Folgeprojekte legt. Die Entwicklung eines DGM kann in solchen Fällen als Investition für zukünftige Produkte und Vorstöße in diesem Bereich gesehen werden, welche erst durch das Wissen aus den ersten Erfahrungen und der gegebenenfalls dadurch entwickelten Technologie ermöglicht werden. Zusätzlich zu dieser Rolle des „Enablers“ ist ebenfalls denkbar, dass ein DGM wertvolle Synergien mit bestehenden Produktlinien oder anderen DGM besitzt und sich dadurch eine Entwicklung in dieser Richtung lohnt.

Die Zukunftsfähigkeit und dabei insbesondere eine mögliche Rolle von DGM als „Enabler“ für zukünftige DGM lässt sich nur schwer quantitativ messen und verlangt deshalb nach einer qualitativen Betrachtung. Hierbei kommt erschwerend hinzu, dass mögliche zukünftige Entwicklungen, die auf den heutigen DGM aufbauen, zum jetzigen Zeitpunkt nur schwer vorhersehbar und bewertbar sind.

Bewertung:

Der Indikator „Zukunftsfähigkeit“ ist, so wie die beiden vorhergehenden Indikatoren, eher qualitativ bewertbar. Hierbei ist besonders die Enabler-Rolle für zukünftige Technologien schwierig vorhersehbar und damit messbar. Die Art der zukünftigen oder nachgelagerten Nachfrage kann vergleichsweise einfacher eingeschätzt werden, wobei auch hier wieder auf verfügbare Studien und

Ergebnisse aus Vergleichssektoren zurückgegriffen werden kann. Diese wird damit die vorrangige Bewertungsgrundlage für diesen Indikator darstellen.

4.2.2 Säule „Ökonomische Nachhaltigkeit“ (Wirtschaft)

Unter der Säule „Ökonomische Nachhaltigkeit“ wird der volkswirtschaftliche Einfluss des DGMs bewertet. Dabei wird der Wirtschaftssektor sowie die Gesamtwirtschaft und das digitale Geschäftsmodell mit Blick auf Wertschöpfungseffekte, Auswirkungen auf den deutschen Arbeitsmarkt, das Gehaltsgefüge, die Wettbewerbssituation und die Vernetzung im lokalen Wirtschaftsraum beurteilt. In Abgrenzung zu der in der Säule „Chancen und Potenziale“ beleuchteten Profitabilität des DGMs, wird in der Säule „Ökonomische Nachhaltigkeit“ der Fokus auf nachhaltige, volkswirtschaftliche Effekte gelegt.

Da Nachhaltigkeit nur bedingt durch eine Momentaufnahme abzubilden ist, wird eine vorwärts gerichtete Perspektive bei der Bewertung eingenommen und voraussichtliche Entwicklungen berücksichtigt. In die Betrachtung einbezogen werden dabei nicht nur die Effekte des DGMs auf direkte Akteure, z.B. Effekte bei konkurrierenden Unternehmen, Zulieferern, Dienstleistern und Arbeitnehmern, sondern es wird der Einfluss auf gesamte Wirtschaftssektoren bis hin zur Gesamtwirtschaft beleuchtet.

Die Säule „Ökonomische Nachhaltigkeit“ umfasst die folgenden Indikatoren:

Wertschöpfung:

Der Indikator „Wertschöpfung“ beleuchtet den volkswirtschaftlichen Mehrwert und die Eigenleistungen des DGMs. Dies kann auf neue oder besser genutzte Technologie, der innovativen Nutzung von Unternehmensressourcen oder der Vernetzung mit anderen Marktteilnehmern etc. gründen. Als Output mit höherer Wertschöpfung als die Vergleichsgruppe im zugehörigen Wirtschaftssektor kann man beispielsweise Leistungen wie gesteigerte Langlebigkeit, Möglichkeit zur Personalisierung, einen größeren Funktionsumfang etc. betrachten. Die Ableitung der Netto-Auswirkungen auf Wirtschaftssektoren und Gesamtmarkt erfolgt unter Beurteilung von positiven und negativen Wertschöpfungseinflüssen des DGMs.

Arbeitsmarkt:

Der Indikator „Arbeitsmarkt“ bildet den Einfluss des DGMs auf den deutschen Arbeitsmarkt ab. Dabei wird die Netto-Arbeitsplatzentwicklung betrachtet. Dies umfasst einerseits die Arbeitsplätze, die in einem direkten Zusammenhang mit dem DGM stehen, als auch jene Arbeitsplätze, welche indirekt von dem DGM durch disruptive Veränderungen in Wirtschaftssektoren beeinflusst werden.

Gehaltsgefüge:

Der Indikator „Gehaltsgefüge“ birgt Informationen über die Einkommensverteilung der Arbeitsplätze, welche direkt und indirekt im Zusammenhang mit dem DGM stehen. Die Gesamtgesellschaft profitiert, wenn Haushalte auf Grund von stabiler und fairer Entlohnung, welche die Lebenshaltungskosten deckt, ein menschenwürdiges Leben führen können. Sind Haushaltsausgaben für nicht lebensnotwendige Güter und Dienstleistungen möglich, so erhöht dies die Diversität des Marktes, generiert Steuern, Arbeitsplätze und Wohlstand.

Wettbewerb:

Der Indikator „Wettbewerb“ analysiert die Wettbewerbsstrukturen, zu denen das DGM tendiert. Bemessen wird die Neigung des DGMs und der verwandten Technologien, innerhalb des jeweiligen Wirtschaftssektors und der Gesamtwirtschaft, Mono- und Oligopole zu bilden. Darunter fallen Wettbewerbshürden wie Fixkosten, Skaleneffekte, Netzwerkeffekte und Informationsvorsprünge. Ein ausgewogener, marktwirtschaftlicher Wettbewerb wirkt sich positiv auf die Preisgestaltung aus, erhöht die Konsumentenrente dadurch und ermöglicht Haushalten mehr zu konsumieren.

Förderung lokaler Wirtschaft:

Der Indikator „Förderung lokaler Wirtschaft“ bildet den Grad der Vernetzung des DGMs mit der lokalen Wirtschaft ab. Güter und Dienstleistungen, die in Deutschland hergestellt oder erbracht werden, sichern oder schaffen Arbeitsplätze, Steuereinnahmen werden generiert, Humankapital wird aufgebaut und Vorteile des Onshorings genutzt. Durch Waren und Dienstleistungen, die hingegen im Ausland erworben werden, fließt ein Teil des möglichen Wertschöpfungspotenzials und des damit verbundenen Wohlstands ab. Diese Effekte können disruptiver und marktschädigender Art sein.

Die folgende Tabelle beinhaltet eine Übersicht der fünf ausgewählten Indikatoren der Säule „Ökonomische Nachhaltigkeit“ und deren Verankerung in den SDG-Nachhaltigkeitszielen der UN sowie den Berichterstattungskennzahlen gemäß GRI.

Abschnitt	Indikator	SDG	GRI-Reporting
4.2.2.1	Wertschöpfung	9: Industrie, Innovation und Infrastruktur	201: Wirtschaftliche Leistung 405: Diversität und Chancengleichheit
4.2.2.2	Arbeitsmarkt	1: Armut 8: Menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum	401: Beschäftigung 402: Arbeitnehmer-Arbeitgeber-Verhältnis 404: Aus- und Weiterbildung
4.2.2.3	Gehaltsgefüge	1: Armut	203: Indirekte ökonomische Auswirkungen 207: Steuern 402: Arbeitnehmer-Arbeitgeber-Verhältnis
4.2.2.4	Wettbewerb	9: Industrie, Innovation und Infrastruktur	205: Korruptionsbekämpfung 206: Wettbewerbswidriges Verhalten
4.2.2.5	Förderung lokale Wirtschaft	8: Menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum 11: Nachhaltige Städte und Gemeinden	204: Beschaffungspraktiken 207: Steuern

Tabelle 7: Zur Konsolidierung der Indikatoren der Säule „Ökonomische Nachhaltigkeit“ herangezogene Zielsetzungen und Berichterstattungskennzahlen.

4.2.2.1 Wertschöpfung

Die Wertschöpfung eines DGM beruht auf der Ausschöpfung des Potenzials digitalen Wirtschaftens. Darunter sind beispielsweise die verschwindend geringen Stückkosten durch die Skalierbarkeit von Softwarelösungen oder der sekundenschnelle Rollout eines Updates zur Produktoptimierung zu verstehen. Besondere Bedeutung für den Wohlfahrtsgewinn und das Wirtschaftswachstum haben die Anwendungen neuer Technologien, die das Angebot in einem bestehenden Markt optimieren oder, bei hohem Innovationsgrad, neue Märkte erschließen können.

Für eine entwickelte und industrialisierte Ökonomie ist das Wachstum durch zusätzliche Arbeit oder Kapital begrenzt. Durch ein DGM und die neue Technologie kann ein neuer Markt entstehen bzw. können Leistungen in einem bestehenden Markt effizienter angeboten werden, was signifikante Wohlfahrtsgewinne mit sich bringt. Langfristiges Wirtschaftswachstum wird in modernen industrialisierten Volkswirtschaften durch solche Innovationen und technologische Entwicklungen geschaffen. Technologischer Fortschritt ist deshalb von besonderer Bedeutung, um langfristiges Wohlstandswachstum zu sichern.

Eine positive Wertschöpfung ist gegeben, wenn das DGM über die Summe seiner Einzelleistungen hinaus Mehrwerte generiert. Diese Wertschöpfung im volkswirtschaftlichen Sinne ist abzugrenzen von der Wertgenerierung im sozialen Sinne, welche insbesondere im Indikator Lebensqualität in der Säule „Soziale Nachhaltigkeit“ betrachtet wird.

Am Beispiel einer Mobility-as-a-Service-App kann die Unterscheidung verbildlicht werden: Die Applikation bündelt die Fahrplan-, Gebührenübersicht, Live-Tracking-Informationen und Kaufabwicklung mehrerer Anbieter. Die Bündelung erspart dem Konsument Zeit und Aufwand, aus einzelnen Quellen passende Tickets zu wählen und zu bezahlen. Dieser Mehrwert würde im Indikator „Lebensqualität“ in der Säule „Soziale Nachhaltigkeit“ bewertet werden. Die volkswirtschaftliche Wertschöpfung liegt hingegen in der Eigenleistung des DGM, die einzelnen Apps der Verkehrsbetriebe zu überholen, indem es multimodale Tickets, eine sichere Kaufabwicklung und einen besseren Routenplaner durch die Verknüpfung der Fahrpläne bietet.

Der Indikator „Wertschöpfung“ bildet den Netto-Effekt ab. Das heißt, Disruptionen und Substitution, welche die Diversität und Wertschöpfung eines Wirtschaftssektors oder der Gesamtwirtschaft umverteilen oder im schlechtesten Fall mindern, werden gegen die positiven Effekte aufgewogen. Als Beispiel hierfür bietet sich das komprimierte Audio-Format MP3 an, das auf der einen Seite dem Markt der portablen Musikplayer zum Erfolg verhalf, da ein Musikstück schnell heruntergeladen werden konnte und zudem ein Gerät viel Musik speichern konnte. Andererseits schwand der Bedarf an Musikanlagen, Verstärkern, CDs und Musik-Fernsekanälen.

Bewertung:

Das Maß für die Indikatorbewertung ist die Generation, Umverteilung oder der Schwund von direktem oder indirektem wirtschaftlichem Mehrwert, ausgelöst durch das DGM. Die Änderung von Sektor übergreifender Rentabilität und Gesamterlöse, die auf das DGM zurückzuführen sind, werden auf Basis von vergleichenden Branchendaten bewertet.

Im Analyserahmen werden primär qualitative Merkmale für den Indikator „Wertschöpfung“ erhoben. Betrachtet werden Querschnittstudien innerhalb von Wirtschaftssektoren über Mehrwert ändernde, fortschrittliche Technologien, die von DGM genutzt werden. Die Veränderung können in ihrer Intensität und ihrer Reichweite im oder über den Wirtschaftssektor hinaus beurteilt werden.

Dies lässt sich an einem Beispiel verdeutlichen: Der wichtigste Rohstoff der Halbleiterindustrie ist Silizium, welches aus Quarzsand gewonnen wird. Der Output der Halbleiterindustrie sind spezialisierte Chips, die auf Leiterplatten bestückt Computerhardware bilden und mit Hilfe von Strom Daten verarbeiten. Die Wertschöpfung des Geschäftsmodells Halbleiterindustrie ist aus Wirtschaftssektoren übergreifender Sicht hoch, da die Beschaffungsware Computerchip eine unerlässliche Komponente einer Vielzahl an Produkten für Endkunden wie Autos, Haushaltgeräte, Industrieroboter, etc. darstellt. Die Wertschöpfung des Autos wird wiederum durch die Chips zusätzlich gesteigert, in Form von Konnektivität, Edge-Computing, Sprachsteuerung, etc.

4.2.2.2 Arbeitsmarkt

Dieser Indikator bildet den Einfluss des DGM auf den deutschen Arbeitsmarkt ab. Es wird die Arbeitsplatzentwicklung betrachtet, die direkt und indirekt vom DGM beeinflusst wird. Betrachtet wird der Saldo aus positiven und negativen Effekten auf den Arbeitsmarkt. Die Bewertung der

nachhaltigen Arbeitsmarktentwicklung ist von Gehaltsentwicklung und Gehaltsgefüge abzugrenzen. So bilanziert der Indikator „Arbeitsmarkt“ die Entwicklung der Beschäftigungszahlen, während der nachfolgend beschriebene Indikator „Gehaltsgefüge“ die Entlohnung der Beschäftigten betrachtet. Die Arbeitsplatzentwicklung ist von zentraler gesellschaftlicher Relevanz und ist deshalb auch ein Nachhaltigkeitsaspekt, der für ein DGM untersucht werden sollte. Fördert ein DGM die Anzahl der Beschäftigten, so senkt dies die Arbeitslosenzahl, steigert die gesellschaftliche Kaufkraft und die Steuereinnahmen.

Es ist zu erwarten, dass das DGM insbesondere Arbeitsplätze für hochqualifizierte Personen schafft. Primär ist deshalb für die meisten DGM mit einem Anstieg der Nachfrage nach Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern mit hohem Bildungsgrad zu rechnen. Eine hohe Nachfrage führt dazu, dass Ausbildungen in diesen Berufsfeldern attraktiver werden und die Absolventenzahlen steigen. Dies hat eine potenzierende Wirkung, da diese Absolventen wieder neue Innovationen vorantreiben werden.

Ein DGM kann durch sein Geschäftsmodell und seinen Einfluss auf bestehende Geschäftsmodelle jedoch auch indirekt den breiten Arbeitsmarkt beeinflussen. Diese Effekte quantitativ zu messen, ist eine Herausforderung, so dass Experteneinschätzungen notwendig sein können.

Die Kehrseite stellen das Automatisierungs- und Obsoleszenzrisiko dar. Von Obsoleszenz wird gesprochen, wenn Geschäftsprozesse ersatzlos gestrichen und nicht substituiert werden. Effizienzsteigerungen und Automatisierungen ermöglichen schlankere Geschäftsprozesse. Dadurch können bestehende Arbeitsplätze wegfallen.

Studien haben zwar den Nettogewinn von Arbeitsplätzen im Zuge von Automatisierung herausgearbeitet, jedoch räumen sie ein, dass Upskilling nicht immer praktikabel ist, um Mitarbeiter höherwertige Aufgaben zuzuteilen [264]. Ein Beispiel hierfür sind Versandfertigmacher, die händisch eine Packliste abarbeiten und zum Schluss gegenprüfen. Automatisierte interne Logistik der neuesten Generation hat eine verschwindend geringe Fehlerrate, so dass der Prüfungsprozess weggefallen ist.

Ein Beispiel für einen qualitativen Effekt am Arbeitsmarkt sind Veränderungen im Tätigkeitsprofil einer Berufsgruppe. Der Begriff „New Work“ fasst als Sammelbegriff diese Änderung als neue Ansprüche an das Arbeiten zusammen, darunter fallen Flexibilität, Agilität, Digitalisierung, Individualität, demokratische Führungskulturen und die Arbeitsplatzgestaltungen [265]. Diese Effekte können auf sektor- und gesamtwirtschaftlicher Ebene beurteilt werden.

Bewertung:

Für die Bewertung des Indikators werden Studien zur retrospektiven Marktentwicklung und fundierte prognostische Sekundärliteratur zum Thema Digitalisierung herangezogen, die zu dem zu bewertenden DGM passen. Aus retrospektiven Arbeitsmarktdaten lassen sich Trends oder Trendwenden, die mit einem DGM verknüpft sind, ableiten. Um Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wird versucht die gleichen Arbeitsmarktindikatoren in den Wirtschaftssektoren des DGMs jeweils zu beleuchten, darunter Teilzeitarbeitsrate, Erwerbsquote, offene Stellen, etc. Qualitative Annahmen basieren auf Studien, die Trends des „New Work“ in Verbindung mit dem DGM herausarbeiten. Diese Erkenntnisse spielen aber zu vorhandenen quantitativen Bewertungen eine untergeordnete Rolle.

4.2.2.3 Gehaltsgefüge

Der Indikator „Gehaltsgefüge“ enthält Informationen über die Einkommen der Mitarbeiter und deren Verteilung. Es werden die Gehälter der vom DGM beeinflussten Berufsgruppe gegenüber der Peer-group des Wirtschaftssektors bewertet. Fähigkeiten können auf Grund des DGMs an Nachfrage in neuen Wirtschaftssektoren gewinnen, bspw. in Trendthemen wie Big Data und KI, was zur Erhöhung der Löhne führen könnte, wovon insbesondere hochgefragte Berufsgruppen profitieren. Ein

solcher Nachfrageimpuls kann zu einer Vergrößerung der „Gehaltsschere“ führen. Diese sozialen Auswirkungen der veränderten Einkommensstrukturen werden in dem Indikator 4.2.4.2 „Sozioökonomische Ungleichheit“ behandelt.

Die Verknüpfung des Indikators mit dem Nachhaltigkeitsaspekt kann wie folgt veranschaulicht werden: Haushalte profitieren von stabiler und fairer Entlohnung, die die Lebenshaltungskosten deckt. Lohndumping, unbezahlte Überstunden und keine Teilhabe am Unternehmenserfolg senken die Arbeitsbereitschaft, Innovationskraft, Wohlbefinden und Gesundheit der Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen.

Zum Schluss führt eine nachteilige Gehaltsstruktur dazu, dass das DGM die Wirtschaftskraft der Belegschaft nicht vollends fördern kann. Die volkswirtschaftliche Nachhaltigkeitsbewertung stützt sich auf der Teilhabe der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter am Unternehmenserfolg und somit auf der Vermehrung des Haushaltseinkommens, das zu mehr Konsum, Steuern und Wohlstand führt.

Bewertung:

Bei der Bewertung des DGMs kann auf Marktstudien der Branchen zurückgegriffen werden, die in ihrer Gesamtheit Vergütungsbedingungen bereitstellen. Zum gesellschaftlichen Wohlbefinden gehört auch eine adäquate Bezahlung der erbrachten Leistungen.

Deshalb sind auch die bezahlten und unbezahlten Überstunden wertvolle Kennzahlen, um den effektiven Stundenlohn und die Arbeitsproduktivität zu betrachten. Gesamtwirtschaftliche Überstundenkennzahlen [266] werden dabei gesichtet und nach Möglichkeit durch Daten der betreffenden Wirtschaftssektoren [267] verglichen.

Als qualitative Merkmale sind außerdem die Verteilung des Gehalts im Bezug zu Berufsgruppe, Geschlecht, Bildungsabschluss und Berufsjahren zu erwähnen. Dies geschieht immer unter der Annahme, dass die Berufsgruppen des DGMs branchenübliche Arbeitsbedingungen vorfinden und sich in das Gehaltsgefüge des Sektors einordnen lassen.

Die DGM können sowohl negative als auch positive Effekte auf das Gehaltsgefüge haben. Final werden die Netto-Entwicklungen in Form approximierter Gehaltsstrukturentwicklungen bewertet, die auf gesamtwirtschaftlicher Ebene messbar sind. Die Trendbetrachtungen erfolgen entlang eines vorwärts gerichteten mittelfristigen Zeithorizonts.

4.2.2.4 Wettbewerb

Der Indikator „Wettbewerb“ bildet Tendenzen und Effekte des DGMs ab, Mono- und Oligopolbildung zu fördern. In einem Monopol werden Qualität, Menge und Preise von Produkten und Dienstleistungen von einem einzigen Akteur bestimmt. Dies hat zur Folge, dass die ökonomische Wohlfahrtswirkung gesenkt wird. Ein Oligopol ordnet sich zwischen Mono- und Polypol ein. In einem Oligopol dominiert eine begrenzte Anzahl an Anbietern den Markt. Die Eigenschaften oder Maßnahmen dieser begrenzten Anzahl an Anbietern hält Konkurrenz mit geringem Markteinfluss fern, jedoch findet ein begrenzter Wettbewerb statt. Unter einem vollkommenen Wettbewerb versteht man, dass eine Vielzahl an Anbietern einer Vielzahl an Nachfragern gegenübersteht.

Die entstehende Wettbewerbsstruktur hat bedeutende Folgen sowohl für die darin tätigen Unternehmen, deren Strategien und Erlöse, als für die Kunden in Form von steigender oder fallender Konsumentenrente und Wertschöpfung (vgl. 4.2.2.1 „Wertschöpfung“).

Wettbewerb hat den Effekt, dass die Teilnehmer geringe Marktmacht besitzen und in der Folge den Marktpreis nicht signifikant beeinflussen können. Nachfrager nehmen die Rollen der Preisnehmer, Anbieter die der Mengenanpasser ein. Wettbewerbsfreundliche Effekte, das heißt ein Polypol fördernde, wären beispielsweise offene Programmierschnittstellen, die gemeinschaftliche Nutzung von Platform-as-a-Service und Software-as-a-Service, das Reduzieren von Investitions-

kosten durch digitale, skalierbare Alternativen wie Virtual Computing, oder freizugängliche Informationen, die den Markeinstieg erleichtern, das Angebot steigern und letztlich die Konsumentenrente erhöhen.

Bewertung:

Der Indikator „Wettbewerb“ gibt an, welche Auswirkungen das DGM auf die Struktur von Märkten hat. Diese Merkmale werden vorzugsweise quantitativ untersucht. Bei ausreichender Datenlage und falls das DGM, in gewissem Umfang bereits etabliert ist, wird die Anzahl der Bestandsunternehmen der Branche und der Neugründungen erfasst. Anschließend wird die wirtschaftssektorweite Verteilung von Marktmacht bewertet. Bedienen beispielsweise 10 % der Anbieter 90 % der Nachfrage, herrscht Marktdominanz weniger Wettbewerber. Im nächsten Schritt ist zu bewerten, ob das DGM etablierte Marktstrukturen zu ändern vermag. Eine Approximation der prognostizierten Veränderungen wird qualitativ erstellt werden. Im günstigen Fall, dass aufgrund vergleichbarer Technologien historisch bereits Umbrüche in anderen Branchen auftraten, können entsprechende Marktdaten für eine quantitative Bewertung dienen.

Technologiebedingte Wettbewerbshürden wie Fixkosten, Skaleneffekte, Netzwerkeffekte und Informationsvorsprünge können zu einer Mono- oder Oligopolbildung beitragen. Diese betriebswirtschaftlichen Eigenschaften werden aus vergleichbaren Branchendaten, falls möglich, quantitativ erhoben.

4.2.2.5 Förderung lokaler Wirtschaft

Der Indikator „Förderung lokale Wirtschaft“ bildet den Grad der Vernetzung des DGMs mit der lokalen Wirtschaft ab. Eine starke regionale Verankerung des DGMs führt zu mehr Stabilität, Steuereinnahmen und Wohlstand. Zudem kann eine schnellere Akzeptanz in der Bevölkerung erfolgen und Marktbarrieren abgebaut werden. Mit nachhaltiger Förderung ist gesamtwirtschaftlich ein organisches, progressives, dynamisches und robustes Wachstum gemeint. Die lokale Förderung betrachtet einerseits die Zulieferer und andererseits die Kunden des DGMs.

Aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive entstehen horizontale und vertikale Wirtschaftsbeziehungen, die Arbeitsplätze schaffen oder erhalten, Steuereinnahmen steigern und zuletzt den Raum wohnhafter machen (vgl 4.2.4.1 „Sozialgeographische Ungleichheit“).

Durch Waren und Dienstleistungen, die im Ausland erworben werden, fließt ein Teil der erarbeiteten Rendite und des damit verbundenen Wohlstands ab. Förderung im Rahmen des Indikators meint allgemein die Anregung der Tätigkeiten, die Vernetzung von Unternehmen, sowie gemeinsame Arbeit und Forschung.

Auch den lokalen Markt betreffende disruptive und marktschädigende Einflüsse werden erfasst. Beispielsweise sind lokale Einzelhändler dem Konkurrenzdruck von Onlinehändlern ausgesetzt, die durch das größere Angebot, die bequeme Bestellweise, schnell gelieferte Ware und unkomplizierte Rückgabe von Artikeln den Markt verändert haben. Diese Faktoren werden auf der negativen Seite dieses Indikators erfasst und gegen die positiven Aspekte aufgerechnet. Wohingegen Annehmlichkeit, größere Auswahl und schnelle Lieferung an die Haustür im Falle eines Onlinehändlers positiv in den Indikatoren 4.2.2.1 „Wertschöpfung“ und 4.2.4.4 „Lebensqualität“ bewertet werden würden.

Der Indikator „Förderung lokaler Wirtschaft“ fußt auf nachhaltiger Entwicklung der deutschen Wirtschaftsräume, die positiv oder negativ vom DGM beeinflusst werden können. Dies kann auf der negativen Seite zu einer Verkümmern des Netzwerks (Leerstand in Innenstädten [268]) führen. Auf der positiven Seite werden die Förderungen und Schöpfung von Wirtschaftsnetzwerken verstanden. Beispielsweise fallen Lieferanten von Rohstoffen und Systemen, Dienstleistungen wie

Steuerberatung, Facility Management oder Server-Hosting darunter. Neben diesen Geschäftsbeziehungen werden auch indirekte Effekte betrachtet, wie Wissensaufbau und Transfer, Steigerung der Kaufkraft durch zugezogene Arbeitnehmer und deren Produkt- und Dienstleistungsnachfrage.

Bewertung:

Die Entwicklung der Wirtschaftsräume, auf die das DGM Einfluss ausübt, wird qualitativ auf positive oder negative Veränderungen untersucht. Bestenfalls ist es möglich, aus historischen Marktdaten vergleichbarer Geschäftsmodelle Informationen zu beziehen, welche und in welchem Maß lokale Effekte aufgetreten sind. Dazu zählt beispielsweise die Anzahl von Bestandsunternehmen und Neugründungen, die in direkter Beziehung zum Geschäftsmodell stehen.

Eine qualitative Bewertung des Indikators kann auf Basis von Art und Reichweite der Förderung folgen. Die notwendigen Informationen könnten beispielsweise aus von Gebietskörperschaften publizierten Studien entnommen werden, die Wirtschaftsraumentwicklung untersuchten. Andere erfolgversprechende Quellen sind Branchen spezifische Untersuchungen zum Thema Lieferkette und Beschaffungsareal.

4.2.3 Säule „Ökologische Nachhaltigkeit“ (Umwelt)

Die Auswahl der Bewertungsindikatoren für die Säule „ökologische Nachhaltigkeit“ orientiert sich insbesondere an den Sustainable Development Goals (SDG) sowie den Indikatoren der Global Reporting Initiative (GRI). Tabelle 8 fasst die Indikatoren sowie die Zuordnung zu den zugrundeliegenden SDGs und den Indikatoren des GRI zusammen.

In der Säule „Ökologische Nachhaltigkeit“ werden fünf Indikatoren betrachtet, welche die weitsichtige und effiziente Nutzung der Ressourcen bewerten und jeweils untenstehend näher erläutert werden:

Abschnitt	Indikator	SDG	GRI
4.2.3.1	Treibhausgasemissionen	13: Maßnahmen zum Klimaschutz	305: Emissions
4.2.3.2	Energieverbrauch	7: Bezahlbare und saubere Energie	302: Energy
4.2.3.3	Materialverbrauch	12: Nachhaltiger Konsum und Produktion	301: Materials
4.2.3.4	Kreislaufwirtschaft	12: Nachhaltiger Konsum und Produktion	301: Materials 306: Waste
4.2.3.5	Paris Alignment	13: Maßnahmen zum Klimaschutz	305: Emissions

Tabelle 8: Zuordnung der Indikatoren zu den SDG und GRI.

4.2.3.1 Treibhausgasemissionen

Der Bewertungsindikator „Treibhausgasemissionen“ beleuchtet die Entwicklung der spezifischen Treibhausgasemissionen (bilanziert in CO₂e). Ein nachhaltiges digitales Geschäftsmodell führt zu einer Reduktion der spezifischen Treibhausgasemissionen.

Bereits im Jahr 1896 stellte der schwedische Physiker und Chemiker Svante August Arrhenius einen Zusammenhang zwischen den menschengemachten Treibhausgasemissionen¹⁶ und der Zusammensetzung der Erdatmosphäre her [253]. Heute sehen 97 % der Klimaforscher keinen Zweifel an dem Zusammenhang zwischen anthropogenen Treibhausgasemissionen und der Klimaerwärmung [254]. Daher hat sich die globale Staatengemeinschaft mit dem Pariser Klimaabkommen das Ziel gesetzt, die Treibhausgasemissionen auf ein Niveau zu reduzieren, welches die globale mittlere Erderwärmung auf deutlich unter 2 °C begrenzt [255]. Damit ist der Einfluss digitaler Geschäftsmodelle auf die Treibhausgasemissionen unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten von besonderer Bedeutung.

Bewertung:

Die Bewertung der unterschiedlichen Treibhausgase erfolgt durch die einheitliche Bilanzierungsgröße der CO₂e. Diese beschreiben die auf CO₂ normierte Maßeinheit zur Bewertung des globalen Erderwärmungspotenzials. Mit Blick auf die digitalen Geschäftsmodelle wird die Entwicklung der spezifischen Treibhausgasemissionen entlang der gesamten Wertschöpfungskette bilanziert (Scope 1 bis 3). Eine Reduktion der spezifischen Treibhausgasemissionen entspricht einem positiven/sehr positiven Erfüllungsgrad des Indikators „Treibhausgasemissionen“. Durch die spezifische Betrachtung der Treibhausgasemissionen können digitale Geschäftsmodelle mit unterschiedlichem Anwendungspotenzial verglichen werden.

4.2.3.2 Energieverbrauch

Der Bewertungsindikator „Energieverbrauch“ analysiert die Netto-Entwicklung des spezifischen Primärenergieverbrauchs. Durch eine Netto-Betrachtung wird ein möglicher Rebound-Effekt berücksichtigt. Die Betrachtung auf der Ebene Primärenergie ermöglicht die Berücksichtigung von Einflüssen sowohl in den Nachfrage- als auch in den Umwandlungssektoren.

Der Zugang der Bevölkerung zu Energie ist eine Grundvoraussetzung für ein würdiges Leben. Während die Energieversorgung historisch bedingt primär durch fossile Energieträger wie Kohle und Gas erfolgte, muss diese mit Blick auf den Klimaschutz auf erneuerbare Energien wie Wind und Sonne umgestellt werden. Um die Bevölkerung zukünftig mit bezahlbarer und sauberer Energie zu versorgen, ist ein deutlicher Rückgang des Energieverbrauchs erforderlich. Damit stellt der Einfluss eines digitalen Geschäftsmodells auf den Energieverbrauch ein entscheidender Aspekt zur Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit dar.

Bewertung:

Der Erfüllungsgrad des Indikators „Energieverbrauch“ ist unter Nachhaltigkeitsaspekten somit positiv/sehr positiv, wenn es durch das digitale Geschäftsmodell zu einer Reduktion des spezifischen Energieverbrauchs kommt. Dabei erfolgt nach Möglichkeit, d. h. in Abhängigkeit der Datenverfügbarkeit, eine Netto-Betrachtung, sodass etwaige Rebound-Effekte in die Betrachtung einfließen. Für die Bewertung der digitalen Geschäftsmodelle wird der Einfluss auf den Primärenergieverbrauch¹⁷ als Maßeinheit zugrunde gelegt. Dadurch werden sowohl der Einfluss digitaler Geschäftsmodelle auf den Energieverbrauch der Nachfragesektoren berücksichtigt (bspw. Effizienzgewinne in der Beleuchtung), als auch der Einfluss in den Umwandlungssektoren (bspw. Effizienzgewinne thermischer Kraftwerke und energiestatistisch durch einen Fuel-Switch von fossilen zu erneuerbaren Energien) [257].

¹⁶ Zu den Treibhausgasen zählen gemäß GRI: Kohlenstoffdioxid (CO₂), Methan (CH₄), Distickstoffoxid (N₂O), Fluorkohlenwasserstoffe (HFCs), Perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFCs), Schwefelhexafluorid (SF₆), Stickstofftrifluorid (NF₃) [250].

¹⁷ „Der Primärenergieverbrauch (PEV) bezeichnet den Energiegehalt aller im Inland eingesetzten Energieträger. Der Begriff umfasst sogenannte Primärenergieträger, wie zum Beispiel Braun- und Steinkohlen, Mineralöl oder Erdgas, die entweder direkt genutzt oder in sogenannte Sekundärenergieträger wie zum Beispiel Kohlebriketts, Kraftstoffe, Strom oder Fernwärme umgewandelt werden.“ [256]

4.2.3.3 Materialverbrauch

Der Bewertungsindikator „Materialverbrauch“ blickt auf den Einfluss digitaler Geschäftsmodelle auf die Entwicklung des spezifischen Materialverbrauchs. In Kombination mit dem Bewertungsindikator „Energieverbrauch“ wird eine ganzheitliche Analyse mit Blick auf den Ressourcenverbrauch eines digitalen Geschäftsmodells erreicht.

Neben dem Energieverbrauch ist für die Produktion von Waren und Dienstleistungen der Einsatz weiterer Materialien als Rohstoff erforderlich. Für die ganzheitlich Bewertung des Einflusses eines digitalen Geschäftsmodells auf den Ressourcenverbrauch ist somit neben der Betrachtung des Energieverbrauchs (vgl. 4.2.3.2 „Energieverbrauch“) auch die Betrachtung des Materialverbrauchs erforderlich. Ein reduzierter Materialverbrauch ist Grundvoraussetzung für einen weitsichtigen und rücksichtsvollen Umgang mit natürlichen Ressourcen.

Bewertung:

Der Erfüllungsgrad des Indikators „Materialverbrauch“ ist unter Nachhaltigkeitsaspekten somit positiv/sehr positiv zu bewerten, wenn es durch das digitale Geschäftsmodell zu einer Reduktion des spezifischen Materialverbrauchs kommt. Eine Herausforderung bei der Bewertung des Materialverbrauchs ist die Auswahl einer geeigneten Bewertungsgröße. Grundsätzlich kommen hier die Faktoren Volumen [m³], Gewicht [t] und Wert [EUR] in Frage. Mit Blick auf die Aussagefähigkeit des Indikators „Materialverbrauch“ sowie in Anlehnung an GRI-305 wird, wenn möglich, die Bewertungsgröße Gewicht verwendet.

4.2.3.4 Kreislaufwirtschaft

Der Bewertungsindikator „Kreislaufwirtschaft“ betrachtet den Anteil von Sekundärrohstoffen an den gesamt eingesetzten Rohstoffen (Recycling-Quote). Durch eine hohe Recycling-Quote können Abfälle, Ressourcenverbrauch und Treibhausgasemissionen reduziert werden.

Die Analyse eines digitalen Geschäftsmodells mit Blick auf den Materialverbrauch (vgl. 4.2.3.3 „Gehaltsgefüge“) bietet eine Möglichkeit, den weitsichtigen und rücksichtsvollen Umgang mit natürlichen Rohstoffen zu bewerten. Dabei wird jedoch vernachlässigt, ob es sich bei den eingesetzten Rohstoffen um Primär- oder Sekundärrohstoffe (durch Recycling gewonnene Rohstoffe) handelt. Unter dem Indikator „Kreislaufwirtschaft“ wird diesem Aspekt Rechnung getragen. Ziel der Kreislaufwirtschaft ist es, möglichst wenig Primärrohstoffe einzusetzen und stattdessen möglichst viele Sekundärrohstoffe zu verwenden. Dadurch können die Abfallmenge, der Ressourcenverbrauch sowie die Treibhausgasemissionen reduziert werden. Damit hat die Kreislaufwirtschaft in vielerlei Hinsicht einen positiven Einfluss auf die Nachhaltigkeit.

Bewertung:

Als Bewertungsgröße für die Kreislaufwirtschaft wird die Recycling-Quote eingesetzt [251] [252]. Diese definiert sich als Anteil von Sekundärrohstoffen an den gesamt eingesetzten Rohstoffen (Summe aus Primär- und Sekundärrohstoffen). Ein Anstieg der Recycling-Quote entspricht somit unter Nachhaltigkeitsaspekten einem positiven Erfüllungsgrad des Indikators „Kreislaufwirtschaft“, da sich der Anteil der Sekundärrohstoffe erhöht hat

4.2.3.5 Paris Alignment

Der Bewertungsindikator „Paris Alignment“ blickt auf den Einfluss eines digitalen Geschäftsmodells auf die absoluten Treibhausgasemissionen. Damit erweitert er den Bewertungsindikator „Treibhausgasemissionen“ um eine Abschätzung des Marktpotenzials.

Mit dem Indikator Treibhausgasemissionen (vgl. 4.2.3.1 „Treibhausemissionen“) wird bereits der Einfluss eines digitalen Geschäftsmodells auf die spezifischen CO₂e-Emissionen bewertet. Während die Normierung für den Indikatoren Treibhausgasemissionen insbesondere eine Vergleichbarkeit zwischen den unterschiedlichen Geschäftsmodellen ermöglicht, wird dabei der Beitrag der

Geschäftsmodelle zur Reduktion der Treibhausgasemissionen im Sinne des Pariser Klimaabkommen vernachlässigt. Mit dem Pariser Klimaabkommen haben sich 197 Staaten darauf geeinigt, die globalen Treibhausgasemissionen bis 2030 um mindestens 55 % zu reduzieren [258]. Um die mittlere globale Erderwärmung mit einer Wahrscheinlichkeit von 67 % auf etwa 1,75°C zu begrenzen steht global noch ein Budget von ca. 716 Gt CO₂ zur Verfügung (ab 2020) [259]. Für Deutschland bedeutet dies nach Berechnung des Sachverständigenrats für Umweltfragen (SRU) ein Restbudget von ca. 6,7 Gt CO₂ ab 2020 [259]. Werden die Emissionen in Deutschland ab 2020 linear reduziert, reicht dieses verbleibende Budget noch bis etwa 2038 [259].

Bewertung:

Die besondere Relevanz der absoluten Reduzierung der Treibhausgasemissionen wird mit dem Indikator „Paris Alignment“ adressiert. Der Indikator stellt eine Zusammenführung der Indikatoren 6.2.1.1 „Marktpotenzial“ und 6.2.3.1 „Treibhausgasemissionen“ dar. Kommt es durch ein digitales Geschäftsmodell zu einer Reduzierung der absoluten Treibhausgasemissionen (gemessen in CO₂e) entspricht dies einem positiven/sehr positivem Erfüllungsgrad des Indikators „Paris Alignment“.

4.2.4 Säule „Soziale Nachhaltigkeit“ (Soziales)

Die Säule „Soziale Nachhaltigkeit“ umfasst zentrale Indikatoren der gesellschaftlichen Teilhabe, von Bedürfnissen, Normen und Wohlergehen der Gesellschaft und welche positiven oder negativen Einflüsse das DGM auf diese hat. Zum einen werden Einflüsse auf die Siedlungs- und infrastrukturelle Entwicklung, zum anderen Effekte, die die Chancengleichheit oder Dynamik zwischen gesellschaftlichen Schichten beeinflussen, beleuchtet. Das durch das verkündete Sorgfaltspflichtengesetz [269] ausgedrückte gesellschaftliche Anliegen, dass der deutsche Lebensstil und das Konsumverhalten nicht zu Lasten anderer erfolgen soll, wurde in Form des Indikators „Lieferkettensorgfalt“ in die Bewertung aufgenommen. Weitere Indikatoren bewerten den Einfluss des DGM auf das gesellschaftliche Wohlbefinden und insbesondere auf die Sicherheit. Das Wohlbefinden und die Lebensqualität werden durch das DGM auf Grund von positiven oder negativen Veränderungen des Lebens- und Arbeitsstiles sowie der Freizeitgestaltung beeinflusst. Der Indikator umfasst neben körperlicher und geistiger Sicherheit, Datenschutz, Rechtssicherheit, finanzielle sowie gesellschaftliche Sicherheit.

Die Säule „Soziale Nachhaltigkeit“ umfasst die unten aufgeführten Indikatoren.

Sozialgeographische Ungleichheit:

Der Indikator „Sozialgeographische Ungleichheit“ erfasst den Netto-Einfluss des DGM auf räumlich benachteiligte Marktteilnehmer. Das Stadt-Land-Gefälle hat eine geminderte Teilhabe und reduzierte Entwicklungschancen auf dem Land im Vergleich zu Städten zur Folge. Diskriminierung kann beispielsweise in Form von höheren Kosten, schlechterem Zugang und schlechterer Qualität der Leistungen des DGMs in ländlichen Gemeinden im Vergleich zu Großstädten auftreten.

Sozioökonomische Ungleichheit:

Der Indikator „Sozioökonomische Ungleichheit“ beleuchtet Effekte des DGM auf die Lebenshaltungskosten und potenzielle Kostenreduktionen, von denen insbesondere einkommensschwächere Haushalte profitieren können. Ersparnisse fördern die Sicherheit und Stabilität von Haushalten und zusätzliches frei verfügbares Haushaltsbudget kann zu Konsumzwecken eingesetzt werden. Dies kann sowohl in Form von Dienstleistungskonsum als auch durch den Kauf von Produkten geschehen. Der zusätzliche Konsum führt zu mehr gesellschaftlicher Teilhabe von Haushalten und verringert die Schere zwischen Arm und Reich.

Lieferkettensorgfalt:

Die Anfälligkeit der Lieferkette in Bezug auf Menschenrechtsverletzungen wird mittels dieses Indikators bewertet. Grundlage hierfür ist das Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz mit den darin formulierten Menschenrechtsrisiken sowie den Möglichkeiten für tatsächliche Anhaltspunkte für Menschenrechtsverletzungen. Für die Bewertung werden Menschenrechtsrisiken für die potenziellen Produktionsregionen und Branchen der ggfs. verzweigten Lieferkette des DGMs analysiert.

Lebensqualität:

Einflüsse des DGM auf die Lebensqualität der Endverbraucher werden in diesem Indikator analysiert. Steigerung der Lebensqualität gehört zu den wichtigsten Kaufkriterien und Alleinstellungsmerkmalen, durch die sich neuartige Produkte und Dienstleistungen von Wettbewerbern abheben können. Der Indikator „Lebensqualität“ bewertet gesamtgesellschaftliche Auswirkungen. Jedoch kann der Einfluss des DGMs auf verschiedene soziale Schichten heterogen sein.

Abschnitt	Indikator	SDG	GRI-Reporting
4.2.4.1	Sozialgeographische Ungleichheit	11: Nachhaltige Städte und Gemeinden	405: Diversität und Chancengleichheit 406: Nichtdiskriminierung 413: Lokale Gemeinschaft
4.2.4.2	Sozioökonomische Ungleichheit	1: Armut 10: Weniger Ungleichheiten	401: Beschäftigung 405: Diversität und Chancengleichheit 406: Nichtdiskriminierung 419: Sozioökonomische Compliance
4.2.4.3	Lieferkettensorgfalt	8: Menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum 12: Nachhaltiger Konsum	407: Vereinigungsfreiheit und Tarifverhandlungen 408: Kinderarbeit 409: Zwangs- oder Pflichtarbeit 412: Prüfung auf Einhaltung der Menschenrechte 414: Soziale Bewertung der Lieferanten
4.2.4.4	Lebensqualität	3: Gesundheit und Wohlergehen	405: Diversität und Chancengleichheit 416: Kundengesundheit und -sicherheit
4.2.4.5	Sicherheit	16: Frieden, Gerechtigkeit und starke Institutionen	410: Sicherheitspraktiken 416: Kundengesundheit und -sicherheit 418: Schutz der Kundendaten

Tabelle 9: Zur Konsolidierung der Indikatoren der Säule „Soziale Nachhaltigkeit“ herangezogene Zielsetzungen und Berichterstattungskennzahlen.

Grundgedanke einer nachhaltigen, politisch initiierten Entwicklung der Lebensqualität ist das Wachstum des gesamtgesellschaftlichen Wohlergehens und Förderung von Faktoren, die die Lebensqualität von benachteiligten Bevölkerungsgruppen erhöht.

Sicherheit:

Der Indikator „Sicherheit“ beschreibt die Effekte des DGMs auf schützenswerte Freiheits- und Gleichheitsrechte. Diese sind in Deutschland im Grundgesetz festgehalten. Hinsichtlich des digitalen Fokus der Geschäftsmodelle haben Persönlichkeitsrechte, insbesondere Aspekte der Zugriffs- und Datensicherheit einen gehobenen Stellenwert in der Untersuchung, da das DGM beeinflusst, ob die Datensicherheit der involvierten Akteure gewährleistet ist. Durch die Verpflichtung der Anbieter, Maßnahmen zur Prävention, Kontrolle und Nachverfolgung zu etablieren, kann die Sicherheit der Nachfragenden durch das DGM gesteigert werden.

In Tabelle 9 ist die Verankerung der fünf ausgewählten Indikatoren der Säule „Soziale Nachhaltigkeit“ in den SDG-Nachhaltigkeitszielen der UN sowie den Nachhaltigkeitsberichtskennzahlen des GRI dargestellt.

4.2.4.1 Sozialgeographische Ungleichheit

Die Grundfragen der Sozialgeographie sind zweierlei: Wie organisiert sich die Gesellschaften räumlich? Welche Bedeutung hat die räumliche Verteilung der Gesellschaft für das Zusammenleben? Unter Raum sind sowohl Umweltfaktoren wie Boden, Wetter und Wasser, als auch menschengemachte Faktoren wie Siedlungsbau, Verkehr, Versorgungsnetzwerke, etc. zu verstehen. Ungleichheit entsteht durch die individuellen Bedürfnisse der Menschen und der persönlichen Wahl des Lebensmittelpunkts. Der Indikator „Sozialgeographische Ungleichheit“ erfasst den Netto-Einfluss des DGM auf räumlich benachteiligte Marktteilnehmer. Er drückt aus, ob das DGM positiv oder negativ auf bestehende räumliche Barrieren, die den Zugang zu Angeboten behindern, wirken kann. Die Benachteiligungen sind nicht auf Mobilität beschränkt, sondern umfassen alle Aspekte des Lebens die sich räumlich bedingt in Deutschland unterscheiden, darunter Bildung, Freizeitgestaltung, Konsum, etc. Der Indikator weist daraufhin, wie groß der Einfluss des DGMs auf diese vielfältigen räumlichen Unterschiede ist. Oft werden Vergleiche zwischen Städten und dünnbesiedelten Regionen gezogen: Das Stadt-Land-Gefälle hat eine geminderte Teilhabe und schlechtere Entwicklung auf dem Land im Vergleich zu Städten zur Folge. Vielzitierte Nachteile [270] des Lebens außerhalb von Ballungsräumen sind der Mangel an Infrastruktur, medizinischer Versorgung, geringere Diversität von Freizeitaktivitäten, weniger Arbeitsplätze in unmittelbarer Nähe und geringere Auswahl bei Waren und Dienstleistungen. Eine Ausweitung der Diskrepanz zwischen Stadt und Land kann beispielsweise in Form von höheren Kosten, schlechterem Zugang oder schlechterer Qualität messbar sein. Der Ort des Lebensmittelpunkts hat signifikante Einwirkungen auf Lebensstil und Chancenpotenzial. Lernen in Bildungseinrichtungen, sportliche Betätigung in Vereinen und kulturelle Bildung in Museen sind nur drei von vielen Beispielen, die Menschen langfristig prägen. Unter dem Begriff Stadt-Land-Gefälle werden mehrere Merkmale zusammengefasst, die die genannten Benachteiligungen des ländlichen Raums abbilden. Der allgemeine Entwicklungstrend wird dafür sorgen, dass sich ohne signifikante Maßnahmen die Diskrepanz weiter vergrößern wird.

Bewertung:

Effekte werden als positiv bewertet, wenn der Zugang und die Nutzung des DGM nicht nur nicht zwischen Ballungs- und ländlichen Räumen unterscheidet, sondern wenn darüber hinaus bestehende Barrieren abgebaut werden, zum Beispiel in der Form von Arztvisiten per Webcam, bessere Mobilitätslösungen, mehr Teilhabe an Freizeitaktivitäten und Leistungen, die in Städten verfügbar sind. Positiv wird ebenfalls bewertet, wenn das DGM eine möglichst geringe räumliche Mindestnutzernzahl voraussetzt und in dünnbesiedelten Regionen seine Funktionalität nicht einbüßt. Andererseits werden negative Einflüsse gewertet, die den Mangel an Teilhabe intensivieren.

Für den Indikator wird die notwendige Infrastruktur, um das DGM in vollem Umfang nutzen zu können, beleuchtet und darauf untersucht, ob die Voraussetzungen für räumlich benachteiligte Personen erfüllt sind. Sollten der Versorgung dünnbesiedelter Regionen Hindernisse im Weg ste-

hen, wird zudem bewertet, ob das DGM sinnvolle Förderungen etablieren kann, um das Geschäftsmodell an benachteiligte Endnutzer anzupassen: Auf die geringere Bandbreite in ländlichen Regionen beispielsweise könnte mit datensparendem Design von Inhalten reagiert werden.

4.2.4.2 Sozioökonomische Ungleichheit

Dieser Nachhaltigkeitsindikator erfasst die Eigenschaft des DGM, sozioökonomische Merkmale positiv oder negativ zu beeinflussen. Unter dem sozioökonomischen Status (SOS) versteht man ein Gesamtbild aus Beziehungen, wie sich gesellschaftliche und wirtschaftliche Teilhabe bedingen. Es ist Thema wiederkehrender Diskussion, welche den größten Einfluss auf den sozioökonomischen Status haben. Bildungsgrad, berufliche Tätigkeit und Haushaltseinkommen zählen zu dem am häufigsten zitierten [271].

„Sozioökonomische Ungleichheit“ soll bewerten, ob ein DGM die bestehende Ungleichheit verstärkt oder zu einem Abbau führt. Dabei muss insbesondere untersucht werden, ob es für alle Gesellschaftsschichten möglich ist, an dem DGM zu partizipieren. Im nächsten Schritt soll beleuchtet werden, ob die Partizipation von einzelnen Bevölkerungsgruppen im Besonderen gefördert oder beeinträchtigt wird.

Der Indikator evaluiert Effekte des DGM auf die Lebenshaltungskosten und andere Kostenreduktionen, die eine umverteilende Wirkung auf Haushalte, insbesondere auf einkommensschwache, haben. Die ermöglichten Investitionen durch die Umverteilung können die gesellschaftliche Teilhabe der Haushalte erhöhen. Das kann in Form von Bildungsangeboten, Freizeitgestaltung, Konsum etc. sein. Mehr Teilhabe von benachteiligten Haushalten hilft dabei, die Schere zwischen Arm und Reich zu schließen.

Bewertung:

Der Indikator „Sozioökonomische Ungleichheit“ wird qualitativ und falls möglich quantitativ erhoben. Abschätzungen der Kostenreduktion erfolgen auf der Basis von Daten des Wirtschaftssektors, dem das DGM angehört, sowie den Eigenschaften des Geschäftsmodells. Die Kostensteigerung einer Kategorie ist als ein negativer Effekt anzusehen, da einkommensschwache Haushalte über geringere Geldmittel besitzen, um zusätzliche Ausgaben in Verbindung mit dem DGM zu finanzieren.

4.2.4.3 Lieferkettensorgfalt

Durch Globalisierung und Vernetzung sind eine Vielzahl von Geschäftsmodellen auf verzweigte, mehrstufige Lieferketten angewiesen. Mithilfe des Indikators „Lieferkettensorgfalt“ wird das Risiko von Menschenrechtsverletzungen in der Produktions- und Lieferkette von Rohstoffen und Vorprodukten ebenso wie von Diensten bewertet.

Menschenrechtliche Risiken sind beispielsweise durch das Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz (LkSG) definiert und beinhalten die Gefahr von Kinderarbeit [272], Zwangsarbeit, Ausbeutung und Sklaverei, von Ungleichbehandlung in Beschäftigung aufgrund von z.B. ethnischer Abstammung, sozialer Herkunft, sexueller Orientierung und religiöser Weltanschauung sowie der Missachtung von Pflichten des Arbeitsschutzes und der Koalitionsfreiheit. Die in diesem Gesetz ebenfalls geregelten umweltbezogenen Sorgfaltspflichten werden in der Säule 4.2.3 „Ökologische Nachhaltigkeit“ berücksichtigt.

Bewertung:

Für die Bewertung ist es entscheidend, welche Rohstoffe, Vorprodukte und Dienstleistungen für das DGM nötig sind und aus welchen Ländern und Sektoren diese potenziell bezogen werden. Dazu wird die Lieferkette des DGM bis zu den Ausgangspunkten der Rohstoffe, wenn nötig über mehrere Stufen, betrachtet. Für die Bewertung liefern Berichte über eine schlechte Menschen-

rechtslage in der Produktionsregion sowie die Zugehörigkeit zu einer Branche mit bekannten menschenrechtlichen Risiken oder Vorfällen Anhaltspunkte. Auf dieser Basis wird eine qualitative Bewertung der Lieferkettensorgfalt des DGM vorgenommen. Zudem dienen Metriken wie durchschnittliche Löhne und Arbeitszeiten in der entsprechenden Branche im Vergleich zu den regionalen rechtlichen Rahmenbedingungen und Standards zur Einstufung von menschenrechtlichen Risiken wie hier der Ausbeutung.

Beispielsweise ist Kobalt ein wichtiger Rohstoff für die Herstellung von batterieelektrischen Fahrzeugen, der unter anderem in afrikanischen Ländern gewonnen wird, die für Menschenrechtsverletzungen bekannt sind [273].

4.2.4.4 Lebensqualität

Die Effekte des DGM auf die Lebenszufriedenheit und das Wohlbefinden der Marktteilnehmer wird in diesem Indikator untersucht. Steigerung der Lebensqualität gehört zu den wichtigsten Kaufkriterien und Alleinstellungsmerkmalen, durch die sich neuartige Produkte und Dienstleistungen abheben können. Untersucht wird der durch Technologie ermöglichte Mehrwert (vgl. 6.2.2.1 „Wertschöpfung“) eines DGM, der zu einer nachhaltigen Verbesserung der Lebensführung der Endverbraucher beiträgt.

Qualitative Merkmale des Indikators sind beispielsweise Zeitersparnis, ein breites Produktangebot, Bildung, Gesundheit, Glück und Lebensbalance. Zu den Aspekten der Lebensqualität zählen zudem eine lebenswerte Umwelt, Teilhabe, Familie und soziale Kontakte sowie ein geregeltes Einkommen [274].

Grundgedanke einer nachhaltigen Entwicklung der Lebensqualität ist es, dass das gesamtgesellschaftliche Wohlergehen wächst. In der Literatur wird Lebensqualität als numerischer Index zusammengesetzt aus mehreren Indikatoren quantifiziert und findet Anwendung in einer Vielzahl an wissenschaftlichen Disziplinen, darunter Medizin, Gesellschafts- und Wirtschaftsforschung [274].

Bewertung:

Der Indikator „Lebensqualität“ bewertet die Intensität und Reichweite der Verbesserung oder Verschlechterung des gesellschaftlichen Wohlergehens aufgrund des DGMs. Dabei erfolgt die Bewertung qualitativ.

Zur Beurteilung des Indikators werden positive und negative Effekte des DGM auf die vorherig genannten Lebensqualitätsaspekte gleichrangig untersucht. Aus dem Resultat wird die Netto-Bewertung geformt, die umso positiver ausfällt, je mehr Aspekte positiv beeinflusst werden. Dabei werden Auswirkungen, die verschiedene Aspekte des Indikators betreffen, gesamthaft betrachtet. Beeinflusst das DGM etwa einen Lebensqualitätsaspekt im großen Maße, kann dies in der Bewertung mit mehreren geringfügigeren Veränderungen gleichzusetzen sein.

4.2.4.5 Sicherheit

Der Indikator beleuchtet die Effekte des DGMs auf schützenswerte Freiheits- und Gleichheitsrechte. Diese sind in Deutschland im Grundgesetz festgehalten. Hinsichtlich des digitalen Fokus der Geschäftsmodelle haben Persönlichkeitsrechte, insbesondere Aspekte der Zugriffs- und Datensicherheit einen gehobenen Stellenwert in der Untersuchung. DGM arbeiten mit Daten und generieren aus diesen Daten einen ökonomischen Mehrwert, deshalb muss auch die Datensicherheit der involvierten Akteure gewährleistet sein. Durch die Verpflichtung der Anbieter, Maßnahmen zur Prävention, Kontrolle und Nachverfolgung zu etablieren, kann die Sicherheit der Nachfragenden durch das DGM gesteigert werden.

Sicherheit ist ein allen Menschen gemeinsames Bedürfnis. Die Lebensführung und -planung baut auf dem vorhandenen Maß an Sicherheit auf. Die Vorteile einer berechenbaren Lebensführung

tragen zum menschlichen Wohlbefinden bei. Die Planbarkeit bezieht sich beispielsweise auf Nahrungsversorgung, Schutz von Besitztümern, körperliche Unversehrtheit und den gesellschaftlichen Status.

Bewertung:

Zur Beurteilung des Indikators werden qualitative Effekte auf Freiheits- und Gleichbehandlungsrechte, insbesondere auf Daten- und Zugriffsrechte bewertet. Da die Bewahrung von Grundrechten im Cyberspace der Verpflichtung der Anbieter Maßnahmen zur Prävention, Kontrolle und Nachverfolgung zu etablieren notwendig ist, wird untersucht, welche Schutzmaßnahmen beim DGM integrierbar sind. Insbesondere Eigenschaften des DGM, die dem Schutz persönlicher Daten vor fremden Zugriff dienen, fließen positiv in den Indikator ein. Wohingegen Schwächen des DGM negativ bewertet werden, die Raum zur Manipulation, Ausbeutung und Verstößen gegen die Datensicherheit bieten.

4.3 Interpretierbarkeit der Ergebnisse des Analyserahmens

Die Abgrenzung der einzelwirtschaftlichen Betrachtung eines Geschäftsmodells in der Gesamtbewertung Chancen und Potenziale (entspricht der Säule Chancen und Potenziale) von der volkswirtschaftlichen Betrachtung im der Gesamtbewertung Nachhaltigkeit (entspricht den gewichteten Säulen 2-4) ermöglicht schlussendlich Sensitivitätsanalysen und die Kategorisierung des Geschäftsmodells mit Blick auf unterschiedliche regulatorische Handlungsoptionen.

4.3.1 Unterschiedliche Gewichtungen der Nachhaltigkeitssäulen

Der zuvor eingeführte Analyserahmen sieht eine Gewichtung der drei Säulen „Ökonomische Nachhaltigkeit“, „Ökologische Nachhaltigkeit“ und „Soziale Nachhaltigkeit“ zum Gesamtbewertungsfaktor „Nachhaltigkeit“ vor. Für diese Studie gehen wir von einer gleichmäßigen Gewichtung der drei Säulen aus, d.h. jede Säule geht mit Gewicht 1/3 in die Nachhaltigkeitsbewertung ein.

Grundsätzlich ist denkbar, den Analyserahmen auch anzuwenden, wenn einzelne Säulen über- bzw. untergewichtet werden oder zur Abwertung führen sollen. Denkbar ist beispielsweise, dass die Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit zur Abwertung führen kann, indem die Bewertung dieses Faktors als Obergrenze für die Gesamtbewertung Nachhaltigkeit gilt. In diesem Fall wäre die Nachhaltigkeitsbewertung nie besser als die ökologische Nachhaltigkeit.

4.3.2 Kategorisierung des Geschäftsmodells bzgl. regulatorischer Handlungsoptionen

Die Gesamtbewertungen eines digitalen Geschäftsmodells in den Dimensionen „Chancen und Potenziale“ sowie „Nachhaltigkeit“ ermöglicht eine Kategorisierung in vier verschiedene Gruppen. Aus dieser Kategorisierung lassen sich übergeordnet unterschiedliche Handlungsempfehlungen ableiten, insbesondere auch wo und wie steuernd eingegriffen werden muss, um Nachhaltigkeit zu fördern und zu fordern. Dabei können die folgenden vier Eingliederungen unterschieden werden (vgl. Abbildung 7):

Hoher Wert „Chancen und Potenziale“ und hoher Nachhaltigkeitswert:

Diese Geschäftsmodelle sind sehr zukunftsfähig und wirken gleichzeitig nachhaltig. Es ist davon auszugehen, dass diese Geschäftsmodelle sich ohne weitere Förderung am Markt etablieren und gleichzeitig die Nachhaltigkeitsziele vorantreiben.

Hoher Wert „Chancen und Potenziale“ und niedriger Nachhaltigkeitswert:

Diese Geschäftsmodelle sind kritischer zu betrachten. Sollten sich diese Geschäftsmodelle am Markt etablieren, so kann dies die Erreichung von Nachhaltigkeitszielen negativ beeinflussen. Auf diese Geschäftsmodelle ist besonderes Augenmerk zu legen, um ggf. von regulatorischer Seite mehr Nachhaltigkeitseffekte einzufordern oder in der vollen Konsequenz das Geschäftsmodell zu reglementieren.

Niedriger Wert Chancen und Potenziale und hoher Nachhaltigkeitswert:

Diese Geschäftsmodelle zeigen positive Nachhaltigkeitseffekten, können sich aber ggf. eigenständig nicht am Markt etablieren. Hier gilt es durch geschickte Rahmensetzungen von Seite der öffentlichen Hand Impulse zu geben, die auch diesen Geschäftsmodellen zum Wachsen verhilft und somit die Nachhaltigkeitsziele stärkt.

Niedriger Wert Chancen und Potenziale und niedriger Nachhaltigkeitswert:

Diese Geschäftsmodelle sind im Wesentlichen nicht weiter relevant. Es empfiehlt sich eine weitere Beobachtung, aber es ist davon auszugehen, dass sich diese Modelle nicht am Markt durchsetzen und damit auch keinen relevanten negativen Effekt zu Nachhaltigkeitszielen leisten können.

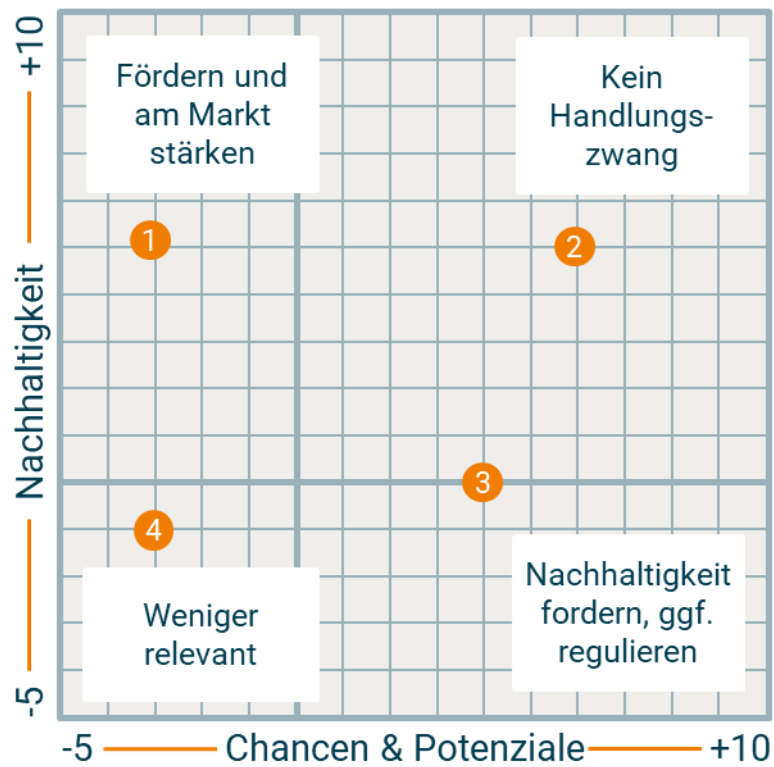


Abbildung 7: Kategorisierung von vier beispielhaften Geschäftsmodellen bzgl. ihrer Bewertung zu Nachhaltigkeit und Chancen und Potenziale.

Der entwickelte Analyserahmen gibt so neben der grundlegenden Bewertung eines digitalen Geschäftsmodells und seiner Nachhaltigkeit auch eine Kategorisierung bzgl. möglicher regulatorischer Steuerungsimpulse für das Erreichen der Nachhaltigkeitsziele vor.

5. Fallstudien in den Netzsektoren

Es werden fünf Fallbeispiele aus den Netzsektoren betrachtet. Hierzu wird der Analyserahmen aus dem vorangegangenen Abschnitt angewendet und die Fallbeispiele gemäß der identifizierten Nachhaltigkeitssäulen sowie hinsichtlich ihrer Chancen und Risiken eingeordnet.

Die folgenden Fallbeispiele werden betrachtet:

1. Consumer IoT - Internet der Dinge (IoT) und die intelligente Vernetzung von Objekten am Beispiel smarter Kühlschränke
2. City-Logistik Kooperationen und Plattformen zur Vernetzung von lokalen Einzelhändlern, Bürgern und KEP-Diensten auf der letzten Meile
3. KI-basierte Einspeise- und Lastflussprognosen
4. Multimodale Vernetzung im Personenverkehr mittels Mobility-as-a-Service (MaaS) Plattformen
5. Intelligente Straßenlaternen in der Smart City

Zuvor betrachten wir zur Einführung zunächst die Bedeutung von digitalen Kommunikationstechnologien für die Nachhaltigkeitsbewertung als eine der Komponenten, die für alle digitalen Geschäftsmodelle von grundlegender Bedeutung ist.

Telekommunikationssektor als zentrale Enabler für Innovationen und Vernetzung

Gut ausgebaute Telekommunikationsstrukturen stellen eine grundlegende Voraussetzung für gesellschaftliche und wirtschaftliche Vernetzungsprozesse und digitale Geschäftsmodelle dar. Insbesondere das Internet ist zu einem zentralen Pfeiler unserer Volkswirtschaft geworden und hat fundamentale Veränderungen mit sich gebracht, Suchkosten massiv gesenkt und die Medienlandschaft umfassend verändert. In einigen Branchen ist die Erbringung von Dienstleistungen nicht mehr an einen geographischen Ort gebunden. E-Commerce hat die Struktur des Handels nachhaltig verändert und das Internet hat für Anbieter und Nachfrager einen nie dagewesenen Grad an Transparenz geschaffen [276].

Flächendeckende und leistungsfähige Telekommunikationsinfrastrukturen erlauben Verbrauchern die Teilnahme an der digitalen Welt und stellen für Unternehmen einen elementaren Wettbewerbsfaktor dar. Im Hinblick auf die fortschreitende Digitalisierung und Vernetzung der Wirtschaft und Gesellschaft fungieren Telekommunikationsnetzbetreiber und Dienstleister als Enabler für digitale Innovationen sowie neue Geschäftsmodelle.

Die zunehmende Vernetzung mit Hochgeschwindigkeitsdatennetzen ermöglicht auch die stärkere Dezentralisierung der Dateninfrastruktur innerhalb von Cloud-Diensten (bzw. Zentralisierung von Daten und Rechenleistung aus Sicht des Cloud-Anbieters). Dies erspart Unternehmen den Aufbau eigener IT-Infrastrukturen, was einerseits zu Kosteneinsparungen führt sowie die ortsunabhängige Entwicklung von DGM erleichtert.

Des Weiteren ermöglicht die Miniaturisierung der IT (d. h. die Abnahme des Platzbedarfs von Dateninfrastrukturen)¹⁸ neuartige IoT-Anwendungen, die beispielsweise eine kleinteilige Sensorik benötigen. Dies führt zu einer Vermehrung von IoT-Anwendungsfällen und damit innovativen Geschäftsmodellen.

¹⁸ Siehe Details zur Miniaturisierung der IT sowie deren Vorteile und Risiken in BfDI [277].

Für sämtliche hier vorgestellten Fallstudien, sowie generell für jedes digitale Geschäftsmodell, gilt, dass diese zumindest auf Dateninfrastruktur und meistens auf moderne Telekommunikationstechnologien angewiesen sind.

Lokale oder zentralisierte Datenverarbeitung ist die Grundvoraussetzung digitaler Anwendungen. Telekommunikationsnetze sind zumeist ebenfalls eine Grundvoraussetzung, durch die digitale Anwendungen unabhängig vom Ort ihrer zentralen Rechenfunktion genutzt oder Nutzer einer digitalen Anwendung miteinander verbunden werden können.

Telekommunikationsnetze können öffentlicher oder privater Natur sein, kommerziell oder gemeinnützig betrieben werden, kabelgebunden oder kabellos kommunizieren. Ihre Bedeutung für die Betrachtung der Nachhaltigkeit digitaler Geschäftsmodelle ergibt sich aus den folgenden Zusammenhängen die kurz für die jeweiligen Nachhaltigkeitssäulen erläutert werden:

- **Wirtschaftliche Nachhaltigkeit:** Die Art der Bereitstellung einer digitalen Anwendung ist häufig von den Eigenschaften zugrundeliegender Kommunikationsnetze abhängig. Video-streaming ist beispielsweise erst mit dem hinreichenden Ausbau einer leistungsfähigen Breitbandinfrastruktur praktikabel. Die Wirtschaftlichkeit von Anwendungen des IoT könnten je nach Art und Anzahl der Komponenten vom Zugang zu öffentlichem/freiem Spektrum abhängen. Politische und regulatorische Stellschrauben, wie Frequenzuteilung, Vorgaben zur Mindestabdeckung und administrative oder finanzielle Anreize zum Netzausbau können sich entscheidend auf die Wirtschaftlichkeit von Telekommunikationsnetzen und somit deren Bestehen, aber auch auf die Zugangsbedingungen für Nutzer der Netze und somit die Wirtschaftlichkeit von digitalen Geschäftsmodellen auswirken. So hat etwa kürzlich die Bundesnetzagentur 100 MHz 5G-Spektrum für industrielle Anwendungen (im Unterschied zu Mobilfunkanbietern) freigegeben. Dies könnte den Aufbau privater Netzwerke für Unternehmen kostengünstiger machen, beispielsweise zum Zwecke der Nutzung von IoT für den digitalen Zwilling.
- **Ökologische Nachhaltigkeit:** Digitalisierung kann einen entscheidenden Hebel für den Klimaschutz darstellen und bedeutend zum Erreichen von ökologischen Nachhaltigkeitszielen beitragen. Eine aktuelle Bitkom-Studie schätzt, dass die Digitalisierung zwischen 23 % (unter Annahme moderater Digitalisierung) und 34 % (bei beschleunigter Digitalisierung) der nötigen Emissionseinsparungen zur Erreichung des deutschen Klimaziels bis 2030 beitragen kann. Diese Berechnung berücksichtigt, dass die Telekommunikations- und Dateninfrastruktur selbst einen erheblichen Emissionsanteil beisteuert.

Studien haben den Anteil von IKT (Internet- und Kommunikationstechnologie) an den globalen Treibhausgasemissionen auf ca. 2-4 % geschätzt (Lebenszyklus-Emissionen) [278]. Dieser Anteil kann sich zukünftig weiter erhöhen, da Technologien zwar generell zunehmend effizienter arbeiten (z.B. weniger Elektrizität pro Einheit übertragenen Datenvolumen konsumieren) aber auch die Größe des möglichen Datenvolumens exponentiell erhöhen. Kernelement zur Dekarbonisierung des IKT-Bereichs ist die Nutzung emissionsfreier Elektrizität, die bereits von einigen Hyperscalern ¹⁹ (z.B. Tech-Giganten wie Google, Apple, Amazon) intensiv nachgefragt wird,²⁰ jedoch auch Ressourcen zur Dekarbonisierung anderer Wirtschaftsbereiche binden kann.

Die Bitkom-Schätzungen zur Auswirkung der Digitalisierung auf die ökologische Nachhaltigkeit ergeben sich auch aus einem Bruttoeinsparungspotenzial von 28-41 % an CO₂e-Emissionen sowie einem eigenen CO₂e-Fußabdruck der dafür notwendigen digitalen Infrastruktur (inkl. deren Produktion, Nutzung und Entsorgung) im Jahr 2030. Insgesamt ergibt sich daraus ein CO₂e-Nettoeffekt von 23-34 % der notwendigen Einsparungen [283]. Die Unterscheidung in

¹⁹ Siehe auch [279]

²⁰ So hat etwa Google kürzlich eine Offshore-Windkraftanlage erworben [280]. Apple investiert in den Bau von zwei der weltgrößten Windturbinen [281]. Siehe Amazons Investition in Windturbinen [282].

Brutto- und Nettoeffekte veranschaulicht, dass bei der Betrachtung der Auswirkungen der Digitalisierung im Allgemeinen sowie von konkreten digitalen Geschäftsmodellen die notwendige (digitale) Hintergrundinfrastruktur mitberücksichtigt werden muss, um zu einer Schätzung des Nettoeffekts zu gelangen. Dieser Nettoeffekt liegt daher wohl in den meisten Fällen (geringfügig) unter dem Bruttoeffekt ohne Miteinbeziehung nötiger Infrastruktur wie etwa Server, Mobilfunkmasten etc. Dieser Aspekt sollte auch im Hinblick auf die hier im Folgenden präsentierten Fallstudien berücksichtigt werden. Aufgrund der inkrementellen Betrachtung der Auswirkungen einzelner DGM ist jedoch der erwartete Effekt (etwa eine Erhöhung der Treibhausgasemissionen durch die zusätzlich nötige Infrastruktur) meist gering und wird im Rahmen der einzelnen Fallstudien nicht näher quantifiziert.

- **Soziale Nachhaltigkeit:** Die Telekommunikations- und Dateninfrastruktur spielt in Bezug auf die soziale Nachhaltigkeit eine vermutlich untergeordnete Rolle. Trotzdem können Effekte der Kommunikation und Dateninfrastruktur Auswirkungen auf soziale Faktoren haben. So können etwa bestimmte Ausbauformen von Kommunikationsnetzen negativen Einfluss auf soziale Aspekte haben. Beispielsweise könnte der flächendeckende Ausbau engmaschiger 5G-Netze (bspw. im Bereich von 24 GHz und darüber), der auf Ablehnung in Teilen der Bevölkerung stößt (siehe z.B. [284] [285]), in der Bewertung von Anwendungen auf Basis dieser Netze Berücksichtigung finden.

5.1 Consumer IoT

Das Internet der Dinge (Internet of Things, IoT) bezeichnet als Sammelbegriff das Netzwerk physischer Objekte, die mit Sensoren, Software und anderen Technologien ausgestattet sind, um über das Internet Daten mit anderen Geräten und Systemen zu verbinden und auszutauschen [275]. Welche IoT-Anwendungen dazu in den Bereich der Haushaltsanwendungen („Consumer IoT“) fallen ist nicht genau abgegrenzt. Im Rahmen der Studie werden damit alle von Verbrauchern genutzten Produkte bezeichnet, die mit einem Netzwerk verbunden sind und aus der Ferne gesteuert werden können [286]. Der Markt lässt sich grob in die folgenden fünf Segmente unterteilen [286]:

1. **Smart Home** (v. a. Haushaltsgeräte und Haustechnik)
2. **Entertainment** (von smarten Lautsprechern und Assistenzsystemen über smarte Fernseher und Spielekonsolen bis hin zu Drohnen und ferngesteuerten Autos)
3. **Wearables** (z. B. Fitness-Tracker, Smartwatches, Smart Glasses)
4. **Vernetzte Medizinprodukte** (z. B. Gesundheitsprodukte wie Blutdruck- oder Blutzuckerüberwachung durch Sensoren am oder im Körper sowie smartes Patientenmonitoring)
5. **GPS-Tracker** (für Gegenstände wie Fahrräder, Autos, Schlüssel, Rucksäcke etc., aber auch für Lebewesen wie Haustiere und ggf. auch Menschen (z. B. Paketboten)

Demgegenüber steht das industrielle Internet der Dinge (Industrial Internet of Things, IIoT) für die Anwendung der IoT-Technologie in der Industrie, insbesondere im Hinblick auf die Instrumentierung und Steuerung von Sensoren und Geräten, die Cloud-Technologien nutzen. Anwendungsbeispiele sind z. B. die in Fallstudie 5 bewerteten Straßenlaternen im Bereich intelligenter Städte oder die in Fallstudie 2 beleuchteten City-Logistik-Kooperationen im Bereich vernetzter Logistik sowie eine Vielzahl von weiteren Anwendungen, wie z. B. intelligente Fertigung, vernetzte Anlagen und vorbeugende und vorausschauende, intelligente Stromnetze und intelligente digitale Lieferketten [275].

Im Smart Home steht dabei die intelligente Vernetzung und Steuerung von Haushaltsgeräten und Haustechnik bei der gleichzeitigen Sammlung und Verarbeitung von Daten im Vordergrund.

- **Smarte Haushaltsgeräte** sind dabei z. B. Staubsauger-Roboter, Küchengeräte wie Küchenmaschinen, Spülmaschinen, Kühl- und Gefrierschränke sowie Waschmaschinen und Trockner.

- Im Bereich der **smarten Haustechnik** werden damit u. a. vernetzte Beleuchtungssysteme, Sicherheitselemente wie Tür- und Garagentorsteuerungen, Alarmanlagen und Rauchmelder sowie Steuerungssysteme für mehr Wohnkomfort wie Heizungs- und Rollladensteuerungen bezeichnet.

Die Anwendungsmöglichkeiten sind erkennbar vielfältig und heterogen. Gemeinsames Merkmal ist jedoch die Vernetzung der Geräte sowohl untereinander als auch mindestens mit einem lokalen Empfänger bzw. Netzwerk (einer sog. Smart Home-Zentrale), die in den meisten Fällen mit dem Internet verbunden ist. Obgleich es für einige smarte Geräte ausreichend ist, wenn diese nur innerhalb eines lokalen Netzwerks erreichbar sind (z. B. die Steuerung von Beleuchtungssystemen), ermöglicht die bidirektionale Verbindung mit dem Internet (*inside out*, also vom Smart Home ins Internet, als auch der umgekehrte Fall *outside in*) einen erweiterten Zugriff auf die Geräte und erweitert damit die Anwendungsmöglichkeiten. Ein Beispiel für den Fall *outside in* ist eine Steuerung der Heizung von unterwegs, sowohl manuell per App als auch automatisiert, z. B. indem die Smart Home-Zentrale mittels Geofencing erkennt, wann sich der Besitzer auf den Heimweg befindet und Räume entsprechend vorheizt. Ein Beispiel für *inside out* ist die Mitteilung des Heizsystems über den Ausfall einer Komponente, wie z. B. eines Heizungsthermostats.

Ein smarterer Kühlschrank, kommuniziert mit dem Nutzer beispielsweise über bald verfallende Lebensmittel, bietet geeignete Rezepte zur optimalen Verwertung von Lebensmitteln an und kann ggf. eigenständig Ware nachbestellen.

Nachfolgend liegt der Fokus auf dem Anwendungsfall smarte Kühlschränke (mitgemeint sind auch Kühl-Gefrier-Kombinationen).

5.1.1 Motivation, Akteure und aktuelle Entwicklungen im Bereich Consumer IoT

Smarte Kühlschränke zeichnen sich gegenüber ihren konventionellen Vorgängern dadurch aus, dass sie über eine Internetverbindung verfügen. Im Zusammenspiel mit innenliegenden Kameras, einem außen an der Kühlschranktür angebrachten Display sowie einer dazugehörigen Kühlschrank-App werden eine Reihe von Funktionen bereitgestellt, die über das Kühlen und Frieren von Lebensmitteln hinausgehen.

Durch die o. g. Kühlschrank-App kann beispielsweise von unterwegs eingesehen werden, welche Lebensmittel gerade im Kühlschrank lagern. Dies wird dadurch möglich, da dieser nach jedem Schließen der Kühlschranktür ein Foto vom Innenraum macht und dieses sowohl auf seinem Display anzeigen als auch an die App übertragen kann. Einige Kühlschränke sind sogar in der Lage zu erkennen, welche Lebensmittel sich im Kühlschrank befinden und darüber hinaus welche Mindesthaltbarkeitsdaten (MHD) diese haben [287]. Technisch erfolgt dies durch Bild- und Schrifterkennungsverfahren auf Basis von künstlicher Intelligenz [288]. Diese Daten kann der Kühlschrank auswerten und daraufhin passende Rezepte vorschlagen. Dies kann beispielsweise auch zur Resteverwertung genutzt werden, um Lebensmittelverschwendung vorzubeugen. Daneben besteht die Möglichkeit zur Vernetzung mit einem Sprachassistenten, der auf Zuruf beispielsweise das Vorhandensein oder die Menge eines bestimmten Lebensmittels mitteilen kann (also konkret z. B. „Alexa, wieviel Milch ist noch im Kühlschrank?“).

Neben dem Monitoring vorhandener Lebensmittel verfügen smarte Kühlschränke über weitere Funktionen. So können Tonsignale und Warnmeldungen in der App beispielsweise auf eine nicht richtig verschlossene Kühlschranktür hinweisen und so einem Auftauen bzw. Vereisen der Lebensmittel vorbeugen. Weiterhin lässt sich der Kühlschrank per App bereits aus der Ferne (z. B. aus einem Supermarkt) weiter herunterkühlen, sodass größere Einkaufsmengen bei Ankunft schnell und zuverlässig gekühlt werden können. Diese Kühlfunktionalität kann bei Vorliegen dynamischer Strompreise auch zur Stromkostenoptimierung genutzt werden: So können Kühlschränke, insbesondere Kühl-Gefrier-Kombinationen mit hohem Lastverschiebepotenzial, in Phasen günstigerer Strompreise die Kühlräume stärker herunterkühlen, sodass weniger Energie in hochpreisigen

Stromphasen aufgenommen werden muss. Zusätzlich verfügen smarte Kühlschränke über eine verbesserte Selbstdiagnosefähigkeit, die sich ankündigende Defekte an den Hersteller melden kann und dieser vorrausschauend eine Reparatur vornehmen oder diese effizienter erledigen kann. Das in die Kühlschranktür integrierte Display verfügt über einen Funktionsumfang ähnlich dem eines Tablets. So können hier nicht nur Urlaubsfotos oder Emails gezeigt und Notizen an Haushaltsmitglieder hinterlassen werden, sondern es können auch gleich Lebensmitteleinkäufe getätigt werden. Alternativ zu verbauten Displays existieren auch Modelle mit einer intelligenten türintegrierten Glasscheibe, die sowohl blickdicht als auch transparent sein kann, und somit einen direkten Blick ins Kühlschrankinnere bei verschlossener Tür erlaubt.

Aktuell sind bereits mehrere Kühlschränke mit den beschriebenen oder ähnlichen Funktionen am Markt und werden beispielsweise von Samsung ([Family Hub](#)) und LG ([thinQ](#)) angeboten. Zudem wird spekuliert, dass Amazon aktuell auch einen smarten Kühlschrank entwickelt [289].

5.1.2 Anwendung des Analyserahmens zur Bewertung der Nachhaltigkeit

Nachfolgend wird das DGM Consumer IoT – Fallbeispiel Smarte Kühlschränke unter Anwendung des Analyserahmens in Abschnitt 4.1 auf seine Chancen und Potenziale ebenso wie auf seine ökonomische, ökologische und soziale Nachhaltigkeit bewertet.

5.1.2.1 Indikatoren der Säule „Chancen und Potenziale“

In diesem Unterabschnitt wird das DGM des Consumer IoT dem Analyserahmen gemäß auf seine Chancen und Potenziale bewertet. Wichtige Aspekte hierbei sind das Marktpotenzial, die Wirtschaftlichkeit und Zukunftsfähigkeit ebenso wie die Zugänglichkeit und Robustheit.

Indikatoren		Bewertung
1	Marktpotenzial	0
2	Wirtschaftlichkeit	1
3	Zugänglichkeit	-1
4	Robustheit	0
5	Zukunftsfähigkeit	1
Gesamtbewertung Säule „Chancen und Potenziale“		1

Tabelle 10: Bewertung des Geschäftsmodells der Consumer IoT für die Einzelindikatoren in der Säule "Chancen und Potenziale".

Dabei wurde die Bewertung auf Basis der folgenden Begründungen durchgeführt:

Marktpotenzial

Die Produktpenetrationsrate smarter Haushaltsgroßgeräte (dies umfasst smarte Kühlschränke, Waschmaschinen, Öfen etc.) lag gemäß einer Studie von Statista im Jahr 2020 in Deutschland bei 3,1 % [290]. Der Marktanteil smarter Kühlschränke alleine ist zwar nicht exakt bekannt, ist allerdings entsprechend als noch geringer einzuschätzen. In Deutschland gibt es ca. 41 Mio. private Haushalte, von denen auszugehen ist, dass sie über mindestens einen Kühlschrank verfügen. Zusätzlich kommt noch der Bedarf aus Gastronomie, Bürogebäuden, Hotels und öffentlichen Einrichtungen hinzu. Laut einer Statista-Marktstudie [291] wird der durchschnittliche Pro-Kopf-Verbrauch im Bereich Kühlschränke des Jahres 2022 auf 0,05 Stück geschätzt. Bei 83,1 Mio. Einwohnern in Deutschland ergibt dies ein jährliches Absatzpotenzial von knapp 4,2 Mio. Geräten. Auf den ersten Blick erscheint das Marktpotenzial entsprechend sehr hoch, insbesondere unter der Annahme, dass Altgeräte zum Ende ihrer Lebensdauer nicht repariert, sondern entsorgt werden. Eine solche Austauschentwicklung ist in den letzten zehn Jahren im Bereich smarter Fernsehgeräte („Smart-

TV“) zu beobachten gewesen, in denen sukzessive herkömmliche TV-Geräte durch smarte Alternativen abgelöst werden [292].

Aufgrund der derzeit noch hohen Preise smarter Kühlschränke, die im Bereich von drei- bis vier-tausend Euro oft mehr als doppelt so teuer sind wie konventionelle Varianten (siehe Indikator „Wirtschaftlichkeit“) sowie ausgeprägter Datenschutzbedenken (siehe Indikator „Datenschutz“) erscheint es jedoch unwahrscheinlich, dass sich deren Marktanteil in absehbarer Zeit stark ausweiten wird. Nebenfunktionen, wie die Darstellung von Fotos oder Notizen auf dem Kühlschrankdisplay, erscheinen nachrangig, da dies auch durch andere Geräte wie elektronische Bilderrahmen oder Tablets realisiert werden kann, die zudem ortsveränderlich und damit praktischer sind. Auch smarte Hauptfunktionen, wie ein Blick aus der Ferne in den Kühlschrank, sind vielleicht für einige Verbraucher ein ausschlaggebendes Funktionsmerkmal, könnten jedoch aufgrund der relativ zur Grundfunktion eines Kühlschranks erheblichen Preisaufschläge für den Großteil von Kunden noch keinen relevanten Kaufreiz darstellen. Erst wenn Datenschutzbedenken erfolgreich ausgeräumt werden und die Kaufpreise auf das Niveau nicht-smarter Alternativen absinken, könnten diese in Kombination mit nützlichen Eigenschaften wie beispielsweise geringeren Energieverbräuchen durch weniger Türöffnungszyklen (siehe Indikator „Energieverbrauch“) zur weiteren Marktdurchdringung verhelfen.

Insgesamt ergibt sich aufgrund der noch niedrigen Marktanteile und potenziell nützlichen Funktionen und bestehenden Herausforderungen in Bezug auf Kaufpreis und Datenschutz insgesamt eine neutrale Bewertung in Bezug auf die Kategorie „Marktpotenzial“.

Wirtschaftlichkeit

Als marktverfügbare smarte Kühlschränke werden hier zwei doppeltürige Modelle (jeweils ein Modell von zwei verschiedenen Herstellern) herangezogen und einem vergleichbaren konventionellen Referenzmodell gegenübergestellt.

Zum einen handelt es sich um das Modell RS6HA8891B1 der Samsung Family Hub-Reihe. Die Kühl-Gefrier-Kombination hat mit 389 L Kühlschrankvolumen und 225 L Tiefkühlvolumen ein Gesamtvolumen 614 L und gibt einen Stromverbrauch von 346 kWh/Jahr an. Die unverbindliche Preisempfehlung (UVP) des Herstellers liegt bei 3.599,- € [293]. Zum anderen handelt es um das Modell GSX961MCVZ von LG Electronics. Diese Kühl-Gefrier-Kombination hat ein Kühlschrankvolumen von 411 L sowie ein Tiefkühlvolumen von 214 L und damit ein Gesamtvolumen von 625 L bei einem angegebenen Stromverbrauch von 376 kWh/Jahr. Die unverbindliche Preisempfehlung des Herstellers liegt bei 3.699,- € [294].

Als Referenzobjekt wird das konventionelle, nicht-smarte doppeltürige Modell Samsung RS6GA8521B1/EG herangezogen. Dieses hat ein Kühlvolumen von 409 L und ein Gefriervolumen von 225 L, kommt also auf ein Gesamtvolumen von 634 L bei einem angegebenen Stromverbrauch von 351 kWh/Jahr. Die unverbindliche Preisempfehlung des Herstellers liegt bei 1.799,- € [295].

Die Kühlvolumina der beiden smarten Modelle liegen in vergleichbarer Größenordnung wie die des Referenzobjektes (Abweichung -4,9 % bzw. +0,5 %) genauso wie die Gefriervolumina (Abweichung 0 % bzw. -4,9 %). Ebenso weichen die angegebenen jährlichen Energieverbräuche nur unwesentlich vom Referenzgerät ab (+7,1 % bzw. -1,4 %) und haben vergleichbare Zusatzfunktionen²¹.

Ein anderes Bild ergibt sich jedoch bei dem Vergleich der UVP, die mit Werten von +100,1 % bzw. +105,6 % mehr als doppelt so teuer abgesetzt werden sollen.

²¹ Alle drei Modelle haben Zusatzfunktionen wie Wasser- und Eiswürfelpender in einer der Türen sowie eine „NoFrost“-Technologie, die ein Vereisen des Gefrierteils verhindern soll. Somit wird eine bestmögliche Vergleichbarkeit zwischen smart und konventionell sichergestellt.

Die zusätzlichen Kosten für smarte, im Gegensatz zu konventionellen Kühlschränken, dürften v. a. im Bereich des großen Displays, der Elektronik und der vorangegangenen Forschungs- und Entwicklungsarbeit liegen. Insgesamt schätzen wir auf Basis der Herstellkosten eines handelsüblichen Tablets, dass die Kostensteigerungen jedoch bei weitem unterhalb der Verkaufspreissteigerungen liegen.²² Wenn die Hersteller es schaffen, durch Skaleneffekte ihre Produktionskosten weiter zu verringern und gleichzeitig hohe Absatzpreise zu erhalten, kann sich damit eine kontinuierlich hohe Profitabilität einstellen.

Zusätzlich zum reinen Absatzpreis ergeben sich noch Chancen durch sog. „After-Market-Sales“ wie etwa durch Verkaufsplattformen für Lebensmittel, siehe Indikator „Zukunftsfähigkeit“.

Insgesamt ergibt sich eine positive Bewertung in Bezug auf die Kategorie „Wirtschaftlichkeit“.

Zugänglichkeit

Die physische Zugänglichkeit smarter Kühlschränke unterscheidet sich nicht von der konventioneller Alternativen: Beide Varianten sind in ihrer Hauptfunktion gleich, haben vergleichbare Maße und Kühlfähigkeiten. Hingegen ist die virtuelle, also softwareseitige, Zugänglichkeit des smarten Kühlschranks – wie bei den meisten Consumer IoT-Anwendungen auch – bis dato davon geprägt, dass die Hersteller meist spezifische, d. h. auf den jeweiligen Anwendungsfall zugeschnittene Apps zur Verfügung stellen. Während dies für eher technologieaffine Nutzer keine Zugänglichkeitshürde darstellt, kann dies für andere Personengruppen wie Seniorinnen und Senioren oder für Menschen mit Behinderungen eine Anwendungsbarriere darstellen, sodass diese die smarten Funktionen nicht oder nur eingeschränkt nutzen können. Weiterhin erscheint bei den aktuellen Verkaufspreisen die Zugänglichkeit für Haushalte mit geringem bis mittlerem Einkommen stark eingeschränkt.

Allgemein liegt bei Consumer IoT ein grundsätzliches Problem in dem derzeit noch oft aus Insel-systemen bestehendem Aufbau des Smart Homes. Während für einige Systeme bereits herstellerübergreifende Standards bestehen, z. B. das ZigBee-Protokoll [297] das v. a. für smarte Beleuchtungssysteme zum Einsatz kommt, haben andere Geräte noch keinen einheitlichen Standard. Dies führt oft dazu, dass für jeden Hersteller eine – oder manchmal sogar mehrere – App(s) installiert werden müssen, die nicht mit den anderen Geräten bzw. deren Apps kommunizieren können. Für sehr technologie-affine Anwender existieren auch bereits hier Lösungen²³, allerdings setzen diese profunde Technikenkenntnisse voraus und sind damit weit entfernt von einer breiten Zugänglichkeit. Ein neuer multikompatibler Standard (siehe Abschnitt „Zukunftsfähigkeit“), der diese Probleme beheben soll, befindet sich zwar bereits in Entwicklung, jedoch ist noch nicht absehbar, ob und wann es zu einem breiten Einsatz kommen kann.

Insgesamt ergibt sich eine negative Bewertung in Bezug auf die Kategorie „Zugänglichkeit“.

Robustheit

Der Indikator Robustheit beleuchtet wie zuverlässig, sensibel und krisenfest die enthaltenen Komponenten und Dienstleistungen eines smarten Produkts im Vergleich zu ihren analogen Alternativen sind.

Zuverlässigkeit bedeutet in diesem Zusammenhang die Sicherheit gegenüber technischen Ausfällen und ggf. die ungewollte Beeinflussung anderer Systeme. Durch die inhärent digitale und elektronische Natur der Komponenten – also Soft- und Hardware –, die einen Kühlschrank erst smart machen, kann die Zuverlässigkeit gegenüber einer konventionellen Variante eingeschränkt sein.

²² Schätzung auf Basis der Herstellkosten eines Tablets im Bereich von knapp \$200 [296] zzgl. Kameras, Sensorik und TK-Komponenten.

²³ Als verbreitete Lösung kann hier die Software *ioBroker* [298] genannt werden, die als Smart Home-Zentrale auf Kleinstcomputern, wie z. B. dem RaspberryPi, installiert werden kann. In dieser können über sog. Adapter die verschiedensten Systeme miteinander verknüpft und Logik-Abläufe eingerichtet werden. Allerdings setzt dies tiefgehende technische Kenntnisse aus dem Hard- und Softwarebereich voraus.

An dieser Stelle sind die Hersteller in der Pflicht, die Hauptfunktionalität, d. h. das Kühlen und Gefrieren der enthaltenen Lebensmittel, so gut wie möglich auch dann sicherzustellen, wenn Softwarefehler auftreten oder Hardwarekomponenten ausfallen.

Auch in puncto Sensibilität darf die Kühlfähigkeit eines smarten Kühlschranks nicht durch seine digitalen Funktionen beeinträchtigt werden. Hierzu zählt insbesondere, dass es Hackern nicht gelingen darf, die Kühlfunktionen von außen soweit herunterzeregeln oder gar vollständig abzuschalten, sodass die Kühlkette zeitweilig oder dauerhaft unterbrochen wird. Letzteres könnte ein schnelleres Verderben der lagernden Lebensmittel mit potentiell gesundheitlichen Auswirkungen zur Folge haben.

Der Aspekt der Krisenfestigkeit deckt ab, wie einsatzfähig das DGM während Krisensituationen wie Naturkatastrophen oder Blackouts (also ein großflächiger oder länger anhaltender Stromausfall) ist. Unter der Annahme, dass auch ein smarter Kühlschrank nach einem Blackout wieder ohne Zutun des Anwenders seine Kühlkreisläufe startet, sind keine Unterschiede zu einem analogen Kühlschrank erkennbar.

Insgesamt ergibt sich eine neutrale Bewertung in Bezug auf die Kategorie „Robustheit“.

Zukunftsfähigkeit

Aus Unternehmensperspektive ist es wünschenswert, wenn der Verkauf eines Consumer IoT-Produkts auch längerfristig Einnahmen generiert. Übertragen auf das Beispiel der smarten Kühlschränke könnte dies z. B. eine Gewinnbeteiligung der mit dem smarten Kühlschrank verknüpften Lebensmittelhändler darstellen. Überdies sind Abo-Modelle denkbar, die dem Kunden die Standardfunktionalität kostenfrei, den Zugriff auf die volle Bandbreite der smarten Funktionen jedoch nur gegen regelmäßige Bezahlung zur Verfügung (sog. „Freemium“-Modell) stellen. Bei derartigen Zusatzkosten ist allerdings aus Herstellersicht eine möglicherweise verringerte Nutzerakzeptanz zu antizipieren.

Auf Angebotsseite kann es trotz des schwierigen Marktumfelds lohnenswert sein, smarte Varianten ihrer Haushaltsprodukte herzustellen, um wichtige Erfahrungen im Bereich der digitalen Vernetzung von Geräten zu sammeln. So umfasst beispielsweise das sog. „Family Hub“ von Samsung eine vielfältige Produktpalette bestehend aus u. a. smartem Backofen, Staubsaugerroboter, smarter Spülmaschine, smarter Waschmaschine und smarter Türklingel, welche allesamt über das Display des smarten Kühlschranks gesteuert werden können. Dies ermöglicht, dass die Entwicklung des smarten Kühlschranks alleine noch nicht rentabel sein muss, da durch die anderen Komponenten ebenfalls Gewinnmargen erzielt werden können.

In Bezug auf die allgemein noch oft schwierige Zugänglichkeit von Smart Home-Produkten könnte es in naher bis mittlerer Zukunft eine Lösung geben. Auf der CES 2022 – der *Consumer Electronics Show*, einer der weltweit größten jährlich stattfindenden Fachmessen für Unterhaltungselektronik – wurde gemeinsam von den drei Tech-Giganten Apple, Amazon und Google das sog. "Matter"-Protokoll vorgestellt. Dieser quelloffene Standard soll Einfachheit, Interoperabilität, Verlässlichkeit und Sicherheit (engl. *simplicity, interoperability, reliability and security*) aller Geräte und Komponenten im Smart Home sicherstellen [299]. Mittlerweile haben sich mehr als 220 verschiedene Unternehmen der Matter-Allianz angeschlossen, u. a. auch die beiden Kühlgerätehersteller Samsung und LG [300]. Nach Einschätzung von Branchenexperten hat Matter das Potenzial, viele Dinge im Smart Home zu vereinfachen und zu einem Durchbruch zu verhelfen [301]. Sollte es zu diesem Durchbruch kommen, könnten smarte Haushaltsgeräte wie Kühlschränke davon stark profitieren. Insgesamt ergibt sich eine positive Bewertung in Bezug auf die Kategorie „Zukunftsfähigkeit“.

5.1.2.2 Indikatoren der Säule „Ökonomische Nachhaltigkeit“

Als erster Indikator zur allgemeinen Nachhaltigkeit des Geschäftsmodells findet eine Bewertung der ökonomischen Nachhaltigkeit statt.

Indikatoren		Bewertung
1	Wertschöpfung	0
2	Arbeitsmarkt	0
3	Gehaltsgefüge	1
4	Wettbewerb	0
5	Förderung lokaler Wirtschaft	0
Gesamtbewertung Säule „Ökonomische Nachhaltigkeit“		1

Tabelle 11: Bewertung des Geschäftsmodells der Consumer IoT für die Einzelindikatoren in der Säule "Ökonomische Nachhaltigkeit".

Dabei wurde die Bewertung auf Basis der folgenden Begründungen durchgeführt:

Wertschöpfung

Die gesamtwirtschaftliche Wertschöpfung könnte sich erhöhen, da teurere Produkte bei gleichbleibender Nachfrage ein höheres Bruttoinlandsprodukt (BIP) bedeuten würden. Die Auswirkung dessen könnte jedoch möglicherweise begrenzt sein durch Entwicklung und Fertigung außerhalb Deutschlands, da derzeit die beiden koreanischen Hersteller Samsung und LG Electronics in der Produktentwicklung am weitesten vorangeschritten erscheinen. Allerdings setzen nun auch vermehrt deutsche Hersteller wie AEG [301] oder Bosch/Siemens [303] auf die Entwicklung und Herstellung smarter Haushaltsgeräte. Die Handelsbilanz Deutschlands könnte sich aufgrund vermehrter Importe geringfügig verschlechtern, wobei der Gesamteffekt marginal wäre.

Nachgelagerte Wertschöpfungseffekte sind potentiell nicht in großem Ausmaß zu erwarten, da smarte Kühlschränke nach jetziger Einschätzung nur einen geringfügigen Einfluss auf den Lebensmittelkonsum privater Haushalte haben. Eine Verringerung der Lebensmittelverschwendung könnte ggf. eine Verringerung der Wertschöpfung des Lebensmittelhandels zur Folge haben. Gleichzeitig besteht aber auch die Möglichkeit, dass dieser Rückgang an Lebensmittelverschwendung durch den Kauf qualitativ hochwertigerer und damit teurerer Lebensmittel kompensiert wird. Es könnte jedoch auch der gegenteilige Fall eintreten, dass es durch den smarten Kühlschrank automatisiert oder aus Bequemlichkeitsgründen zu einer höheren Bestellfrequenz kommt.

Insgesamt ergibt sich eine neutrale Bewertung in Bezug auf die Kategorie „Wertschöpfung“.

Arbeitsmarkt

Smarte Kühlschränke könnten aufgrund ihrer gesteigerten Komplexität technisch zusätzlich geschultes Servicepersonal erfordern (z. B. für Reparatur oder Kundendienst). Damit hätte die Anwendung einen indirekten positiven Einfluss auf den deutschen Arbeitsmarkt aufgrund einer erhöhten Nachfrage nach Fachkräften. Allerdings werben die Hersteller gleichzeitig mit verbesserten Funktionen zur Selbstdiagnose (wie auch Abschnitt „Motivation“), die ggf. einen zielgerichteteren Einsatz von Reparaturtechniken erlaubt. Dies hätte möglicherweise einen – leicht – negativen Einfluss auf den Arbeitsmarkt, da insgesamt weniger Servicepersonal erforderlich ist. Auch in Bezug auf den Kundendienst erscheinen sich keine großen Änderungen zu ergeben, da die Hersteller bemüht sind, die zugehörigen Apps auf Display und Smartphone so nutzerfreundlich wie möglich auszulegen, um einen möglichst großen Personenkreis ansprechen zu können. Um dies zu erreichen, sind insbesondere hochqualifizierte Fachkräfte IT-Softwareentwickler, App-Designer und Elektrotechnik-Ingenieure erforderlich. Andererseits werden aufgrund der fortschreitenden Automatisierung in der Fertigung (Roboter, 3D-Drucker, etc.) immer weniger geringqualifizierte Kräfte benötigt.

Insgesamt ergibt sich eine neutrale Bewertung in Bezug auf die Kategorie „Arbeitsmarkt“.

Gehaltsgefüge

Entsprechend der oben beschriebenen Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt erachten wir tendenziell eine Bedarfsverschiebung von eher handwerklich qualifizierten (Fach-)Kräften hin zu immer mehr hochqualifizierten Spezialisten für möglich. Dies gilt sowohl für die Fertigungs- als auch für die Betriebsphase. Aufgrund der höheren Qualifikationen kombiniert mit einem bereits bestehenden und sich weiter verschärfenden Mangel an Fachkräften aus dem MINT-Bereich [304], werden solche Berufsgruppen oft sehr gut entlohnt bei gleichzeitig arbeitnehmerfreundlichen Konditionen. Entsprechend erwarten wir im Zuge der weiteren Digitalisierung von Haushaltsprodukten potenziell (leicht) positive Auswirkungen auf das Gehaltsgefüge.

Wettbewerb

Bei der Analyse der wettbewerblichen Auswirkungen gilt es zwischen der Wettbewerbsstruktur der Hersteller smarter Kühlschränke und derjenigen nachgelagerter Bezugsangebote zu unterscheiden.

Seitens der Hersteller ist durch das digitale Geschäftsmodell bzw. die Erweiterung von Kühlschränken mit smarten Features, aus unserer Sicht, nicht mit einer inhärenten Förderung monopolistischer oder oligopolistischer Strukturen zu rechnen. Jeder Hersteller hat die Gelegenheit die Marktentwicklungen zu beobachten und sein Produktportfolio entsprechend zu erweitern. Möglicherweise ergibt sich durch die Vernetzung mehrerer Gerätetypen eine stärkere Tendenz, Küchen mit Geräten nur einer Marke auszustatten. Infolge der Vernetzung und noch teilweise in der Entwicklung befindlichen Standards zur anbieterübergreifenden Nutzung von Smart Home-Geräten erscheinen Konzentrationsrisiken nicht ausgeschlossen. Diese werden jedoch durch die immer stärkere Verbreitung geräteübergreifender Standards (z. B. ZigBee, Matter-Protokoll) abgemildert.

Mögliche Netzwerkeffekte durch Verknüpfung smarter Kühlschränke mit bestehenden überregionalen Lieferangeboten (wie z. B. Amazon-Lieferdiensten) haben das Potenzial den Wettbewerb zu schmälern und monopolistische Strukturen fördern. So könnte es dazu kommen, dass ein Hersteller durch seine Marktposition in Bezug auf ein Smart Home-Produkt einen Wettbewerbsvorteil betreffend weiterer Produkte genießt. So könnte beispielsweise Amazon dank des smarten Lautsprechers Alexa seine Marktposition betreffend smarter Kühlschränke aufgrund von besserer Interoperabilität einfacher ausbauen. Überdies könnte ein Hersteller, wie Amazon, geneigt sein, den Kühlschrank zu geringen Verkaufspreisen anzubieten, jedoch eine verpflichtende Verknüpfung zum Bezug der Lebensmittel über dessen eigene Verkaufsplattform, wie Amazon Fresh, zu integrieren. Allerdings könnte auch der gegenteilige Effekt einer Wettbewerbsstärkung eintreten, wenn den Anwendern unterschiedliche Apps zur Lebensmittelbeschaffung, z. B. auch mit regionalen Bezug, siehe Indikator „Förderung lokaler Wirtschaft“, zur Verfügung stehen.

Im Mittel ergibt sich so, basierend auf den beschriebenen möglichen negativen und positiven Auswirkungen, insgesamt eine neutrale Bewertung in Bezug auf die Kategorie „Wettbewerb“.

Förderung lokaler Wirtschaft

Die lokale Wirtschaft, wie beispielsweise der lokale Einzelhandel, könnte von der Einführung smarter Kühlschränke dann nicht profitieren, wenn Kühlschränke bei Lieferdiensten von zentralisierten Warenhäusern (wie z. B. Amazon Fresh) bestellen. Allerdings könnte dies durch Weiterentwicklung lokal orientierter Handelsplattformen abgemildert werden. Als Beispiel seien hier Lieferdienste wie *HelloFresh* oder der Rewe-Lieferservice genannt. Diese müssten nahtlos in die Oberfläche der Displays sowie Apps smarter Kühlschränke integriert werden, um von den Nutzern angenommen zu werden. Idealerweise könnte sogar die lokale Wirtschaft gestärkt werden, wenn sich Apps, die gezielt regionale Produkte anbieten, als Geschäftsmodell etablieren, da diese ihre Produkte ohne den Zwischenschritt von Großhändlern direkt an die Endkunden vermarkten und so günstigere Preise anbieten können.

Da heute noch nicht abzusehen ist, welche der beschriebenen Entwicklungen sich durchsetzen wird, ergibt sich hier im Mittel eine neutrale Bewertung in Bezug auf die Kategorie „Förderung lokaler Wirtschaft“.

5.1.2.3 Indikatoren der Säule „Ökologische Nachhaltigkeit“

Als nächster Indikator wird die ökologische Nachhaltigkeit inklusive der Auswirkung des DGM auf Treibhausgasemissionen, der Kreislaufwirtschaft und dem Material- und Energieverbrauch bewertet.

Indikatoren		Bewertung
1	Treibhausgasemissionen	0
2	Energieverbrauch	0
3	Materialverbrauch	-1
4	Kreislaufwirtschaft	0
5	Paris Alignment	0
Gesamtbewertung Säule „Ökologische Nachhaltigkeit“		-1

Tabelle 12: Bewertung des Geschäftsmodells der Consumer IoT für die Einzelindikatoren in der Säule "Ökologische Nachhaltigkeit".

Dabei wurde die Bewertung auf Basis der folgenden Begründungen durchgeführt:

Treibhausgasemissionen

Seit im Jahr 1995 der Einsatz von Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW) in Kühlgeräten weltweit verboten wurde (alle 197 UN-Staaten unterzeichneten das Abkommen) [305], emittieren Kühlschränke keine Treibhausgase mehr, da ausschließlich klimafreundliche Kältemittel zum Einsatz kommen. Indirekte Treibhausgasemissionen fallen allerdings in der Herstellungsphase und in der Betriebsphase durch deren Energieverbrauch an. Wie im Unterkapitel „Energieverbrauch“ dargestellt, kann ein smarterer Kühlschrank einen geringeren Energieverbrauch aufweisen. Netzdienliche Flexibilitätsfunktionen durch zeitliche Lastverschiebung können allerdings nur unter bestimmten Voraussetzungen (siehe Indikator „Energieverbrauch“) ihr volles Potenzial entfalten und dadurch zu THG-Emissionseinsparungen führen. Der geschätzte Emissionsfaktor Deutschlands des Jahres 2020 liegt bei 366 t CO₂/GWh²⁴. Wird die im unteren Beispiel berechnete jährliche Verbrauchsreduktion von 147 GWh/a angesetzt, ergeben sich jährliche Einsparungen von 53.802 t CO₂/a. Verglichen mit den gesamten Treibhausgas-Emissionen in Deutschland, die im Bereich von mehreren hundert Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr liegen, sind diese Emissionsminderungen allerdings nur marginal.

Dadurch ergibt sich insgesamt eine neutrale Bewertung in Bezug auf die Kategorie „Treibhausgasemissionen“.

Energieverbrauch

Da sich der Inhalt smarterer Kühlschränke über das Display, schaltbare Glasscheiben oder über mitgelieferte Apps einsehen lässt, besteht die Möglichkeit, dass der Kühlschrank weniger oft oder kürzer, da zielgerichteter, geöffnet werden muss und somit weniger ungekühlte Umgebungsluft in den Kühlschrank strömt. Ob und wie weit dieser Effekt den Mehrverbrauch durch die elektronischen Bauteile kompensiert, d. h. wie stark sich dies auf den jährlichen Stromverbrauch auswirkt, lässt sich allerdings noch nicht vorhersagen, da dies von der Bereitschaft zu Verhaltensänderungen

²⁴ 366 g/kWh = 366 kg/MWh = 366 t/GWh [306]

der Nutzer abhängt. Der gewohnte Blick in den Kühlschrank müsste zunächst durch einen Blick auf das Display, die App oder durch die Glasscheibe ersetzt werden.

Eine weitere Funktion von smarten Kühlschränken ist ihr Einsatz als Demand Response-Gerät. Samsung hat beispielweise in einem ihrer Kühlschränke dafür eine eigene Funktion eingebaut, mit der der Stromverbrauch zur Netzstabilisierung minimiert werden kann oder der Stromverbrauch von den teuersten Stunden am Tag wegverlagert wird, um die Stromkosten zu minimieren. Dazu wird in günstigen Stunden eine Kältereserve aufgebaut, die dann in späteren höherpreisigen Stunden sukzessive aufgebraucht wird. Diese Funktion ist allerdings nur für solche Anwender relevant, die entweder einen Strombezugsvertrag mit dynamischen Strompreisen abgeschlossen haben – diese sind derzeit in Deutschland noch nicht weit verbreitet [307] – oder die, z. B. durch eine eigene Aufdach-PV-Anlage, in einigen Stunden entgeltfrei Strom beziehen können. Bereits vor zehn Jahren wurde von *Zehir et al.* (2012) [308] im Rahmen einer Simulation gezeigt, dass ca. 40 % der Peaklast von Kühlschränken an andere Zeitpunkte verlagert werden konnte und damit Stromkosteneinsparungen von 11,4 % möglich waren. Je mehr Kühlschränke über diese Fähigkeit verfügen, umso stärker wäre der positive Effekt auf den Energieverbrauch.

Sollten die oben genannten Demand Response-Fähigkeiten nicht zum Einsatz kommen, liegt der Stromverbrauch eines smarten Kühlschranks in einem ähnlichen Bereich wie ein vergleichbares konventionelles Modell (siehe Unterkapitel „Wirtschaftlichkeit“). Im Folgenden soll exemplarisch skizziert werden, welche Energieverbrauchsreduktion möglich ist. Es werden Stromeinsparungen in Höhe von 35 kWh/a gegenüber konventionellen Modellen angenommen – dies entspricht ca. 10 % Einsparung, siehe Unterkapitel „Wirtschaftlichkeit“. Dies würde, bei einem Absatz von 4,2 Mio. Kühlschränken pro Jahr, siehe Unterkapitel „Marktpotenzial“, jedes Jahr eine Verbrauchsreduktion um 147 GWh im Vergleich zum Vorjahr ergeben. Über einen Zeitraum von 10 Jahren – so viel Zeit würde bei aktuellen Absatzzahlen benötigt um alle deutschen Haushalte mit einem smarten Kühlschrank auszustatten – würde sich eine Verbrauchsreduktion von 1,47 TWh ergeben. Insgesamt ergibt sich eine (leicht) positive Bewertung in Bezug auf die Kategorie „Energieverbrauch“, allerdings müssten dafür noch Rahmenbedingungen wie dynamische Strompreise weitere Verbreitung finden.

Materialverbrauch

Smarte Kühlschränke erfordern im Gegensatz zu konventionellen Varianten mehr elektronische Hightech-Bauteile wie Microchips, Platinen, Halbleiter usw. in denen wiederum – in sehr geringem Maße – Rohstoffe wie Metalle der seltenen Erden oder Cobalt eingesetzt werden. Diese sind nur begrenzt verfügbar und stünden damit anderen Anwendungen nicht mehr zur Verfügung.

Ein positiver Nachhaltigkeitseffekt könnte durch das Monitoring und die automatische (frühzeitige) Erkennung von technischen Defekten am Kühlschrank entstehen. Eine negative Gegenthese dazu kann allerdings lauten, dass konventionelle (also nicht-smarte) Kühlschränke aufgrund weniger verbauter Elektronik auch weniger fehleranfällig sein können und möglicherweise dadurch eine längere Lebensdauer aufweisen. Die Lebensdauer eines technischen Geräts hängt jedoch stets von der technischen Auslegungsstrategie, im Hinblick auf die Qualität der einzelnen verbauten Komponenten, der Hersteller ab. Insbesondere besteht hier die Gefahr der sog. geplanten Obsoleszenz, d. h. der Marketingstrategie eines Herstellers seine Produkte gezielt nur auf eine bestimmte (oft kurze) Lebensdauer auszulegen, um im Anschluss das Produkt selbst oder ein Nachfolgeprodukt verkaufen zu können. Dies wäre dann gegeben, wenn die durchschnittliche Lebensdauer von z. B. heute 15-20 Jahre auf 5-10 Jahre absinkt. Hier könnte eine entsprechende gesetzliche Anreizsetzung zielführend sein, die eine möglichst lange Garantiezeit und darüberhinausgehende Ersatzteilverfügbarkeit sowie Updates von Softwarekomponenten sicherstellt.

In der Analyse smarter Kühlschränke muss auch die notwendige Hintergrundinfrastruktur (Internetanbindung, zusätzliche Serverleistung in Rechenzentren etc.) von smarten Kühlschränken mitbetrachtet werden. Auch wenn derzeit noch keine verlässlichen Statistiken dazu vorliegen, kann die Verarbeitung des entstehenden Datenvolumens zusätzliche Server notwendig machen (was sich ebenso auf den Flächenverbrauch auswirken kann). Jedoch kann die Datenverarbeitung teils lokal im Gerät geschehen, wodurch der Bedarf (marginale Betrachtung) an zusätzlicher Infrastruktur als eher gering angenommen werden kann.

Insgesamt ergibt sich eine negative Bewertung in Bezug auf die Kategorie „Materialverbrauch“.

Kreislaufwirtschaft

In Bezug auf die Kreislaufwirtschaft ist zwischen dem smarten Kühlschrank als Gerät und den darin gelagerten Lebensmitteln zu unterscheiden.

Das Ziel der ordnungsgemäßen Entsorgung von Elektroaltgeräten (dies sind Elektrogeräte, die bereits Abfall geworden sind) ist die Vermeidung einer Gefährdung der Umwelt und die Ermöglichung des Recyclens von Wertstoffen. Die Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten ist in Deutschland seit 2015 durch das ElektroG [309] geregelt, welches zum 1. Januar 2022 novelliert wurde. Die darin eingeführte sog. geteilte Produktverantwortung sieht vor, dass wesentliche Pflichten zum einen bei den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern (öRE) und zum anderen bei den Herstellern von Elektro(nik)geräten liegen. Die öRE ihrerseits müssen kommunale Sammelstellen zur kostenfreien Rücknahme von Altgeräten anbieten, weiterhin müssen Händler ab einer festgelegten Größe ebenfalls manche Altgeräte zurücknehmen. Die Hersteller wiederum sind zur fachgerechten Entsorgung verpflichtet. Während für Kunststoffe sowie Eisen- und Nichteisen-Metalle (Eisen, Stahl, Kupfer, Aluminium oder Messing) bewährte Recycling-Verfahren existieren [310], ist das Recycling von Metallen der seltenen Erden noch weniger entwickelt [311]. Die Recycling-Quote von Altgeräten lag in den letzten Jahren in Deutschland bei ca. 45 % und verfehlte damit regelmäßig das EU-Ziel von 65 %. Da smarte Kühlschränke im Gegensatz zu konventionellen Geräten mehr Materialien (wie z. B. Silizium oder Metalle der seltenen Erden) enthalten, für die noch keine ausgereiften Recyclingverfahren zur Verfügung stehen, besteht die Gefahr, dass diese die derzeit verstärkten Kreislaufwirtschaftsbemühungen konterkarieren. Mittelfristig sollte sich dieses Problem durch generell verstärkte Bemühungen zur Wiederverwendung dieser wertvollen Stoffe erübrigen.

Ein möglicherweise eintretender positiver Nachhaltigkeitseffekt von smarten Kühlschränken ist die Reduktion von Lebensmittelverschwendung durch das aktive Monitoring von im Kühlschrank vorhandenen Lebensmitteln. Einige Kühlschränke gehen sogar so weit, dass sie Rezepte mit den ablaufenden Nahrungsmitteln vorschlagen, um diese noch zeitgerecht zu konsumieren. Dies könnte einen signifikanten Nachhaltigkeitseffekt haben, da Haushalte für einen großen Teil der Lebensmittelverschwendung verantwortlich sind. Andererseits könnte die autonome (Nach-)Bestellung von Lebensmitteln auch zu einem erhöhten Konsum führen, da ggf. vorhandene Lebensmittel entsorgt werden, die noch zum Verzehr geeignet sind oder, wenn unbekannte Lebensmittel bestellt werden, die nicht den Erwartungen entsprechen.

Insgesamt ergibt sich eine neutrale Bewertung in Bezug auf die Kategorie „Kreislaufwirtschaft“.

Paris Alignment

Wie in den Unterkapiteln „Energieverbrauch“ und „Treibhausgasemissionen“ erörtert, sind zwar Energieverbrauchsreduktionen und damit Treibhausgaseinsparungen möglich, allerdings sind diese so gering, dass sie gemessen an volkswirtschaftlichen Vergleichswerten, kaum ins Gewicht fallen und somit als marginal eingestuft werden.

Insgesamt können smarte Kühlschränke nach derzeitiger Einschätzung nicht oder nicht wesentlich zur Erreichung der deutschen Klimaziele beitragen, gleichwohl konterkarieren sie diese auch nicht.

Eine Förderung dieses digitalen Geschäftsmodells erscheint daher aus Klimagründen weder erforderlich noch sinnvoll. Entsprechend ergibt sich eine neutrale Bewertung in Bezug auf die Kategorie „Paris Alignment“.

5.1.2.4 Indikatoren der Säule „Soziale Nachhaltigkeit“

Im Folgenden wird der letzte Aspekt im Rahmen der Nachhaltigkeit des DGM Consumer IoT bewertet – die soziale Nachhaltigkeit.

Indikatoren		Bewertung
1	Sozialgeographische Ungleichheit	0
2	Sozioökonomische Ungleichheit	-1
3	Lieferkettensorgfalt	-1
4	Lebensqualität	1
5	Sicherheit	-1
Gesamtbewertung Säule „Soziale Nachhaltigkeit“		-2

Tabelle 13: Bewertung des Geschäftsmodells der Consumer IoT für die Einzelindikatoren in der Säule "Soziale Nachhaltigkeit".

Dabei wurde die Bewertung auf Basis der folgenden Begründungen durchgeführt:

Sozialgeographische Ungleichheit

Im Falle von Lebensmittelbestellungen durch den Kühlschrank und der damit verbundenen Reduktion der Notwendigkeit, selbst Lebensmitteleinkäufe zu tätigen, könnte sich der positive Effekt stärker auf Bevölkerungsteile in ländlichen Regionen auswirken, da diese generell längere Wege zu Supermärkten zurücklegen und dafür entsprechend mehr Zeit einplanen müssen. Dies könnte die Attraktivität smarter Kühlschränke gerade in ländlichen Gebieten erhöhen. Eine wichtige Größe ist damit das Onlineangebot entsprechender regionaler Lebensmittelhändler. Diese könnten tendenziell geneigt sein, die hohe Nachfragedichte in Städten gegenüber dem Land zu bevorzugen und nur dort entsprechende Lieferservices anzubieten. Genau dieser Effekt lässt sich bereits heute am Beispiel des Lieferservice der REWE Group [312] beobachten: Während in Städten wie z. B. Köln oder Bonn das volle Sortiment zur Lieferung zur Verfügung steht, ist angrenzenden Städten wie Bergisch-Gladbach nur noch ein eingeschränktes Sortiment lieferbar und, eine Stadt weiter östlich, in Overath im Rheinisch-Bergischen Kreis überhaupt kein Lieferangebot mehr verfügbar. Mittelfristig könnten jedoch auch diese Gegenden über entsprechende Lieferangebote verfügen, insbesondere da überregionale Händler, wie z. B. Amazon Fresh, versuchen könnten, diese neu entstehenden Märkte abzuschöpfen. Weiterhin sind fehlende Lieferangebote im ländlichen Raum nicht auf das Fehlen smarter Kühlschränke zurückzuführen, da solche Angebote bereits heute über die üblichen Geräte (PCs, Laptops, Tablet, Smartphones) wahrgenommen werden könnten.

Insgesamt ergibt sich eine neutrale Bewertung in Bezug auf die Kategorie „Sozialgeographische Ungleichheit“.

Sozioökonomische Ungleichheit

Smarte Kühlschränke sind wohl vorerst eher etwas für wohlhabendere Bevölkerungsschichten, da sich die Preise derzeit teilweise um den Faktor zwei von konventionellen vergleichbaren Modellen (siehe Unterkapitel „Wirtschaftlichkeit“) und sogar um den Faktor vier vom durchschnittlichen Preis nicht-smarter Kühlschränke (2021: ca. 490 € [290]) nach oben hin abgrenzen. Somit haben diese das Potenzial, die bestehende sozioökonomische Ungleichheit weiter zu verstärken. Wohlhabende Haushalte könnten sich absehbar – nach einer etwaigen Umgewöhnungszeit – durch smarte Kühlschränke mehr freie Zeit verschaffen, da sie regelmäßige Einkaufszeiten durch den Kühlschrank

übernehmen lassen können. Allerdings ist wie bei allen neuartigen Technologien im Zeitverlauf aufgrund von Skalen- und Lerneffekten der Hersteller mit fallenden Preisen zu rechnen. Wann diese eintreten und wie stark diese ausfallen ist allerdings noch nicht absehbar.

Insgesamt ergibt sich eine negative Bewertung in Bezug auf die Kategorie „Sozioökonomische Ungleichheit“.

Lieferkettensorgfalt

Im Unterschied zu einem gewöhnlichen Kühlschrank benötigt ein smarter Kühlschrank zusätzliche Rohstoffinputs (bspw. Metalle der seltenen Erden oder auch Silizium zur Herstellung der notwendigen elektronischen Komponenten wie Computerchips, siehe auch Unterkapitel „Materialverbrauch“), die größtenteils importiert werden müssen. Dies birgt gewisse Lieferkettenrisiken in Bezug auf prekäre Arbeitsbedingungen mit sich, insbesondere solcher Rohstoffe, die zwar nur in geringen Mengen eingesetzt werden, aber dennoch benötigt werden und darüber hinaus in politisch instabilen Staaten abgebaut werden (wie z. B. Coltan) [313].

Eine weitere Herausforderung stellt generell die Zunahme der technischen Komplexität des Kühlschranks dar, die möglicherweise auch eine komplexere Lieferkette nach sich zieht. Dies könnte Lieferkettenprobleme verursachen, wie sie beispielsweise durch die derzeitige Mikrochipkrise, von der u. a. die Automobilindustrie stark betroffen ist, verdeutlicht werden [314]. Auch dies unterstreicht die starke Abhängigkeit von funktionierenden globalen Netzen und stellt somit inhärent ein Lieferkettenrisiko für smarte Kühlschränke dar.

In Summe ist dieser Indikator daher als negativ zu erachten.

Lebensqualität

Smarte Kühlschränke können zu einer ausgewogeneren Ernährung beitragen bzw. eine solche durch geeignete Rezept- und Einkaufsvorschläge anregen. Dies hätte positive Auswirkungen auf die Gesundheit der Haushaltsmitglieder und würde damit die Lebensqualität fördern. Je nach Algorithmus könnten diese allerdings auch einen gegebenen ungesunden Lebensstil verstärken: Wenn der Kühlschrank erkennt, dass die Besitzer sich primär von qualitativ minderwertigen Junk-Food ernähren, könnte durch die Empfehlungen des Kühlschranks diese Art der Ernährung weiter zunehmen. Eine solche Entwicklung könnte jedoch durch entsprechende regulatorische Maßnahmen – beispielweise durch einen Anreiz oder eine Verpflichtung der Hersteller, eine gesunde und ausgewogene Ernährung, die dem aktuellen Stand der Wissenschaft, entspricht durch Vorschläge zu fördern – abgemildert werden. Letztlich ist aber die Umsetzung der Vorschläge elementar abhängig vom Verhalten des Endverbrauchers.

Die Lebensqualität könnte auch durch automatisierte vereinfachte Bestellprozesse und die damit verbundene Zeitersparnis erhöht werden. Sofern das Kühlschrank-Display als zentrale Anlaufstelle von und für Informationen des Smart Homes genutzt wird, können sich ggf. effizientere Arbeitsabläufe in den Haushalten ergeben. So kann beispielsweise der Staubsaugerroboter mitteilen, dass sein Staubbehälter geleert werden muss oder die smarte Waschmaschine anzeigen, dass die Wäsche fertig ist und aufgehängt werden kann.

In Summe ist dieser Indikator daher als positiv zu erachten.

Sicherheit

Einer Umfrage des Magazins FAIReconomics zufolge bestehen große Vorbehalte gegenüber vernetzten Elektrohaushaltsgeräten: 62 % der Deutschen wünschen sich solche Geräte dezidiert nicht [315]. Bei einer Umfrage des „Wissenschaftliches Institut für Infrastruktur und Kommunikation“ (WIK), die im Rahmen der Kurzstudie „Consumer IoT in Deutschland“ durchgeführt wurde [316], wurde gefragt, warum Smart Home-Anwendungen nicht genutzt werden. Nach hohen Preisen und komplizierter Bedienung wurde die Furcht vor Hacker-Angriffen und die Angst vor Datenmissbrauch auf den Plätzen drei und vier angegeben.

Diese Vorbehalte sind nicht unbegründet, denn smarte Kühlschränke sind – wie jedes mit dem Internet verbundene Gerät – potentiell der Gefahr von Cyberangriffen ausgesetzt. So könnte im Extremfall ganz konkret in die Regelung der Kühl- oder Gefrierschränke eingegriffen werden und so ggf. unbemerkt durch vorsätzliches Auftauen oder Vereisen der Verderb von Lebensmitteln befördert werden. Ein weiteres Szenario ist der Betrieb von Botnetzen, die die Rechenleistung der verbauten Prozessoren ausnutzen, z. B. um Kryptowährungen zu schürfen. Dies könnte völlig unbemerkt vom Anwender geschehen, der diesen Betrieb dann über seine Stromrechnung finanziert. Andererseits werden erhebliche Datenschutzrisiken befürchtet, z. B. wenn der Kühlschrank autonom Bestellungen aufgibt oder individuelle Ernährungsgewohnheiten erkennt und nicht klar ersichtlich ist, wo diese Daten gespeichert werden und ob diese unbefugt abgegriffen werden können (Gefahr „gläserner Kunde“ zu werden) [317].

Hier kommt den Herstellern in verschiedenerlei Hinsicht eine Schlüsselrolle zu. Zunächst sollte die Regelung der Kühlkreisläufe hardwareseitig nur innerhalb festgelegter Grenzen erfolgen dürfen, damit die in der Einleitung beschriebenen erwünschten Steuerungseingriffe von außen zwar möglich sind, aber solche wie oben beschriebenen Angriffsszenarien technisch ausgeschlossen werden. Softwareseitig sollten die Hersteller verpflichtet werden, ihre Software und Firmware durch regelmäßige Updates auf dem aktuellen Stand zu halten, um so sog. ZeroDay-Attacks²⁵ bestmöglich zu begegnen. Zuletzt kommt es auf eine transparente Kommunikation der Hersteller an, wie die gewonnenen Kundendaten ausgewertet und verwendet werden und darüber hinaus Möglichkeiten zum Widerspruch der Datennutzung und der Datenlöschung zu gewähren. Leider zeigt sich, dass genau dies derzeit oft nicht der Fall ist. So werden z. B. auf der Produktwebseite des o. g. Samsung-Kühlschranks [318] allerlei Fähigkeiten angepriesen, jedoch findet sich kein Wort zur sicheren und verantwortungsvollen Verwendung der Daten.

In Summe ist dieser Indikator daher als negativ zu bewerten.

5.1.3 Ergebnisse und Fazit

Die Bewertung des Indikators „Chancen und Potenziale“ wird der Bewertung „Nachhaltigkeit“ des Geschäftsmodells der Consumer IoT am Beispiel smarterer Kühlschränke gegenübergestellt. Hierbei wird der Wert für die Nachhaltigkeit des DGM als gleichgewichteter Mittelwert der Indikatoren ökonomische, ökologische sowie soziale Nachhaltigkeit ermittelt.

Säulen	Gewichtung	Bewertung
Chancen und Potenziale		1
Nachhaltigkeit		-2/3
Ökonomische Nachhaltigkeit	1/3	1
Ökologische Nachhaltigkeit	1/3	-1
Soziale Nachhaltigkeit	1/3	-2

Tabelle 14: Gesamtbewertung des Geschäftsmodells der Consumer IoT für alle vier Säulen.

In Summe wird die Säule „Chancen und Potenziale“ mit +1 leicht positiv bewertet. Die Nachhaltigkeitsbewertung zeigt hingegen negative Ergebnisse in den Dimensionen ökologische und soziale Nachhaltigkeit (siehe Tabelle 13).

²⁵ Solche Attacks nutzen kritische Sicherheitslücken aus, die nur einschlägigen Kreisen (Hacker, Sicherheitsfirmen, etc.) bekannt sind und die durch Softwarehersteller noch nicht geschlossen wurden.

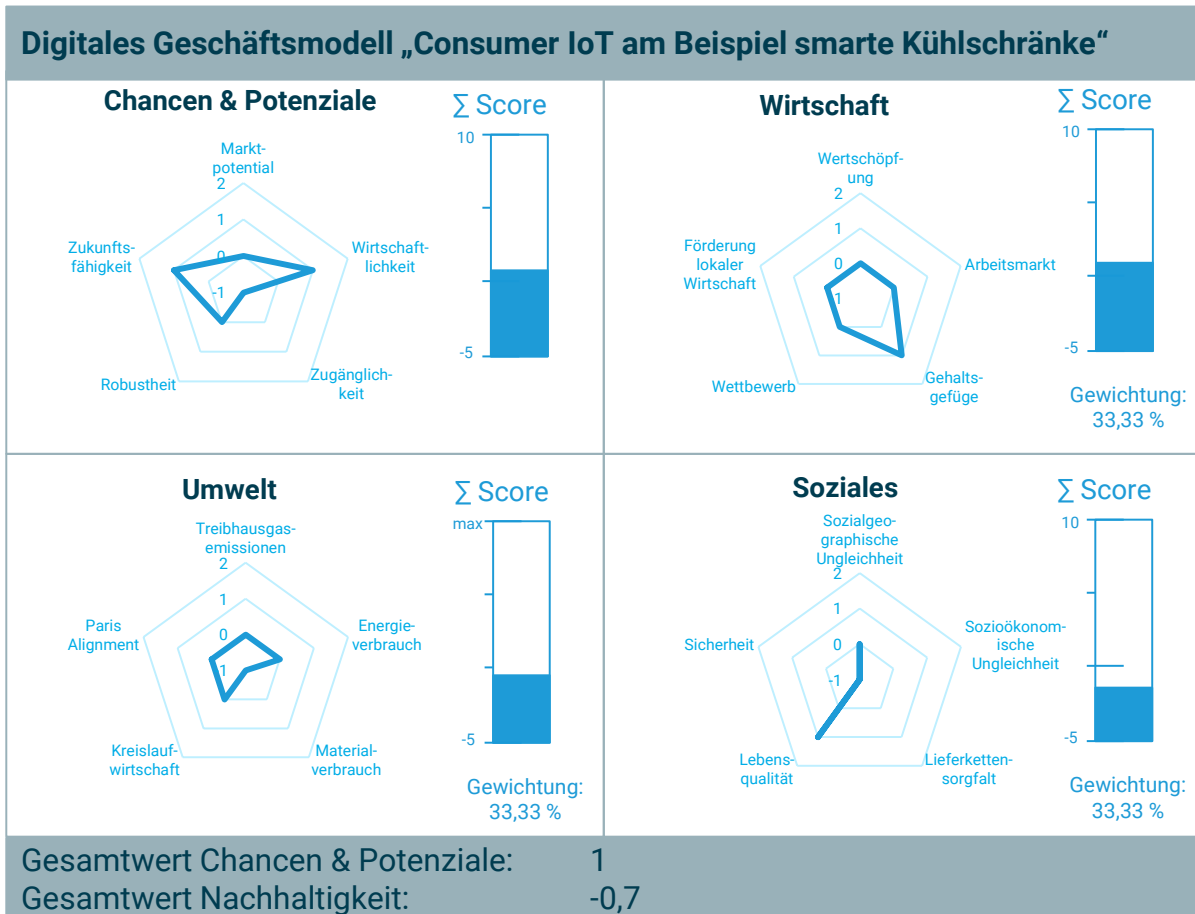


Abbildung 8: Bewertung des Geschäftsmodells Consumer IoT in den Dimensionen „Chancen & Potenziale“, „Wirtschaft“, „Umwelt“ und „Soziales“.

Diese Bewertungen zeigen, dass das Geschäftsmodell sowohl aus Unternehmensperspektive als auch aus gesamtgesellschaftlicher Perspektive in Bezug auf Nachhaltigkeit weder besonders attraktiv noch besonders unattraktiv im Bereich der Bewertungsskala von -5 (alle Indikatoren stellen sich als negativ heraus) bis +10 (alle Indikatoren stellen sich als sehr positiv heraus) ist.

Im Bereich Chancen und Potenziale erzielt das digitale Geschäftsmodell einen Wert von 1 und liegt damit leicht im positiven Bereich. Dies ist insbesondere getrieben von einem positiven Ausblick in den Aspekten Wirtschaftlichkeit und Zukunftsfähigkeit, während es bei der Zugänglichkeit noch Schwächen gibt.

Im Bereich der Nachhaltigkeit erzielen smarte Kühlschränke einen Wert von -2/3 und liegen damit geringfügig im negativen Bereich. Ob und wie sehr smarte Kühlschränke zur Nachhaltigkeitssteigerung (z. B. zur Reduktion von Lebensmittelverschwendung oder zum Energiesparen) beitragen können oder ob sie diese verringern (z. B. als ressourcenverbrauchendes Lifestyleobjekt besser verdienender Haushalte) muss sich erst noch herausstellen. Eine Förderung



Abbildung 9: Einordnung des Geschäftsmodells von Consumer IoT am Beispiel smarterer Kühlschränke in den Dimensionen "Chancen und Potenziale" sowie "Nachhaltigkeit".

des digitalen Geschäftsmodells aus öffentlichen Geldern erscheint entsprechend nicht notwendig. Allerdings sollte die weitere Entwicklung dieses DGMS, insbesondere mit Blick auf wettbewerbliche Aspekte und solche der IT-Sicherheit sehr genau beobachtet und ggf. behördlich durch die zuständigen Stellen reguliert werden.

5.2 City-Logistik-Kooperationen und -Plattformen

Die Zunahme des Onlinehandels, die einhergehenden steigenden Sendungszahlen in der Kurier-, Express- und Paketbranche (KEP-Branche) und die daraus folgende Zunahme an Lieferfahrten sind Treiber für die Entwicklung neuer Logistikkonzepte in urbanen Raum. Der Fokus liegt darauf, den Herausforderungen durch die alltägliche Verkehrssituation zu begegnen, lokale Einzelhändler zu befähigen, durch Kooperationen neue Wertschöpfungspotenziale und Absatzwege zu erschließen und gleichzeitig sowohl Kundenbedürfnisse nach Flexibilität und Verlässlichkeit zu bedienen als auch besonders nachhaltige Zustellkonzepte auf der letzten Meile zu integrieren [319]. Die Digitalisierung und das Teilen von Informationen zwischen den Akteuren mittels Datenplattformen sind dabei Wegbereiter für City-Logistik-Kooperationen verschiedener Wertschöpfungsstufen – für die Organisation der urbanen Warenströme und die Entwicklung neuer Services.

5.2.1 Motivation, Akteure und aktuelle Entwicklungen im Bereich City-Logistik

Ausgangslage für das Aufkommen von neuen und zunehmend digitalen und datengetriebenen Geschäftsmodellen im Bereich der City-Logistik sind die Herausforderungen, die in Ballungsräumen durch den Warenverkehr entstehen. Das vorherrschende Geschäftsmodell in der KEP-Branche ist, dass ein einzelner Anbieter die ganze Transportkette bis zur Zustellung abwickelt, wodurch die urbanen Gebiete täglich von verschiedenen, unabhängig voneinander agierenden KEP-Diensten befahren werden. Durch häufige Stopps und Ladevorgänge beeinflussen die Lieferverkehre den Verkehrsfluss und tragen zur Lärm- und Umweltbelastung bei [320]. Hier können City-Logistik-Kooperationen einen ökonomischen, gesellschaftlichen und ökologischen Mehrwert schaffen, indem sie die Konsolidierung von Lieferfahrten und die effiziente Nutzung von emissionsfreien, leisen Lieferfahrzeugen und kundenzentrierten Services zulassen.

Mit dem Fokus auf Kundenbedürfnisse sowie auf Nachhaltigkeitsziele haben verschiedene KEP-Dienstleister bereits Konzepte für die Zustellung auf der letzten Meile entwickelt. Um Endkunden Services zu Versand, Abholung und Einlagerung von Sendungen anzubieten und gleichzeitig die Anzahl von Stopps in der Zustellung zu verringern und den Zustellerfolg zu erhöhen, gehen sie Kooperationen mit lokalen Gewerbetreibenden als „Paket-Shops“ ein, errichten proprietäre Paketschränke oder schließen sich interoperablen Konzepten²⁶ an. Um eine emissionsfreie und leise Zustellung ohne erhöhte Verkehrsbelastung zu ermöglichen, setzen sie auch vermehrt elektrisch betriebene Mikrofahrzeuge und Lastenräder ein, die ausgehend aus einem Hub die urbanen Quartiere befahren [321].

Jedoch erst durch die Vernetzung der überregionalen Logistikdienstleister in Verbindung mit Angeboten zur Partizipation städtischer Akteure wie Einzelhändler und lokale Kurierdienste entsteht ein digital unterstütztes City-Logistik-Kooperationsmodell. Ein solches ganzheitliches, städtisches Logistikkonzept beinhaltet die Kooperation verschiedener Akteure auf verschiedenen Stufen entlang der Warenströme und der Wertschöpfung wie z.B. die konsolidierte Nutzung von Infrastrukturen wie Paket-Hubs und Fahrzeugen und ermöglicht außerdem die digitale Organisation der Dienstleistungen und die Bereitstellung von Daten und Schnittstellen. Auf diesem Weg können die

²⁶ Als Beispiel kann Parcel Lock genannt werden <https://www.parcellock.de> (Abgerufen 21.02.2022)

Zugangshürden lokaler Einzelhändler zu innovativen Lieferkonzepten und die lokaler Logistikdienstleister zum wachsenden Paketmarkt verringert werden, während für Endkunden gleichzeitig zusätzliche Services wie beispielsweise Same-Day-Lieferungen innerhalb des Stadtbereichs ermöglicht werden.

Wie beschrieben ist es ein Ziel von City-Logistik-Konzepten, eine Konsolidierung von Lieferfahrten zu erreichen im Sinne der Verkehrsentlastung und Nachhaltigkeit. Im Gegensatz zur alleinigen Gebietskonsolidierung räumt eine Studie des Bundesverband Paket und Expresslogistik (BIEK) der konsolidierten Zustellung per Mikrofahrzeug (z.B. Lastenfahrrad) aus innerstädtischen Depots Potenzial hinsichtlich betriebswirtschaftlicher und verkehrsreduzierender Effekte ein [322]. Weiteres Potenzial zur Verkehrsentlastung besteht beispielsweise bei der Zustellung per Lastenrad, da durch die Möglichkeit zum Halten auf Gehwegen die Problematik durch zugeparkte Ladezonen abgemildert wird und Stauumfahrungen auf Radwegen möglich sind. Das Modell dienstleisteroffener Mikrodepots wurde 2018 in Berlin durch das Projekt *KoMoDo* [323] erprobt. Während fünf KEP-Dienstleister eine von der Stadt bereitgestellte Logistikfläche erfolgreich als Mikrodepot für die Zustellung per Lastenfahrrad auf der letzten Meile nutzten, wurde hier noch keine dienstleisterübergreifende Zustellung umgesetzt. Ein frühes Pilotprojekt war ISOLDE [324] in Nürnberg, das 1996 startete und die konsolidierte Lieferung der Sendungen mehrerer Speditionen aus einem Mikrodepot mit elektrisch betriebenen Fahrzeugen zusammen mit der Möglichkeit eines Entsorgungsservice erprobte. Das Projekt *Kiezbote* [325] ermöglicht es, Endkunden in einigen Bezirken Berlins mittels spezieller Adressangabe als Empfänger für die letzte Meile die konsolidierte Lieferung per Kiezbote-Lastenfahrrad zu wählen. Als lokaler Lieferdienst ist dieses Projekt auch über die pickshare-Plattform mit lokalen Einzelhändlern als Zustellservices für Kundenbestellungen vernetzt.

Ein wesentlicher Aspekt von City-Logistik-Konzepten ist die Teilhabe und Stärkung lokaler Einzelhändler und Logistikdienstleister. Für Einzelhändler finden bereits verschiedene Partizipationsmodelle in Plattformprojekten Umsetzung. Ähnlich zu den Geschäftsmodellen der anbieterspezifischen Paketshops existieren Konzepte, die es Einzelhändlern erlauben, Paket-Services verschiedener Anbieter mittels Multi-Label zu vereinen. Für die lokalen Gewerbetreibenden eröffnet sich die Chance, durch die Frequentierung als Paket-Store mittels Cross-Selling²⁷ eigene Waren zu verkaufen und neue Kundengruppen zu erschließen und zudem eigene Versandprozesse zu vereinfachen. Ohne großen zusätzlichen Personalaufwand können lokale Einzelhändler auch durch automatisierte Paketstationen am Geschäftsmodell teilhaben. Unternehmen wie *Pakadoo* [326] bieten Installation und Betrieb von anbieterübergreifenden Paketschränken für den Empfang und Versand von Kundensendungen an. Durch die Vernetzung des lokalen Handels mit lokalen Kurierdiensten können den eigenen Kunden Angebote wie Ship-from-Store ermöglicht werden, indem Einkäufe, die online, telefonisch oder auch vor Ort getätigt wurden, zu einem gewählten Zeitpunkt, z. B. auch noch am gleichen Tag (Same-Day-Delivery), zugestellt werden. Beispielsweise vernetzt die lastmile heroes-Plattform [327] Einzelhändler mit überregionalen KEP-Diensten sowie lokalen Kurierdiensten. Diese Plattform ermöglicht es stationären Händlern als Abholpunkt zu fungieren und zugleich den eigenen Kunden flexible Lieferservices per Kurierdienst zu bieten – inklusive der Möglichkeit zur Kommunikation, Sendungsverfolgung und Änderung per App. Der Digitalverband Bitkom sieht in der Vernetzung des stationären Handels darüber hinaus weiteres Potenzial, indem Kundenbestellungen verschiedener Einzelhändler in der Innenstadt zusammengeführt und konsolidiert geliefert oder an einem Abholpunkt hinterlegt werden können [328]. Beispiele für erfolgreiche Online-Marktplätze zur Vernetzung von Einzelhändlern mit lokalen Zustelldiensten existieren ebenso, wobei diese Projekte nicht auf die Integration und Konsolidierung der Zustellung von Sen-

²⁷ Der Begriff Cross-Selling bezeichnet den Verkauf von Waren oder Dienstleistungen zusätzlich zum nachgefragten Artikel oder Service. Der nachgefragte Service im vorliegenden Fall ist die Dienstleistung als Paketshop.

dungen überregionaler KEP-Dienste fokussieren [329]. Im Unterschied dazu ermöglicht die Plattform *shöpping.at* österreichischen Einzelhändlern das Angebot eines Online-Schaufensters und -Shops und der Zustellung per Post [330]. Hierbei ist keine Integration und Partizipation von lokalen Lieferdiensten sowie eine Organisation und Konsolidierung von verschiedenen Lieferungen innerhalb der urbanen Region für den einzelnen Kunden umgesetzt.

Lokale Lieferdienste profitieren von der Vernetzung über digitale City-Logistik-Plattformen, indem sie

- Durch die Zustellung aus City-Hubs am boomenden Online-Handel partizipieren,
- Sich als Lieferdienst für die konsolidierte Zustellung von Bestellungen bei lokalen Händlern etablieren und
- Durch zusätzliches Sendungsvolumen das eigene Geschäftsmodell bspw. Durch mehr bezahlte Fracht pro Tour oder zusätzliche Abendlieferungen optimieren können.

Endkunden sind die Sendungsempfänger im urbanen Raum und damit die Kundengruppen des Online-Handels genauso wie die Kundschaft der lokalen Einzelhändler, die deren Lieferangebote wahrnehmen. Um Services wie die Wahl von Zustellzeiträumen, die Umleitung von Sendungen, Angabe von Ablageorten oder Kommunikation mit dem Zustellenden zu nutzen oder Informationen zur Sendung und zu Abholstationen wie Öffnungszeiten oder Barrierefreiheit zu erhalten, bedarf es des Zugangs zur Plattform, der üblicherweise mittels Smartphone-Applikation und Internetverbindung umgesetzt wird.

Letztendlich sind auch die Plattformbetreiber wesentliche Akteure, die in verschiedener Hinsicht von einer City-Logistik-Kooperation profitieren können. Während das Geschäftsmodell von privat organisierten, kommerziell orientierten Unternehmen darin besteht, durch Gebühren oder Umsatzprovision an über die Plattform angebotenen Services zu verdienen, sind öffentliche Träger wie Kommunen oder Vereinigungen der lokalen Wirtschaftsförderung weniger gewinnorientiert und verfolgen ebenso nicht-monetäre Ziele wie Stadtmarketing und Tourismusförderung [331], die sekundär positive Effekte für das lokale Gewerbe mit sich bringen sollen.

Technologische Voraussetzungen für den Aufbau und Betrieb einer digitalen City-Logistik-Plattform ist eine Infrastruktur, die eine schnelle, automatisierte Verarbeitung großer Datenmengen z.B. für Anwendungen wie Tracking, Routing und Kommunikation und ein effektives Prozessmanagement erlaubt. Ein weiterer technologischer Baustein sind Lokalisierungsmethoden sowie die Integration von Sensordaten z.B. zur Echtzeit-Sendungsverfolgung mittels GNSS-Tracking²⁸. Ebenfalls sind anbieteroffene Systeme zur Datenübertragung und Sendungsidentifikation notwendig, wobei hier der GS1-Standard der Nummer der Versandeinheit [332] (NVE/SSCC²⁹) und der GS1-128 Barcode [333] als Informationsträger eine gängige Grundlage darstellen. Diese Standards werden auch im Rahmen des BMVI geförderten Projekts SMile [334] einbezogen, bei dem die Umsetzung mit einer Software-as-a-Service-Plattform (SaaS-Plattform) eines Projektpartners in Kombination mit physischer Infrastruktur in Form von Mikrodepots eines weiteren Partners realisiert wird. Im Sinne der digitalen City-Logistik-Plattform ist also von einem Asset-Light-Geschäftsmodell³⁰ auszugehen, da über die Plattform im Wesentlichen die Nutzung der Services der unterschiedlichen Anbieter organisiert wird und die damit verbundenen Zahlungen abgewickelt werden. Dabei ist das Geschäftsmodell der angebotenen Anbieter durchaus mit der Unterhaltung von Logistikinfrastrukturen verbunden.

²⁸ Geolokalisierung durch Positionsbestimmung mittels globaler Navigationssatellitensysteme (GNSS)

²⁹ Die NVE (Nummer der Versandeinheit) bzw. der englische Begriff SSCC (Serial Shipping Container Code) ist eine standardisierte Identifikationsnummer für Transporteinheiten wie Kartons, Mehrwegbehälter, Paletten, etc.

³⁰ Asset Light bezeichnet ein Geschäftsmodell, in dem der (relative) Eigentumsanteil, also das Anlagevermögen in der Bilanz, gering ist.

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass sich ein wirtschaftliches Geschäftsmodell in besonderem Maße realisieren lässt, wenn die Vernetzung der dominanten Akteure in Logistik und Handel für die betreffende urbane Region geschaffen wird. Um daher nicht zwangsläufig eine Abhängigkeit von einer einzelnen Plattformlösung zu erreichen, ohne gleichzeitig das Ziel der Konsolidierung und der eingehenden Verkehrsentlastung abzuschwächen, können Standards und Interoperabilität von Plattformen die Koexistenz verschiedener Lösungen ermöglichen. Dieser Aspekt ist auch im Hinblick auf die Vernetzung in Metropolregionen sowie für die Übertragbarkeit und Skalierbarkeit auf weitere Städte wesentlich.

Die Bereitstellung der für den Transport maßgeblichen Informationen, zu denen neben Empfängeradresse und Kundenwünschen auch Sendungsinformationen wie Bruchfestigkeit, Gewicht, Gefahrenklassifikation und Anforderungen an Temperatur zählen, ist bei der Serviceerbringung sowohl für die Planung und Steuerung von Lieferungen genauso wie zur Wahrung der Beschaffenheit relevant. Ebenso sind sicherheitsrelevante Informationen wichtig zum Schutz von Beschäftigten, Arbeitsmaterialien und Fahrzeugen sowie gleichermaßen zur Einhaltung von Zusammenladeverböten. Aus Sicht des Plattformbetreibers kann der Zugang zu den Prozessdaten sowohl für operative Entscheidungen wie die tägliche Routenplanung der konsolidierten Zustellung genutzt werden als auch in der Kooperation mit der kommunalen Verwaltung für die strategische und taktische Weiterentwicklung des Logistiknetzes (z. B. Fragestellungen zur Positionierung von Infrastrukturen).

5.2.2 Bewertung des Geschäftsmodells hinsichtlich Nachhaltigkeit und Chancen & Potenziale

Im Nachfolgenden wird das DGM unter Anwendung des Analyserahmens in Kapitel 4.1 auf seine Chancen und Potenziale ebenso wie ökonomische, ökologische und soziale Nachhaltigkeit bewertet.

5.2.2.1 Indikatoren der Säule „Chancen und Potenziale“

In diesem Unterabschnitt wird das DGM der City-Logistik-Plattformen auf seine Chancen und Potenziale gemäß dem Analyserahmen bewertet. Wichtige Aspekte hierbei sind das Marktpotenzial, die Wirtschaftlichkeit und Zukunftsfähigkeit ebenso wie die Zugänglichkeit und Robustheit.

Indikatoren		Bewertung
1	Marktpotenzial	1
2	Wirtschaftlichkeit	-1
3	Zugänglichkeit	0
4	Robustheit	0
5	Zukunftsfähigkeit	1
Gesamtbewertung Säule „Chancen und Potenzial“		1

Tabelle 15: Bewertung des Geschäftsmodells der City-Logistik-Plattformen für die Einzelindikatoren in der Säule "Chancen und Potenziale".

Dabei wurde die Bewertung auf Basis der folgenden Begründungen durchgeführt:

Marktpotenzial

Für die Abschätzung des Marktpotenzials von City-Logistik-Kooperationen über eine digitale Plattform kann der Markt für Kurier-, Express- und Paketsendungen in Deutschland und dessen Entwicklung herangezogen werden. 2020 betrug der Umsatz 20,90 Mrd. Euro, für 2021 ist ein Umsatz von 22,79 Mrd. Euro und damit ein Anstieg von 9 % prognostiziert [335]. Der positive Trend zeichnet sich ebenfalls bei den Sendungsmengen im Paket- und Expressbereich ab, die im Jahr 2020

bei 3,61 Mrd. Stück lagen und im Vergleich zum Vorjahr einen Anstieg von 13,4 % verzeichneten. In der Betrachtung des Zeitraums von 2017 bis 2020 ergibt sich ein jährliches Wachstum von 8,93 %. Für das Jahr 2021 wird im Tätigkeitsbericht 2020/2021 ein Anstieg von 11,39 % auf 4,02 Mrd. Sendungen prognostiziert [335]. Der BIEK prognostiziert für die Entwicklung der Sendungsvolumen im KEP-Markt in konservativen bzw. optimistischen Szenarien ein jährliches Wachstum zwischen 6 % und 8 % [336]. Im Hinblick auf City-Logistik-Kooperationen ist davon auszugehen, dass ein Teil dieser Sendungen über das damit verbundene Logistikkonzept ausgeliefert werden bzw. ein Teil der B2C-Sendungen, die aus dem E-Commerce stammen, durch eine Bestellung bei einem lokalen Händler und eine über die Plattform angebotene Abhol- oder Zustelloption ersetzt werden. Allerdings bestehen mehrere Unsicherheitsfaktoren für die Akzeptanz und Verbreitung von City-Logistik-Kooperationen. Dies wird beispielsweise daran deutlich, dass unter Plattformen, die in Reaktion auf Maßnahmen der Eindämmung der Corona-Pandemie entstanden sind, einige bereits mangels Nachfrage eingestellt wurden³¹, während andere eine weiterhin positive Entwicklung an Bestellmenge und Reichweite verzeichnen.³² Ebenjene Studie identifiziert als Einstiegshemmnisse und Hindernisse auf Seiten des Handels eine mangelnde Motivation für die Beteiligung, beispielsweise eine nicht zu den Zielen des Einzelhandels passende Konzeption der Plattform, sowie eine unzureichende Digitalisierung und Kompetenz für neue Medien. Zudem wird eine Organisation der Zustellung sowie eine mangelnde lokale Bekanntheit als Herausforderung für die Akzeptanz genannt. Diese Hindernisse sind nicht intrinsisch für das Geschäftsmodell, sondern können durch Konzeption und Gestaltung adressiert werden.

Zusammenfassend ergibt sich aufgrund des stark wachsenden Markts für Paketsendungen und positiven Prognosen für die Entwicklung des E-Commerce [338] zusammen mit der Option der Verlagerung eines Anteils von E-Commerce-Bestellungen auf die City-Logistik-Plattform in Abwägung mit den verschiedenen Risikofaktoren für die Akzeptanz bei lokalen Händlern und Kunden eine positive Bewertung.

Wirtschaftlichkeit

Damit der Betrieb einer City-Logistik-Plattform wirtschaftlich wird, hat das wissenschaftliche Institut für Infrastruktur und Kommunikationsdienste (WIK) in einer Kurzstudie den Bekanntheitsgrad als wesentlichen Faktor identifiziert [331], da sich dieses, wie andere plattformbasierte Geschäftsmodelle auch, durch die Existenz von Skaleneffekten auszeichnet. Eine wachsende Anzahl von angeschlossenen Akteuren sowie von Nutzenden verursacht unterproportionale Kostensteigerungen. Plattformen mit wenigen Kunden und Akteuren müssen also mit höheren Kosten pro Vorgang rechnen. Nach Prognose der Studie kann es für einen wirtschaftlichen Betrieb nach einer subventionierten Anfangsphase zum Zusammenschluss von kommunalen Plattformen kommen. Besonders im Hinblick auf das Logistikkonzept bestehen Herausforderungen für einen wirtschaftlichen Betrieb. Die deutschen und österreichischen Bundesvereinigungen Logistik sehen eine kostenminimale Logistikstruktur als Voraussetzung für neue Konzepte [337]. Die Optimierung von kilometerbezogenen Fahrzeugkosten, Personaleinsatz, Fixkosten pro Vorgang und Stückkostendegression stehen im Konflikt mit Kapitalbindungskosten und Servicequalität, weshalb sie in ihrem Grünbuch annehmen, dass für die Etablierung eine (Quer-)Subventionierung erforderlich ist. Bereits jetzt bestehen in der Kurierbranche Rentabilitätsrisiken, was auch durch geringe EBT-Margen im Blick auf die Logistikbranche (zwischen 0,9 und 4,4 % für die Jahre 2015 bis 2019) offenlegt wird [339]. Es ist

³¹ Digitale City-Initiativen mit Shop-Funktionalität in z.B. Bonn, Nagold und Waiblingen haben ihr Angebot eingestellt. Ein Überblick über Angebote (inkl. Kategorisierung nach deren Art wie z.B. City-App, Shop, Lieferservice als Conona-Maßnahme) findet sich hier unter <https://cimadigital.de/initiativen> (abgerufen 07.02.2022)

³² Der Fokus der Quelle liegt auf Online-Marktplätzen mit Logistikkonzept, was hier unter dem Begriff Plattform zu verstehen ist. Vgl. [331]

allerdings anzumerken, dass die EBT-Marge für Logistikunternehmen der kleinsten Umsatzkategorie (Umsatz bis 2 Mio.) höher bei 6.2 % für 2019 liegt. Dabei kann die Branche in Sachen Rentabilität vom zunehmenden Sendungsaufkommen nicht im gleichen Maße profitieren - während die Sendungsvolumina um 74 % stiegen im Zeitraum von 2010 bis 2020, stiegen die Umsätze nur um 67 % [340]. Im Gegensatz zur WIK-Studie, die maßgebliche Faktoren für einen wirtschaftlichen Betrieb benennt, stellt das Grünbuch „Nachhaltige Logistik in urbanen Räumen“ die Probleme heraus, an denen urbane Konzepte zur konsolidierten Ver- und Entsorgung gescheitert sind. Darunter fallen die mangelnde Finanzierbarkeit, politische Faktoren und eine nicht gewollte überbetriebliche Zusammenarbeit [337]. Aufgrund der Tatsache, dass Studien eine Subventionierung als Voraussetzung für die Etablierung sehen und zudem allgemeine Rentabilitätsrisiken bestehen, wird dieser Indikator negativ bewertet.

Zugänglichkeit

Aus Kundensicht sind für den Zugang und die Nutzung der Services einer City-Logistik-Plattform je nach Umsetzung verschiedene Voraussetzungen nötig. Beispielsweise wird ein Internetzugang benötigt, wenn die Kooperationsfunktionen über ein Onlineportal bereitgestellt werden oder für die ein Kundenkonto benötigt wird. Solche Services sind z. B. eine Bestellmöglichkeit über ein Onlineportal [329], das Zuführen von Sendungen überregionaler Lieferdienste zu der City-Logistik-Kooperation über ein Kundenkonto (wie beim Projekt *Kiezbote* [325]), eine Abholmöglichkeit von Sendungen in anbieterübergreifenden Paketschränken für die eine Authentifizierung nötig ist (wie bei den Projekten *Pakadoo* [326] und *Pickshare* [341]) oder ein Tracking des Lieferstatus. Um Teilaspekte wie die Lieferung aus dem lokalen Einzelhandel zu nutzen, kann auch eine telefonische Bestellung ausreichen, ohne dass ein Internetzugang und internetfähiges Endgerät nötig sind. In diesem Fall kann die Vernetzung von Logistikpartnern und Händlern dennoch über eine City-Logistik-Plattform zustande kommen, ohne dass die Kundschaft in die digitale Abwicklung involviert ist. Wie oben genannt, ist die Akzeptanz ein Kriterium für die erfolgreiche Etablierung, weshalb es im Bestreben des DGM liegt, die Zugangshürden für Nutzende gering zu halten, um auch Bevölkerungsgruppen, mit geringer technischer Affinität für die Nutzung gewinnen zu können. Unter diesem Gesichtspunkt soll insbesondere die Zugänglichkeit für ältere Bevölkerungsgruppen analysiert werden. Von den über 65-Jährigen nutzt ca. die Hälfte regelmäßig das Internet und von den Nicht-Nutzenden werden neben Abwesenheit von Nutzungszwecken mangelnde technische Möglichkeiten und Kenntnisse als Grund für die Nicht-Nutzung genannt [342]. Es ist also anzunehmen, dass für die Hälfte der Senioren Zugangshürden zu digitalen Services wie Online-Marktplätzen im Rahmen einer City-Logistik-Kooperation bestehen und ggf. nur Teilaspekte, für die kein Internetzugang nötig ist, für sie nutzbar sind. Da für eine erfolgreiche Etablierung und gewinnbringenden Betrieb ebenso ein lebendiger Markt und ein breites digitales Angebot von Seiten der auf der Plattform vertretenen Anbieter nötig sind [331], ist die Zugänglichkeit der angeschlossenen lokalen Akteure ebenso zu bewerten. Gehört zu der City-Logistik-Plattform ein Online-Marktplatz, kann es für die Bereitstellung von umfangreichen Services wie einer Verfügbarkeitsabfrage und Bestellung nötig sein, die eigenen Artikelinformationen digital vorliegen und verfügbar zu machen, z. B. in einem Warenwirtschaftssystem [331]. Für die angeschlossenen Akteure aus Handel und Logistik ist in jedem Fall der Zugriff auf die Plattform per Internet nötig. Je nach Ausgestaltung der Buchung und Organisation von Lieferungen und Abholungen ist eine Integrierbarkeit in Webshops der Händler vorteilhaft. Für die an der Logistik beteiligten Akteure ist es erforderlich, den Sendungsstatus digital zu ändern und die Übergabe für Versender, Empfänger und die Abrechnung zu bestätigen. Um auch die konsolidierte Lieferung von Sendungen von KEP-Diensten zu ermöglichen, ist die Nutzung von Identifikationsstandards erforderlich. Von der KEP-Branche werden bereits von GS1 gepflegte Standards verwendet [343], für die lokalen Dienstleister ist die Implementierung zur Identifikation und Dokumentation erforderlich. Die beschriebenen Erfordernisse stellen keine gravierenden Zugangshürden dar, allerdings ist in der praktischen Umsetzung zu beobachten, dass aufgrund

von mangelnden digitalen Kompetenzen bei Händlern Vorbehalte gegenüber City-Logistik-Plattformen bestehen [331]. In der Gesamtabwägung wird dieser Indikator daher neutral bewertet.

Robustheit

Zur Bewertung der Robustheit einer City-Logistik-Kooperation wird die Zuverlässigkeit und Stabilität der digitalen Plattform und der verschiedenen Dienstleistungen betrachtet. In der KEP-Branche existieren bereits Standards für die Identifizierung und Sendungsverfolgung [343], wodurch Reibungsverluste in der konsolidierten Zustellung vermieden werden können. Bei der Anbindung von Einzelhändlern an digitale Plattformen kommen verschiedenste Modelle und Methoden zum Einsatz. Hier bestehen Risiken für ein zuverlässiges System, da einerseits den Einzelhändlern die digitalen Kompetenzen oftmals fehlen und für die digitale Bereitstellung von Waren die Anbindung von verschiedensten Warenwirtschaftssystemen nötig ist bzw. von den Händlern oftmals nur Tabellen in digitalen Formaten bereitgestellt werden [331]. Dieses Vorgehen birgt das Risiko, dass das digitale Schaufenster nicht aktuell gehalten wird und somit die Zuverlässigkeit bezüglich der Aktualität und Belastbarkeit von Informationen wie der Verfügbarkeit von Waren aus Kundensicht eingeschränkt wird und damit die Attraktivität geschmälert wird. Zudem können mangelnde digitale Kompetenzen sich negativ auf die technische Robustheit des Systems auswirken, indem ggf. eine fachgerechte Wartung nicht durchgeführt werden kann oder technische Probleme länger unerkannt bleiben oder nicht zeitnah durch die Händler selbst behoben werden können. Im Hinblick auf die urbane Verkehrssituation ist es ein Ziel von City-Logistik-Kooperationen, eine Entlastung des innerstädtischen Verkehrs durch eine Verringerung unabhängiger Lieferfahrten und die einhergehende Verringerung des Bedarfs an urbanem Raum für Logistik wie Halte- und Umschlagplätzen herbeizuführen [337]. Daher kann die City-Logistik-Kooperation zur einem robusteren Verkehrs- und Logistikkonzept beitragen. Je nach Ausgestaltung des Logistikangebots und der technischen und organisatorischen Umsetzung sowie abhängig von der Annahme des Angebots in den urbanen Gebieten kann die Kooperation nicht nur verkehrliche Entlastungspotenziale realisieren, sondern auch als planerische Maßnahme zur Steuerung eines robusten Güterverkehrskonzepts dienen [344]. Gerade wenn City-Logistik-Kooperationen durch einen öffentlichen Träger initiiert sind, können solche Konzepte als planerisches Instrument in Abgrenzung zu ordnungsrechtlichen Regelungen zur Steuerung innerstädtischen Verkehrs beitragen.

Durch das Geschäftsmodell entstehen in den verschiedenen Bereichen sowohl Risiken als auch Chancen für die Stabilität des Systems, weshalb die Bewertung neutral ausfällt.

Zukunftsfähigkeit

City-Logistik-Kooperationen verfolgen das Ziel, ein wirtschaftliches Konzept für die urbane Logistik mit dem Fokus auf Endkundenservices und Verkehrsentslastung zu entwickeln. Gleichzeitig zum prognostizierten Wachstum in der KEP-Branche steigen auch die Nachhaltigkeitsanforderungen sowohl durch politische Initiativen (z.B. Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetz) als auch durch Kundennachfrage sowohl im B2B³³- als auch im B2C³⁴-Segment der Logistikdienstleister³⁵. Da City-Logistik-Kooperationen mit den Güterverkehrskonzepten solche Nachhaltigkeitsanforderungen adressieren und bedienen, kann auf dieser Basis also ein zukünftiges Wachstumspotenzial abgeleitet werden. Ein weiterer Hinweis auf eine hohe Zukunftsfähigkeit ist die Prognose des BIEK, die in der Bündelung von Sendungen zur Zustellung aus sogenannten Mikro-Hubs mit emissionsfreien Fahrzeugen eine Maßnahme zur Optimierung der urbanen Logistik sehen [346], die durch das Geschäftsmodell gefördert wird. Basiert die Lösung auf Standards für die Identifikation von Sendungen, ist sie unabhängig und bietet stets die Möglichkeit zur Integration neuer Partner, was

³³ Business to Business bezeichnet das Geschäftskundensegment

³⁴ Business to Customer bezeichnet das Endkundengeschäft

³⁵ Besonders hervorgehoben werden im B2B-Bereich Ausschreibungen in der Textilbranche sowie ein gutes ökologisches Image beim Kunden als wichtiger Bestandteil der Kundenzufriedenheit im B2C-Bereich. Quelle: [345]

als positive Eigenschaft bezüglich der Zukunftsfähigkeit angesehen werden kann. Die Übersicht über Ausgaben im Bereich Forschung und Entwicklung in der KEP-Branche zeigt, dass im Vergleich zum Durchschnitt anderer Sektoren weniger Gelder in diesen Bereich investiert wurden [347]. Daher kann das DGM hier als innovativeres Projekt eine Vorreiterrolle einnehmen und hat Chancen, sich zu etablieren. Die Annahme einer Plattform ist allerdings wesentlich für den langfristigen wirtschaftlichen Betrieb, ohne den eine Lösung auch wieder vom Markt verschwindet [329]. Die Studie sieht ein gutes Projektmanagement, das alle Akteure unterstützt und motiviert als essenziell an, um auch nach der Anfangsphase, die in verschiedenen Bundesländern auch mittels finanzieller Förderung unterstützt wird, eine kritische Masse an angeschlossenen Händlern als auch an Kunden für den wirtschaftlichen Betrieb aufrecht zu erhalten und auszubauen. Die Zukunftsfähigkeit ist an sich also kein Selbstläufer, sondern hängt von verschiedenen Faktoren ab. Die zitierten Studien zeigen allerdings auf, dass das DGM die aktuellen Trends befriedigt und daher Zukunftspotenzial hat, weshalb die Bewertung positiv ausfällt.

5.2.2.2 Indikatoren der Säule „Ökonomische Nachhaltigkeit“

Als erster Indikator zur allgemeinen Nachhaltigkeit des Geschäftsmodells findet eine Bewertung der ökonomischen Nachhaltigkeit statt.

Indikatoren		Bewertung
1	Wertschöpfung	1
2	Arbeitsmarkt	0
3	Gehaltsgefüge	0
4	Wettbewerb	1
5	Förderung lokaler Wirtschaft	2
Gesamtbewertung Säule „Ökonomische Nachhaltigkeit“		4

Tabelle 16: Bewertung des Geschäftsmodells der City-Logistik-Plattformen für die Einzelindikatoren in der Säule "Ökonomische Nachhaltigkeit".

Dabei wurde die Bewertung auf Basis der folgenden Begründungen durchgeführt:

Wertschöpfung

Eine City-Logistik-Plattform mit hoher Akzeptanz kann in mehrererlei Wegen zur Wertschöpfung beitragen. Bietet die Plattform lokalen Händlern ein digitales Schaufenster mit digitaler Bestellmöglichkeit, besteht die Wertschöpfung in der Leistung des Geschäftsmodells, lokalen Händlern digitale Absatzwege zu eröffnen [348]. Durch das Angebot von Lieferoptionen, die auf die Kundenbedürfnisse zugeschnitten sind, kann eine zusätzliche Attraktivität generiert und zusätzliche Kaufanreize geschaffen werden [319]. Durch die Kollaboration zwischen den lokalen Akteuren, z. B. indem Händler als Abholpunkt für Paketsendungen fungieren oder auch Paketschränke zur Abholung bereitstellen, entsteht zusätzliches Wertschöpfungspotenzial durch Cross-Selling [349]. Umfasst die Plattform die Konsolidierung und Orchestrierung von Zustellungen im Stadtgebiet, erlaubt die Bereitstellung von Sendungsdaten für die Tourenbildung und die Erhöhung des Sendungsaufkommens bei den lokalen Lieferpartnern, diesen ihren Service kostengünstiger anzubieten und die Wertschöpfung zu erhöhen [329]. Gesamtwirtschaftlich erhöht sich die lokale Wertschöpfung [350], vermutlich auch zum Teil durch Verlagerung von Marktanteilen und Sendungsaufkommen von überregionalen Onlinehändlern und überregionalen Logistikdienstleistern, was für diese einen negativen Effekt darstellen würde. In der Gesamtbewertung soll berücksichtigt werden, dass neben der reinen Verlagerung auch neue Wertschöpfungspotenziale entstehen, weshalb diese positiv ausfällt.

Arbeitsmarkt

Der Aufbau und Betrieb der Plattform werden vermutlich geringe Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt in der Form haben, dass eine geringe Zahl qualifizierten Personals für die Entwicklung, Programmierung, und Implementierung bei den Akteuren der Stadt benötigt wird. Durch Betreuung und Agenturleistungen wie z. B. die Digitalisierung von Produkten (wie beim Beispiel *Wir sind Bochum* [329]), wird deutlich, dass diese Arbeitsplätze über den Roll-Out der Plattform hinaus benötigt werden. Bei den angebundenen Akteuren entsteht ein Bedarf an Personal mit digitalen Kompetenzen, die entweder durch Schulung bestehender Mitarbeitender, Einsatz von externen Kräften oder Schaffung von neuen Stellen gedeckt werden können [331]. Die Anzahl der Beschäftigten in der KEP-Branche stieg in den letzten Jahren [351] während der Durchschnittslohn sank [352] und die Anzahl der Auszubildenden abnahm [353]. Generell besteht ein hoher Personalbedarf in der Branche, während gleichzeitig Knappheit an qualifizierten Kräften herrscht. Bei einer erfolgreichen Etablierung einer City-Logistik-Kooperation ist zu vermuten, dass die Arbeitsplätze im Bereich der Zustellung vermehrt bei den lokalen Kurierdiensten entstehen anstelle bei großen KEP-Dienstleistern. Plattformbasierte Geschäftsmodelle in der Logistik werden auch als Basis für die Koordination von Arbeitsaufträgen an viele kleine Auftragnehmer gesehen [354]. Im Bereich der Lieferdienste und Fahrradkurierdienste für die schnelle Zustellung in urbanen Gebieten wird dieses Modell eingesetzt und steht in der Kritik, prekäre Beschäftigungsverhältnisse zu schaffen [355]. Dementsprechend besteht durch das DGM auch das Risiko der Schaffung von prekären Arbeitsmodellen, wenn sie für die Koordination der Zustellungen durch bspw. Pseudo- oder Scheinselbstständige genutzt wird. In der Nettosicht der Betrachtung des Geschäftsmodells im Vergleich zur aktuellen Situation ist von positiven, neutralen als auch negativen Effekten auszugehen, weshalb der Indikator insgesamt als neutral bewertet wird.

Gehaltsgefüge

Wie oben beschrieben, fördert das Geschäftsmodell Beschäftigung von Personal mit Qualifikationen im Bereich digitaler Medien für die Entwicklung, das Management, die Implementierung und Unterhaltung der Plattform, für die eine gute Bezahlung angenommen werden kann. Zudem wird auch die Entstehung von Stellen im Bereich der Zustellung stark gefördert. Generell besteht in der KEP-Branche ein starkes Lohngefälle zwischen Stellen, die eine hohe Qualifizierung erfordern, und denen, die geringe oder keine formale Qualifikation voraussetzen, wozu auch die Stellen in der Zustellung zu zählen sind [356]. Da allerdings die Entwicklung des Durchschnittslohns einen negativen Trend zeigt [357], kann nicht angenommen werden, dass die starke Personalnachfrage zu einer Steigerung des Einkommensniveaus führt. Allerdings wird diese Entwicklung nicht durch das Geschäftsmodell digitaler City-Logistik-Plattformen verursacht oder besonders befördert, sondern verlagert die Bedarfe von überregionalen zu regionalen Logistikdienstleistern, weshalb der Indikator in der Gesamtheit als neutral bewertet wird.

Wettbewerb

Wie in der Studie „Erfolgsfaktoren für lokale Online-Marktplätze“ des WIK beschrieben, sind die lokale Bekanntheit, das Projektmanagement und die Verzahnung mit dem Stadtmarketing wichtige Erfolgsfaktoren für Online-Marktplätze mit City-Logistik [331]. Im Hinblick auf diese Faktoren ist es also als unvorteilhaft einzuschätzen, wenn sich verschiedene, getrennt voneinander agierende City-Logistik-Kooperationen entwickeln. Es ist also zu vermuten, dass der Wettbewerb von Plattformen die Akzeptanz der einzelnen schmälert. Das Vorhandensein mehrerer separater Konzepte würde auch die negativen Verkehrseffekte abschwächen. Dies wäre insbesondere aus Sicht der Kommune wünschenswert. Zusätzlich, unter dem Gesichtspunkt der lokalen Wertschöpfung und der Gewerbesteuereinnahmen, sieht der Abschlussbericht zu lokalen Online-Marktplätzen ebenso die Kommunen im Rahmen der freiwilligen Aufgaben in der Wirtschaftsförderung in der Pflicht, bei der Etablierung eines Online-Marktplatzes zu unterstützen [358]. Die Bildung eines lokalen Monopols ist aus diesen Aspekten daher förderlich um die Zielsetzungen einer City-Logistik-Plattform zu

realisieren. In der Betrachtung größerer Regionen kann die Interoperabilität von Lösungen verschiedener Betreiber den einzelnen Lösungen allerdings förderlich sein.³⁶ Innerhalb der einzelnen Plattform kann es ebenso zu Wettbewerb kommen, wenn unterschiedliche Händler ein ähnliches Sortiment oder verschiedene Kurierdienste die Logistikdienstleistungen anbieten. Dieser marktwirtschaftliche Wettbewerb kann sich positiv auf die Preisgestaltung für die Endkunden als auch auf das Preismodell des Logistikkonzepts und die Gebühr für die Händler auswirken. Eine wesentliche Wettbewerbssituation besteht für eine City-Logistik-Kooperation nach außen. Einerseits steht ein Online-Marktplatz in Konkurrenz mit internationalen Plattformen, sodass sowohl die Kundschaft als auch Gewerbetreibende mit ihrem Angebot abwandern können, wenn sie dort attraktivere Konditionen und Bedingungen vorfinden [331]. In der Logistik steht die Plattform in Konkurrenz zu den großen, etablierten Dienstleistern (78 % des Gesamtumsatzes der Branche entfallen auf 0,08 % der Unternehmen [359]). Es ist nicht davon auszugehen, dass KEP-Dienstleister die Wettbewerbsstellung zu einer City-Logistik-Kooperation aufgeben, sofern nicht das Kundenbedürfnis, das beispielsweise beim Projekt *Kiezbote* ausschlaggebend für die Nutzung ist, oder regulatorischer Druck (bspw. Zufahrtsbeschränkungen etc.) als Treiber gegeben sind. Insgesamt wird der Indikator positiv bewertet, da das DGM den Wettbewerb innerhalb der lokalen Händler und Dienstleister als auch mit den überregionalen Akteuren befördert.

Förderung lokaler Wirtschaft

Wie bereits im Rahmen des Indikators „Wertschöpfung“ diskutiert, befördern City-Logistik-Plattformen die Regionalisierung der Wertschöpfung von großen, nationalen oder internationalen Onlineshops hin zu lokalen Händlern und von großen Logistikdienstleistern zu lokalen Kurierdiensten. Dem Verlagerungseffekt hinzuzurechnen ist, dass Kundenbedürfnisse besser adressiert werden [360], neue Vertriebswege (z. B. Onlinehandel) erschlossen, zusätzliche Kundengruppen angesprochen und durch Cross-Selling zusätzliche Umsatzpotenziale generiert werden können, z. B. als Abholstation für Bestellungen im angeschlossenen Einzelhandel oder von Paketsendungen. Geschäftsmodelle lokaler Lieferdienste können wirtschaftlicher betrieben werden durch bessere Auslastung, höhere Sendungsvolumina oder zusätzliche Aufträge in breiteren Zeitfenstern [329]. Der aktuelle Trend zeigt, dass es im Bereich der Logistik viele Neugründungen gibt und dass 83,3 % der Unternehmen in der Branche klein sind, mit einem jeweiligen Umsatz unter 0,5 Mio. Euro [361]. Diese kleinen Unternehmen können von City-Logistik-Kooperationen als Partner profitieren. In der Gesamtbetrachtung wird der Indikator „Förderung lokaler Wirtschaft“ daher als sehr positiv bewertet.

5.2.2.3 Indikatoren der Säule „Ökologische Nachhaltigkeit“

Als nächster Indikator wird die ökologische Nachhaltigkeit inklusive der Auswirkung des DGM auf Treibhausgasemissionen, der Kreislaufwirtschaft und dem Material- und Energieverbrauch bewertet.

³⁶ In Bonn, Euskirchen und dem Rhein-Sieg-Kreis, entsteht aus wirtschaftlichen Gründen eine interkommunale Plattform, in der bestehende Marktplätze, wie das Bad Honnefer Kiezkaufhaus, im Rhein-Sieg-Kreis aufgehen (Generalanzeiger Bonn (2021), Neue Plattform für den Einzelhandel, 7.12.2021)

Indikatoren		Bewertung
1	Treibhausgasemissionen	1
2	Energieverbrauch	1
3	Materialverbrauch	0
4	Kreislaufwirtschaft	1
5	Paris Alignment	1
Gesamtbewertung Säule „Ökologische Nachhaltigkeit“		4

Tabelle 17: Bewertung des Geschäftsmodells der City-Logistik-Plattformen für die Einzelindikatoren in der Säule "Ökologische Nachhaltigkeit".

Dabei wurde die Bewertung auf Basis der folgenden Begründungen durchgeführt:

Treibhausgasemissionen

Geht mit der City-Logistik-Plattform eine konsolidierte Zustellung von Sendungen mit emissionsarmen Fahrzeugen wie Lastenrädern oder E-Fahrzeugen einher, kann von einem Reduktionspotenzial der GHG-Emissionen im Vergleich zum Status quo, dem unabhängigen Befahren der gleichen Gebiete durch verschiedene KEP-Dienste, ausgegangen werden [322]. Hinsichtlich der Betrachtung der Zustelldienste für lokale Einzelhändler ist die Betrachtung vielschichtiger. Ersetzt die Lieferung eine Privatfahrt mit dem PKW, kann angenommen werden, dass für die Zustellung in einer Tour mit anderen Sendungen in der Gesamtbetrachtung die mit Fahrzeugen zurückgelegte Strecke geringer ist. Zudem ist durch den Einsatz von emissionsarmen Lieferfahrzeugen ein geringerer Ausstoß von GHG-Emissionen zu erwarten. Ersetzt die Lieferung allerdings einen emissionslosen Besuch im Handel zu Fuß oder per Fahrrad, besteht im direkten Vergleich das Risiko einer Emissionserhöhung. Die gleiche Einschätzung gilt für Ship-from-Store-Angebote, bei denen die direkte Mitnahme durch eine Lieferung ersetzt wird. Bei diesen Möglichkeiten birgt das Geschäftsmodell das Risiko eines Rebound-Effekts, indem das Angebot zu einer Verlagerung von persönlichen Innenstadtbesuchen mittels emissionsfreier Mobilitätsformen führt. Kann durch die Bestellung und Lieferung beim lokalen Einzelhandel eine Bestellung im Onlinehandel mit einem längeren Lieferweg ersetzt werden, besteht dahingegen großes Potenzial zur Emissionsvermeidung. Zu einem City-Logistik-Konzept kann auch die Abholoption von Sendungen in Paketboxen oder an Abholstationen gehören. Das Potenzial zur Emissionsreduktion durch dieses Angebot wird kontrovers diskutiert. Es wird davon ausgegangen, dass in der Gesamtbetrachtung zwar die zurückgelegte Strecke nicht abnimmt, allerdings abhängig vom Verhalten der Nutzenden insgesamt die Emissionen reduziert werden, wenn Abholfahrten per Fahrrad oder zu Fuß erledigt werden oder in obligatorische Fahrten wie dem Arbeitsweg integriert werden. Das Reduktionspotenzial besteht dann in der Reduktion der Strecke durch Fehlzustellungen durch Lieferdienste [363]. In der Summe sind für die einzelnen Aspekte des Geschäftsmodells also neutrale bis sehr positive Auswirkungen zu betrachten, weshalb der Indikator insgesamt als positiv bewertet wird.

Energieverbrauch

Die Argumentation zum Energieverbrauch ist ähnlich wie jene zum Indikator „Treibhausgasemissionen“. Das Einsparpotenzial besteht besonders in der Reduktion der für die Lieferung bzw. Abholung zurückgelegten Strecken. Wie im vorherigen Abschnitt diskutiert, ist dies besonders durch die Verschiebung von Bestellung zu lokalen Händlern und durch die Konsolidierung von Fahrten zu erreichen. Bei den weiten Aspekten des Geschäftsmodells, wenn die Lieferung eine Privatfahrt von Kunden ersetzt, werden zumindest keine zusätzlichen Fahrten generiert. Wie oben diskutiert, kann das Angebot allerdings zu Rebound-Effekten führen, falls Bestellung und Lieferung den persönlichen Besuch des Einzelhandels bspw. zu Fuß oder per Fahrrad ersetzen. Wie bei anderen, mittels einer digitalen Plattform unterstützten Geschäftsmodellen, bedingt sowohl der Betrieb als auch die

Nutzung auf mobilen Endgeräten einen zusätzlichen Energieverbrauch [364]. Der aktuelle Trend zeigt, dass der Energieverbrauch durch steigende Nachfrage nach Rechen- und Speicherkapazität steigt [365]. Gleichzeitig ist zu vermuten, dass durch die City-Logistik-Plattform bei den verschiedenen KEP-Diensten Ressourcen für Tourenbildung und Routing eingespart werden bzw. durch die Verlagerung von Online-Käufen im boomenden E-Commerce von einer überregionalen Plattform zu einer City-Logistik-Plattform ebenso eine Verlagerung des Energieverbrauchs geschieht. Die Effekte auf den Energieverbrauch sind also neutral bis positiv, weshalb dieser Indikator positiv bewertet wird.

Materialverbrauch

Hinsichtlich des Aspekts der Konsolidierung von Lieferfahrten in urbanen Gebieten sind keine Auswirkungen auf den Materialverbrauch in Bezug auf das Verpackungsmaterial ersichtlich. Lediglich durch die Reduktion der Fahrtstrecke, wie oben erläutert, kann über einen verringerten Verschleiß von Fahrzeugen argumentiert werden. In Bezug auf die Lieferung von Bestellungen aus dem lokalen Handel ist die Betrachtung vielschichtiger. Ersetzt die Lieferung eine Abholung, ist möglicherweise ein erhöhter Materialverbrauch zu erwarten. Für Versendung bzw. Lieferung ist eine Bündelung oder Verpackung obligatorisch [331], wohingegen beim Kauf im Ladengeschäft oder der Abholung durch die Kundschaft zunehmend mitgebrachte Verpackungen genutzt werden, was sich auch in der Entwicklung des Verbrauchs von Plastiktragetaschen spiegelt [366]. Im Vergleich der Lieferung aus dem lokalen Handel und der Bestellung und dem Versand im überregionalen Onlinehandel, fallen unterschiedliche Verpackungsmaterialien an. Während bei verschiedenen City-Logistik-Projekten Mehrwegwannen oder Versandtaschen genutzt werden, die leer ebenso durch den Lieferdienst wieder mitgenommen und zurückgeführt werden können [329], kommen im Onlinehandel oftmals Kartonagen zum Einsatz, die in Deutschland zu 99,8 % recycelt werden [367]. In der Gesamtbilanz ist also weder eine Steigerung noch eine Reduktion des Materialverbrauchs anzunehmen. In der Abwägung dieser Aspekte wird der Indikator „Materialverbrauch“ neutral bewertet.

Kreislaufwirtschaft

In der Post- und Kurierbranche wird aktuell Augenmerk auf optimierte Verpackungen gelegt. Der Statista-Branchenreport sieht in einer Prognose das Potenzial, dass die Branche zudem im Bereich der Verpackungen durch regulatorische Initiativen Fortschritte macht [368]. Dies gilt im selben Maße auch für City-Logistik-Kooperationen. Der Verbrauch von Verpackungsmaterial wird im Indikator „Materialverbrauch“ bewertet. Für den Indikator „Kreislaufwirtschaft“ spielt es allerdings eine Rolle, dass es bei einigen Beispielen Teil des Logistikkonzepts ist, leere Mehrwegverpackungen wieder mitzunehmen [329], wodurch deren Redistribution und Wiederverwendung ermöglicht wird. Andere Konzepte integrieren einen Abholservice für Umverpackungen [324], wodurch deren Zuführung zu Recycling ermöglicht werden kann. Daher wird das Geschäftsmodell als positiv bewertet.

Paris Alignment

Die erreichbare Reduktion von Emissionen aus der Logistik durch das Geschäftsmodell von City-Logistik-Plattformen hängt wesentlich von deren Akzeptanz und Verbreitung ab, also in welchem Maße heutige Zustellkonzepte abgelöst werden. Als wesentliche Erfolgsfaktoren werden die Bekanntheit und Lebendigkeit der Plattform sowie der Wille des Handels zur Digitalisierung und Bereitstellung digitaler Informationen sowie die Befriedigungen von Kundenbedürfnissen durch innovative Lieferkonzepte genannt [331]. Für diejenigen erfolgreichen Fallbeispiele von lokalen Online-Marktplätzen, für die Zahlen zum Sendungsaufkommen bekannt sind, wird durch Hochrechnung auf die Einwohner im Einzugsgebiet und den Vergleich mit dem durchschnittlichen Anteil an Personen, die in einem Dreimonatszeitraum Onlinekäufe tätigen [369], deutlich, dass die Akzeptanz eher gering ist (für das Beispiel *WüLivery* ergibt sich ein Anteil von maximal 5 % [329]). Dahinge-

hend kann aus der Perspektive von Städten und Regionen der Aufbau bzw. vor allem die Förderung einer City-Logistik-Plattform zur Erreichung einer breiten Akzeptanz als Anstrengung zur Emissionsminderung gesehen werden, zu denen sie auch im Rahmen des Übereinkommens von Paris angehalten sind [370]. Zudem ist hier anzumerken, dass die Unternehmen der Paket- und Expresslogistik Konzepte und Potenziale für nachhaltige Zustellkonzepte evaluieren [371], sodass auch für die aktuell etablierten Geschäftsmodelle eine zukünftige Reduktion von Emissionen für die Zustellkonzepte angenommen werden kann. Insgesamt ist der Einfluss des DGM auf den Indikator „Paris Alignment“ also positiv, aber sehr gering, einzuschätzen.

5.2.2.4 Indikatoren der Säule „Soziale Nachhaltigkeit“

Im Folgenden wird der letzte Aspekt im Rahmen der Nachhaltigkeit des DGM City-Logistik-Plattformen bewertet – die soziale Nachhaltigkeit.

Indikatoren		Bewertung
1	Sozialgeographische Ungleichheit	-1
2	Sozioökonomische Ungleichheit	0
3	Lieferkettensorgfalt	0
4	Lebensqualität	2
5	Sicherheit	-1
Gesamtbewertung Säule „Soziale Nachhaltigkeit“		0

Tabelle 18: Bewertung des Geschäftsmodells der City-Logistik-Plattformen für die Einzelindikatoren in der Säule "Soziale Nachhaltigkeit".

Dabei wurde die Bewertung auf Basis der folgenden Begründungen durchgeführt:

Sozialgeographische Ungleichheit

Die Umsetzung und der wirtschaftliche Betrieb von Online-Marktplätzen in ländlichen Kommunen zeigen sich als anspruchsvoll [372]. Als Faktoren für einen erfolgreichen Betrieb werden eine Angebotsvielfalt, eine große Bekanntheit und eine integrierte lokale Zustellung, die mit den Services großer Onlinehändler mithalten kann, identifiziert [331]. Diese Erfolgsfaktoren sind leichter in urbanen Regionen mit einer höheren Anzahl von Händlern und Einwohnern als potenzieller Kundschaft zu erfüllen. Zudem sind hier kürzere und daher günstigere Lieferwege zu erwarten, während gleichzeitig der verkehrsseitige Druck nachhaltige Logistikkonzepte zu ermöglichen, höher ist. Zudem ist hier anzuführen, dass Förderprogramme für die Umsetzung von Modellprojekten für lokale Online-Marktplätze die Anforderung einer Mindesteinwohnerzahl an den Einzugsbereich stellen [372]. Es ist also davon auszugehen, dass sich City-Logistik-Plattformen im urbanen Raum etablieren können, was der Name auch schon illustriert, wohingegen für die ländliche Bevölkerung kein Angebot geschaffen wird. Dadurch verstärkt sich das Stadt-Land-Gefälle hinsichtlich der Möglichkeiten, nachhaltige lokale Lieferangebote in Anspruch zu nehmen. Der Indikator „Soziogeographische Ungleichheit“ wird daher negativ bewertet.

Sozioökonomische Ungleichheit

Bezogen auf die Funktionen der Bestellung und konsolidierten Abholung bietet das Geschäftsmodell keine Kostenreduktionen für die Kundschaft, da davon auszugehen ist, dass das Abholangebot kostenlos angeboten wird, wie es aktuell bei Kundenbestellungen direkt im Einzelhandel üblich ist. Hinsichtlich der Lieferung steht das Geschäftsmodell wie beschrieben in Konkurrenz zum klassischen Geschäftsmodell von KEP-Dienstleistern. Es ist zu beobachten, dass die Liefergebühren für Kunden bei ausgewählten Beispielen vergleichbar sind mit denen von großen Online-Marktplätzen bzw. ebenfalls Preisstaffelungen angewendet werden oder Lieferkosten sogar, beispielsweise

während Lockdown-Phasen, komplett entfallen [329]. Da die Nutzung eines Lieferangebots an sich im Vergleich zur persönlichen Abholung mit Kosten verbunden ist, ist anzunehmen, dass einkommensschwächeren Schichten diese Möglichkeiten weniger offenstehen. Sie können daher auch nicht von einhergehenden Dienstleistungen wie der Lieferung von schweren Gegenständen in obere Stockwerke profitieren und können keine Einsparung von Zeit und Aufwand erreichen. Insgesamt entstehen bei den verschiedenen Endkundenfunktionen des Geschäftsmodells keine Kostenreduktionen verglichen mit existierenden Funktionen in herkömmlichen Geschäftsmodellen. Die Nutzung von Lieferservices verglichen mit der Eigenleistung der Abholung ist mit einer Dienstleistung verbunden, für die Kosten anfallen. Da einkommensschwächere Haushalte durch die Etablierung einer City-Logistik-Kooperation nicht schlechter gestellt werden, wird keine Steigerung der sozioökonomischen Ungleichheit angenommen, sodass der Indikator „Sozioökonomische Ungleichheit“ als neutral bewertet wird.

Lieferkettensorgfalt

Für den Aufbau einer digitalen City-Logistik-Plattform sind keine wesentlichen Ausgangsstoffe und verzweigten Lieferketten nötig. In der Beschäftigung von Programmierern/ Webentwicklern in Deutschland sind aktuell keine Risiken für Sorgfaltspflichtverletzungen zu vermuten, zudem unterliegt das Arbeitsverhältnis dem gesetzlichen Arbeitsschutz. Bei der Umsetzung des Logistikkonzepts und der Koordination von Lieferaufträgen ebenso wie bei den angeschlossenen Logistikdienstleistern können allerdings prekäre Beschäftigungsverhältnisse auftreten (siehe Indikator Arbeitsmarkt). Diese sind befördert durch die Volatilität der Nachfrage sowie die generelle Knappheit an qualifizierten Arbeitskräften. Es ist zu beobachten, dass Beschäftigte der Logistikbranche überdurchschnittlich viele krankheitsbedingte Fehltag haben und mehr Medikamente benötigen als Beschäftigte anderer Industriezweige [368]. Zudem verzeichnet der Durchschnittslohn in der Branche eine kontinuierliche Abnahme [373]. Diese letztgenannten Risikofaktoren sind allerdings nicht bedingt durch das digitale Geschäftsmodell, sondern treffen ebenso auf das herkömmliche Geschäftsmodell von Logistik-Dienstleistern zu. City-Logistik-Plattformen sind auf die Nutzung von Logistikdiensten angewiesen, ohne dass die genannten Risiken dabei ausgeräumt oder anders zu bewerten wären. Daher wird der Indikator in der Gesamtabwägung als neutral bewertet.

Lebensqualität

Die Etablierung von City-Logistik-Kooperationen kann sich hinsichtlich verschiedener Aspekte positiv auf die Lebensqualität der Endverbraucher auswirken. Es ist davon auszugehen, dass sich durch die konsolidierte Zustellung von Paketsendungen überregionaler KEP-Dienstleister und Lieferungen lokaler Händler die Anzahl von Lieferverkehren besonders auch mit motorisierten Fahrzeugen reduzieren lässt [374]. Die Zustellung mit weniger geräuschintensiven Fahrzeugen (z. B. per Fahrradkurier) ermöglicht zudem die Belieferung außerhalb von üblichen Zeitfenstern [374], z. B. um den Kundenwunsch nach Abendzustellung nachzukommen, wodurch sich die Zufriedenheit erhöhen kann. Mittels City-Logistik-Plattform lässt sich die Lieferung von Bestellungen im lokalen Einzelhandel nach Hause koordinieren, womit eine Motivation für den Onlinekauf [375] auch für die Kundschaft lokaler Händler realisiert werden kann. Typische Kaufbarrieren im Onlinehandel wie lange Lieferzeiten und Lieferunsicherheit können durch das Geschäftsmodell ebenfalls reduziert werden [376]. Aufgrund dieser Faktoren ist der Einfluss des Geschäftsmodells auf die Lebensqualität als sehr positiv zu bewerten. Die verkehrliche Entlastung des urbanen Raums kommt dabei allen sozialen Schichten gleichermaßen zugute, bezüglich der Erfüllung von Kundenbedürfnissen beim Kauf kann davon ausgegangen werden, dass kaufkräftigere Schichten durch häufigere Nutzung stärker profitieren können.

Sicherheit

Die Nutzung und Verarbeitung der personenbezogenen Kundendaten sowie der sendungsspezifischen Daten ist für die Zustellung und Leistungserbringung relevant. Je nach Umfang des Geschäftsmodells kann zudem noch eine Bezahlfunktion für Kunden sowie für die Verrechnung von

Dienstleistungen zwischen den Akteuren integriert werden. Dazu ist das Erfassen und Teilen dieser sensiblen Daten zwischen den Plattformbetreibern und den lokalen Händlern und Logistikern nötig. Wie Plattformbetreiber in Interviews im Rahmen einer WIK-Studie angeben, verfügen die lokalen Händler über geringe digitale Kompetenzen [331]. Ebenso sehen die Einzelhändler Unterstützungsbedarf in Sachen IT-Sicherheit [372]. Daher kann vermutet werden, dass aufgrund digitaler Unsicherheit Datensicherheitsrisiken bestehen, die in dieser Form bei großen Online-Händlern aufgrund ausgereifterer IT-Sicherheitskonzepte nicht bestehen, weshalb dieser Indikator in der Gesamtbetrachtung negativ bewertet wird.

5.2.3 Ergebnisse und Fazit

Die Bewertung der Säule „Chancen und Potenziale“ und die Bewertung der Säule „Nachhaltigkeit“ wird zusammengeführt und einander gegenübergestellt. Die Nachhaltigkeit des DGM der City-Logistik-Plattformen wird als Mittelwert der Säulen „Ökonomische Nachhaltigkeit“, „Ökologische Nachhaltigkeit“ und „Soziale Nachhaltigkeit“ bestimmt.

Tabelle 19 fasst die Ergebnisse des Analyserahmens für die vier betrachteten Säulen zusammen. Die Bewertung der Säulen erfolgt dabei auf einer Skala von -5 bis +10 (siehe Abschnitt 4.1.3).

Säulen	Gewichtung	Bewertung
Chancen und Potenziale		1
Nachhaltigkeit		2,7
Ökonomische Nachhaltigkeit	1/3	4
Ökologische Nachhaltigkeit	1/3	4
Soziale Nachhaltigkeit	1/3	0

Tabelle 19: Gesamtbewertung des Geschäftsmodells der City-Logistik-Plattformen für alle vier Säulen.

In Summe wird die Säule „Chancen und Potenziale“ mit +1 leicht positiv bewertet. Die Nachhaltigkeitsbewertung zeigt positive Ergebnisse in den Dimensionen ökonomische und ökologische Nachhaltigkeit (je +4). Die soziale Nachhaltigkeit wird mit einem Wert von 0 neutral bewertet (siehe

Tabelle 19). Ergänzend zur Visualisierung der Ergebnisse als Netzdiagramm (siehe Abbildung 10) werden die aggregierten Ergebnisse für die Säulen „Chancen & Potenziale“ und „Nachhaltigkeit“ in Abbildung 11 als Matrix dargestellt. Dabei werden die drei Dimensionen ökonomische, ökologische und soziale Nachhaltigkeit gleich gewichtet (jeweils mit 33,33 %). Dies ergibt für die Nachhaltigkeit mit einem Gesamtwert von 2,7 ein positives Ergebnis.

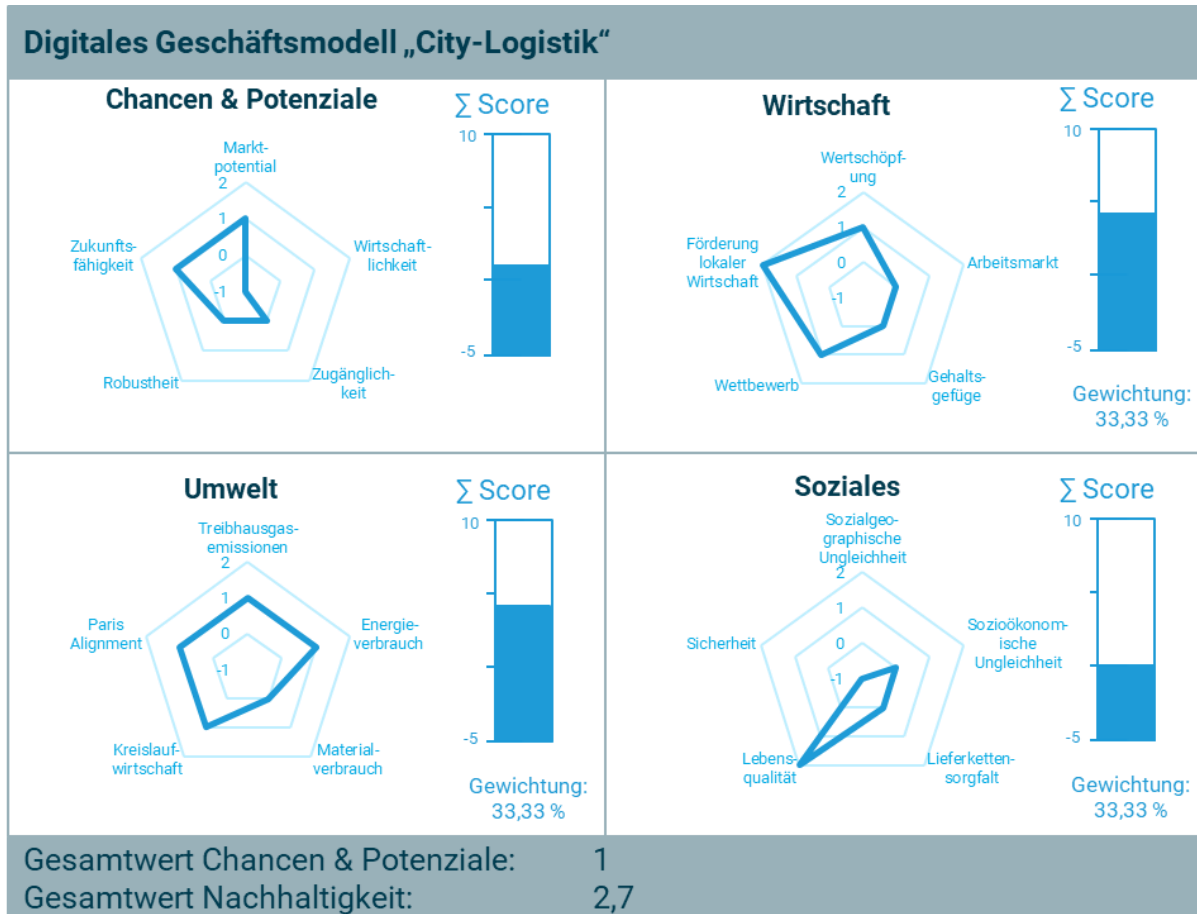


Abbildung 10: Bewertung des Geschäftsmodells der City-Logistik-Kooperationen und -Plattformen in den Dimensionen „Chancen & Potenziale“, „Wirtschaft“, „Umwelt“ und „Soziales“.

Basierend auf den Bewertungen wird deutlich, dass das DGM Marktpotenzial hat und sich durch Chancen im Bereich der Zukunftsfähigkeit auszeichnet. Der Aufbau eines wirtschaftlichen Geschäftsmodells, das eine kritische Menge an Akteuren und Kunden erreicht, stellt hierbei eine Herausforderung dar, für die in der Anfangsphase Unterstützung durch Querfinanzierung oder Subvention als nötig angesehen wird. Während die Indikatoren der ökonomischen und ökologischen Nachhaltigkeit durchweg neutral bis sehr positiv bewertet werden, bestehen im Bereich der sozialen Nachhaltigkeit Risiken in verschiedenen Aspekten. Das DGM tendiert dahin, sowohl das sozioökonomische als auch das sozioökonomische Gefälle zu verstärken und beruht wesentlich auf dem Einsatz von Dienstleistungen aus Branchen, für die Hinweise auf kritische Arbeitsbedingungen bekannt sind.

Die Tatsache, dass es die Lebensqualität in urbanen Räumen in vielerlei Hinsicht positiv beeinflusst, kann eine insgesamt negative Bewertung des Indikators nicht verhindern. Als Schlussfolgerung könnte erwogen werden, das DGM in einer frühen Phase zu fördern und zu subventionieren, um einen wirtschaftlichen Betrieb zu ermöglichen, wobei hier die Aspekte der sozialen Nachhaltigkeit in den Fokus für



Abbildung 11: Einordnung des Geschäftsmodells der City-Logistik-Plattformen in den Dimensionen "Chancen und Potenziale" sowie "Nachhaltigkeit".

die Förderung des DGM gestellt werden sollten, um die Nachhaltigkeitspotenziale in allen Bereichen zu heben.

5.3 KI-basierte Einspeise- und Lastflussprognosen

Die Bundesregierung aus SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP will die bestehenden energie- und klimapolitischen Ziele weiter verschärfen. Beispielsweise soll das Ziel zum Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch in 2030 von derzeit 65 % auf 80 % erhöht werden [396]. Um dieses ambitionierte Ziel zu erreichen, ist ein Ausbau von Photovoltaik auf 200 GW, von Wind Onshore auf 100 GW und von Wind Offshore auf 30 GW geplant [396] [397]. Mit dem Ausbau dargebotsabhängiger erneuerbarer Energien wird die Stromerzeugung zunehmend volatil. Die Gewährleistung der Versorgungssicherheit durch die Stromnetzbetreiber wird dadurch zu einer Herausforderung [398]. Für die effiziente und kostengünstige Bewirtschaftung der Stromnetze sind zukünftig nicht nur regional differenzierte Nachfrageanalysen, sondern auch regional differenzierte Einspeise- und Lastflussprognosen erforderlich [398]. Durch KI-basierte Einspeise- und Lastflussprognosen soll die Prognosegüte gegenüber bestehenden Verfahren verbessert und dadurch eine effizientere und kostengünstigere Bewirtschaftung der Stromnetze angestrebt werden.

5.3.1 Motivation, Akteure und aktuelle Entwicklungen im Bereich KI-basierte Einspeise- und Lastflussprognosen

Im Zuge dieser Fallstudie wird die Nachhaltigkeit des digitalen Geschäftsmodells „KI-basierter Einspeise- und Lastflussprognosen“ betrachtet. Grundlage für die Bewertung dieses digitalen Geschäftsmodells ist zunächst die eindeutige inhaltliche Abgrenzung:

- **Einspeiseprognosen:** "Die Einspeiseprognose ist eine Vorhersage der von den erneuerbaren Energien eingespeisten elektrischen Leistung für einen bestimmten Zeitpunkt oder Zeitraum in der Zukunft. Es wird zwischen Prognosen mit kurzem bis langem Vorhersagehorizont unterschieden. [...] Anhand der Langfristprognose und Mittelfristprognose wird der Netzausbau gestaltet. [...] Die kurzfristigen Prognosen sind für die Vermarktung am Strommarkt relevant. Prognosefehler können hier zu hohen Kosten führen. Zudem sind die Kurzfristprognosen wichtig, um die benötigte Menge kostenintensiver Regelenergie zu minimieren." [399].
- **Lastflussprognosen:** Eine Lastflussprognose ist eine Vorhersage der zukünftigen Leistungsflüsse an allen Netzknoten und Verbindungselementen. Lastflussprognosen sind Grundlage für ein "proaktives, effizientes und geordnetes Engpassmanagement" [400]. Zur Prognose der Lastflüsse im Netz sind Informationen zur erwarteten Nachfrage (Last), zur geplanten Erzeugung konventioneller Erzeugungsanlagen sowie zur erwarteten Erzeugung aus dargebotsabhängigen Erzeugungsanlagen erforderlich [400] [401] [402].

Im Rahmen dieser Fallstudie soll die Nutzung von KI-basierten Einspeise- und Lastflussprognosen durch Netzbetreiber zur effizienteren Bewirtschaftung der Netzinfrastruktur im Rahmen des Engpassmanagement betrachtet werden. Somit liegt der Fokus auf kurzfristigen Prognosen. Explizit nicht betrachtet werden die Nutzung von Einspeise- und/oder Lastflussprognosen durch Energieunternehmen im Energiehandel, durch Industrieunternehmen für Preisprognosen sowie alle weiteren Nutzungsmöglichkeiten, die nicht in den Bereich des Netzbetriebs fallen. Für die Durchführung von Einspeise- und Lastflussprognosen werden in der Regel mehrere Methoden kombiniert. Als KI-basierte Einspeise- oder Lastflussprognose im Sinne dieser Untersuchung gelten jene Verfahren, die an mindestens einer zentralen Stelle "Künstliche Intelligenz" einsetzen.

5.3.2 Bewertung des Geschäftsmodells hinsichtlich Nachhaltigkeit und Chancen & Potenziale

Im Folgenden wird das digitale Geschäftsmodell „KI-basierte Einspeise- und Lastflussprognosen“ unter Anwendung des in Kapitel 4 vorgestellten Analyserahmens auf seine Chancen und Potenziale sowie auf seine ökonomische, ökologische und soziale Nachhaltigkeit bewertet.³⁷

5.3.2.1 Indikatoren der Säule „Chancen und Potenziale“

Abschnitt 5.3.2.1 widmet sich der Bewertung des digitalen Geschäftsmodells „KI-basierte Einspeise- und Lastflussprognosen“ mit Blick auf seine Chancen und Potenziale. Tabelle 20 fasst einleitend die zugrundeliegenden Indikatoren und die Ergebnisse der Bewertung zusammen.

Indikatoren		Bewertung
1	Marktpotenzial	1
2	Wirtschaftlichkeit	1
3	Zugänglichkeit	2
4	Robustheit	0
5	Zukunftsfähigkeit	1
Gesamtbewertung Säule „Chancen und Potenziale“		5

Tabelle 20: Bewertung des digitalen Geschäftsmodells „KI-basierte Einspeise- und Lastflussprognosen“ für die Einzelindikatoren in der Säule "Chancen und Potenziale".

Nachfolgend wird näher auf die fünf Indikatoren sowie dessen Bewertung eingegangen.

Marktpotenzial

Ziel der Nutzung KI-basierter Einspeise- und Lastflussprognosen ist eine effizientere Netzbewirtschaftung. Dadurch soll die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien besser integriert und gleichzeitig Kosten für das Engpassmanagement eingespart werden.³⁸

Die Nutzeranzahl KI-basierter Einspeise- und Lastflussprognosen wird in der Netzwirtschaft durch die Anzahl an Stromnetzbetreibern nach oben begrenzt. In Deutschland gibt es aktuell knapp unter 900 Übertragungs- und Verteilnetzbetreiber, die als potenzielle Nutzer des digitalen Geschäftsmodells in Frage kommen [403]. Da zum Zeitpunkt der Studiererstellung keine detaillierten Analysen zum Marktpotenzial KI-basierter Einspeise- und Lastflussprognosen vorliegen, wird hier eine vereinfachte Abschätzung vorgenommen. Unter der Annahme, dass durch KI-basierte Einspeise- und Lastflussprognosen die Kosten für das Engpassmanagement reduziert werden können, wird das theoretische Marktpotenzial durch die tatsächlichen Kosten der Engpassmanagementmaßnahmen nach oben begrenzt. Im Zeitraum von 2016 bis 2020 schwankten die Kosten für Maßnahmen des

³⁷ Die Bewertung des digitalen Geschäftsmodells „KI-basierte Einspeise- und Lastflussprognosen“ basiert primär auf einer Auswertung bestehender Studien und Berichten (Sekundäranalyse). Die öffentlich zugängliche Datengrundlage zu KI-basierten Einspeise- und Lastflussprognosen, insbesondere zur Quantifizierung der unterschiedlichen Indikatoren (bspw. Marktpotenzial), ist zum derzeitigen Stand noch begrenzt. Daher wurde die Analyse an einigen Stellen um vereinfachte Berechnungen und Expertenschätzungen ergänzt (diese sind entsprechend gekennzeichnet). Da davon auszugehen ist, dass sich die Datengrundlage in den kommenden Jahren verbessert, kann eine Aktualisierung der Nachhaltigkeitsbewertung für dieses digitale Geschäftsmodell sinnvoll sein.

³⁸ Mit der Überarbeitung der Anreizregulierung im Jahre 2021 wurde ein Anreiz für Netzbetreiber geschaffen, die Kosten für Netzengpassmanagement zu reduzieren [404].

Netzengpassmanagements (Redispatch, Countertrading, Netzreservekraftwerken und Einspeisemanagement) zwischen 893 und 1.511 Mio. Euro pro Jahr [405] [406]. Da zum Zeitpunkt der Studiererstellung keine Daten zum Kosteneinsparpotenzial KI-basierte Einspeise- und Lastflussprognosen vorliegen, wird das indikative Marktpotenzial über einen vereinfachten Szenarioansatz abgeschätzt. Dabei wird ein Kosteneinsparpotenzial in den drei Szenarien A bis C mit 5 %, 15 % und 25 % abgeschätzt. Tabelle 21 fasst die Ergebnisse zusammen.

	Kosten Engpassmanagement (2016-2020)	Einsparpotenzial	Marktpotenzial
A	893 bis 1.511 Mio. EUR/a	5,0 %	45 bis 76 Mio. EUR/a
B		15,0 %	134 bis 227 Mio. EUR/a
C		25,0 %	223 bis 378 Mio. EUR/a

Tabelle 21: Ergebnisse der Abschätzung zum Marktpotenzial „KI-basierte Einspeise- und Lastflussprognosen“ für die Szenarien A bis C.

Je nach Szenario schwankt das Marktpotenzial im oberen zweistelligen bis unten dreistelligen Millionenbereich. Bei einem höheren Kostenreduktionspotenzial als in den Szenarien A bis C sowie bei steigenden Kosten für das Engpassmanagement kann das Marktpotenzial auch höher ausfallen als in Tabelle 21 dargestellt.

In Summe wird der Indikator „Marktpotenzial“ unter Berücksichtigung der eingeschränkten Datenverfügbarkeit sowie auf Grund des positiven, aber kurz- bis mittelfristig vergleichsweise geringen, Potenzials positiv bewertet.

Wirtschaftlichkeit

Für die Wirtschaftlichkeit KI-basierter Einspeise- und Lastflussprognosen sind mögliche Margen sowie die Akzeptanz der Dienstleistung und damit verbunden die mögliche Marktdurchdringung entscheidend. Mit steigender Marktdurchdringung ist dabei ein Anstieg der Wirtschaftlichkeit zu erwarten, da insbesondere bei der Umsetzung der KI-basierten Dienstleistung als Software-as-a-Service-Lösung Skaleneffekte erzielt werden können [407]. Dadurch können KI-basierte Dienstleistungen wie Einspeiseprognosen zu Kostensenkungen im Vergleich zu bestehenden Verfahren führen [408]. Umfragen mit Vertretern aus der Energiewirtschaft zeigen bereits eine zunehmende Akzeptanz für digitale Geschäftsmodelle. Beispielsweise nutzen nach Einschätzung des Digitalbarometers (Digital@EVU³⁹) bereits heute 77 % der Unternehmen in der Energiewirtschaft Cloud-Dienste, weitere 18 % planen sie in den kommenden drei Jahren einzuführen [409]. Dies spricht für eine grundsätzlich zunehmende Akzeptanz digitaler Geschäftsmodelle in der Energiewirtschaft, welche sich perspektivisch auch positiv auf die Marktdurchdringung KI-basierter Einspeise- und Lastflussprognosen auswirken kann. Zusätzlich gibt es schon heute Anbieter für KI-basierte Einspeise- und Lastflussprognosen [398]. Dies kann darauf hindeuten, dass KI-basierte Einspeise- und Lastflussprognosen bereits wirtschaftlich sind oder an der Schwelle zur Wirtschaftlichkeit stehen.

Daher wird der Indikator „Wirtschaftlichkeit“ in Summe positiv bewertet.

Zugänglichkeit

Das digitale Geschäftsmodell „KI-basierte Einspeise- und Lastflussprognosen“ ist ein klassisches B2B-Geschäftsmodell, d.h. ein Geschäftsmodell, bei dem zwei Unternehmen ein Geschäft eingehen. Primäres Kundensegment sind Stromnetzbetreiber, die im Zuge der Netzbewirtschaftung auf entsprechende Analysen zurückgreifen. Aus marktwirtschaftlicher Perspektive ist in Deutschland eine sehr hohe Zugänglichkeit gewährleistet.

³⁹ Es wurden 108 Energieversorgungsunternehmen aus 10 Ländern befragt, davon 93 Unternehmen aus der DACH-Region. 14 der 108 Unternehmen waren reine Netzbetreiber [409].

Da für die Durchführung KI-basierter Einspeise- und Lastflussprognosen Echtzeitdaten erforderlich sind (bspw. Erzeugungs- und Wetterdaten, Smart-Meter-Daten) ist ein Internetzugang sowohl bei den Netzbetreibern als auch bei den Anlagenbetreibern zwingend erforderlich. Mit einer Breitbandabdeckung (bei 16 Mbit/s) von >96 % [410] stellt der Internetzugang für einen Großteil der deutschen Regionen kein Hindernis mit Blick auf die Zugänglichkeit dar.

Das eigentliche Geschäftsmodell lässt sich technisch sowohl als Software-as-a-Service-Lösung (SaaS) als auch als On-Premises-Lösung⁴⁰ anbieten. Für beide Lösungen ist auf Seiten der Nutzer eine gewisse IT-Affinität einerseits für die Nutzung und andererseits für die Integration in bestehende Geschäftsprozesse erforderlich. Die Integration in bestehende Geschäftsprozesse kann theoretisch durch die Netzbetreiber, die Anbieter des digitalen Geschäftsmodells, die dies als Teil ihrer Dienstleistung anbieten, oder durch externe Dienstleister erfolgen.

Zusammenfassend werden für die Anwender KI-basierte Einspeise- und Lastflussprognosen keine strukturellen Herausforderungen erwartet, sodass die „Zugänglichkeit“ für Kunden sehr positiv bewertet wird.

Robustheit

Für die Bewertung der Robustheit KI-basierter Einspeise- und Lastflussprognosen erfolgt ein Vergleich mit bestehenden Verfahren der Einspeise- und Lastflussprognosen. Bereits heute werden für die Durchführung von Einspeiseprognosen unterschiedliche Wettermodelle eingesetzt, die auf Echtzeitdaten angewiesen sind. Somit ist bereits heute ein Internetzugang erforderlich, sodass hier keine zusätzliche Unzuverlässigkeit durch den Einsatz KI-basierter Einspeise- und Lastflussprognosen zu erwarten ist.

Eine Veränderung gegenüber bestehenden primär deterministischen Modellen zur Durchführung von Einspeise- und Lastflussprognosen ist der Einsatz von künstlicher Intelligenz. Die Güte und Robustheit einer KI wird insbesondere durch den zugrundeliegenden Trainingsdatensatz bestimmt. Somit besteht grundsätzlich das Risiko, dass es durch den Einsatz von KI in Extremsituationen zu einer Prognoseabweichung kommen kann. Dieses Risiko tritt beispielsweise dann auf, wenn der Trainingsdatensatz einer KI-basierten Einspeiseprognose ausschließlich auf mittleren meteorologischen Wetterereignissen basiert und Extremwetterereignisse nicht berücksichtigt. Dies ist jedoch ein Risiko, welches alle KI-Anwendungen betrifft und welches durch die Auswahl geeigneter Trainingsdatensätze reduziert werden kann.

Vor diesem Hintergrund wird der Indikator „Robustheit“ neutral bewertet.

Zukunftsfähigkeit

Für die Zukunftsfähigkeit des digitalen Geschäftsmodells werden insbesondere zwei Aspekte betrachtet: Besteht langfristig eine Nachfrage nach der Dienstleistung und verfügen die Anbieter über eine Dienstleistung, die durch die Netzbetreiber nicht oder nur unter großem Aufwand eigenständig durchgeführt werden kann.

Mit Blick auf die langfristige Nachfrage ist davon auszugehen, dass der Bedarf nach qualitativ hochwertigen Einspeise- und Lastflussprognosen mit dem zunehmenden Ausbau dargebotsabhängiger Erzeugungsanlagen sowie der steigenden Bedeutung von Demand-Side-Management (DSM) und Flexibilitätsoptionen zunehmen wird. So verbessern intelligente Einspeise- und Lastflussprognosen die Integration der Erneuerbaren sowie das Zusammenspiel mit DSM und Flexibilitätsoptionen, u. a. durch die frühzeitige Identifikation von Netzengpässen [400] [411]. In einer Bestandsaufnahme der Bundesnetzagentur sehen über die Hälfte der befragten Verteilnetzbetreiber einen zunehmenden Bedarf an Einspeiseprognosen dargebotsabhängiger Erzeugungsanlagen, um darauf aufbauend geeignete Lastflussprognosen zu erstellen [402].

⁴⁰ Bei On-Premises-Lösungen betreibt ein Unternehmen eine Software, bspw. eine KI-basierte Einspeise- und Lastflussprognose, eigenständig und auf (Unternehmens-)eigener Hardware.

Für die Bewertung des zweiten Punkts sind unterschiedliche Aspekte zu berücksichtigen. Auf den ersten Blick stellen KI-basierte Lösungen zur Erstellung von Einspeise- und Lastflussprognosen ein proprietäres Wissen dar, welches durch die Netzbetreiber nicht ohne weiteres in Eigenregie aufgebaut werden kann. Für die Entwicklung entsprechender Lösungen sind regional hochaufgelöste Datensätze (bspw. von Smart-Metern) sowie qualifizierte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter (bspw. aus den Bereichen Data Science/- Engineering, Robotik oder Informatik) erforderlich. Zwar können Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter eingestellt werden, es ist jedoch sowohl aus Kostengründen als auch aus Gründen des Fachkräftemangels fraglich, ob Netzbetreiber kurz- bis mittelfristig eigene Teams aus den genannten Fachrichtungen aufbauen können, die für die Entwicklung KI-basierter Lösungen verantwortlich sind. Auf der anderen Seite gibt es in der universitären Forschung einen Trend zur Entwicklung von Open-Source-Lösungen. So entwickelt etwa die Helmholtz-Initiative öffentlich zugängliche, kostenlose Modelle und Datensätze zur Analyse des Energiesystems [412]. Es besteht also aus Anbietersicht theoretisch das Risiko, dass auch Open-Source-Lösungen für KI-basierte Einspeise- und Lastflussprognosen entwickelt werden.

Neben den diskutierten Aspekten, welche direkt die Zukunftsfähigkeit KI-basierter Einspeise- und Lastflussprognosen betreffen, ist es zusätzlich denkbar, dass KI-basierte Einspeise- und Lastflussprognosen bei Netzbetreibern als eine Enabler-Technologie für weitere KI-Anwendungen fungieren und somit den Anbietern dieser Lösungen Potenziale für weitere digitale Geschäftsmodelle in der Netzwirtschaft eröffnen.

In Abwägung der diskutierten Aspekte wird der Indikator „Zukunftsfähigkeit“ positiv bewertet.

5.3.2.2 Indikatoren der Säule „Ökonomische Nachhaltigkeit“

In diesem Unterabschnitt werden die Indikatoren der Säule „Ökonomische Nachhaltigkeit“ bewertet. Insgesamt ist die ökonomische Nachhaltigkeit der KI-basierten Einspeise- und Lastflussprognose positiv zu bewerten.

Indikatoren		Bewertung
1	Wertschöpfung	1
2	Arbeitsmarkt	1
3	Gehaltsgefüge	1
4	Wettbewerb	0
5	Förderung lokaler Wirtschaft	1
Gesamtbewertung Säule „Ökonomische Nachhaltigkeit“		4

Tabelle 22: Bewertung des digitalen Geschäftsmodells „KI-basierte Einspeise- und Lastflussprognosen“ für die Einzelindikatoren in der Säule "ökonomische Nachhaltigkeit".

Die Bewertung der Indikatoren wird nachfolgend erläutert.

Wertschöpfung

Die KI-basierte Einspeise- und Lastflussprognosen sorgen für eine höhere Netzstabilität und Zuverlässigkeit zu geringeren Kosten. Die Betreiber der Prognose erhöhen somit die Wertschöpfung der Netzbetreiber. Die maximale Wertschöpfung ist durch das Marktpotenzial aus dem vorherigen Abschnitt 5.3.2.1 gegeben und liegt unter den getroffenen Annahmen kurzfristig voraussichtlich im unteren dreistelligen Millionenbereich.

Da das DGM eine positive Wertschöpfung erzeugt, diese jedoch durch die Kosteneinsparpotenziale für Engpassmanagementmaßnahmen limitiert ist, wird der Indikator positiv bewertet.

Arbeitsmarkt

Zur Implementierung, Betreuung und Wartung der KI-basierten Einspeise- und Lastflussprognosen werden hochqualifizierte Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen benötigt. Diese neu geschaffenen Stellen sind als eine positive Entwicklung für den Arbeitsmarkt zu bewerten. Das DGM schafft einen ökonomischen Mehrwert durch gezieltere Prognosen, die zu Effizienzgewinnen führen. Somit werden voraussichtlich keine bestehenden Arbeitsplätze durch das DGM ersetzt. Unter der Annahme, dass die Übertragungs- und Verteilnetzbetreiber in Deutschland eigene KI-basierte Einspeise- und Lastflussprognosen entwickeln, kann ein positiver Effekt für den Arbeitsmarkt der Energiewirtschaft erwartet werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass der positive Effekt für den Arbeitsmarkt der Energiewirtschaft durch das Angebot von Drittanbietern, die von Skaleneffekten profitieren können, gedämpft werden kann.

Die zur Umsetzung des DGM benötigten Fachkräfte werden auf dem Arbeitsmarkt auch in anderen Branchen stark gesucht. Dies führt zu einer höheren Nachfrage nach qualifizierten Fachkräften als aktuell verfügbar [413].

Die Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt werden positiv bewertet.

Gehaltsgefüge

Die positive Bewertung des Indikators „Arbeitsmarkt“ deutet darauf hin, dass das DGM das Potenzial hat, neue Arbeitsplätze in Deutschland zu schaffen. Die neu geschaffenen Stellen haben einen quantitativen, technischen Schwerpunkt und sind von IT-Entwicklern und Analysten zu besetzen. Die Durchschnittsgehälter dieser Berufsbilder sind vergleichbar mit den Gehältern der Ingenieure in der Energiebranche [414] [415]. Da es sich um hochqualifizierte Arbeitskräfte handelt, ist davon auszugehen, dass das DGM Arbeitsplätze im höheren Einkommenssegment schafft. Der Gehaltsunterschied der potenziell neu geschaffenen Stellen zu den etablierten Berufsbildern fällt möglicherweise gering aus, so dass das Gehaltsgefüge der Netzbetreiber durch das DGM wahrscheinlich unberührt bleibt.

Der Indikator Gehalt wird positiv bewertet.

Wettbewerb

Datengetriebene Geschäftsmodelle profitieren von Skalen- und Netzwerkeffekten. Dies hat zur Folge, dass diese Geschäftsmodelle zur Monopol- bzw. Oligopolbildung neigen. Die KI-basierten Einspeise- und Lastflussprognosen profitieren von großen Datenmengen zum Trainieren der Modelle und Schärfen der Prognosen.

Aktuell gibt es beispielsweise mit Solandeo und GridSage bereits Unternehmen, die KI-basierte Einspeise- und Lastflussprognosen betreiben [416]. Gleichzeitig gibt es mit dem vom BMWK geförderten Forschungsprojekt „GridAnalysis – KI-basierte Systemanalyse von Stromverteilnetzen im Normal- und Kurzschlussbetrieb“ auch öffentliche Bemühungen, die KI-basierte Einspeise- und Lastflussprognose zu unterstützen [418]. Das DGM ist noch nicht etabliert und es ist noch nicht abzuschätzen, wie sich der Markt entwickelt. Es sind eine Reihe von Szenarien denkbar.

Das DGM könnte von Unternehmen als Software-as-a-Service-Lösung an Übertragungs- und Verteilnetzbetreiber vertrieben werden. Eine solche Lösung könnte von Skalen- und Netzwerkeffekten profitieren, so dass es zu einer Monopol- oder Oligopolbildung kommen könnte. Die Übertragungs- und Verteilnetzbetreiber könnten die KI-basierten Einspeise- und Lastflussprognosen durch eigenen Wissensaufbau selbst entwickeln und das DGM in ihre Wertschöpfung integrieren. Eine staatlich geförderte öffentlich verfügbare Einspeise- und Lastflussprognoseplattform hingegen könnte eine privatwirtschaftliche Umsetzung des DGM nur in Ausnahmefällen attraktiv machen.

Der Wettbewerb wird neutral bewertet.

Förderung lokaler Wirtschaft

Für einen erfolgreichen Marktangang mit dem digitalen Geschäftsmodell „KI-basierter Einspeise- und Lastflussprognosen“ sind Kenntnisse über den deutschen Strommarkt und die geltenden regulatorischen Rahmenbedingungen erforderlich. Die Stromnetze und ihr Ausbau sind zudem oftmals regional stark unterschiedlich [419], sodass entsprechendes Expertenwissen über den deutschen Markt erforderlich ist. Neben den inhaltlichen Aspekten sind auch Kenntnisse der deutschen Sprache bei einem Marktangang in Deutschland von Vorteil. Daher erscheint es wahrscheinlich, dass nationale Anbieter oder internationale Anbieter mit Niederlassungen in Deutschland den deutschen Markt bedienen. Dieses digitale Geschäftsmodell kann somit unternehmerische Tätigkeiten in Deutschland fördern. Aufgrund des in 5.3.2.1 beschriebenen Marktpotenzials ist die Förderung der nationalen Wirtschaft unter den getroffenen Annahmen kurzfristig begrenzt.

Der Indikator „Förderung lokaler Wirtschaft“ wird positiv bewertet.

5.3.2.3 Indikatoren der Säule „Ökologische Nachhaltigkeit“

Dieser Abschnitt widmet sich der Bewertung des digitalen Geschäftsmodells „KI-basierte Einspeise- und Lastflussprognosen“ mit Blick auf seine ökologische Nachhaltigkeit. Tabelle 23 fasst einleitend die zugrundeliegenden Indikatoren und die Ergebnisse der Bewertung zusammen.

Indikatoren		Bewertung
1	Treibhausgasemissionen	2
2	Energieverbrauch	1
3	Material	0
4	Kreislaufwirtschaft	0
5	Paris Alignment	1
Gesamtbewertung Säule „Ökologische Nachhaltigkeit“		4

Tabelle 23: Bewertung des digitalen Geschäftsmodells „KI-basierte Einspeise- und Lastflussprognosen“ für die Einzelindikatoren in der Säule "ökologische Nachhaltigkeit".

Nachfolgend wird näher auf die fünf Indikatoren sowie deren Bewertung eingegangen.

Treibhausgasemissionen

Ziel KI-basierter Einspeise- und Lastflussprognosen ist unter anderem die bessere Integration der dargebotsabhängigen Erneuerbaren, sodass der Umfang von Engpassmanagementmaßnahmen reduziert werden kann. Dem Bericht zum Redispatch nach Artikel 13 Verordnung (EU) 2019/943 über den Elektrizitätsbinnenmarkt der Bundesnetzagentur [405] ist zu entnehmen, dass im Jahr 2020 in Deutschland ca. 17 TWh Einspeisereduzierungen und -erhöhungen vorgenommen wurden. Der Einsatz von Redispatch führte zu zusätzlichen Treibhausgasemissionen [420]. Zu den am meisten hochgefahrenen Kraftwerken zählen 2020 Steinkohlekraftwerke [405]. Durch KI-basierte Einspeise- und Lastflussprognosen soll der Einsatz von Maßnahmen zum Engpassmanagement reduziert werden, sodass hier eine Reduktion der Treibhausgasemissionen bei gleichzeitiger Reduktion der Kosten im Vergleich zu bestehenden Verfahren zu erwarten ist [408].

Auf Grund der zu erwartenden gleichzeitigen Reduktion von Treibhausgasemissionen und Kosten wird der Indikator „Treibhausgasemissionen“ sehr positiv bewertet.

Energieverbrauch

Insbesondere Maßnahmen des Einspeisemanagements, d. h. die aktive Abregelung von dargebotsabhängigen Erzeugungsanlagen, führen zu einem höheren Primärenergieverbrauch. Wenn die

Stromnachfrage *ceteris paribus* durch die Nutzung KI-basierter Einspeise- und Lastflussprognosen durch dargebotsabhängige Erzeugungsanlagen anstelle konventioneller Erzeugungsanlagen bereitgestellt werden kann, führt dies zu einer Reduktion des Primärenergieverbrauchs.

Der Indikator „Energieverbrauch“ wird positiv bewertet.

Materialverbrauch

Ein unmittelbarer Einfluss KI-basierter Einspeise- und Lastflussprognosen auf den Materialverbrauch ist nicht bekannt. Daher wird der Indikator als neutral bewertet.

Kreislaufwirtschaft

Ein unmittelbarer Einfluss KI-basierter Einspeise- und Lastflussprognosen auf die Recyclingquote ist nicht zu erwarten, sodass auch der Indikator „Kreislaufwirtschaft“ neutral bewertet wird.

Paris Alignment

Unter dem Indikator „Treibhausgasemissionen“ konnte bereits festgestellt werden, dass es durch KI-basierte Einspeise- und Lastflussprognosen zu einer Reduktion der Treibhausgasemissionen bei gleichzeitiger Reduktion der volkswirtschaftlichen Kosten kommen kann. Folge ist die sehr positive Bewertung des Indikators „Treibhausgasemissionen“. In Abgrenzung zum genannten Indikator wird im Folgenden das absolute Potenzial zur Reduktion der Treibhausgasemissionen betrachtet und die Wirkung im Sinne des Paris Alignment bewertet. Durch die Reduktion des Bedarfs an Maßnahmen zum Engpassmanagement können Treibhausgasemissionen reduziert werden. Auf Basis unterschiedlicher Analysen zum Redispatch [405] [420] wird ersichtlich, dass die verursachten Treibhausgasemissionen [in Tonnen CO₂-Äq.] durch Maßnahmen des Engpassmanagements im unteren einstelligen Millionenbereich liegen. KI-basierte Einspeise- und Lastflussprognosen können somit die Treibhausgasemissionen reduzieren, das absolute Vermeidungspotenzial ist aber im Vergleich zu den gesamten Treibhausgasemissionen der Energiewirtschaft eher gering.

Der Indikator „Paris Alignment“ wird daher positiv bewertet.

5.3.2.4 Indikatoren der Säule „Soziale Nachhaltigkeit“

Dieser Abschnitt widmet sich der Bewertung des digitalen Geschäftsmodells „KI-basierte Einspeise- und Lastflussprognosen“ mit Blick auf seine soziale Nachhaltigkeit. Tabelle 24 fasst einleitend die zugrundeliegenden Indikatoren und die Ergebnisse der Bewertung zusammen.

Indikatoren		Bewertung
1	Sozialgeographische Ungleichheit	0
2	Sozioökonomische Ungleichheit	0
3	Lieferkettensorgfalt	0
4	Lebensqualität	0
5	Sicherheit	-1
Gesamtbewertung Säule „Soziale Nachhaltigkeit“		-1

Tabelle 24: Bewertung des Geschäftsmodells der KI-basierten Einspeise- und Lastflussprognosen für die Einzelindikatoren in der Säule "Soziale Nachhaltigkeit".

Bei KI-basierten Einspeise- und Lastflussprognosen handelt es sich um eine B2B-Dienstleistung, die Individuen nur indirekt betrifft (bspw. durch eine sichere Stromversorgung). Daher ist der Einfluss dieses Geschäftsmodells auf die Indikatoren (1) sozialgeographische Ungleichheit, (2) sozioökonomische Ungleichheit, (3) Lieferkettensorgfalt und (4) Lebensqualität entweder nicht gegeben,

vernachlässigbar gering oder nicht bekannt, sodass diese Indikatoren neutral bewertet werden. Daher wird nachfolgend ausschließlich auf den Indikator Sicherheit näher eingegangen.

Sicherheit

Der Einsatz KI-basierter Einspeise- und Lastflussprognosen bietet einige Vorteile für die effiziente Netzbewirtschaftung, die in den vorangegangenen Abschnitten diskutiert wurden. Neben diesen Chancen für die Energiewirtschaft existieren auch unterschiedliche Risiken durch KI-basierte Technologien, die in einer Studie von Germanwatch ausführlich diskutiert wurden [421]. In der Studie wird dargelegt, dass künstliche Intelligenz in der Energiewirtschaft unter anderem Risiken mit Blick auf Datenschutz und Datensicherheit sowie Marktmacht und politische Macht bergen. Das Risiko im Bereich Datenschutz umfasst insbesondere den Diebstahl von Daten (bspw. von Smartmetern), die Rückschlüsse auf Verbraucherverhalten erlauben. Davon abzugrenzen ist das Risiko im Bereich Datensicherheit, welches bspw. die Manipulation von Trainingsdatensätzen KI-basierter Einspeise- und Lastflussprognosen umfasst. Manipulierte Trainingsdatensätze können zu fehlerhaften Prognosen und damit zu Mehrkosten sowie im schlimmsten Fall einer Gefährdung der Versorgungssicherheit führen. Auf Grund der Abhängigkeit KI-basierter Einspeise- und Lastflussprognosen von großen Datenmengen besteht zudem das Risiko, dass große (Internet-)Konzerne, deren Geschäftsmodell bereits heute zu großen Teilen auf der Nutzung und Vermarktung von Daten basiert, zukünftig auch Start-Ups und Unternehmen aufkaufen, die KI-basierte Einspeise- und Lastflussprognosen anbieten. Dadurch können diese Konzerne ihre bestehende Marktmacht vergrößern und auf die Energiewirtschaft ausweiten. Infolgedessen können diese Konzerne auch politische Macht gewinnen, indem sie ihre bestehende Marktmacht ausnutzen [421].

Da die Energiewirtschaft zur kritischen Infrastruktur zählt und somit besonders schützenswert ist, sind die diskutierten Sicherheitsrisiken besonders gewichtig. Der Indikator „Sicherheit“ wird daher negativ bewertet.

5.3.3 Ergebnisse und Fazit

Die Bewertung der Säule „Chancen und Potenziale“ und die Bewertung der Säule „Nachhaltigkeit“ wird zusammengeführt und einander gegenübergestellt. Die Nachhaltigkeit des DGM wird als Mittelwert der Säulen „Ökonomische Nachhaltigkeit“, „Ökologische Nachhaltigkeit“ und „Soziale Nachhaltigkeit“ bestimmt. Tabelle 25 fasst die Ergebnisse des Analyserahmens für die vier betrachteten Säulen zusammen. Die Bewertung der Säulen erfolgt dabei auf einer Skala von -5 bis +10 (siehe Abschnitt 4.1.3).

Säulen	Gewichtung	Bewertung
Chancen und Potenziale		5
Nachhaltigkeit		2,3
Ökonomische Nachhaltigkeit	1/3	4
Ökologische Nachhaltigkeit	1/3	4
Soziale Nachhaltigkeit	1/3	-1

Tabelle 25: Gesamtbewertung des Geschäftsmodells der KI-basierten Einspeise- und Lastflussprognose für alle vier Säulen.

In Summe wird die Säule „Chancen und Potenziale“ mit +5 positiv bewertet. Die Nachhaltigkeitsbewertung zeigt positive Ergebnisse in den Dimensionen ökonomische und ökologische Nachhaltigkeit (je +4). Die soziale Nachhaltigkeit wird mit einem Wert von -1 negativ bewertet (siehe Tabelle 25).

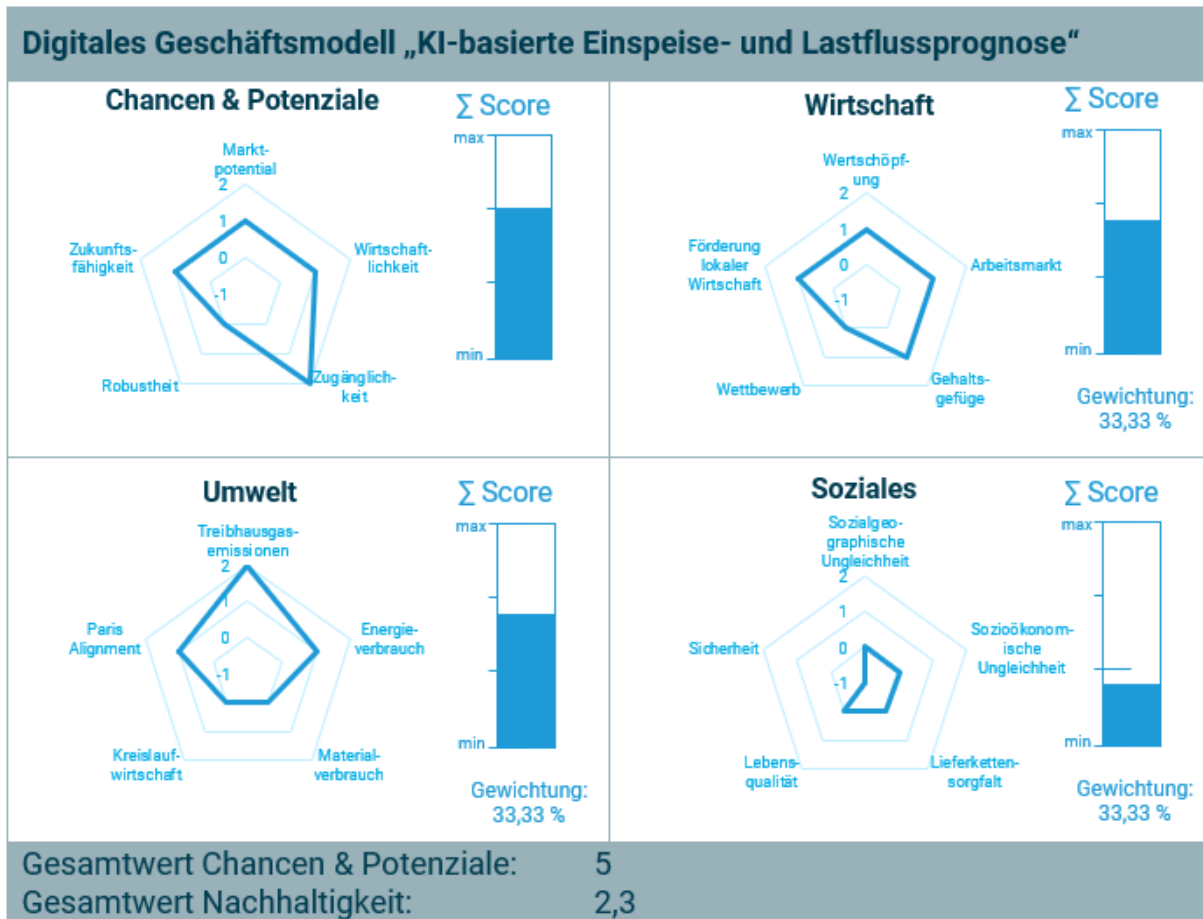


Abbildung 12: Bewertung des Geschäftsmodells der KI-basierten Einspeise- und Lastflussprognosen in den Dimensionen „Chancen & Potenziale“, „Wirtschaft“, „Umwelt“ und „Soziales“.

Ergänzend zur Visualisierung der Ergebnisse als Netzdiagramm (siehe Abbildung 12) werden die aggregierten Ergebnisse für die Säulen „Chancen & Potenziale“ und „Nachhaltigkeit“ in Abbildung 13 als Matrix dargestellt. Dabei werden die drei Dimensionen ökonomische, ökologische und soziale Nachhaltigkeit gleich gewichtet (jeweils mit 33,33 %). Dies ergibt für die Nachhaltigkeit mit einem Gesamtwert von 2,3 ein positives Ergebnis.

Die Chancen und Potenziale werden besonders hoch bewertet, da die Zugänglichkeit des DGM für Anwender sehr positiv eingeschätzt wird. Das DGM ist im B2B-Bereich angesiedelt, so dass mit wenigen strukturellen Eintrittsbarrieren für Kunden zu rechnen ist. Der Indikator „Marktpotenzial“ wurde mangels Datenverfügbarkeit auf Basis eigener Berechnungen und Experteneinschätzungen überwiegend positiv bewertet. Da es bereits Anbieter für KI-basierte Einspeise- und Lastflussprognosen gibt und der Bedarf nach entsprechenden Analysen auf Grund des zunehmenden Ausbaus dargebotsabhängiger Erzeugungsanlagen tendenziell eher steigt, werden auch die Wirtschaftlichkeit und Zukunftsfähigkeit positiv bewertet.



Abbildung 13: Einordnung des Geschäftsmodells der KI-basierten Einspeise- und Lastflussprognosen in den Dimensionen "Chancen und Potenziale" sowie "Nachhaltigkeit".

Durch die starke fachliche und technische Komponente des DGM im B2B-Bereich haben die KI-basierten Einspeise- und Lastflussprognosen nur wenig Einfluss auf die „Soziale Nachhaltigkeit“. Einzig der Aspekt „Sicherheit“ ist eher kritisch zu bewerten und erfordert besonderes Augenmerk – auch regulatorische Vorgaben könnten denkbar sein. Im Gegensatz zur sozialen Nachhaltigkeit werden die ökonomische und ökologische Nachhaltigkeit positiv bewertet. Unter Berücksichtigung der Erkenntnisse der aktuell existierenden Studien und Berichte sowie der eigenen Experteneinschätzungen sind durch das digitale Geschäftsmodell „KI-basierte Einspeise- und Lastflussprognosen“ positive Effekte für die Wertschöpfung, Arbeitsplätze und Gehaltsgefüge zu erwarten. Gleichzeitig ist *ceteris paribus* eine Reduktion sowohl der Treibhausgasemissionen als auch des Primärenergieverbrauchs bei gleichzeitiger Reduktion der Kosten für das Netzengpassmanagement möglich.

5.4 Multimodale Vernetzung im Personenverkehr mittels Mobility-as-a-Service (MaaS) Plattformen

Durch technologischen und digitalen Fortschritt hat sich das Angebot von Mobilitätsdienstleistungen in den letzten Jahren stark verändert. Insbesondere in urbanen Regionen stehen nicht mehr nur der öffentliche Nahverkehr und das Privatauto zur Verfügung, sondern verschiedenste Sharing-, Hailing- und Pooling-Angebote⁴¹. Entsprechend verändert sich auch das Mobilitätsverhalten der Menschen, die ein immer stärkeres Bedürfnis nach multimodalen Tür-zu-Tür-Angeboten haben. Grundlegend für die Nutzung der Mobilitätsangebote ist oft ein digitaler Zugangspunkt, der über die Angebote informiert, die Angebote verwaltet und buchbar bzw. nutzbar macht – hierzu haben sich in den letzten Jahren eine Vielzahl von unterschiedlichen digitalen Zugangspunkten entwickelt. An dieser Stelle setzt das digitale Geschäftsmodell *Mobility-as-a-Service* mit der Idee an, durch die Bündelung der verschiedenen Angebote dem Nutzer alle Informationen, Buchungs- und Bezahlungsmöglichkeiten über eine einzelne Anwendung zur Verfügung zu stellen und sich als zentrales Bindeglied zwischen Mobilitätsnachfrage und Mobilitätsangebot zu etablieren [422].

5.4.1 Motivation, Akteure und aktuelle Entwicklungen im Bereich Mobility-as-a-Service

Angelehnt an die stufenbasierte Topologie (Level 0 bis 4) von MaaS-Lösungen [423] lässt sich der versprochene Mehrwert von *Mobility-as-a-Service* Schritt für Schritt motivieren. Ausgangsbasis ist eine heterogene Mobilitätslandschaft im Verkehrsverbund mit voneinander abgegrenzten Mobilitätsangeboten der öffentlichen Verkehrsunternehmen und der privatwirtschaftlichen Mobilitätsunternehmen, die sowohl untereinander als auch mit dem motorisierten Individualverkehr (MIV) konkurrieren. Hier können MaaS-Lösungen einen volks- und betriebswirtschaftlichen Mehrwert schaffen, indem sie die Angebote durch eine digitale Lösung intelligent verknüpfen und so innovative multimodale Mobilitätsangebote entstehen lassen. In der Vergangenheit wurden hierfür bereits digitale Lösungen entwickelt, die multimodale Routen- und Tarifinformationen bereitstellen. Jedoch erst mit der nächsten Stufe, der Integration von Ticketbuchungen und Bezahloptionen entsteht die erste wahre Form von *Mobility-as-a-Service*, bei der Mobilitätsdienstleistungen Tür-zu-Tür über eine digitale Anwendung gebucht, bezahlt und validiert werden können. Darüber hinaus lässt sich MaaS noch weiterdenken und verkehrsmittelübergreifende Abonnements bzw. Mobilitätsbudgets

⁴¹ Beim Ride Hailing und Ride Pooling wird der Service von dem Mobilitätsanbieter durchgeführt. Dabei wird beim Ride Hailing die Fahrt exklusiv für den Kunden geleistet, während beim Ride Pooling mehrere Fahrten unterschiedlicher Kunden gebündelt werden. Beim Ride Sharing werden Mitfahrgelegenheiten unter Privatpersonen gebildet.

anbieten, regionales Policy-Making integrieren sowie zusätzliche Dienstleistungen zum MIV (z. B. Parkplatzsuche oder Stauinformationen) für den Kunden integrieren.

MaaS-Lösungen kombinieren verschiedene Verkehrsmittel multimodal je nach den Präferenzen des Kunden (z. B. schnellste Verbindung, bequemste Verbindung oder umweltschonendste Verbindung). Neben den klassischen Angeboten im ÖPNV⁴² gehören auch andere regionale Angebote (z. B. Ride-Pooling oder Car-/Bike-/E-Scooter-Sharing) sowie überregionalen Angebote des Fernverkehrs oder von Mitfahrgelegenheiten zu den denkbaren Mobilitätsangeboten, die über eine MaaS-Lösung verwaltet werden. Dabei kann die Vernetzung der – im Vergleich zum MIV – umweltfreundlichen Mobilitätsangebote zu einer zusätzlichen Attraktivität der öffentlichen und privatwirtschaftlichen Angebote führen und so insgesamt zu einem Rückgang des MIV führen. Auch die Initiative zu multimodalen digitalen Mobilitätsdiensten auf EU-Ebene [424] strebt eine möglichst hohe Integration von allen Mobilitätslösungen neben dem MIV an. Dabei müssen für ein ganzheitliches Angebot auch Aspekte wie beispielsweise die Anpassung von Tarifsystemen und Fahrgastrechte beachtet werden. Eine zentrale Frage, die im Zuge eines solchen Geschäftsmodells zu beachten ist, ist der Umfang und die Art der Haftung, zum Beispiel von Anschlussgarantien oder Erstattungen bei Zugausfällen oder Verspätungen eines Gliedes im multimodalen Angebot.

Die Zielgruppe von MaaS-Lösungen ist sehr breit und fokussiert im Prinzip jeden Menschen mit einem Mobilitätsbedürfnis. Nichtsdestotrotz muss bei der spezifischen Ausgestaltung des digitalen Geschäftsmodells berücksichtigt werden, ob eine urbane, ländliche, regional übergreifende oder globale Lösung entstehen soll und welche Kundengruppen im Detail berücksichtigt werden müssen. Dabei ist das Kernelement der MaaS-Plattform das Hintergrundsystem für die Bearbeitung der Nutzeranfragen, welche über eine Oberfläche zum Beispiel in Form einer App über das Smartphone des Kunden angesteuert werden kann. Das Smartphone und der Mobilfunk sind dabei die technologische Basis für die Bereitstellung des Service und ein zentrales Mittel für den Kunden zur Nutzung von MaaS-Lösungen. Weitere technologische Bausteine sind die algorithmische Verarbeitung großer Datenmengen zu den Mobilitätsanfragen in Rechenzentren sowie die vollständig automatisierte Verwaltung der Prozesse über die Ticketausstellung bis hin zur Abwicklung der Zahlungsströme.

Im regionalen Markt werden MaaS-Lösungen aktuell von Verkehrsverbänden und örtlichen Verkehrsunternehmen angeboten oder entwickelt, z. B. *Jelbi* in Berlin oder *Switch* in Hamburg. Diese Lösungen sind in der Regel nicht interoperabel, sondern bilden regionale Lösungen – auch bedingt durch die unterschiedlichen Hintergrundsysteme in den Verkehrsverbänden. Überregional haben sich verschiedene Verkehrsverbände organisatorisch zusammengefunden, um einheitliche Systeme zu erreichen, z. B. *Mobility inside* in Deutschland oder die „Mobil“-Apps von *Upstream Mobility* in Österreich. Darüber hinaus sind die überregionalen Lösungen meist dominiert von einem bestimmten Verkehrsmittel (z. B. *DB Navigator* mit Fokus auf Fernverkehr), einem bestimmten Anbieter, der aus seinem Kerngeschäft heraus expandieren möchte (z. B. *Tier* mit E-Scootern, E-Mopeds und Fahrrädern oder *Sixt* mit den ausgeweiteten Hailing- und Sharing-Angeboten), oder integrieren Mobilitätsangebote nicht vollständig (z. B. *Reach Now* ohne vollständige Buchungs- und Bezahlungsfunktion). Unabhängig vom jeweiligen Ansatz ist jedoch anzumerken, dass digitale Mobility-as-a-Service-Lösungen auf eine partnerschaftliche Zusammenarbeit angewiesen sind und die zugrundeliegenden und zu integrierenden Mobilitätsanbieter technische Schnittstellen für die Datenübertragung zur Verfügung stellen müssen. Außerdem werden typischerweise auch Payment-Service-Provider für die Abwicklung der Bezahlprozesse integriert.

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass sich in jeder Region nur eine sehr beschränkte Anzahl von MaaS-Lösungen durchsetzen werden, z. B. eine App des regionalen Verkehrsverbundes, eine App eines globalen Technologieunternehmens und eine App, die überregional in ganz Deutschland

⁴² Öffentlicher Personennahverkehr

genutzt werden kann. Lösungsanbieter, die es schaffen, in diesem Sinne ihre jeweilige MaaS-Lösung am Markt zu etablieren, verdrängen parallel betriebene Lösungen der Anbieter und besitzen damit als Single-Point-of-Contact auch den direkten Zugang zum Kunden und zu dessen Nutzungs- sowie insbesondere Mobilitätsdaten.

Insbesondere der Kundenzugang und die weitere Datennutzung ist typisch für digitale Geschäftsmodelle. Mobility-as-a-Service als digitales Geschäftsmodell kann dabei als Asset-Light-Geschäftsmodell⁴³ angesehen werden, das heißt die Anbieter betreiben ein Vermittlungsgeschäft von Mobilitätsdienstleistungen über eine Plattform, die alle Prozesse (Verbindungsanfrage, Buchung, Validierung, Abrechnung) vollautomatisch verwaltet⁴⁴. Damit setzt dieses Geschäftsmodell auf eine Plattformökonomie und ist grundlegend anders als bisherige Mobilitätsangebote, die immer auch erhebliche Investitionen in Infrastruktur (z. B. Schienen) und Fahrzeuge (z. B. E-Scooter oder Busse) bedingen. Der Zugang zum Kunden kann dabei als zentraler Baustein angesehen werden: Die gesammelten Daten können nicht nur zur Vermittlung der Mobilitätsservices genutzt werden, sondern darüber hinaus auch gegenüber der Stadt für planerische Prozesse und für die Mobilitätsdienstleister zur Verbesserung ihres Angebotes nutzbar gemacht werden. Für die Mobilitätsunternehmen ergibt sich hiermit unter Umständen eine doppelte Abhängigkeit von der Plattform: Zum einen ist die Nutzung und damit auch der Erfolg des eigenen Mobilitätsangebotes von der Vermittlung über die Plattform abhängig, zum anderen entgehen den Unternehmen die direkten Kundendaten.

5.4.2 Anwendung des Analyserahmens zur Bewertung der Nachhaltigkeit

Im Nachfolgenden wird das DGM unter Anwendung des Analyserahmens (siehe 4.1) auf seine Chancen und Potenziale ebenso wie ökonomische, ökologische und soziale Nachhaltigkeit bewertet.

5.4.2.1 Indikatoren der Säule „Chancen und Potenziale“

In diesem Unterabschnitt wird das DGM MaaS-Plattformen auf seine Chancen und Potenziale gemäß dem Analyserahmen bewertet. Wichtige Aspekte hierbei sind das Marktpotenzial, die Wirtschaftlichkeit und Zukunftsfähigkeit ebenso wie die Zugänglichkeit und Robustheit.

Indikatoren		Bewertung
1	Marktpotenzial	1
2	Wirtschaftlichkeit	0
3	Zugänglichkeit	0
4	Robustheit	2
5	Zukunftsfähigkeit	2
Gesamtbewertung Säule „Chancen und Potenzial“		5

Tabelle 26: Bewertung des Geschäftsmodells der MaaS-Plattformen für die Einzelindikatoren in der Säule "Chancen und Potenziale".

Dabei wurde die Bewertung auf Basis der folgenden Begründungen durchgeführt:

⁴³ Geschäftsmodell basierend auf geringem Anlagevermögen und geringen Anfangsinvestitionen

⁴⁴ Dieses Geschäftsmodell kann mit einem Asset-Heavy-Geschäftsmodell kombiniert werden, wenn die MaaS-Plattform von Mobilitätsanbietern betrieben wird.

Marktpotenzial

Für die Bewertung des Marktpotenzials von MaaS ist insbesondere das Marktpotenzial der diversen unterschiedlichen Mobilitätsformen (die potenziell in eine MaaS-Plattform integriert werden können) von Interesse. Bis 2025 wird die prognostizierte Nachfrage und der Umsatz für viele relevante Mobilitätsformen verglichen mit 2019 steigen [425]:

- Im Flugverkehr um 2 % auf ca. 21,9 Mrd. Euro,
- Im Schienenpersonenverkehr um 4,7 % auf ca. 17 Mrd. Euro (davon entfielen im Jahr 2019 auf den Fernverkehr ca. 5 Mrd. Euro und auf den Nahverkehr ca. 11,3 Mrd. Euro [417]),
- Im Busverkehr um 2,1 % auf rund 0,8 Mrd. Euro,
- Beim Autoverleih um 2,3 % auf ca. 3,3 Mrd. Euro,
- Beim Ride-Hailing um ca. 1 % auf rund 5,5 Mrd. Euro,
- Beim Bike-Sharing um 5,9 % auf ca. 67 Mio. Euro,
- Beim Car-Sharing um 7 % auf 0,7 Mrd. Euro.⁴⁵

Das macht einen Gesamtumsatz von ca. 37,67 Mrd. Euro⁴⁶ für den Verkauf von Mobilitätsdienstleistungen im Jahr 2025 ausgenommen von neuartigen Angeboten wie z. B. E-Scooter. Zusammen mit dem prognostizierten Zuwachs in Onlinebuchungen (global werden gemäß einer Prognose von Statista 72 % der Mobilitätsdienstleistungen im Jahr 2025 online gekauft) und der großen Verfügbarkeit von Internet und Smartphones in der deutschen Bevölkerung [425] kann ein hohes Potenzial von digitalen Lösungen wie MaaS-Plattformen abgeleitet werden. Hierbei sind jedoch mehrere Unsicherheitsfaktoren zu beachten: Die schwer abschätzbare Akzeptanz von MaaS-Lösungen [426] und Einstiegsbarrieren wie z. B. das notwendige Erreichen einer kritischen Masse an Nutzern und Mobilitätsanbietern [427]. Zudem prognostiziert das *International Transport Forum* (ITF), dass MaaS-Plattformen lokal für die jeweiligen Bedürfnisse der Fahrgäste entwickelt werden müssen [428]. Der stark wachsende Markt an Mobilitätsdienstleistungen zusammen mit mehreren Risikofaktoren bei der Einführung von MaaS-Lösungen ergibt eine positive Indikatorbewertung.

Wirtschaftlichkeit

Bei der Wirtschaftlichkeit einer MaaS-Lösung ist der mögliche Gewinn der Anwendung abzuleiten. Dieser wird durch die Marge der verkauften Mobilitätsdienstleistungen über die Plattform und die Anzahl verkaufter Tickets beeinflusst. Für Letzteres ist insbesondere eine hohe Akzeptanz erforderlich, die wiederum eine erfolgreiche Preisstruktur mit erheblich günstigeren Mobilitätsleistungen als bestehende Transportmittel notwendig macht [428]. Angewendet auf Deutschland sind hier beispielsweise innovative Tarifstrukturen wie Mobilitätsbudgets möglich, die klassische Abonnements ersetzen und sich auf mehrere Verkehrsmodi verteilen. Hierdurch kann auch weiterhin eine Förderung des ÖPNV realisiert werden. Grundsätzlich sind auch Anpassungen bei den derzeitigen Tarifstrukturen notwendig, damit multimodale Angebote vollständig realisiert werden können. Mit dem ((eTicket Deutschland und eTarifen ist bereits ein Grundstein zur Realisierung intermodaler Mobilität gelegt.

Außerdem wird mit einem geringeren potenziellen Return on Investment (Kapitalrendite) für MaaS-Anwendungen in urbanen Regionen gerechnet [428]. Der hohe Preisdruck führt zu einer neutralen Bewertung des Indikators „Wirtschaftlichkeit“.

Zugänglichkeit

In der Regel werden für den Zugang einer MaaS-Lösung ein Smartphone und Internet benötigt. Gemäß einer Studie der Bundesnetzagentur aus dem Jahr 2020 verfügten 95 % der Befragten über mindestens einen Mobilfunkanschluss. Von diesen besaßen wiederum 91 % ein Smartphone und 90 % verfügten über mobiles Internet [431]. Daher ist im Allgemeinen eine hohe Zugänglichkeit

⁴⁵ Die Daten wurden von Dollar in Euro umgerechnet.

⁴⁶ Die Angaben beziehen sich auf Daten vor Covid-19 und sind unter Vorbehalt zu betrachten.

für die Bevölkerung gewährleistet. Im ländlichen Raum wird diese technische Zugänglichkeit allerdings durch schwache Mobilfunkabdeckungen eingeschränkt. Hinzu kommt als entscheidender Faktor das oftmals spärliche Verkehrsangebot in ländlichen Räumen und, dass nicht-regulierte private MaaS-Plattformen ländliche Regionen auf Grund geringer Wirtschaftlichkeit meiden [432]. In urbanen Bereichen hingegen ist von einer hohen Zugänglichkeit auszugehen. Dies betrifft auch die sozial schwache urbane Bevölkerung, da die MaaS-Lösungen voraussichtlich zur Erreichung einer hohen Akzeptanz einem hohen Preisdruck ausgesetzt sein werden [428]. Allgemein ist für die Zugänglichkeit zu den MaaS-Plattformen ein gewisser Grad an IT-Affinität und die Nutzung eines Smartphones vorauszusetzen, sodass der Zugang für z. B. die ältere Generation erschwert wird. Dies spiegelt sich auch darin wider, dass in der Altersklasse der über 75-Jährigen im Jahr 2020 lediglich 74 % über einen Mobilfunkanschluss verfügten und von diesem Anteil nur 61 % ein Smartphone besaßen [431].

Besonders im ländlichen Raum ist die Zugänglichkeit zu öffentlichen Verkehrsangeboten oft kritisch. Durch Effizienzgewinne im Zuge der Digitalisierung und verbesserte Informationen ist es denkbar, dass bisher unattraktive Angebote profitabel werden. Folglich – auch unter der Berücksichtigung der Zugangshürden für die ländliche Bevölkerung – wird dieser Indikator durch die ansonsten hohe Zugänglichkeit als neutral bewertet.

Robustheit

Die Robustheit einer MaaS-Anwendung setzt sich aus der Robustheit ihrer einzelnen Komponenten zusammen: Für MaaS-Lösungen stehen standardisierte Schnittstellen für unterschiedliche Mobilitätstypen wie z. B. MDS [433], GTFS [434] und VDV [435] und Spezifikationen für robuste Bezahlprozesse mit Drittanbietern [396] zur Verfügung, die eine robuste Umsetzung der Anwendung ermöglichen. Im Allgemeinen sollte Robustheit eine Hauptanforderung an eine MaaS-Plattform sein, die einen Zugang zur Mobilität bietet. Auf Basis der Verfügbarkeit standardisierter Schnittstellen ist davon auszugehen, dass die technische Robustheit des DGM als sehr positiv zu bewerten ist.

Zukunftsfähigkeit

Für die Zukunftsfähigkeit des DGM ist unter anderem die Akzeptanz des neuen Konzeptes und eine dauerhafte Änderung im Mobilitäts- sowie Buchungsverhalten notwendig. Das ITF kommt zu dem Schluss, dass ein Wandel im Konsumentenverhalten bezogen auf die Reiseart von Dauer sein könnte. Zudem ist gemäß dem ITF davon auszugehen, dass die Nachfrage nach städtischem Personentransport gemessen an Fahrgastkilometern im europäischen Raum bis zum Jahr 2050 weiterhin wächst [428]. Des Weiteren ist davon auszugehen, dass in der aktuellen Legislaturperiode die Basis für zukunftsfähige MaaS-Plattformen gelegt wird. So hielten die Regierungsparteien in ihrem aktuellen Koalitionsvertrag fest, dass digitale Mobilitätsdienste und intermodale Angebote gestärkt werden sollen und anbieterübergreifende Buchungen durch den Ausbau des Datenraums Mobilität ermöglicht werden sollen [396]. Die Zukunftsfähigkeit des DGM ist deswegen als sehr positiv einzuschätzen.

5.4.2.2 Indikatoren der Säule „Ökonomische Nachhaltigkeit“

Als erster Indikator zur allgemeinen Nachhaltigkeit des Geschäftsmodells findet eine Bewertung der ökonomischen Nachhaltigkeit statt.

Indikatoren		Bewertung
1	Wertschöpfung	1
2	Arbeitsmarkt	0
3	Gehaltsgefüge	0
4	Wettbewerb	1
5	Förderung lokaler Wirtschaft	1
Gesamtbewertung Säule „Ökonomische Nachhaltigkeit“		3

Tabelle 27: Bewertung des Geschäftsmodells der MaaS-Plattformen für die Einzelindikatoren in der Säule "Ökonomische Nachhaltigkeit".

Dabei wurde die Bewertung auf Basis der folgenden Begründungen durchgeführt:

Wertschöpfung

Ein gutes MaaS-Konzept kann in mehreren Aspekten zu Wertschöpfung beitragen. Mit MaaS ist es möglich, die Angebote unterschiedlicher Mobilitätsdienstleister zu bündeln und somit dem Konsumenten maßgeschneiderte, multimodale Produkte anzubieten. Diese Wertschöpfung kann zusätzlich durch eine neue, effizientere Routenplanung mit multimodalen Trips und eine sichere Kaufabwicklung ergänzt werden [437]. Bezüglich der wirtschaftlichen Wertschöpfung bietet die MaaS-Plattform den Mobilitätsanbietern die Möglichkeit, ihre Services zu verkaufen und mit den Leistungen anderer Anbieter zu kombinieren. Die Plattform übernimmt dabei die Verwaltung und Vernetzung der fragmentierten Angebote unterschiedlicher Anbieter. Inwieweit hierbei ein ganzheitliches Angebot geschaffen wird, das auch einen einheitlichen Zahlprozess und eine Haftungsregelung beinhaltet hängt von der Tiefe der Integration gemäß der stufenbasierten Topologie von MaaS-Lösungen [423] ab. Auch wenn die Bewertung dieses Faktors daher von der Integrationsstufe abhängt, ist bereits bei einer geringen Integration eine Wertschöpfung gegeben, so dass insgesamt der Indikator als positiv zu bewerten ist.

Arbeitsmarkt

Zur Bewertung des Einflusses auf den Arbeitsmarkt werden zwei Ebenen betrachtet: Der Einfluss durch den Aufbau/ Betrieb der Plattformen und der Einfluss durch das Anbieten von Mobilitätsdienstleistungen durch die Plattformen. Der Aufbau und Betrieb von MaaS-Plattformen wird vermutlich keine großen Auswirkungen nach sich ziehen, da lediglich eine überschaubare Anzahl von Mitarbeitern für die Implementierung, die Instandhaltung und das Management benötigt werden [432]. Hingegen können durch das Anbieten von Mobilitätsdienstleistungen größere Effekte bei den Mobilitätsanbietern entstehen. So kommt das unabhängige, internationale *Institut zur Zukunft der Arbeit* (IZA) zu dem Schluss, dass Arbeitsleistungen für geringer Qualifizierte durch die Plattformökonomie ausgegliedert werden [438] und somit in einem Anstieg von Soloselbstständigkeiten münden können. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass eine Etablierung des Mobilitätsdienstleisters *Uber* in den USA zu einem signifikanten Rückgang der Arbeitslosenquote führt und die Nachfrage nach gering qualifizierten Arbeitskräften steigt [432]. Für die Bewertung des Indikators „Arbeitsmarkt“ kommt zum Tragen, dass sowohl negative wie auch positive Effekte durch MaaS möglich sind, so dass der Indikator als neutral bewertet wird.

Gehaltsgefüge

Auch wenn sich die Effekte auf das Gehaltsgefüge nicht genau vorhersagen lassen, ist davon auszugehen, dass nicht-regulierte Mobilitätsplattformen zwei Beschäftigungsverhältnisse fördern: Zum einen werden in einer geringen Menge gut bezahlte Arbeitsplätze für Programmierer und das Management entstehen, zum anderen können indirekt prekäre Beschäftigungen durch MaaS-Plattformen gefördert werden [432]. Letzteres wird möglich, wenn die integrierten Mobilitätsdienstleister

ihr Geschäftsmodell auf Soloselbständigkeiten wie z. B. bei Scooter Rangern⁴⁷ und Ride-Hailing aufbauen [432]. Eine konträre Sichtweise in der Studie der Friedrich-Ebert-Stiftung zieht jedoch in Erwägung, dass eine steigende Nachfrage an gering qualifizierten Arbeitskräften zu einem Anstieg im Einkommensniveau führen kann. Durch die potenziell geförderten prekären Beschäftigungsverhältnisse auf der einen Seite, aber die prognostizierten zahlreichen neu entstehenden niedrigqualifizierten Jobs auf der anderen Seite, ist dieser Indikator insgesamt als neutral zu bewerten.

Wettbewerb

Für die Bewertung dieses Indikators sind zwei Wettbewerbsebenen zu betrachten: Der Wettbewerb zwischen potenziellen MaaS-Lösungen und der Wettbewerb zwischen Mobilitätsdienstleistern induziert durch MaaS. Der Wettbewerb zwischen MaaS-Plattformen ist laut Hasselwander anfänglich hoch und wird durch heterogene Akteure wie internationale Anbieter, Start-Ups und branchenfremde Unternehmen bestritten. Dieser Wettbewerb kann allerdings mittel- bis langfristig zu einer Konsolidierung und Monopolbildung mit einer großen Machtstellung führen [439]. Auf Ebene der Mobilitätsdienstleister können digitale MaaS-Lösungen zu einem höheren Wettbewerb führen, indem neuen Mobilitätsanbietern der Markteinstieg erleichtert wird [432]. Die Bewertung des Indikators „Wettbewerb“ ist im Allgemeinen – insbesondere durch die Förderung des Wettbewerbs unter Mobilitätsdienstleistern – als positiv zu sehen, aber die ernstzunehmende Gefahr der Monopolbildung bei den Plattformanbietern darf nicht vernachlässigt werden.

Förderung lokaler Wirtschaft

Die lokale Wirtschaft wird durch MaaS gefördert, wenn lokal ansässige Unternehmen durch die Plattform unterstützt und am Umsatz beteiligt werden. Durch MaaS können die Einstiegsbarrieren für neue Mobilitätsdienstleister – insbesondere auch lokale Anbieter – herabgesetzt werden, da eine MaaS-Plattform als eine Art Broker gesehen werden kann, die für den Mobilitätsanbieter die Vermittlung zwischen der Nachfrage (Fahrgast) und dem Angebot übernimmt [430]. Das ITF argumentiert, dass die lokale Wirtschaft durch MaaS auch gefördert wird, da für ein erfolgreiches MaaS-Konzept die Anwendung lokal gedacht und auf die Bedürfnisse der lokalen Bevölkerung zugeschnitten werden muss [428]. Dies kann dazu führen, dass der Aufbau einer globalen MaaS-Lösung mit einem eigenen nicht-regionalen Mobilitätsangebot verhindert wird. Aus diesen Gründen, die auf eine Förderung der lokalen Wirtschaft durch MaaS hindeuten, ist der Indikator als positiv zu bewerten.

5.4.2.3 Indikatoren der Säule „Ökologische Nachhaltigkeit“

Als nächster Indikator wird die ökologische Nachhaltigkeit inklusive der Auswirkung des DGM auf Treibhausgasemissionen, der Kreislaufwirtschaft und dem Material- und Energieverbrauch bewertet.

⁴⁷ Berufsbezeichnung die Pflege der E-Scooter inklusive dem Einsammeln, dem Laden und dem Transport zum neuen Standort

Indikatoren		Bewertung
1	Treibhausgasemissionen	0
2	Energieverbrauch	0
3	Materialverbrauch	2
4	Kreislaufwirtschaft	0
5	Paris Alignment	1
Gesamtbewertung Säule „Ökologische Nachhaltigkeit“		3

Tabelle 28: Bewertung des Geschäftsmodells der MaaS-Plattformen für die Einzelindikatoren in der Säule "Ökologische Nachhaltigkeit".

Dabei wurde die Bewertung auf Basis der folgenden Begründungen durchgeführt:

Treibhausgasemissionen

Generell sind Schlüsse auf einen positiven Effekt des DGM auf die Reduktion der Treibhausgasemissionen zulässig, denn mit der Einführung von MaaS-Lösungen ist mit einer Verschiebung des Modal Splits⁴⁸ zu rechnen, so dass Mobilitätsformen mit besserer Umweltbilanz an Beliebtheit gewinnen [432]. So prognostiziert das ITF für den europäischen Raum eine Reduktion von 2 % an CO₂-Emissionen durch den Einsatz von Shared-Mobility-Konzepten und MaaS. Zu beachten sind jedoch auch mögliche Rebound-Effekte. Zum Beispiel können sinkende Preise und das komfortable Reisen durch eine optimierte Verknüpfung von Mobilitätsangeboten – ermöglicht durch MaaS – zu einer generell höheren Nachfrage an Mobilität [438] und Fahrzeugmeilen [440] führen und somit auch zu höheren Emissionen. Die Bewertung des Indikators „Treibhausgasemissionen“ ist somit als neutral anzusehen, da die prognostizierte Reduktion an CO₂-Emissionen vergleichsweise gering ist und Rebound-Effekte möglicherweise sogar zu gegenteiligen Auswirkungen führen können.

Energieverbrauch

Prinzipiell kann die Einführung einer MaaS-Anwendung den ganzheitlichen Energieverbrauch reduzieren. Der Fokus von MaaS-Plattformen liegt häufig auf Shared-Mobility-Dienstleistungen und dem ÖPNV und somit einer energieeffizienteren Alternative im Vergleich zum motorisierten Individualverkehr. So kann davon ausgegangen werden, dass in unterschiedlichen möglichen Szenarien der Kraftstoffverbrauch gesenkt wird [441]. Shared-Mobility-Dienstleistungen – unterstützt durch MaaS-Lösungen – haben zudem den Vorteil, dass durch eine hohe Fahrzeugfluktuation neuartige Fahrzeuge mit den energieeffizientesten Technologien eingesetzt werden können [428]. Zu beachten sind hierbei jedoch die gleichen Rebound-Effekte wie bei den Treibhausgasemissionen. Des Weiteren kann eine hohe Nachfrage in der Nutzung einer MaaS-Plattform durch die Verarbeitung zahlreicher Anfragen im Hintergrundsystem zu einem höheren Energieverbrauch seitens des Betreibers führen [432]. Ähnlich wie bei dem Indikator „Treibhausgasemissionen“ ist bei diesem Indikator durch die Kombination aus möglichen positiven Effekten und Rebound-Effekten der Indikator als neutral einzuschätzen.

Materialverbrauch

Es ist davon auszugehen, dass die MaaS-Plattform an sich keinen großen Materialverbrauch nach sich zieht. Ein positiver Effekt einer MaaS-Anwendung auf den Ressourcenverbrauch könnte jedoch durch den Rückgang von privatem Autobesitz erreicht werden. So zeigt eine Studie für

⁴⁸ Unter Modal Split wird das Mobilitätsverhalten bezogen auf die Nutzung verschiedener Verkehrsträger verstanden.

Schweden mit unterschiedlichen Szenarien, dass bei einer hohen Akzeptanzrate von MaaS-Anwendungen ein Rückgang von 16 % möglich ist [441]. Daher ist der Einfluss von MaaS auf die Reduktion des Materialverbrauchs als sehr positiv einzuschätzen.

Kreislaufwirtschaft

Bei dem Indikator „Kreislaufwirtschaft“ wird die Herkunft der verwendeten Ressourcen und die Recyclingquote analysiert. Es ist davon auszugehen, dass der Aufbau und Betrieb MaaS-Plattformen nicht ressourcenintensiv ist bzw. die Quellen der verwendeten Ressourcen vom Betreiber abhängen. Somit ist kein Einfluss auf die Recycling-Quote gegeben ist, so dass dieser Indikator als neutral bewertet wird.

Paris Alignment

Die erreichbare Reduktion von CO₂-Emissionen durch MaaS-Anwendungen hängt zu einem Großteil von der Akzeptanz der Lösung bei den Anwendern ab. Bei einer sehr hohen Akzeptanzquote ist, basierend auf schwedischen Daten und Berechnungen, eine Verringerung des CO₂-Ausstoßes durch den motorisierten Individualverkehr von 50 % möglich [441]. Dies setzt jedoch eine Akzeptanz von mehr als 50 % der Bevölkerung voraus. Dabei zeigen bereits bestehende Lösungen wie *Whim* in Finnland, dass mit einer Akzeptanz von weniger als 1 % hier eine Hauptherausforderung des Geschäftsmodells liegt. Insgesamt ist der Einfluss auf den Indikator „Paris Alignment“ daher als positiv, aber eher gering, einzuschätzen.

5.4.2.4 Indikatoren der Säule „Soziale Nachhaltigkeit“

Im Folgenden wird der letzte Aspekt im Rahmen der Nachhaltigkeit des DGM MaaS-Plattformen bewertet – die soziale Nachhaltigkeit.

Indikatoren		Bewertung
1	Sozialgeographische Ungleichheit	-1
2	Sozioökonomische Ungleichheit	1
3	Lieferkettensorgfalt	0
4	Lebensqualität	2
5	Sicherheit	-1
Gesamtbewertung Säule „Soziale Nachhaltigkeit“		1

Tabelle 29: Bewertung des Geschäftsmodells der MaaS-Plattformen für die Einzelindikatoren in der Säule "Soziale Nachhaltigkeit".

Dabei wurde die Bewertung auf Basis der folgenden Begründungen durchgeführt:

Sozialgeographische Ungleichheit

Das DGM bietet sowohl Risiken als auch Chancen in Bezug auf die sozialgeographische Ungleichheit. Der bisherige Einsatz von MaaS-Anwendungen zeigt, dass die Betreiber in einem nicht-regulierten Markt ihren Fokus auf urbane Regionen legen, so dass ländliche Regionen von den Plattformen nicht profitieren können. Zudem kann die Einführung von Shared-Mobility-Dienstleistungen durch eine privat betriebene MaaS-Lösung zu einer Verdrängung des ruralen öffentlichen Personennahverkehrs führen, so dass die öffentliche Hand in ländlichen, wettbewerbsschwachen Regionen keinen Einfluss auf die Preisgestaltung mehr nehmen kann [432]. Hingegen könnte eine regulierte MaaS-Anwendung auch die Chance bieten, öffentliche Mobilitätsangebote in den ländli-

chen Regionen attraktiver und effizienter zu gestalten, indem beispielsweise die „letzte Meile“ zwischen dem ÖPNV und dem Zielort mit anderen Mobilitätsdienstleistungen absolviert werden kann [442]. Dies kann auch insgesamt zu einem zusätzlichen Mobilitätsangebot für den ländlichen Raum führen. Die positiven Effekte benötigen jedoch eine Regulierung bei privat betriebenen Plattformen. Folglich sind die negativen Effekte zunächst stärker zu gewichten und führen zu einer negativen Bewertung des Indikators.

Sozioökonomische Ungleichheit

Inwieweit MaaS-Anwendungen einen Einfluss auf die sozioökonomische Ungleichheit haben, hängt zu einem Großteil von der Marktmacht ab. Besteht ein Monopol, existiert das Risiko, dass ein privater Anbieter die Preise nach einkommensstarken Personengruppen ausrichtet [432]. Generell ist aber davon auszugehen, dass der Anbieter zur Erlangung einer hohen Akzeptanz ein attraktiveres Angebot als bestehende Transportmittel schaffen muss [428]. Dies kann unter anderem durch das Anbieten eines komfortablen, maßgeschneiderten Services ebenso wie durch die Bildung von innovativen Tarifstrukturen wie z.B. Mobilitätsbudgets erfolgen. Dabei ist eine Reduzierung von Ticketpreisen durch die Integration neuer effizienter Mobilitätsformen in die MaaS-Plattform eine Möglichkeit. So zeigen Simulationen für Lissabon, dass durch die Einführung von autonomen Shared-Mobility-Services die Preise für den öffentlichen Personenverkehr um bis zu 45 % pro Kilometer sinken können [443]. Insgesamt ist daher der Indikator „Sozioökonomische Ungleichheit“ für MaaS als leicht positiv zu bewerten.

Lieferkettensorgfalt

Die reine Entwicklung von MaaS-Lösungen erfordert weder verzweigte noch mehrstufige Lieferketten. Hingegen umfasst die Lieferkette der verkauften Mobilitätsdienstleistung die Mobilitätsanbieter, bei denen prekäre Arbeitsbedingungen wie z. B. bei Scooter Rangern möglich sind [432]. Da die Dienstleistung aber vor Ort – also in Deutschland – erbracht werden und somit der hohe Standard des deutschen Arbeitsrechts eingehalten werden muss, ist kein signifikanter Effekt des DGM auf die Lieferkettensorgfalt zu erwarten. Folglich wird der Indikator als neutral bewertet.

Lebensqualität

Die Lebensqualität kann durch MaaS in mehreren Facetten gesteigert werden: Zum einen wird für Menschen ohne eigenen PKW durch mehr Mobilität eine größere Teilhabe am gesellschaftlichen Leben und damit auch Lebensqualität geschaffen [432]. Denn die Vielfalt an Mobilitätsangeboten kann durch MaaS gesteigert werden und die Bedürfnisse der Fahrgäste bestimmen die angebotenen Services [428]. Zum anderen profitieren MaaS-Konsumenten durch die Bündelung von diversen Mobilitätsformen zu einem effizienten, maßgeschneiderten, multimodalen Angebot (inklusive Kaufabwicklung) von Zeit- und Aufwandsersparnissen [437]. Des Weiteren ist durch MaaS eine Entlastung der Verkehrs- und Parkplatzsituation möglich, so dass insbesondere Großstädte mit hohem Verkehrsaufkommen lebenswerter werden [428]. Insgesamt ist der Einfluss von MaaS auf die Lebensqualität somit als sehr positiv zu bewerten.

Sicherheit

Wie in Abschnitt 5.4.1 beschrieben, ist ein zentrales Geschäftsmodell von MaaS-Anwendungen die Sammlung von Mobilitätsdaten. Dementsprechend ist der Datenschutz ein essenzieller Faktor bei MaaS-Konzepten. Bei bereits bestehenden Mobilitätsplattformen ist erkennbar, dass die Verknüpfung von Bezahlinformationen mit Daten zu Personentransporten Rückschlüsse auf individuelle Fahrten ermöglicht [438]. Außerdem sind sichere Konzepte zur Identitätserkennung und dem Zugang zur Buchung von Dienstleistungen notwendig, um Missbräuche zu verhindern [428]. Die Bewertung des Indikators „Datensicherheit“ ist als negativ einzuschätzen, weil Datensicherheit eine wichtige Komponente des DGM ist, die Möglichkeiten für Missbrauch zulässt.

5.4.3 Ergebnisse und Fazit

Die Bewertung der Säule „Chancen und Potenziale“ und die Bewertung der Säule „Nachhaltigkeit“ wird zusammengeführt und einander gegenübergestellt. Die Nachhaltigkeit des DGM der MaaS-Plattformen wird als Mittelwert der Säulen „Ökonomische Nachhaltigkeit“, „Ökologische Nachhaltigkeit“ und „Soziale Nachhaltigkeit“ bestimmt. Tabelle 30 fasst die Ergebnisse des Analyserahmens für die vier betrachteten Säulen zusammen. Die Bewertung der Säulen erfolgt dabei auf einer Skala von -5 bis +10 (siehe Abschnitt 4.1.3).

Säulen	Gewichtung	Bewertung
Chancen und Potenziale		5
Nachhaltigkeit		2,3
Ökonomische Nachhaltigkeit	1/3	3
Ökologische Nachhaltigkeit	1/3	3
Soziale Nachhaltigkeit	1/3	1

Tabelle 30: Gesamtbewertung des Geschäftsmodells der MaaS-Plattformen für alle vier Säulen.

In Summe wird die Säule „Chancen und Potenziale“ mit 5 positiv bewertet. Die Nachhaltigkeitsbewertung zeigt positive Ergebnisse in den Dimensionen ökonomische und ökologische Nachhaltigkeit (je +3). Die soziale Nachhaltigkeit wird mit einem Wert von 1 leicht positiv bewertet (siehe Tabelle 30). Ergänzend zur Visualisierung der Ergebnisse als Netzdiagramm (siehe Abbildung 14) werden die aggregierten Ergebnisse für die Säulen „Chancen & Potenziale“ und „Nachhaltigkeit“ in Abbildung 15 als Matrix dargestellt. Dabei werden die drei Dimensionen ökonomische, ökologische und soziale Nachhaltigkeit gleich gewichtet (jeweils mit 33,33 %). Dies ergibt für die Nachhaltigkeit mit einem Gesamtwert von 2,3 ein positives Ergebnis

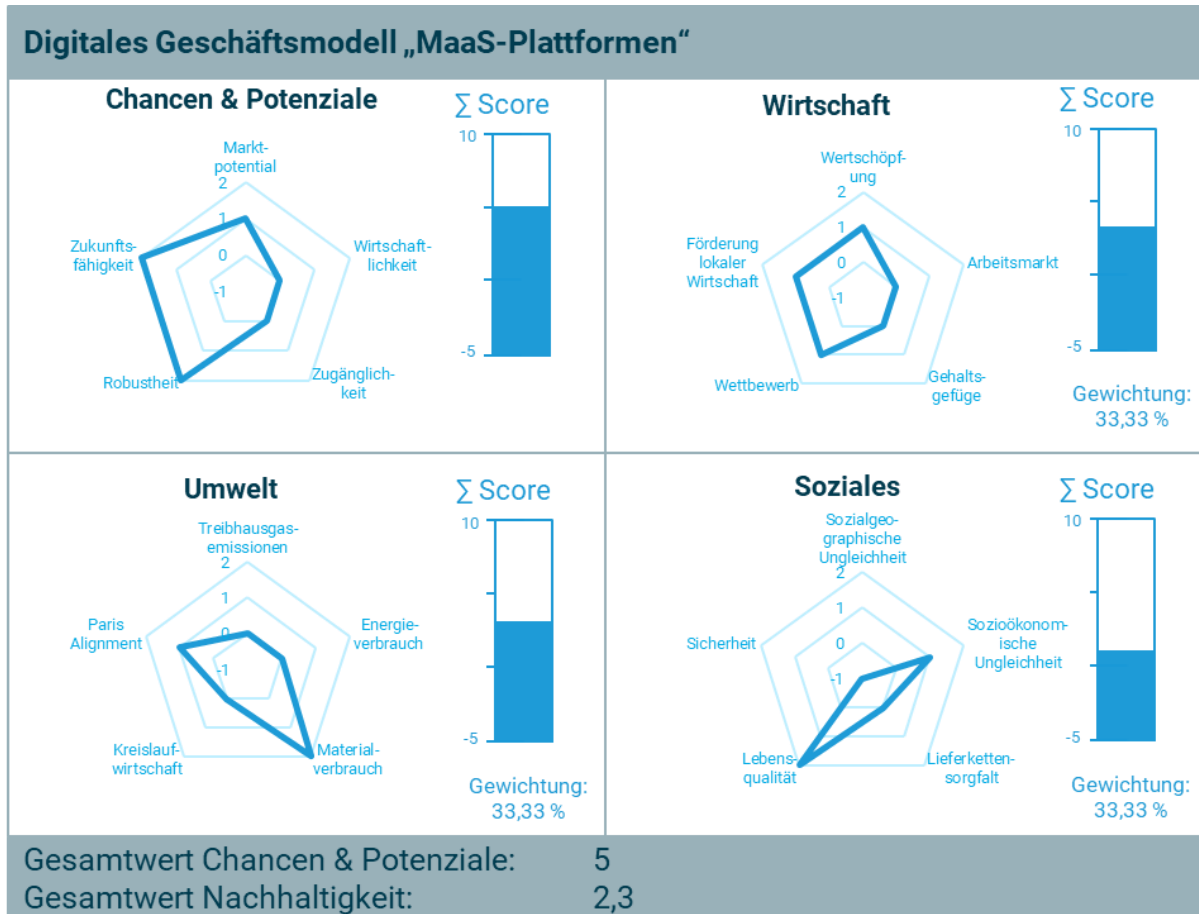


Abbildung 14: Bewertung des Geschäftsmodells "Maas-Plattformen" in den Dimensionen „Chancen & Potenziale“, „Wirtschaft“, „Umwelt“ und „Soziales“.

Basierend auf den Bewertungen lässt sich zeigen, dass das DGM tendenziell viele Chancen und Potenziale insbesondere in der Zukunftsfähigkeit und der Robustheit der Technologie bietet. Dem gegenüber stehen Defizite unter anderem in der sozialen Nachhaltigkeit des DGMs. Hier kann sich das Geschäftsmodell negativ auf die sozialgeographische Ungleichheit und die Datensicherheit auswirken. Auch in weiteren Säulen, wie z. B. im Bereich des Gehaltsgefüges, kann es zu negativen Auswirkungen kommen. Diese Erkenntnisse spiegeln sich auch in der Darstellung in der Bewertungsmatrix wider.

Als Schlussfolgerung sollte die Nachhaltigkeit des Geschäftsmodells gefördert werden, sodass all die Vorteile ausgeschöpft werden können, die eine MaaS-Plattform mit sich bringen kann. Hierbei spielt insbesondere der Aspekt der sozialen Nachhaltigkeit eine essenzielle Rolle. Dazu gehört die Integration der ländlichen Regionen in eine Plattform und die Definition von Standards zur Einhaltung der Datensicherheit. Auch innerhalb der anderen Nachhaltigkeitssäulen gibt es Aspekte zu beachten, wie z.



Abbildung 15: Einordnung des Geschäftsmodells der MaaS-Plattformen in den Dimensionen "Chancen und Potenziale" sowie "Nachhaltigkeit".

B. die Verhinderung der mittelbaren Förderung von prekären Arbeitsbedingungen durch das DGM MaaS-Plattformen.

5.5 Intelligente Straßenlaternen in der Smart City

Mit dem immer weiter fortschreitenden Einzug digitaler Geräte und Prozesse in den Alltag stehen auch die Städte und Kommunen unter Zugzwang, ihre Abläufe und Organisation mit den neuen technologischen Möglichkeiten zu erweitern und sich daraus ergebende Chancen zu nutzen. Mit einer verstärkten Nutzung von digitalen Anwendungen im Bereich der Stadtentwicklung wird daher angestrebt, das Stadtleben effizienter, inklusiver, gesünder, ressourcenschonender und insgesamt lebenswerter zu machen.

Unter dem Begriff „Smart City“ werden eine Vielzahl an Facetten und Richtungen dieses Wandels beschrieben, wobei in dieser Studie die Definition von Hilbig et al. herangezogen wird: „unter dem Begriff Smart-City [werden] alle Anwendungen zusammengefasst, die sich moderner Informations- und Kommunikationstechnologien bedienen, mit dem Ziel, durch ihre Nutzung ökonomische und/oder ökologische Vorteile im urbanen oder ländlichen Raum zu erzielen [444] [445].“

Ein besonders praktischer und bereits in Ansätzen verbreiteter Bestandteil von Smart-City-Strategien ist die intelligente Steuerung der Straßenbeleuchtung. Laut einer Studie von Bitkom [446] hat bis zum Jahr 2020 knapp jede zweite deutsche Großstadt den Einsatz von intelligenter Straßenbeleuchtung getestet (in verschiedenen innovativen Ausführungen). Mit der Allgegenwärtigkeit der knapp 10 Mio. Straßenlaternen in ganz Deutschland [447] kann durch deren Vernetzung der Alltag der Bevölkerung und eine Reihe von Nachhaltigkeitsfaktoren signifikant beeinflusst werden.

5.5.1 Motivation, Akteure und aktuelle Entwicklungen im Bereich Smart City

Wie bei „Smart City“ werden auch mit dem Begriff „smarte Straßenbeleuchtung“ unterschiedliche Entwicklungen der heutigen Straßenlaternen beschrieben. Einige Projekte beschreiben damit lediglich die Umrüstung von konventionellen Lichtquellen (etwa Natriumdampflampen) hin zu LED-Leuchten. Beispiele hierfür sind in der Stadt Soest, der Gemeinde Sersheim, der Stadt Köln und der Gemeinde Effeltrich zu finden [448]. Diese relativ einfache Aufrüstung hat zwar bereits einen signifikanten Einfluss auf den Stromverbrauch, erfüllt jedoch die oben zitierte Definition einer Smart-City-Anwendung nicht, da keinerlei Informations- oder Kommunikationstechnologie verwendet wird.

Mit smarterer Straßenbeleuchtung wird daher meistens ein System beschrieben, bei dem über Sensoren Verkehrsteilnehmer oder Fußgänger erkannt werden und die Beleuchtung entsprechend rund um diese erhöht wird. Dafür werden die Straßenlaternen oftmals mit LoRaWAN (Long Range Wide Area Networks) vernetzt [449], sodass Laternen auch vorausblickend erhellt werden können. Diese Vernetzung ermöglicht es auch, defekte Straßenlaternen von einer zentralen Leitstelle aus zu identifizieren und so gezielt Wartungsarbeiten durchzuführen. Projekte dieser Art kommen beispielsweise in Bergisch Gladbach [450], Lemgo [451], Darmstadt [452], Fürth [453], Münster [454] und Hamburg [455] zum Einsatz.

Auf einer dritten Innovationsstufe wird smartere Straßenbeleuchtung eine Rolle als Rückgrat vieler Smart-City-Anwendungen angedacht. Straßenlaternen sind eine flächendeckende Infrastrukturkomponente, die durch ihre Anwendung in Siedlungs- und Gewerbegebieten sowie bestehenden Anschlüssen an das lokale Stromnetz zu perfekten Trägern einer Vielzahl von zusätzlichen smarten Komponenten werden. Ideen für Funktionserweiterungen von Straßenlaternen umfassen beispielsweise die Bereitstellung von einem flächendeckenden WLAN-Netzwerk, intelligentes Parkplatzmanagement, dynamische Verkehrssignale (Schilder), Notfallhilfe, 5G-Funkmasten, Messungen der Umwelt, Verkehrsflussmessungen, Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge und eine gezielte Steuerung des Straßenlichts durch Anwohner.

Beispiele, die über eine simple adaptive Beleuchtung hinausgehen, gibt es z. B. in Dortmund [456] und der Gemeinde Schimberg [457], wobei beide Projekte punktuell ein öffentliches WLAN-Netzwerk über die Laternen etabliert haben. Daraus können sich wiederum Verbundeffekte für den weiteren Ausbau der smarten Beleuchtungsfunktionen ergeben (d. h. durch Anbindung an die höhere WLAN-Bandbreite anstatt LoRaWAN).

Abbildung 16 stellt die verschiedenen Stufen an smarterer Straßenbeleuchtung vereinfacht dar.



Abbildung 16: Stufen intelligenter Beleuchtung⁴⁹.

Zu den Unternehmen, die verschiedene Arten von intelligenten Straßenlaternen sowie die dazugehörige IT-Infrastruktur in Deutschland anbieten, zählen beispielsweise Alpha Omega Technology [459], Engie [460], Osram Licht AG [461], Philips [462], Phoenix Contact [463], Signify [464], Yunex Traffic [465] (Teil des Siemens-Konzerns), sowie Zenner [466].

5.5.2 Bewertung des Geschäftsmodells hinsichtlich Nachhaltigkeit und Chancen & Potenziale

Nachfolgend wird das DGM unter Anwendung des Analyserahmens (Kapitel 4.1) in Bezug auf seine Chancen und Potenziale ebenso wie seine ökonomische, ökologische und soziale Nachhaltigkeit bewertet.

Zur Eingrenzung der Bewertung liegt im Folgenden der Fokus auf der primären Funktion intelligenter Straßenlaternen, nämlich der automatischen (reaktiven) Ein- und Ausschalt- bzw. Dimmfunktion. Weitere Anwendungen und mögliche weitere Smart-City-Funktionalitäten ziehen jedoch zahlreiche weitere Chancen und Potenziale sowie Nachhaltigkeitsauswirkungen nach sich.

In diesem Unterabschnitt wird das DGM der intelligenten Straßenlaternen auf seine Chancen und Potenziale gemäß dem Analyserahmen bewertet. Wichtige Aspekte hierbei sind das Marktpotenzial, die Wirtschaftlichkeit und Zukunftsfähigkeit ebenso wie die Zugänglichkeit und Robustheit.

Dabei wurde die Bewertung auf Basis der folgenden Begründungen durchgeführt:

⁴⁹ Eigene Abbildung auf Basis von [458].

5.5.2.1 Indikatoren der Säule „Chancen und Potenziale“

Indikatoren		Bewertung
1	Marktpotenzial	1
2	Wirtschaftlichkeit	1
3	Zugänglichkeit	1
4	Robustheit	0
5	Zukunftsfähigkeit	1
Gesamtbewertung Säule „Chancen und Potenziale“		4

Tabelle 31: Bewertung des Geschäftsmodells intelligenter Straßenlaternen für die Einzelindikatoren in der Säule "Chancen und Potenziale".

Marktpotenzial

Die Nachfrage nach intelligenten Straßenlaternen und damit das Marktpotenzial für anbietende Unternehmen ergeben sich einerseits aus den erwarteten Kosteneinsparungen für Kommunen aufgrund der Reduktion im Stromverbrauch sowie andererseits den damit verbundenen Annehmlichkeiten und Zusatzanwendungen für Bürgerinnen und Bürger (erhöhtes Sicherheitsbefinden, Smart-City-Applikationen etc.).⁵⁰

Wie oben erwähnt, existieren in Deutschland ca. 10 Millionen Straßenlaternen, wovon der überwiegende Großteil bisher keine smarten Funktionen bietet. Ausgehend von Umrüstkosten von etwa 1000 Euro pro Leuchte⁵¹ (inklusive Material- und Installationskosten) ergibt sich ein Gesamtmarktpotenzial von circa 10 Milliarden Euro. Dieser Betrag berücksichtigt jedoch noch keine Zusatzdienstleistungen wie Wartungs- und Instandhaltungsverträge, welche oftmals gemeinsam mit der Beschaffung abgeschlossen werden und für anbietende Unternehmen Potenzial für signifikante und längerfristige Mehreinnahmen bieten.

Andererseits erfolgt eine Umrüstung von traditionellen Straßenlaternen auf smarte LED-Leuchten wohl nicht auf einmal, sondern über einige Jahre verteilt, weshalb das jährliche Umsatzpotenzial deutlich geringer zu schätzen ist. So liegt derzeit die jährliche Erneuerungsquote von Straßenlaternen in Deutschland bei gerade einmal 3 % [469]. Ein Anstieg auf 5 % würde eine jährliche Umrüstung von knapp 500.000 Laternen und damit ein jährliches Gesamtumsatzpotenzial von etwa 500 Millionen Euro bedeuten (exklusive Einnahmen durch Wartung, Reparatur etc. von bereits umgerüsteten Laternen).

An dieser Stelle soll erwähnt werden, dass die hier angenommenen Kosten die gesamte Laterne und nicht bloß deren (smarte) Digitalfunktionen umfassen. Der Unterschiedsbetrag zwischen den Kosten einer smarten Straßenlaterne und einer traditionellen (bzw. einer nicht-smarten LED-Lampe) ist daher geringer. Die Betrachtung der gesamten Lampe (und nicht nur ihrer smarten Komponenten) erscheint aufgrund der Erweiterbarkeit der Funktionalitäten sinnvoll.

Zusätzlich zur Installation und Wartung der smarten Laternen selbst, kann sich ein Einnahmepotenzial durch die Bereitstellung der zugrundeliegenden IT-Infrastruktur ergeben. Dieses bezieht sich etwa auf mögliche Datenübertragung, -speicherung, oder -nutzung sowie Einnahmen aus der

⁵⁰ Details siehe unten bei der Diskussion der Nachhaltigkeitsaspekte.

⁵¹ Siehe Kosten von ca. 1000 CHF pro Leuchtpunkt in der Schweizer Gemeinde Bözen in Aargauer Zeitung (2019) [467].

Investitionskosten in Bayern werden auf 500 bis 1500 Euro pro Leuchtstelle geschätzt [453].

Materialkosten (exklusive Installationskosten) der Teststrecke in Fürth lagen bei etwa 540 Euro pro Leuchte [452].

Bereitstellung der WLAN-Verbindung. Nicht zuletzt kann sich ein Einnahmenpotenzial aus der Bereitstellung und Inanspruchnahme von Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge ergeben.

Insgesamt ergibt sich aufgrund der bisher geringen Marktdurchdringung und der verschiedenen Einnahmenpotenziale (Installation, Wartung, IT-Infrastruktur, Funktion als Ladesäule) eine positive Bewertung im Hinblick auf die Kategorie „Marktpotenzial“.

Wirtschaftlichkeit

Während in Bezug auf Materialkosten die Gewinnmargen der anbietenden Unternehmen aufgrund von Wettbewerb eher gering anzunehmen sind, sind höhere Margen durch Installationsarbeiten und vor allem durch nachgelagerte Wartungs-, Service- und Instandhaltungsverträge möglich. So könnte eine Verkaufsstrategie etwa sein, die Straßenlaternen selbst mit geringen Gewinnaufschlägen zu vertreiben und die Profitabilität durch derartige „Aftermarket Sales“ zu erhöhen.

Es existieren bereits mehrere Anbieter intelligenter Straßenlaternen und damit ein gewisser Wettbewerb zwischen diesen. Da es sich jedoch hierbei um ein technologisiertes Produkt mit damit verbundenen Fixkosten und Markteintrittsbarrieren handelt, ist keine Situation mit sehr vielen verschiedenen kleinen Anbietern (nahe des Ideals des „perfekten Wettbewerbs“) abzusehen. Dies lässt eine gewisse, wenn auch beschränkte, Markt- und Preissetzungsmacht einzelner Anbieter erwarten, was wiederum positive Gewinnmargen für diese mit sich bringt.

Derzeit ist die Technologie noch relativ jung und daher entsprechend kostspielig. Im Laufe der nächsten Jahre und vor allem bei weiterer Verbreitung und damit erhöhten Produktionsvolumina von intelligenten Straßenlaternen ist überdies mit Skaleneffekten, d. h. verringerten Stückkosten bei Steigerung der Produktionsmenge, sowie Kostensenkungen aufgrund von effizienteren Produktionsmethoden zu rechnen. Je nach Entwicklung des Wettbewerbs im Markt können derartige Kostensenkungen teils an Kunden in Form von Preissenkungen weitergegeben werden bzw. die Gewinnmargen der Anbieter erhöhen.

Insgesamt ergibt sich eine positive Bewertung in Bezug auf die Kategorie „Wirtschaftlichkeit“.

Zugänglichkeit

Eine Eigenheit von (intelligenten) Straßenlaternen ist, dass diese grundsätzlich von Städten und Gemeinden und nur in Ausnahmefällen direkt von Individuen oder privatwirtschaftlichen Unternehmen nachgefragt werden. Die Kategorie „Zugänglichkeit“ muss sich daher gewissermaßen auf die Nachfrage öffentlicher Institutionen beziehen. Da Kommunen jedoch ihre Bürger repräsentieren und im Idealfall deren demokratischen Willen und Präferenzen umsetzen, ergibt sich wiederum die Notwendigkeit der Akzeptanz und des Interesses an intelligenten Straßenlaternen vonseiten der betroffenen Individuen.

Obleich technologisch fortgeschritten, erscheinen die Funktionsweise und die Vorteile von smarten Straßenlaternen (reaktive Ein- und Ausschaltung bzw. Dimmfunktion) für die betroffenen Einwohner relativ leicht verständlich und erklärbar. Signifikante Strom- und damit Kosteneinsparungen, Erhöhung der Sicherheit von Verkehrsteilnehmern und Fußgängern sowie potentiell ruhigere (dunklere) Nächte sind Vorteile, die wohl von zahlreichen Bürgerinnen und Bürgern als attraktiv erachtet werden. Jedoch ist fraglich, ob sich das Interesse vonseiten der Einwohner von selbst entwickelt (d. h. Bürger informieren sich selbst). Wahrscheinlicher ist, dass die Bürger erst durch deren Vertreter oder anderweitige Werbung über diese Vorteile informiert werden müssen, um eine Nachfrage vonseiten der Bürger zu generieren. Aufgrund dieser Informationsasymmetrie erscheint plausibel, dass die kommunale Nachfrage nach intelligenten Straßenlaternen stärker von den jeweiligen Repräsentanten („top down“) anstatt durch direkte Nachfrage der Bürger („bottom up“) getrieben wird.

In Bezug auf die geografische Zugänglichkeit des Geschäftsmodells gilt, dass dieses sowohl in urbanen als auch ländlichen Regionen erfolgreich eingesetzt werden kann. Aufgrund der höheren Dichte an öffentlicher Straßenbeleuchtung in Städten ist eine stärkere Nachfrage nach intelligenten

Straßenlaternen in urbanen Räumen denkbar. Jedoch kann die automatische (reaktive) Dimmung insbesondere in weniger frequentierten (d. h. tendenziell ländlicheren) Gebieten nützlich sein und sich das Stromeinsparpotenzial dort aufgrund von längeren Dunkelphasen als besonders bedeutend erweisen.

Insgesamt ergibt sich damit eine positive Bewertung des Indikators „Zugänglichkeit“.

Robustheit

Die Bewertung der Robustheit intelligenter Straßenlaternen hängt von deren jeweiligen Funktionalitäten ab. Generell werden LED-Leuchten (auch nicht-smarte) als zuverlässiger und langlebiger als traditionelle Leuchten gesehen. Da intelligente Straßenlaternen meist LED-Lampen nutzen, ergibt sich allein daraus eine Reduktion an notwendigen Wartungs- und Reparaturarbeiten (zusätzlich zu den signifikanten Stromeinsparungen).⁵² Dieser Aspekt der Umrüstung erhöht daher die Robustheit der Straßenlaternen.

Andere Komponenten smarter Straßenlaternen können jedoch auch ein potentielles Risiko bzw. eine Reduktion der Robustheit mit sich bringen. Generell bringt jede smarte Funktionalität bzw. Sensorik ein zusätzliches Fehlerpotenzial und Ausfallsrisiko im Vergleich zu einer nicht-smarten Leuchte mit sich. Einerseits kann die Sensorik fehlerhaft sein und damit die Hauptfunktionalität der Laterne beeinträchtigt werden. Um unerwünschte Dunkelphasen aufgrund von ausgefallener Sensorik zu verhindern, sollte die Laterne so programmiert werden, dass diese im Falle eines Defekts der Sensorik beleuchtet bleibt. Andererseits ergeben sich zusätzliche Risiken durch die mögliche Netzwerkverbindung der Laterne. Besonders das Bestehen von WLAN- oder 5G-Verbindungen der Straßenbeleuchtung macht diese anfällig für Netzwerkausfälle oder gezielte Hackerangriffe.

Aufgrund der sowohl positiven als auch negativen Aspekte in puncto Robustheit ergibt sich insgesamt eine neutrale Bewertung.

Zukunftsfähigkeit

Während einige deutsche Städte und Gemeinden bereits intelligente Straßenlaternen testen und eine wachsende Anzahl derartiger Projekte existieren (s.o.), ist derzeit aufgrund der damit verbundenen Investitionskosten noch kein massenhafter Trend der Umrüstung auf smarte Straßenbeleuchtung erkennbar. Generell sind Smart-City-Anwendungen relativ neuartige Konzepte mit erheblichem Wachstumspotenzial in den kommenden Jahren und Jahrzehnten.⁵³

Andererseits ist das Wachstumspotenzial des Geschäftsmodells gewissermaßen durch die Gesamtzahl der Straßenlaternen in Deutschland limitiert. Die Anzahl von derzeit knapp 10 Millionen Laternen wird wohl in naher Zukunft nur geringfügig anwachsen. Deutlich geringere Stromkosten sowie die Möglichkeit längerer Dunkelphasen könnten zu einer gewissen Erhöhung der Zahl der Leuchtkörper führen – eine deutliche Erhöhung der Gesamtzahl erscheint jedoch nicht absehbar.

Weitere mögliche Funktionalitäten intelligenter Straßenlaternen als Teil der Smart City (die Spitze der Pyramide in Abbildung 16) bringen jedoch bedeutendes Zukunftspotenzial und damit Wachstumsmöglichkeiten mit sich. Zukünftige Anwendungen wie die Nutzung als 5G-Masten, Ladestationen für Elektrofahrzeuge, intelligentes Parkplatzmanagement oder die Messung von Verkehr und Umwelteinflüssen bergen enormes, und derzeit noch schwer absehbares, Nutzungs- und Erlöspotenzial für die Anbieter dieser Lösungen.

Die Vermarktung von Straßenlaternen mit smarter Sensorik könnte für die bereitstellenden Unternehmen zudem als Enabler für die genannten, technologisch fortschrittlicheren Smart-City-Anwendungen fungieren und damit die Basis für signifikante zukünftige Erlöspotenziale bilden.

⁵² Siehe etwa für das Projekt in der Stadt Bergisch Gladbach: [470]

⁵³ Vgl. [471]

Insgesamt betrachtet ergibt sich demnach eine positive Bewertung im Hinblick auf die Zukunftsfähigkeit des Geschäftsmodells.

5.5.2.1 Indikatoren der Säule „Ökonomische Nachhaltigkeit“

Als erster Indikator zur allgemeinen Nachhaltigkeit des Geschäftsmodells findet eine Bewertung der ökonomischen Nachhaltigkeit statt.

Indikatoren		Bewertung
1	Wertschöpfung	1
2	Arbeitsmarkt	0
3	Gehaltsgefüge	0
4	Wettbewerb	0
5	Förderung lokaler Wirtschaft	0
Gesamtbewertung Säule „Ökonomische Nachhaltigkeit“		1

Tabelle 32: Bewertung des Geschäftsmodells intelligenter Straßenlaternen für die Einzelindikatoren in der Säule "Ökonomische Nachhaltigkeit".

Dabei wurde die Bewertung auf Basis der folgenden Begründungen durchgeführt:

Wertschöpfung

Intelligente Straßenlaternen können auf verschiedene Arten die nationale Wertschöpfung erhöhen. Einerseits führen diese gewissermaßen mechanisch aufgrund deren höheren Anschaffungspreises im Vergleich zu traditionellen Laternen zu einer Erhöhung des Bruttoinlandsprodukts (unter der Annahme einer gleichbleibenden Nachfrage). Die Höhe des Effekts hängt unter anderem davon ab, ob die Entwicklung und Fertigung der smarten Laternen innerhalb oder außerhalb Deutschlands erfolgt. Eine Fertigung im Inland würde einen stärkeren gesamtökonomischen Effekt bedeuten. Zudem würde eine solche zu Chancen für zusätzliche deutsche Exporte führen. Eine Fertigung im Ausland hingegen würde die Importe erhöhen. Generell ist der erwartete Effekt auf das deutsche BIP sowie die Handelsbilanz in sämtlichen Szenarien gering.

Potentiell stärkere, wenn auch derzeit schwer absehbare, Auswirkungen auf die wirtschaftliche Wertschöpfung könnten weitere Funktionalitäten von Straßenlaternen als Teil der Smart City nach sich ziehen. So könnten etwa 5G-Masten oder Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge als Enabler für Fortschritt und Innovationen in anderen Sektoren wirken. Generell würde eine Verbesserung der digitalen Infrastruktur Deutschlands wirtschafts- und damit wohlförderungswirksam wirken.

Ein weiterer potentiell wirtschaftsfördernder Effekt ergibt sich aus den erwarteten Kosteneinsparungen für Gemeinden aufgrund der Reduktion des Stromverbrauchs. So machen Straßenbeleuchtungskosten etwa 35 % der gesamten kommunalen Stromkosten aus. Der Deutsche Städte- und Gemeindebund schätzt das Einsparpotenzial einer bloßen Umrüstung auf moderne LED-Leuchten (ohne smarte Funktionen) bundesweit auf bis zu 400 Millionen Euro pro Jahr [472]. Eine Umrüstung auf intelligente Leuchten würde daher zu noch höheren Einsparungspotenzialen führen.⁵⁴ Die damit eingesparten Kosten (abzüglich höherer Anschaffungskosten)⁵⁵ könnten Kommunen für anderweitige Ausgaben und Investitionen nutzen, welche einen potentiell stärker wirtschaftsfördernden Effekt als Ausgaben für Stromkonsum mit sich bringen.

⁵⁴ Dies ergibt sich aus dem erhöhten Stromsparpotenzial von intelligenten Straßenleuchten im Vergleich zu nicht-smarten LED-Leuchten. Siehe Näheres unten.

⁵⁵ (Intelligente) LED-Leuchten sind grundsätzlich mit höheren Anschaffungskosten im Vergleich zu traditionellen Natriumdampflampen verbunden.

Der Effekt der hier im Fokus stehenden Funktionalität intelligenter Straßenlaternen (reaktive Dimmungsfunktion) erscheint gesamtwirtschaftlich eher geringfügig. Da jedoch weitere positive Auswirkungen durchaus denkbar sind, ergibt sich insgesamt eine positive Bewertung im Hinblick auf die Wertschöpfung.

Arbeitsmarkt

Die Auswirkungen auf den deutschen Arbeitsmarkt hängen ebenso wie jene, die auf die wirtschaftliche Gesamtproduktion wirken, teils davon ab, welcher Anteil der gesamten Wertschöpfungskette im Inland durchgeführt wird. Erfolgt die Entwicklung und Fertigung in Deutschland, hat dies eine geringfügig erhöhte Nachfrage nach qualifiziertem (technischen) Personal zur Folge.

Unabhängig von der Fertigung im In- oder Ausland führen die Installation, Wartung, Reparatur und sonstige mit intelligenten Straßenlaternen verbundene Dienstleistungen wohl zu einem gewissen Anstieg der Nachfrage nach technisch qualifizierten Fachkräften, da diese Dienstleistungen tendenziell ein höheres Ausbildungsniveau erfordern als jene in Bezug auf traditionelle Laternen. Andererseits könnte es dadurch zu einem leichten Verdrängungseffekt von weniger geschulten Arbeitnehmern kommen, welche für die Instandhaltung traditioneller Straßenlaternen zuständig sind. Stärkere Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt als jene der Umrüstung der Laternen auf reaktive Sensorik sind durch weitere Funktionen im Rahmen der Smart City zu erwarten – insbesondere eine erhöhte Nachfrage nach Arbeitnehmern im IT-Sektor. Diese Effekte sind aber zu diesem Zeitpunkt noch spekulativ.

Insgesamt scheinen die absehbaren Auswirkungen auf den deutschen Arbeitsmarkt potentiell leicht positiv, jedoch so geringfügig zu sein, dass sich eine neutrale Bewertung ergibt.

Gehaltsgefüge

Die Auswirkungen des Geschäftsmodells intelligenter Straßenlaternen auf das Gehalts- und Lohngefüge hängen von den oben beschriebenen Effekten in Bezug auf die Wertschöpfung sowie den Arbeitsmarkt ab. Der erwartete Effekt ist damit größer, je innovativere smarte Funktionen in die Straßenlaterne integriert werden.

Erhöht sich beispielsweise aufgrund von gestiegenen Jobanforderungen die Nachfrage nach hochqualifizierten Technikern oder Fachkräften (s.o.) bei kurzfristig gleichbleibendem Arbeitsangebot⁵⁶, so hat dies einen erwarteten Gehaltsanstieg für jene Berufsgruppen zur Folge. Etwaige Verdrängungseffekte von weniger qualifizierten Tätigkeiten würden wiederum einen negativen Effekt auf deren Lohnniveau mit sich bringen.

Beide Effekte erscheinen in Bezug auf das generelle Einkommensniveau allerdings relativ marginal, weshalb von einer neutralen Bewertung ausgegangen werden kann.

Wettbewerb

Die Auswirkungen des Geschäftsmodells auf die Marktstruktur und den Wettbewerb verschiedener Anbieter vergleichbarer Lösungen hängen, wie in Abschnitt 4.2.2.4 beschrieben, zu einem großen Teil von der dafür verwendeten Technologie und damit verbundenen Markteintrittsbarrieren, Skalen- und Netzwerkeffekten ab.

Aufgrund der verwendeten Rohstoffinputs sowie digitalen Technologie intelligenter Straßenlaternen ergeben sich gewisse Eintrittshürden, welche einen einfachen Markteintritt zahlreicher kleiner Anbieter unwahrscheinlich erscheinen lassen. Jedoch sind diese Schranken wohl nicht so massiv, dass eine Konzentration auf wenige große Anbieter (Oligopol) oder gar ein Monopol in diesem Markt wahrscheinlich wäre. Ein gesunder Wettbewerb mehrerer Anbieter aus dem In- und Ausland, wie auch derzeit bereits erkennbar (siehe im Markt aktive Unternehmen oben), erscheint auch län-

⁵⁶ Längerfristig würde sich bei dauerhaft gestiegener Nachfrage erwartungsgemäß auch das Arbeitsangebot erhöhen (durch Bildung, Umschulung etc.), was dem Gehaltsanstieg entgegenwirken würde.

gerfristig in Bezug auf intelligente Straßenlaternen mit automatischer Sensorik als das wahrscheinlichste Szenario. Es ist davon auszugehen, dass die bestehenden Unternehmen weiterhin im Markt aktiv bleiben und mit der technologischen Entwicklung mithalten.

Ein etwas größeres Risiko einer zukünftig stärkeren Marktkonzentration ergibt sich in Bezug auf fortgeschrittenere Anwendungen als Teil der Smart City. Applikationen wie Verkehrs- und Umwelteinflussmessung oder intelligentes Parkplatzmanagement erfordern die Verarbeitung und Speicherung von Daten. Oftmals hängt die Qualität der angebotenen datenbasierten Services von der Anzahl an bisher gesammelten Daten ab. Auf diese Weise könnten sich Netzwerkeffekte ergeben, welche großen Anbietern, die beträchtliche Datenmengen sammeln, einen kompetitiven Vorteil gegenüber kleineren oder neu eintretenden Anbietern verschaffen.⁵⁷ Überdies sind Skaleneffekte in der Zentralisierung der Datenspeicherung für Straßenlaternen in mehreren Städten denkbar. Dies könnte somit zu einer stärker konzentrierten Marktstruktur mit wenigen mächtigen Unternehmen und damit potentiell höheren Preisen führen.

Aufgrund der positiven erwarteten Wettbewerbssituation in Bezug auf die automatische Dimmungsfunktion von intelligenten Straßenlaternen und möglichen Risiken bei weiterführenden datengetriebenen Applikationen ergibt sich in der Gesamtschau eine neutrale Bewertung im Hinblick auf diesen Indikator.

Förderung lokaler Wirtschaft

Die erwartete Reduktion im Stromverbrauch (aufgrund von LED-Leuchten sowie längeren Dunkelphasen bei geringer Frequenz) könnte Straßenlaternen auch an wenig frequentierten Orten sinnvoll bzw. ökonomisch tragbar machen, an denen sich derzeit traditionelle Laternen nicht lohnen würden. Zudem könnten intelligente Straßenlaternen die Umgebung bei Frequentierung stärker beleuchten als es traditionelle Laternen tun, welche, unabhängig von der Frequentierung, immer ein konstantes Lichtniveau emittieren.

Dies würde die betroffenen Straßenzüge, vor allem in ländlichen Gebieten, für Fußgänger attraktiver machen, wovon auch die dort ansässigen lokalen Einzelhändler und Gastronomie profitieren könnten. Der Gesamteffekt erscheint jedoch sehr gering.

Weitere Funktionalitäten intelligenter Straßenlaternen als Teil der Smart City, wie zum Beispiel 5G-Masten und Ladestationen für Elektrofahrzeuge, würden als Upgrade der lokalen Infrastruktur die Attraktivität von Innenstädten erhöhen. Die daraus resultierende erhöhte Frequentierung könnte der dortigen lokalen Wirtschaft, welche im Wettbewerb mit dem steigenden Onlinehandel steht, zum Vorteil gereichen.

Die erwarteten Effekte auf die lokale Wirtschaft werden jedoch wohl gering ausfallen, sodass sich eine neutrale Bewertung dieses Indikators ergibt.

5.5.2.2 Indikatoren der Säule „Ökologische Nachhaltigkeit“

Als nächster Indikator wird die ökologische Nachhaltigkeit inklusive der Auswirkung des DGM auf Treibhausgasemissionen, der Kreislaufwirtschaft und dem Material- und Energieverbrauch bewertet.

Dabei wurde die Bewertung auf Basis der folgenden Begründungen durchgeführt:

⁵⁷ Die Bedeutung von Netzwerkeffekten hängt von der Ausgestaltung des Geschäftsmodells in Bezug auf die Datennutzung ab. Sie sind stärker ausgeprägt, falls die gesammelten Daten vom Laternenbetreiber (dem Unternehmen) genutzt und weiterarbeitet werden. Falls diese hingegen in der Hand des Kunden (der Kommune) liegen, ist dieser Aspekt weniger relevant.

Treibhausgasemissionen

Der ökologische Fußabdruck von Straßenlaternen ergibt sich größtenteils durch den Stromverbrauch während des Betriebs (siehe Näheres weiter unten). Die mit der Herstellung und Entsorgung verbundenen Treibhausgasemissionen treten vergleichsweise in den Hintergrund [473].

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit⁵⁸ förderte zwischen 2008 and 2013 rund 1.040 Projekte zur Umrüstung traditioneller Straßenleuchten auf LED-Leuchten.

Indikatoren		Bewertung
1	Treibhausgasemissionen	2
2	Energieverbrauch	2
3	Materialverbrauch	1
4	Kreislaufwirtschaft	-1
5	Paris Alignment	2
Gesamtbewertung Säule „Ökologische Nachhaltigkeit“		6

Tabelle 33: Bewertung des Geschäftsmodells intelligenter Straßenlaternen für die Einzelindikatoren in der Säule "Ökologische Nachhaltigkeit".

Dabei wurden circa 216.000 Leuchten in etwa 920 Städten und Gemeinden neu installiert. Über die gesamte Lebensdauer der Laternen, die durchschnittlich etwa 20 Jahre beträgt, erzielen diese Projekte eine geschätzte Reduktion von Treibhausgasemissionen (gemessen in CO_{2e}) von rund 850.000 Tonnen [474].

Dies ergibt ein Einsparpotenzial von knapp 4 Tonnen an Treibhausgasemissionen pro Straßenlaterne über deren Lebensdauer, welche auf LED (ohne smarte Funktionen) umgerüstet wird. Hochgerechnet auf die knapp 10 Millionen Straßenlaternen in Deutschland errechnet sich damit ein Gesamteinsparpotenzial von etwa 39 Millionen Tonnen über einen Lebenszyklus von durchschnittlich 20 Jahren bzw. eine mögliche Einsparung von knapp 2 Millionen Tonnen jährlich.

Diese Schätzung reflektiert jedoch nur die Umrüstung auf LED-Lampen und berücksichtigt damit nicht die bedeutenden weiteren Stromsparpotenziale einer Umrüstung auf smarte LED-Leuchten mit automatischer Ein- und Ausschalt- bzw. Dimmungsfunktion (siehe unten). Das Gesamtpotenzial einer Umrüstung auf smarte Straßenlaternen liegt damit über den hier genannten Schätzungen.⁵⁹ Hingegen würde eine ausschließliche Betrachtung des inkrementellen Effekts der Smartness der Lampe (d. h. ohne den Effekt der Umrüstung auf nicht-smarte LED-Leuchten) zu einem geringeren Einsparpotenzial führen.

Aus diesen Gründen fällt die Bewertung im Hinblick auf den Indikator „Treibhausmissionen“ sehr positiv aus.

Energieverbrauch

Die knapp 10 Millionen Straßenlaternen in Deutschland verbrauchen gemeinsam etwa 4 Terrawattstunden (4 Milliarden Kilowattstunden) an Strom [469]. Der gesamte Nettostromverbrauch

⁵⁸ Nunmehr "Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz" (BMUV): <https://www.bmuv.de/>

⁵⁹ Dieses erhöhte Gesamtpotenzial ergibt sich aus einer möglichen weiteren Stromersparnis um bis zu 50 % gegenüber (nicht-smarten) LED-Laternen (siehe unten). Angenommen, dass sich die hier präsentierten Schätzungen auf eine Reduktion um 75 % durch die Umstellung auf LED beziehen, würde eine weitere Reduktion um 50 % eine Gesamtreduktion um 87,5 % ergeben. Bei gleichbleibender Lebensdauer der Lampe würde dies ein Gesamteinsparungspotenzial von etwa 45,5 Millionen Tonnen an Treibhausgasemissionen über den gesamten Lebenszyklus bzw. von 2,3 Millionen Tonnen pro Jahr bedeuten.

Deutschlands betrug im Jahr 2019 518 Terawattstunden.⁶⁰ Damit macht die Straßenbeleuchtung knapp unter 1 % des Gesamtstromverbrauchs aus.

Alleine durch die Umrüstung auf moderne, jedoch nicht-smarte LED-Leuchten ergibt sich ein enormes Stromsparpotenzial. Manche Schätzungen gehen von einer Reduktion um bis zu 80 % aus [472]. Bereits umgesetzte Projekte erzielten eine durchschnittliche Stromeinsparung von 75 %.⁶¹

Die Umrüstung auf smarte LED-Leuchten, welche sich in frequenzlosen Perioden ausschalten bzw. die Beleuchtung auf ein Minimum dimmen, führen zu einem noch deutlich geringeren Stromverbrauch aufgrund der zusätzlichen Dunkelzeiten. So wird etwa von einer weiteren Energieeinsparung um bis zu 50 % gegenüber gewöhnlichen (nicht-smarten) LED-Laternen ausgegangen [458]. Nach Herstellerangaben kann insgesamt eine Energieeinsparung durch die Nutzung von smarten LED-Lampen im Vergleich zu traditionellen Nicht-LED-Laternen von bis zu 95 % erreicht werden [469].

Eine konservative Annahme einer 80 %igen Stromeinsparung durch smarte LED-Lampen im Vergleich zu traditionellen Straßenlaternen würde basierend auf dem derzeitigen Gesamtstromverbrauch durch Straßenlaternen in Deutschland zu einer Reduktion um 3,2 Terrawattstunden (3,2 Milliarden Kilowattstunden) pro Jahr führen.

Im Falle von fortgeschrittenen datengetriebenen Smart-City-Anwendungen muss ebenso die dafür notwendige Hintergrundinfrastruktur (Internetanbindung, zusätzliche Serverleistung in Rechenzentren etc.) mitberücksichtigt werden. Die Verarbeitung des entstehenden Datenvolumens könnte zusätzliche Energie verbrauchen (entweder lokal im Gerät selbst oder durch dafür notwendige Server). Jedoch erscheint der benötigte zusätzliche Energiebedarf (im Sinne einer inkrementellen Betrachtung) verhältnismäßig gering.

Vor dem Hintergrund der komplementären Bedeutung dieses Indikators mit dem vorherigen Indikator „Treibhausgasemissionen“ ist anzumerken, dass der Effekt auf die Treibhausgasemissionen vom jeweiligen Strommix abhängt (d. h. aus welchen Energieträgern die genutzte Energie stammt). So würde etwa eine vollständige Versorgung mit Ökostrom mangels Emissionen zu einer neutralen Bewertung im Hinblick auf den Indikator „Treibhausgasemissionen“ führen. Der Indikator „Energieverbrauch“ ist von der Frage des Strommix hingegen unberührt.

Insgesamt wird daher der Indikator „Energieverbrauch“ sehr positiv bewertet.

Materialverbrauch

Im Vergleich zu traditionellen Natriumdampflampen haben (nicht-smarte) LED-Leuchten eine erheblich längere Lebensdauer. Sie halten mit einer mittleren Lebensdauer von 50.000 Stunden im Schnitt mehr als 3 Mal so lange wie traditionelle Leuchten, welche eine durchschnittliche Lebensdauer von 15.000 Stunden haben können. Überdies haben LED-Lampen deutlich geringere Lichtverluste über diesen Zeitraum [477]. Smarte LED-Leuchten, welche sich in frequenzlosen Zeiten ausschalten bzw. stark dimmen, haben aufgrund zusätzlicher Dunkelphasen eine noch längere Lebensdauer und müssen daher seltener ausgetauscht werden.

Intelligentes Monitoring und die automatische (frühzeitige) Erkennung von technischen Defekten könnten überdies die Lebensdauer der Leuchten erhöhen (durch Reparatur anstatt vollständigem Austausch) und damit den Materialverbrauch verringern. Andererseits könnten smarte Komponenten aufgrund ihrer erhöhten Komplexität schwieriger auszutauschen sein.

Etwaige weitere Funktionalitäten als Teil der Smart City (z. B. Ladestationen für Elektroautos, datenbasierte Dienste) würden aufgrund der notwendigen technischen Komponenten zu zusätzlichen

⁶⁰ Nettostromverbrauch bezeichnet die von Verbrauchern genutzte elektrische Arbeit nach Abzug des Eigenbedarfs der Kraftwerke und der Übertragungs- bzw. Netzverluste [458].

⁶¹ Siehe etwa das Projekt in der Stadt Soest [476].

Rohstoffinputs und damit einem erhöhten Materialverbrauch im Vergleich zu nicht-smarten Leuchten führen. Des Weiteren wäre eine frühere Obsoleszenz aufgrund von technologischem Fortschritt und schnelleren Produktlebenszyklen in Bezug auf die smarten Komponenten denkbar. Die Größenordnung dieser Effekte hängt dabei von der spezifischen Anwendung ab.

Insgesamt ergibt sich dank der stark erhöhten Lebensdauer von LED-Leuchten, welche Teil intelligenter Straßenbeleuchtung sind, sowie geringerer Nutzungsintensität aufgrund zusätzlicher Dunkelphasen eine positive Bewertung im Hinblick auf den Materialverbrauch.

Kreislaufwirtschaft

Es ist davon auszugehen, dass sich die Umrüstung auf Straßenlaternen mit smarter Sensorik aufgrund der fortschrittlicheren Technologie und der dafür notwendigen technischen Komponenten tendenziell leicht negativ auf die Recyclingquote sowie die Nutzung von Sekundärrohstoffen⁶² auswirken könnte. Zusätzliche Anwendungen als Teil der Smart City würden diesen Effekt wohl verstärken. Die konkrete Größenordnung dieser Auswirkungen ist jedoch schwer quantifizierbar.

Insgesamt erfolgt damit eine negative Bewertung im Hinblick auf den Indikator „Kreislaufwirtschaft“.

Paris Alignment

Wie bereits oben bei den Indikatoren „Treibhausgasemissionen“ sowie „Energieverbrauch“ erwähnt, kann eine großangelegte Umrüstung auf LED-Straßenlaternen mit intelligenter Sensorik erhebliche Einsparungen im Stromverbrauch und damit eine signifikante Verringerung an Treibhausgasemissionen (gemessen in CO₂e) in Deutschland über die kommenden Jahre und Jahrzehnte bewirken.

Es ist zu erwarten, dass die steigende Dringlichkeit einer umfassenden und effektiven Klimaschutzpolitik die Nachfrage nach ökologisch nachhaltiger Straßenbeleuchtung vonseiten der politischen Akteure auf verschiedenen Ebenen (Bund, Länder und Kommunen) weiter steigen lässt. So gibt es derzeit bereits Förderprogramme vonseiten des Bundes, um Städte und Gemeinden bei der Umrüstung finanziell zu unterstützen. Siehe etwa die LED-Leitmarktinitiative des BMUV aus 2019, welche explizit ein großes Klimaschutzpotenzial im Bereich künstlicher Beleuchtung sieht [479].

Weitere Anwendungen intelligenter Straßenlaternen als Teil der Smart City, wie etwa Ladestationen für Elektrofahrzeuge, stellen überdies wichtige Infrastruktur für nachhaltigere E-Mobilität zur Verfügung und tragen dadurch auch indirekt zur Emissionsreduktion bei. Integrierte Applikationen zur Feinstaubmessung können die Datenbasis für feinstaubreduzierende Maßnahmen liefern. Generell können intelligente Straßenlaternen mit ihren potentiell vielseitigen Funktionalitäten ein wichtiger Pfeiler einer smarten und klimaneutralen Stadt der Zukunft sein.

Die Modernisierung der deutschen Straßenbeleuchtung kann einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der deutschen Klimaziele leisten. Aus diesem Grund ergibt sich eine sehr positive Bewertung im Hinblick auf den Indikator „Paris Alignment“.

5.5.2.3 Indikatoren der Säule „Soziale Nachhaltigkeit“

Im Folgenden wird der letzte Aspekt im Rahmen der Nachhaltigkeit des DGM intelligenter Straßenlaternen bewertet – die soziale Nachhaltigkeit.

Dabei wurde die Bewertung auf Basis der folgenden Begründungen durchgeführt:

⁶² Sekundärrohstoffe beschreiben durch Recycling gewonnene Rohstoffe. Siehe bspw. [478].

Indikatoren		Bewertung
1	Sozialgeographische Ungleichheit	0
2	Sozioökonomische Ungleichheit	1
3	Lieferkettensorgfalt	-1
4	Lebensqualität	2
5	Sicherheit	1
Gesamtbewertung Säule „Soziale Nachhaltigkeit“		3

Tabelle 34: Bewertung des Geschäftsmodells intelligenter Straßenlaternen für die Einzelindikatoren in der Säule "Soziale Nachhaltigkeit".

Sozialgeographische Ungleichheit

Intelligente Straßenlaternen können sowohl in urbanen als auch ländlichen Gebieten erfolgreich eingesetzt werden. In Bezug auf die Umrüstung auf (nicht notwendigerweise smarte) LED-Lampen ergibt sich in Städten aufgrund der höheren Anzahl an Lichtpunkten ein größeres Stromsparmotenzial. Jedoch kann gerade die intelligente Sensorik smarterer Laternen, also die Ausschaltung bzw. Dimmung in frequenzlosen Zeiten, einen stärkeren Effekt in ländlicheren und generell schwächer frequentierten Gebieten haben. Einerseits kann es dort zu längeren Dunkelphasen und der damit verbundenen Reduktion des Stromverbrauchs kommen, andererseits könnten sich, wie oben erwähnt, in manchen Gebieten smarte, adaptive Straßenlaternen lohnen, wo durchgängig leuchtende traditionelle Laternen nicht ökonomisch sinnvoll wären.

Weitere Funktionalitäten als Teil der Smart City (etwa WLAN-Netzwerke, intelligentes Parkplatzmanagement) sind wohl generell relevanter in urbanen Räumen und könnten teilweise nur in dicht besiedelten Gebieten wirtschaftlich sinnvoll betrieben werden.

In der Gesamtbetrachtung ist zu erwarten, dass intelligente Straßenlaternen räumliche Ungleichheiten sowie das Stadt-Land-Gefälle in Deutschland nicht wesentlich beeinflussen bzw. reduzieren werden. Es ergibt sich daher eine neutrale Bewertung im Hinblick auf den Indikator „Sozialgeographische Ungleichheit“.

Sozioökonomische Ungleichheit

Die bedeutenden Stromsparmotenziale, die durch eine Umrüstung auf intelligente Straßenbeleuchtung realisierbar sind, könnten die Haushalte deutscher Kommunen signifikant entlasten. Wie oben erwähnt, wird das Einsparpotenzial alleine einer Umrüstung auf (nicht-smarte) LED-Lampen auf 400 Millionen Euro pro Jahr geschätzt [472]. Freilich müssen die dafür notwendigen anfänglichen Investitionen in moderne Laternen mitberücksichtigt werden, jedoch amortisieren sich diese innerhalb von geschätzten 10 Jahren [469].

Einkommensschwächere Haushalte profitieren generell stärker als einkommensstarke Schichten von öffentlichen Dienstleistungen und den damit verbundenen Ausgaben. Unter der Annahme, dass die durch die Stromeinsparungen freiwerdenden Mittel anderweitig eingesetzt werden, würden daher sozioökonomisch benachteiligte Individuen erwartungsgemäß überproportional von den damit finanzierten zusätzlichen Leistungen profitieren.

Überdies könnten weitere Anwendungen intelligenter Straßenlaternen als Teil der Smart City, wie etwa öffentliche WLAN-Hotspots, sozial schwächeren Personen verhältnismäßig stärker zugutekommen, da diese eventuell mit einer geringeren Wahrscheinlichkeit privat über diese Infrastruktur verfügen.

Aus diesen Gründen könnte die Umrüstung auf intelligente Straßenlaternen in gewisser, wenn auch limitierter, Weise die sozioökonomische Ungleichheit in Deutschland verringern, woraus sich eine positive Bewertung in Bezug auf diesen Indikator ergibt.

Lieferkettensorgfalt

Je nach integrierter Funktionalität erfordern smarte Straßenlaternen aufgrund der notwendigen digitalen Komponenten zusätzliche Materialinputs verglichen mit traditioneller Beleuchtung. Die dafür nötigen Rohstoffe würden in vielen Fällen importiert werden müssen, woraus sich gewisse Risiken in Bezug auf die Menschenrechts- und Arbeitnehmerschutzstandards in der Lieferkette ergeben. Dies wäre wohl insbesondere bei potentiell notwendigen Computerchips und den dafür in der Produktion verarbeiteten Metallen der seltenen Erden der Fall.

In Bezug auf mit intelligenten Straßenlaternen zusammenhängenden Dienstleistungen wie Installation, Wartung, Reparatur etc. bestehen aufgrund der Tätigkeit und Anstellung im Inland bzw. ggfs. EU-Ausland geringere derartige Risiken.

Gesamt betrachtet ergibt sich aufgrund der möglichen Risiken, welche mit dem Rohstoff- bzw. Materialimport verbunden sind, eine (leicht) negative Bewertung dieses Indikators.

Lebensqualität

Intelligente Straßenlaternen können sich auf verschiedene Arten auf die Lebensqualität von Anwohnern und Verkehrsteilnehmern auswirken.

So könnten diese die Beleuchtungsstärke bei Frequenz automatisch über das Lichtniveau traditioneller Leuchten erhöhen. Dies erhöht die Sichtbarkeit und damit die (objektive) Sicherheit sowie das subjektive Sicherheitsgefühl.

Die Sicherheit könnte überdies durch eine integrierte Notfallhilfe erhöht werden. So könnten intelligente Straßenlaternen etwa mit Fahrzeugen in der Umgebung kommunizieren und bei einem Unfall automatisch benachrichtigt werden, worauf die Laternen im Bereich der Unfallstelle die Beleuchtung erhöhen sowie Alarmsignale abgeben können.

Ein weiterer Aspekt, der sich positiv auf die Lebensqualität von Anrainern auswirken könnte, ist die Reduktion der Lichtverschmutzung durch die automatische Abschaltung bzw. Dimmung der Beleuchtung in Nachtzeiten bei geringer Frequenz. Rund 2/3 der EU-Bürger nehmen aufgrund von hereinstrahlender Straßenbeleuchtung keine wirklich dunkle Nacht mehr wahr [469]. Die nächtliche Dimmung würde die Lichtverschmutzung verringern und könnte damit die Schlafqualität von Anrainern verbessern. Außerdem hätte es positive Auswirkungen auf nachtaktive Tiere sowieso Insekten. So verenden alleine in Deutschland jährlich bis zu 150 Billionen Insekten an Straßenleuchten [480]. Die positiven Effekte auf Flora und Fauna könnten indirekt dem Menschen zugutekommen. Zusatzanwendungen intelligenter Straßenlaternen als Teil der Smart City (WLAN-Hotspots, Ladestationen für E-Fahrzeuge, intelligentes Parkplatzmanagement etc.) würden die lokale Infrastruktur weiter verbessern. Die damit verbundenen Annehmlichkeiten würden in gewisser Weise die Lebensqualität der Nutzer dieser Services erhöhen.

Aus der Kombination dieser Aspekte ergibt sich daher eine sehr positive Bewertung dieses Indikators.

Sicherheit

Wie erwähnt können intelligente Straßenlaternen die (objektive) Sicherheit und das subjektive Sicherheitsgefühl von Fußgängern und Verkehrsteilnehmern durch stärkere Beleuchtung bei Frequenz erhöhen. Etwaige Funktionalitäten zur Notfallhilfe (siehe oben) würden ebenso die Sicherheit erhöhen.

Ein mögliches Sicherheitsrisiko ergibt sich aus der potentiellen Störungsanfälligkeit digitaler, netzwerkverbundener Dienstleistungen von intelligenten Straßenlaternen. Um die Sicherheit zu erhö-

hen, sollte etwa bei Ausfall der Sensorik bzw. von smarten Komponenten die Beleuchtung standardmäßig eingeschaltet bleiben. Im Falle von datengetriebenen Anwendungen stellt die Datensicherheit ein weiteres Risiko dar. Ebenso sollten Vorkehrungen gegen mögliche mutwillige Hackerangriffe auf die smarte Infrastruktur getroffen werden. Generell ist das Thema Datenschutz bei jeglicher fortgeschrittenen, datensammelnden Anwendung relevant und muss entsprechend mitbetrachtet werden. Dies gilt insbesondere im Falle der Verarbeitung personenbezogener Daten.

Insgesamt erscheint jedoch der positive Effekt durch stärkere Beleuchtung und mögliche Notfallhilfe die genannten Risiken zu überwiegen, weshalb sich eine positive Bewertung in Bezug auf den Indikator „Sicherheit“ ergibt.

5.5.3 Ergebnisse und Fazit

Die Bewertung des Indikators „Chancen und Potenziale“ wird der Bewertung „Nachhaltigkeit“ des Geschäftsmodells der intelligenten Straßenlaternen gegenübergestellt. Hierbei wird der Wert für die Nachhaltigkeit des DGM als Mittelwert der Indikatoren ökonomische, ökologische sowie soziale Nachhaltigkeit ermittelt.

Säulen	Gewichtung	Bewertung
Chancen und Potenziale		4
Nachhaltigkeit		3,3
Ökonomische Nachhaltigkeit	1/3	1
Ökologische Nachhaltigkeit	1/3	6
Soziale Nachhaltigkeit	1/3	3

Tabelle 35: Gesamtbewertung des Geschäftsmodells intelligenter Straßenlaternen für alle vier Säulen.

In Summe wird die Säule „Chancen und Potenziale“ mit +4 positiv bewertet. Die Nachhaltigkeitsbewertung zeigt ebenso positive Ergebnisse in allen drei Dimensionen. Insbesondere die ökologische Nachhaltigkeit wird mit einem Wert von +6 stark positiv bewertet (siehe Tabelle 35).

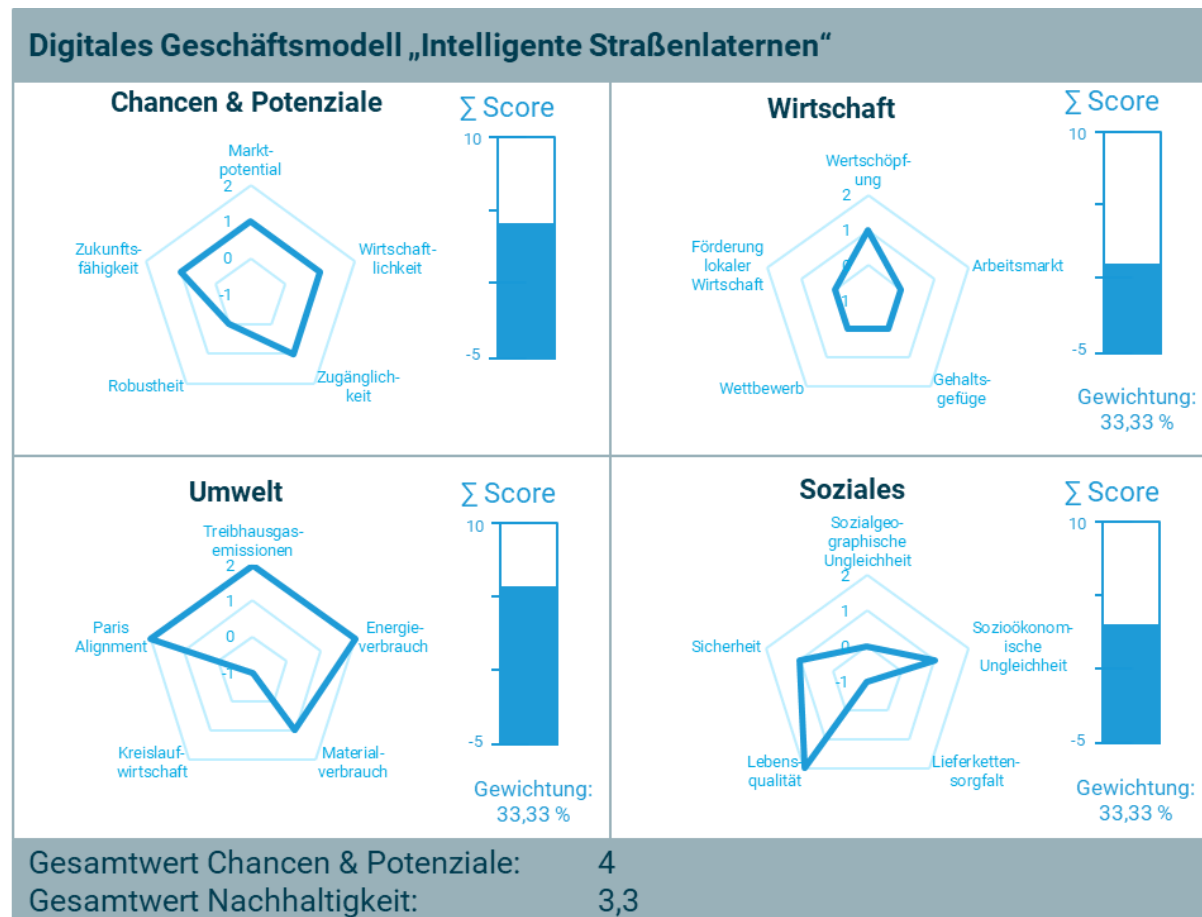


Abbildung 17: Bewertung des Geschäftsmodells "Intelligente Straßenlaternen in der Smart City" in den Dimensionen „Chancen & Potenziale“, „Wirtschaft“, „Umwelt“ und „Soziales“.

Diese Bewertungen zeigen die Attraktivität des Geschäftsmodells intelligenter Straßenlaternen sowohl aus Unternehmens- als auch aus gesamtgesellschaftlicher Perspektive. Dieses bewirkt eine Reihe positiver Nachhaltigkeitseffekte, welche wiederum eine bedeutende, und zukünftig wohl noch steigende, Nachfrage vonseiten öffentlicher Einrichtungen mit sich bringen. Besonders vielversprechend erscheinen dessen Auswirkungen in Bezug auf die ökologische Nachhaltigkeit. Intelligente Straßenlaternen als Teil der Transformation in Richtung Smart Cities können einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der deutschen Klimaziele im Sinne des Paris Agreement leisten.

Die notwendigen Anfangsinvestitionen der Umrüstung auf LED-Leuchten mit oder ohne smarte Sensorik stellen wohl



Abbildung 18: Einordnung des Geschäftsmodells der intelligenten Straßenlaternen in den Dimensionen "Chancen und Potenziale" sowie "Nachhaltigkeit".

einen Grund für die geringe Erneuerungsquote von deutschen Straßenlaternen dar.⁶³ Obwohl sich die anfänglichen Ausgaben innerhalb von mehreren Jahren amortisieren und die Umrüstung somit langfristig zu Nettokosteneinsparungen führt, scheinen diese für einige Gemeinden derzeit ein Hindernis darzustellen. Daher erscheinen Förderinitiativen bzw. Subventionen des Bundes wie bspw. die LED-Leitmarktinitiative [479] erstrebenswert, um diese Hürde zu überwinden und gesamtwirtschaftlich sowie -gesellschaftlich sinnvolle Modernisierungen großflächig auf den Weg zu bringen. Selbiges gilt insbesondere für weitere fortgeschrittenere Anwendungen intelligenter Straßenlaternen als Teil der Smart City.

⁶³ Wie erwähnt, liegt diese bei bloß 3 %. Siehe [469].

6. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

In der vorliegenden Studie wurde ein Analyserahmen für die Bewertung von Geschäftsmodellen in den verschiedenen Dimensionen der Nachhaltigkeit entwickelt. Dabei wird in Bezug auf die Nachhaltigkeit eine thematische Abgrenzung in drei Säulen vorgenommen mit den Kernaspekten Ökonomie, Ökologie und Soziales. Dieses Rahmenwerk baut auf gängigen Systemen und Indikatoren für die Messung der Nachhaltigkeit auf, insbesondere werden die SDGs der UN und die Indikatoren der GRI abgedeckt. Zudem wird der Analyserahmen um eine vierte Säule der einzelwirtschaftlichen Chancen und Potenziale ergänzt, da für die Bewertung der Geschäftsmodelle auch die Abschätzung der wirtschaftlichen Erfolgsaussichten relevant ist. Damit sich ein Geschäftsmodell am Markt etablieren und einen gewissen Marktanteil erlangen kann, sind vornehmlich auch betriebswirtschaftliche Erfolgsfaktoren wichtig.

Die Bewertung innerhalb jeder der vier Säulen gliedert sich wiederum in fünf Indikatoren, bei deren Wahl besonderes Augenmerk darauf gelegt wurde, dass sie auf die durch Technologieeinsatz hervorgebrachten Effekte fokussieren und dabei alle relevanten Aspekte abdecken. Dabei sind einige Indikatoren vorrangig quantitativ angelegt, andere zielen stärker auf eine qualitative Bewertung ab.

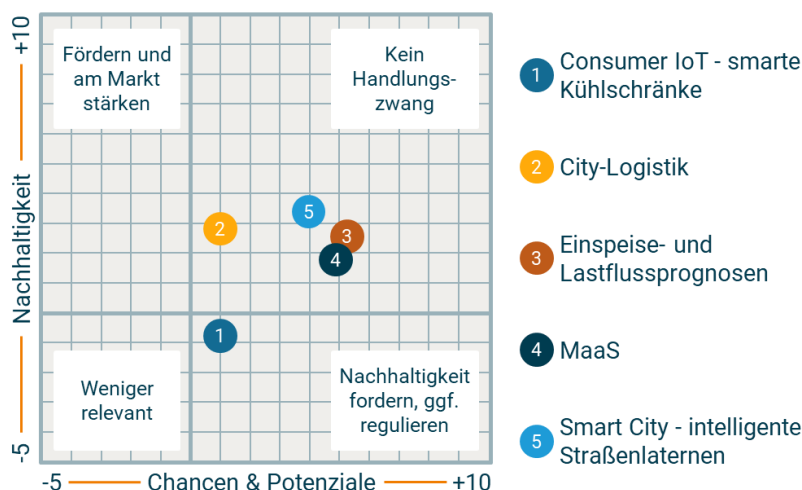


Abbildung 19: Einordnung der fünf untersuchten Fallstudien gemäß den Dimensionen "Chancen & Potenziale" und "Nachhaltigkeit".

In der Zusammenfassung und dem Gesamtüberblick erzielen sämtliche hier analysierte Fallstudien eine positive Bewertung in Bezug auf deren Chancen und Potenziale. Während die Nachhaltigkeitseffekte der meisten Fallstudien eher positiv bewertet werden, bestehen Risiken im Hinblick auf die Nachhaltigkeit von Smarten Kühlschränken im Bereich Consumer IoT. In der Einordnung in den Dimensionen „Chancen und Potenziale“ sowie „Nachhaltigkeit“ (Abbildung 19) fallen vier der fünf betrachteten Fallstudien in den Bereich wirtschaftlich erfolgsversprechender und gleichzeitig nachhaltig wirkender Geschäftsmodelle, für deren Etablierung und Förderung kein unmittelbarer Handlungsbedarf zu bestehen scheint. Lediglich das Fallbeispiel der smarten Kühlschränke weist eine leicht negative Nachhaltigkeitsbewertung auf, sodass hier Maßnahmen der Verbesserung der Nachhaltigkeit oder der Regulierung geraten sind, wenn sich dieses Geschäftsmodell am Markt etabliert.

In der Anwendung des Analyserahmens auf fünf ausgewählte digitale Geschäftsmodelle aus den Netzsektoren erweist sich dieser als gut geeignet für Fallstudien im Bereich des Technologieeinsatzes. Insbesondere werden die Dimensionen der Nachhaltigkeit sowie die einzelwirtschaftlichen Chancen und Potenziale mit einer handhabbaren Zahl von Indikatoren abgedeckt. Auf Basis dieser

Verprobung stellt sich das Bewertungsschema für die generelle Einordnung der Nachhaltigkeit weiterer digitaler Geschäftsmodelle als geeignet und anwendbar heraus, sodass dieser Analyserahmen zukünftig auch als Vorlage für die Bewertung von solchen Geschäftsmodellen herangezogen werden kann.

In der Bewertung wird deutlich, dass keiner der gängigen Nachhaltigkeitsaspekte überbetont oder vernachlässigt wird, was insbesondere darauf zurückzuführen ist, dass in der Konzeption und Anlage Überschneidungen zwischen den Indikatoren größtenteils vermieden werden. In der Verprobung des Analyserahmens in den fünf Fallstudien zeigt sich, dass zum Teil dieselben Quellen und Argumentationen für verschiedene Indikatoren herangezogen werden, wobei jeweils ein anderer inhaltlicher Aspekt im Fokus steht. Zudem wird in den vorgestellten Fallstudien deutlich, dass die Bewertung in einigen vornehmlich quantitativ angelegten Indikatoren aufgrund der im Rahmen dieser Studie begrenzt erhebbaren Datenbasis durch eine stärker qualitative Beurteilung ergänzt werden kann, ohne dass die Indikatoren ihre Berechtigung und Eignung für die Einzelbewertung von digitalen Geschäftsmodellen einbüßen.

Da der Fokus der Studie auf der Entwicklung und der Anwendung des Analyserahmens liegt, wird kein quantitativer Vergleich zwischen den Fallstudien vorgenommen. Hier soll angemerkt werden, dass für eine vollständige Bewertung der Fallstudien insbesondere im Hinblick auf deren Vergleichbarkeit weitere Aspekte und Faktoren wie etwa regulatorische Fragestellungen, eine Festlegung der Gewichtung der Nachhaltigkeitsaspekte sowie ggf. eine Anpassung der Indikatorbewertungen an einheitliche, relevante Messgrößen nötig ist.

7. Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

7.1 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Überblick über die vier Säulen des Analyserahmens zur Bewertung digitaler Geschäftsmodelle.....	8
Tabelle 2: Aktionsbereiche und Unterkapitel des Agenda 21 Aktionsprogramms.....	18
Tabelle 3: Sustainable Development Goals (SDGs) mit Anzahl Unterzielen und Indikatoren.	29
Tabelle 4: DNS / Agenda 2030 Verwandtschaft der Indikatoren im Zielbereich SDG 7 „Bezahlbare und saubere Energie“.....	30
Tabelle 5: Säulen der Bewertung digitaler Geschäftsmodelle.....	58
Tabelle 6: Ausprägungen der Indikatoren.....	61
Tabelle 7: Zur Konsolidierung der Indikatoren der Säule „Ökonomische Nachhaltigkeit“ herangezogene Zielsetzungen und Berichterstattungskennzahlen.	69
Tabelle 8: Zuordnung der Indikatoren zu den SDG und GRI.	74
Tabelle 9: Zur Konsolidierung der Indikatoren der Säule „Soziale Nachhaltigkeit“ herangezogene Zielsetzungen und Berichterstattungskennzahlen.	78
Tabelle 10: Bewertung des Geschäftsmodells der Consumer IoT für die Einzelindikatoren in der Säule "Chancen und Potenziale".	89
Tabelle 11: Bewertung des Geschäftsmodells der Consumer IoT für die Einzelindikatoren in der Säule "Ökonomische Nachhaltigkeit".	93
Tabelle 12: Bewertung des Geschäftsmodells der Consumer IoT für die Einzelindikatoren in der Säule "Ökologische Nachhaltigkeit".	95
Tabelle 13: Bewertung des Geschäftsmodells der Consumer IoT für die Einzelindikatoren in der Säule "Soziale Nachhaltigkeit".	98
Tabelle 14: Gesamtbewertung des Geschäftsmodells der Consumer IoT für alle vier Säulen. 100	
Tabelle 15: Bewertung des Geschäftsmodells der City-Logistik-Plattformen für die Einzelindikatoren in der Säule "Chancen und Potenziale".	105
Tabelle 16: Bewertung des Geschäftsmodells der City-Logistik-Plattformen für die Einzelindikatoren in der Säule "Ökonomische Nachhaltigkeit".	109
Tabelle 17: Bewertung des Geschäftsmodells der City-Logistik-Plattformen für die Einzelindikatoren in der Säule "Ökologische Nachhaltigkeit".	112
Tabelle 18: Bewertung des Geschäftsmodells der City-Logistik-Plattformen für die Einzelindikatoren in der Säule "Soziale Nachhaltigkeit".	114
Tabelle 19: Gesamtbewertung des Geschäftsmodells der City-Logistik-Plattformen für alle vier Säulen.	116
Tabelle 20: Bewertung des digitalen Geschäftsmodells „KI-basierte Einspeise- und Lastflussprognosen“ für die Einzelindikatoren in der Säule "Chancen und Potenziale".	119
Tabelle 21: Ergebnisse der Abschätzung zum Marktpotenzial „KI-basierte Einspeise- und Lastflussprognosen“ für die Szenarien A bis C.....	120
Tabelle 22: Bewertung des digitalen Geschäftsmodells „KI-basierte Einspeise- und Lastflussprognosen“ für die Einzelindikatoren in der Säule "ökonomische Nachhaltigkeit".	122
Tabelle 23: Bewertung des digitalen Geschäftsmodells „KI-basierte Einspeise- und Lastflussprognosen“ für die Einzelindikatoren in der Säule "ökologische Nachhaltigkeit".	124
Tabelle 24: Bewertung des Geschäftsmodells der KI-basierten Einspeise- und Lastflussprognosen für die Einzelindikatoren in der Säule "Soziale Nachhaltigkeit".	125
Tabelle 25: Gesamtbewertung des Geschäftsmodells der KI-basierten Einspeise- und Lastflussprognose für alle vier Säulen.....	126

Tabelle 26: Bewertung des Geschäftsmodells der MaaS-Plattformen für die Einzelindikatoren in der Säule "Chancen und Potenziale".	130
Tabelle 27: Bewertung des Geschäftsmodells der MaaS-Plattformen für die Einzelindikatoren in der Säule "Ökonomische Nachhaltigkeit".	133
Tabelle 28: Bewertung des Geschäftsmodells der MaaS-Plattformen für die Einzelindikatoren in der Säule "Ökologische Nachhaltigkeit".	135
Tabelle 29: Bewertung des Geschäftsmodells der MaaS-Plattformen für die Einzelindikatoren in der Säule "Soziale Nachhaltigkeit".	136
Tabelle 30: Gesamtbewertung des Geschäftsmodells der MaaS-Plattformen für alle vier Säulen.	138
Tabelle 31: Bewertung des Geschäftsmodells intelligenter Straßenlaternen für die Einzelindikatoren in der Säule "Chancen und Potenziale".	142
Tabelle 32: Bewertung des Geschäftsmodells intelligenter Straßenlaternen für die Einzelindikatoren in der Säule "Ökonomische Nachhaltigkeit".	145
Tabelle 33: Bewertung des Geschäftsmodells intelligenter Straßenlaternen für die Einzelindikatoren in der Säule "Ökologische Nachhaltigkeit".	148
Tabelle 34: Bewertung des Geschäftsmodells intelligenter Straßenlaternen für die Einzelindikatoren in der Säule "Soziale Nachhaltigkeit".	151
Tabelle 35: Gesamtbewertung des Geschäftsmodells intelligenter Straßenlaternen für alle vier Säulen.	153

7.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einordnung der fünf untersuchten Fallstudien gemäß den Dimensionen "Chancen & Potenziale" und "Nachhaltigkeit".	9
Abbildung 2: Nachhaltigkeitsdreieck.	14
Abbildung 3: Gewichtetes Säulenmodell.	14
Abbildung 4: SDG Illustration [14].	15
Abbildung 5: Sustainable Development Goals (SDGs) [33].	19
Abbildung 6: Visualisierung der Bewertung eines Beispiel-DGMs.	61
Abbildung 7: Kategorisierung von vier beispielhaften Geschäftsmodellen bzgl. ihrer Bewertung zu Nachhaltigkeit und Chancen und Potenziale.	84
Abbildung 8: Bewertung des Geschäftsmodells Consumer IoT in den Dimensionen „Chancen & Potenziale“, „Wirtschaft“, „Umwelt“ und „Soziales“.	101
Abbildung 9: Einordnung des Geschäftsmodells von Consumer IoT am Beispiel smarter Kühlschränke in den Dimensionen "Chancen und Potenziale" sowie "Nachhaltigkeit".	101
Abbildung 10: Bewertung des Geschäftsmodells der City-Logistik-Kooperationen und -Plattformen in den Dimensionen „Chancen & Potenziale“, „Wirtschaft“, „Umwelt“ und „Soziales“.	117
Abbildung 11: Einordnung des Geschäftsmodells der City-Logistik-Plattformen in den Dimensionen "Chancen und Potenziale" sowie "Nachhaltigkeit".	117
Abbildung 12: Bewertung des Geschäftsmodells der KI-basierten Einspeise- und Lastflussprognosen in den Dimensionen „Chancen & Potenziale“, „Wirtschaft“, „Umwelt“ und „Soziales“.	127
Abbildung 13: Einordnung des Geschäftsmodells der KI-basierten Einspeise- und Lastflussprognosen in den Dimensionen "Chancen und Potenziale" sowie "Nachhaltigkeit".	127
Abbildung 14: Bewertung des Geschäftsmodells "Maas-Plattformen" in den Dimensionen „Chancen & Potenziale“, „Wirtschaft“, „Umwelt“ und „Soziales“.	139
Abbildung 15: Einordnung des Geschäftsmodells der MaaS-Plattformen in den Dimensionen "Chancen und Potenziale" sowie "Nachhaltigkeit".	139
Abbildung 16: Stufen intelligenter Beleuchtung.	141
Abbildung 17: Bewertung des Geschäftsmodells "Intelligente Straßenlaternen in der Smart City" in den Dimensionen „Chancen & Potenziale“, „Wirtschaft“, „Umwelt“ und „Soziales“.	154
Abbildung 18: Einordnung des Geschäftsmodells der intelligenten Straßenlaternen in den Dimensionen "Chancen und Potenziale" sowie "Nachhaltigkeit".	154
Abbildung 19: Einordnung der fünf untersuchten Fallstudien gemäß den Dimensionen "Chancen & Potenziale" und "Nachhaltigkeit".	156

8. Literatur- und Quellenverzeichnis

- [1] BUNDESNETZAGENTUR FÜR ELEKTRIZITÄT, GAS, TELEKOMMUNIKATION, POST UND EISENBAHNEN. *Digitale Transformation in den Netzsektoren - Aktuelle Entwicklungen und regulatorische Herausforderungen*. Bonn: Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, 05.2017. Verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Digitalisierung/Grundsatzpapier/Digitalisierung.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (abgerufen am: 22.02.2022)
- [2] GAWORA, Dieter und DE SOUZA IDA, Maria Helena und SOARES BARBOSA, Rômulo. *Traditionelle Völker und Gemeinschaften in Brasilien*. Lateinamerika-Dokumentationsstelle Kooperation Brasilien - KoBra , Kassel 2011. Verfügbar unter: https://kobra.uni-kassel.de/bitstream/handle/123456789/11777/kup_9783862191512.pdf (abgerufen am 20.02.2022)
- [3] PARZINGER, Hermann. *Die Kinder des Prometheus. Eine Geschichte der Menschheit vor der Erfindung der Schrift*. C. H. Beck Verlag, München 2015
- [4] LÉVI-STRAUSS, Claude. *Das wilde Denken*. Suhrkamp, Berlin 1973.
- [5] BENZ, Marion. *Die Neolithisierung im Vorderen Orient*. Ex oriente, Zweite, kaum veränderte Auflage, Berlin 2008. Verfügbar unter: <https://www.exoriente.org/docs/00085.pdf> (abgerufen am 20.07.2021)
- [6] TREMMEL, Jörg. *Nachhaltigkeit als politische und analytische Kategorie. Der deutsche Diskurs um nachhaltige Entwicklung im Spiegel der Interessen der Akteure*. München: Ökom-Verlag, 2003
- [7] SCHLIEPHAKE, Christopher; SOJC, Natascha und WEBER, Gregor (Hrsg.). *Nachhaltigkeit in der Antike – Diskurse, Praktiken, Perspektiven*. Band 42: Geographica Historica. Franz Steiner Verlag, 2020.
- [8] Deutscher Forstwirtschaftsrat e.V. – DFWR. *Hans Carl von Carlowitz: Sein Leben und Wirken* [online]. Berlin: Deutscher Fortwirtschaftsrat e.V. – DFWR, o. J. Verfügbar unter: <https://www.forstwirtschaft-in-deutschland.de/forstwirtschaft/nachhaltigkeit/hans-carl-von-carlowitz/> (abgerufen am 01.10.2021)
- [9] MEADOWS, Donella; MEADOWS, Dennis; RANDERS, Jørgen und BERENS III, William. *Limits to Economic Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*. New York: Universe Books, 1972.
- [10] BRUNDTLAND, Gro Harlem. *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. Oslo: United Nations – World Commission on Environment and Development, 1987. Verfügbar unter: <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf> (abgerufen am 22.02.2022)
- [11] SCHWANHOLD, Ernst. Bericht der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt - Bewertungskriterien und Perspektiven für umweltverträgliche Stoffkreisläufe in der Industriegesellschaft“. Deutscher Bundestag 12. Wahlperiode. Drucksache 12/8260. Bonn: Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH, 12.07.1994. Verfügbar unter: <https://dserver.bundestag.de/btd/12/082/1208260.pdf> (abgerufen am 20.02.2022)
- [12] CASPERS-MERK, Marion. *Abschlußbericht der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt - Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung“*. Deutscher Bundestag 13. Wahlperiode. Drucksache 13/11200. Bonn: Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH, 26.08.1998. Verfügbar unter: <https://dserver.bundestag.de/btd/13/112/1311200.pdf> (abgerufen am 22.02.2022)

- [13] Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen. *Digitale Transformation in den Netzsektoren - Aktuelle Entwicklungen und regulatorische Herausforderungen* [online]. Bonn: Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, 05.2017. Verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Digitalisierung/Grundsatzpapier/Digitalisierung.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (abgerufen am 21.07.2021)
- [14] Stockholm Resilience Centre. *How food connects all the SDGs* [online]. Stockholm: Stockholm Resilience Centre, 14.06.2016. Verfügbar unter: <https://www.stockholmresilience.org/research/research-news/2016-06-14-how-food-connects-all-the-sdgs.html> (abgerufen am 20.07.2021)
- [15] ELKINGTON, John. *The triple bottom line: Sustainability's Accountants* in RUSSO, Michael V. *Environmental management: Readings and cases*, 2nd Edition. Thousand Oaks, CA: Sage Publications, 1997
- [16] DÖRING, Ralf. *Wie stark ist schwache, wie schwach starke Nachhaltigkeit?* Wirtschaftswissenschaftliche Diskussionspapiere No.08/2004. Greifswald: Universität Greifswald, Rechts- und Staatswissenschaftliche Fakultät, 2004
- [17] STAHLMAN, Volker. *Lernziel: Ökonomie der Nachhaltigkeit: Eine anwendungsorientierte Übersicht*. München: Oekom Verlag, Gesellschaft für Ökologische Kommunikation mbH, 2008
- [18] DIEFENBACHER, Hans; KARCHER, Holger; STAHLER, Carsten; TEICHERT, Volker. *Nachhaltige Wirtschaftsentwicklung im regionalen Bereich*. Heidelberg: Forschungsstätte der Evangelischen Studiengemeinschaft, 1997
- [19] SPINDLER, Edmung A. *Geschichte der Nachhaltigkeit: Vom Werden und Wirken eines beliebten Begriffes*. Verfügbar unter: <https://www.nachhaltigkeit.info/media/1326279587phpeJPyvC.pdf> (abgerufen am 25.2.2022)
- [20] VOGT, Markus. *Prinzip Nachhaltigkeit. Ein Entwurf aus theologisch-ethischer Perspektive*. München: Oekom, 2009
- [21] BEHRENDT, Siegfried; GÖLL, Edgar; KORTE, Friederike. *Effizienz, Konsistenz, Suffizienz – Strategieanalytische Betrachtung für eine Green Economy*. Inputpapier im Rahmen des Projekts Evolution2Green – Transformationspfade zu einer Green Economy. Berlin: adelphi research gemeinnützige GmbH, März 2016. Verfügbar unter: https://evolution2green.de/sites/evolution2green.de/files/documents/evolution2green_inputpapier_effizient_konsistenz_suffizienz.pdf (abgerufen am 20.02.2022)
- [22] UN Environment Programme. *Green Economy* [online]. Gigiri, Nairobi: UN Environment Programme, o. J. Verfügbar unter: <https://www.unep.org/explore-topics/green-economy> (abgerufen am 01.10.2021)
- [23] SCHOENMAKER, Dirk; SCHRAMADE, Willem. *Principles of sustainable finance*. Oxford: Oxford University Press, 2018.
- [24] Konferenz Der Vereinten Nationen über Umwelt Und Entwicklung. *Rio-Erklärung über Umwelt und Entwicklung*. Rio de Janeiro. 1992. <https://www.un.org/Depts/german/conf/agenda21/rio.pdf>
- [25] Konferenz Der Vereinten Nationen über Umwelt Und Entwicklung. *Agenda 21*. Rio de Janeiro. 1992. Verfügbar unter: <http://www.agenda21-treffpunkt.de/archiv/ag21dok/index.htm> (abgerufen am 25.2.2022)
- [26] Konferenz Der Vereinten Nationen über Umwelt Und Entwicklung. *Non-Legally Binding Authoritative Statement of Principles for a Global Consensus on the Management, Conservation and Sustainable Development of all Types of Forests. Report on the United Nations Conference on Environment and Development, Annex III*. Rio de Janeiro. 1992. Verfügbar

- unter: <https://wrm.org.uy/other-relevant-information/forest-principles-report-of-the-united-nations-conference-on-environment-and-development/> (abgerufen am 25.2.2022)
- [27] Konferenz Der Vereinten Nationen über Umwelt Und Entwicklung. Convention on Biological Diversity. Rio de Janeiro. 1992. Verfügbar unter: <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-en.pdf> (abgerufen am 25.2.2022)
- [28] United Nations. United Nations Framework Convention on Climate Change. 1992. Verfügbar unter: https://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/conveng.pdf (abgerufen am 25.2.2022)
- [29] United Nations. United Nations Convention to Combat Desertification In Those Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly In Africa. Paris. 1994
- [30] European Conference On Sustainable Cities & Towns. *Charter of European Cities & Towns Towards Sustainability*. Aalborg, Denmark. 1994. https://sustainablecities.eu/fileadmin/repository/Aalborg_Charter/Aalborg_Charter_English.pdf (abgerufen am 25.2.2022)
- [31] Generalversammlung der Vereinten Nationen - Millenniumsgipfel. *Millenniums-Erklärung der Vereinten Nationen*. New York. 2000. <http://www.un-kampagne.de/fileadmin/downloads/erklaerung/millenniumerklaerung.pdf> (abgerufen am 25.2.2022)
- [32] United Nations. *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development* [online]. New York: United Nations, 21.10.2015. Verfügbar unter: <https://sdgs.un.org/2030agenda> (abgerufen am 25.2.2022)
- [33] United Nations. *Communications materials – United Nations Sustainable Development*. New York: United Nations, o. J. Verfügbar unter: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/wp-content/uploads/2019/08/E-SDG-2019-posters.zip> (abgerufen am 25.2.2022)
- [34] United Nations. The future we want – UN Resolution. Rio de Janeiro. 2012. https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/weltgipfel_rio_20_rio_de_janeiro_2012_1419.htm (abgerufen am 25.2.2022)
- [35] IZT – Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gemeinnützige GmbH. „Rio+20 vor Ort“ *Kommunen auf dem Weg zur Nachhaltigkeit*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, März 2012. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/rio20-vor-ort> (abgerufen am 18.2.2022)
- [36] MARTENS, Jens. *Agenda 2030 kommunal Die Umsetzung der UN-Nachhaltigkeitsziele in Städten und Gemeinden*. GPF – GLOBAL POLICY FORUM Briefing. 2017. <https://www.2030agenda.de/de/publication/agenda-2030-kommunal> (abgerufen am 18.2.2022)
- [37] United Nations. *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. KYOTO. 1998. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf> (abgerufen am 18.2.2022)
- [38] Süddeutsche Zeitung. *Klimakonferenz verlängert Kyoto-Protokoll bis 2020*. München: Süddeutsche Zeitung GmbH, 08.12.2012 Verfügbar unter: <https://www.sueddeutsche.de/wissen/welt-klimagipfel-in-doha-klimakonferenz-verlaengert-kyoto-protokoll-bis-2020-1.1545374> (abgerufen am 1.10.2021)
- [39] Frankfurter Allgemeine. *Mini-Kompromiss beim Welt-Klimagipfel* [online]. Frankfurt: Frankfurter Allgemeine Zeitung GmbH, 08.12.2012 Verfügbar unter: <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/kyoto-protokoll-verlaengert-mini-kompromiss-beim-welt-klimagipfel-11986836.html> (abgerufen am 1.10.2021)
- [40] European Commission. *EU Emissions Trading System (EU ETS)*. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en (abgerufen am 11.10.2021)

- [41] European Commission. *Renewed sustainable finance strategy and implementation of the action plan on financing sustainable growth*. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/info/publications/sustainable-finance-renewed-strategy_en (abgerufen am 11.10.2021)
- [42] GUTTERES, Antonio. *Remarks to High-Level Political Forum on Sustainable Development* [online]. New York: United Nations Secretary-General, 24.09.2019 Verfügbar unter: <https://www.un.org/sg/en/content/sg/speeches/2019-09-24/remarks-high-level-political-sustainable-development-forum> (abgerufen am 20.07.2021)
- [43] Presse- und Informationsamt der Bundesregierung. *Nachhaltigkeitsstrategie neu aufgelegt* [online]. Berlin: Presse- und Informationsamt der Bundesregierung, 10.03.2021 Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/nachhaltigkeitsstrategie-2021-1873560>. (abgerufen am 20.07.2021)
- [44] United Nations. *Chapter XXVII. Environment*. In: *United Nations Framework Convention on Climate Change*. New York, 09.05.1992.
- [45] United Nations. *Paris Agreement*. Paris, 12.12.2015. https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/paris_abkommen_bf.pdf (abgerufen am 18.02.2022)
- [46] Europäische Kommission. *Der europäische Grüne Deal*. Brüssel.11.12.2019. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1576150542719&uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN> (abgerufen am 18.02.2022)
- [47] Europäische Kommission. *Fahrplan für den Übergang zu einer wettbewerbsfähigen CO₂-armen Wirtschaft bis 2050*. Brüssel. 08.03.2011. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1576150542719&uri=COM%3A2011%3A112%3AFIN> (abgerufen am 18.02.2022)
- [48] Europäische Kommission. *Energieeffizienzplan 2011*. Brüssel. 08.03.2011. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0109:FIN:DE:PDF> (abgerufen am 18.02.2022)
- [49] Europäische Kommission. *Energie 2020 Eine Strategie für wettbewerbsfähige, nachhaltige und sichere Energie*. Brüssel. 10.11.2010. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:0639:FIN:DE:PDF> (abgerufen am 18.02.2022)
- [50] Europäische Kommission. *Horizont 2020 - das Rahmenprogramm für Forschung und Innovation*. Brüssel: 30.11.2011. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0808:FIN:de:PDF> (abgerufen am 18.02.2022)
- [51] European Commission. *'Fit for 55': delivering the EU's 2030 Climate Target on the way to climate neutrality*. Brüssel. 14.07.2021. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0550> (abgerufen am 18.02.2022)
- [52] Europäische Kommission. *Europäischer Grüner Deal*. [Zugriff am 12.10.2021]. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de (abgerufen am 18.02.2022)
- [53] Europäische Union. *VERORDNUNG (EU) 2021/1119 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 30. Juni 2021 zur Schaffung des Rahmens für die Verwirklichung der Klimaneutralität und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 401/2009 und (EU) 2018/1999. Europäisches Klimagesetz*. 09.07.2021. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R1119&from=EN> (abgerufen am 18.02.2022)
- [54] European Commission. *2030 Digital Compass: the European way for the Digital Decade*. Brüssel. 09.03.2021. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0118> (abgerufen am 18.02.2022)

- [55] European Commission. *A Europe fit for the digital age - Empowering people with a new generation of technologies*. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age_en (abgerufen am 13.10.2021)
- [56] European Commission. *Artificial intelligence – ethical and legal requirements*. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12527-Artificial-intelligence-ethical-and-legal-requirements_en (abgerufen am 13.10.2021)
- [57] Bundesregierung. *Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie - Weiterentwicklung 2021*. Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/998006/1873516/7c0614aff0f2c847f51c4d8e9646e610/2021-03-10-dns-2021-finale-langfassung-barrierefrei-data.pdf> (abgerufen am 14.10.2021)
- [58] BMU. *Gesetz zur Einführung eines Bundes-Klimaschutzgesetzes und zur Änderung weiterer Vorschriften*. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, 12.12.2019. Verfügbar unter: https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?start=//%5B@attr_id=%27bgbl119s2513.pdf%27%5D#_bgbl_%2F%2F%5B%40attr_id%3D%27bgbl119s2513.pdf%27%5D_163420_2327318
- [59] BMU. *Klimaschutzplan 2050 - Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung*. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, November 2016. <https://www.bmu.de/publikation/klimaschutzplan-2050-klimaschutzpolitische-grundsätze-und-ziele-der-bundesregierung> (abgerufen am 18.02.2022)
- [60] European Commission. *Communication from The Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on an EU strategy to reduce methane emissions*. Brüssel. 14.10.2020. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/eu_methane_strategy.pdf (abgerufen am 18.02.2022)
- [61] BMWi. *Energieeffizienzstrategie 2050*. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Dezember 2019. Verfügbar unter: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienzstrategie-2050.pdf?__blob=publicationFile&v=12 (abgerufen am 18.02.2022)
- [62] BMWi. *Digitale Strategie 2025*. Berlin: – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 01.03.2016. Verfügbar unter: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/digitale-strategie-2025.html> (abgerufen am 18.02.2022)
- [63] Presse- und Informationsamt der Bundesregierung. *Digitalisierung gestalten - Umsetzungsstrategie der Bundesregierung*. 6. Ausgabe. Juni 2021. Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/service/publikationen/digitalisierung-gestalten-1605002> (abgerufen am 18.02.2022)
- [64] Bundesregierung. *Strategie Künstliche Intelligenz der Bundesregierung Fortschreibung 2020*. Dezember 2020. Verfügbar unter: https://www.ki-strategie-deutschland.de/files/downloads/201201_Fortschreibung_KI-Strategie.pdf (abgerufen am 18.02.2022)
- [65] BMWi. *Integrierter Nationaler Energie- und Klimaplan*. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 10.06.2020. Verfügbar unter: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/I/integrierter-nationaler-energie-klimaplan.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (abgerufen am 18.02.2022)
- [66] IAEG-SDG. *Report of the Inter-Agency and Expert Group on Sustainable Development Goal Indicators: Final list of proposed Sustainable Development Goal indicators*. Annex IV. 19.02.2016 Verfügbar unter: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/11803Official-List-of-Proposed-SDG-Indicators.pdf> (abgerufen am 18.02.2022)
- [67] European Commission. *EU SDG Indicator set 2021 Result of the review in preparation of the 2021 edition of the EU SDG monitoring report*. 15.01.2021. Verfügbar unter:

- https://ec.europa.eu/eurostat/documents/276524/12239692/SDG_indicator_set_2021.pdf (abgerufen am 18.02.2022)
- [68] Statistisches Bundesamt. *Indikatoren der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie* [online]. Bonn: Statistische Bundesamt, o. J. Verfügbar unter: <https://sustainabledevelopment-deutschland.github.io/> (abgerufen am 21.10.2021)
- [69] Bundesgesetzblatt. *Gesetz über einen nationalen Zertifikatehandel für Brennstoffemissionen (Brennstoffemissionshandelsgesetz – BEHG)* [online]. Köln: Bundesanzeiger Verlag GmbH, 19.12.2019. Verfügbar unter: https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav#_bgbl_%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl119s2728.pdf%27%5D_1634822487607 (abgerufen am 18.02.2022)
- [70] European Commission. *The European Green Deal: Communication from the Commission*. COM(2019) 640 final, Brüssel, 11.12.2019.
- [71] European Commission. *European Green Deal Investment Plan: Communication from the Commission*. COM(2020) 21 final, Brüssel, 14.01.2020.
- [72] BMU. *Lesefassung des Bundes-Klimaschutzgesetzes 2021 mit markierten Änderungen zur Fassung von 2019* [online]. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, 07.07.2021 Verfügbar unter: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/ksq_aendg_2021_bf.pdf. (abgerufen am 20.07.2021)
- [73] European Commission. *Delivering on the UN's Sustainable Development Goals – A comprehensive approach: Commission Staff Working Document*. SWD(2020) 400 final, Brüssel, 18.11.2020.
- [74] bpb. Digitalisierung. In: *Informationen zur politischen Bildung*. bpb, 2020, Heft 344, 3/2020. Bonn: Bundeszentrale für politische Bildung/bpb, Oktober 2020. Verfügbar unter: https://www.bpb.de/system/files/dokument_pdf/lzPB_344_Digitalisierung_barrierefrei.pdf (abgerufen am 18.02.2022)
- [75] BENDEL, Oliver. *Digitalisierung* [online]. Wiesbaden: Springer Gabler, 13.07.2021. Verfügbar unter: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/digitalisierung-54195>. (abgerufen am 21.07.2021)
- [76] MEINHARDT, Stefan; PFLAUM, Alexander (Hrsg.). *Digitale Geschäftsmodelle–Band 1: Geschäftsmodell-Innovationen, digitale Transformation, digitale Plattformen, Internet der Dinge und Industrie 4.0*. Springer-Verlag, 2019.
- [77] SCHALLMO, Daniel R.A. *Digitale Transformation von Geschäftsmodellen*. In: *Jetzt digital transformieren*. Springer essentials. Wiesbaden: Springer Gabler, Wiesbaden, 2016.
- [78] BMBF, Referat Grundsatzfragen, Digitalisierung und Transfer. *Natürlich.Digital.Nachhaltig. – Ein Aktionsplan des BMBF* [online]. Bonn: Bundesministerium Für Bildung Und Forschung, 2019. Verfügbar unter: https://www.bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/de/bmbf/pdf/natuerlich-digital-nachhaltig.pdf?_blob=publicationFile&v=2 (abgerufen am 23.07.2021)
- [79] SÜHLMANN-FAUL, Felix. *Digitalisierung & Nachhaltigkeit: Risiken, Chancen und notwendige Schritte* [online]. Frankfurt: Informatik Aktuell, 05.02.2019. Verfügbar unter: <https://www.informatik-aktuell.de/management-und-recht/digitalisierung/risiken-und-chancen-der-digitalisierung.html> (abgerufen am 21.07.2021)
- [80] United Nations. *The 17 Goals* [online]. New York: United Nations. Verfügbar unter: <https://sdgs.un.org/goals> (abgerufen am 21.07.2021)
- [81] Global Reporting Initiative. *Standards* [online]. Amsterdam: Global Reporting. Verfügbar unter: <https://www.globalreporting.org/standards/> (abgerufen am 21.07.2021)
- [82] Rat Für Nachhaltige Entwicklung. *Kriterien* [online]. Berlin: Rat für nachhaltige Entwicklung. Verfügbar unter: <https://www.deutscher-nachhaltigkeitskodex.de/Home/DNK/Criteria> (abgerufen am 21.07.2021)

- [83] MEIER, Sylvia. *Nachhaltigkeitscontrolling: die wichtigsten Kennzahlen in der Praxis* [online]. Freiburg: haufe.de/controlling, 18.11.2020. Verfügbar unter: https://www.haufe.de/controlling/controllerpraxis/nachhaltigkeitscontrolling-die-wichtigsten-kennzahlen_112_527322.html (abgerufen am 21.07.2021)
- [84] BMVI. *Verknüpfung kommunaler, regionaler und nationaler Datenplattformen durch Data-Space-Konzepte sowie Veredelung und Verwertung als Mobilitätsdaten-Ökosystem - Mobility Data Spaces* [online]. Berlin: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Verfügbar unter: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mfund-projekte/mobility-data-space.html> (abgerufen am 21.07.2021)
- [85] BMWi. *Mobility - Data Interoperability and Data Sovereignty* [online]. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Verfügbar unter: <https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Artikel/Digital-World/GAIA-X-Use-Cases/mobility-data-interoperability-and-data-sovereignty.html> (abgerufen am 21.07.2021)
- [86] BMWi. *Smart Mobility Innovation along the travel chain* [online]. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Verfügbar unter: <https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Artikel/Digital-World/GAIA-X-Use-Cases/smart-mobility-innovation.html> (abgerufen am 21.07.2021)
- [87] BUNDESGESETZBLATT. Gesetz über einen nationalen Zertifikatehandel für Brennstoffemissionen. BGBl. I 2019 S. 2728
- [88] European Commission. *Amended proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulation (EU) 2018/1999 (European Climate Law)*. COM(2020) 563 final, Brüssel, 17.09.2020. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020PC0563> (abgerufen am 21.07.2021)
- [89] Union Investment. *Nachhaltigkeitsstudie 2021* [online]. Frankfurt: Union Investment Institutional GmbH. Verfügbar unter: <https://institutional.union-investment.de/startseite-de/Kompetenzen/Nachhaltige-Investments/Studien/Nachhaltigkeitsstudie-2021.html> (abgerufen am 21.07.2021)
- [90] BITKOM. *Klimaeffekte der Digitalisierung* [online]. Berlin: Bitkom e.V. Verfügbar unter: <https://www.bitkom.org/Klimaschutz> (abgerufen am 21.07.2021)
- [91] HERZOG-KUBALLA, Judith; ZIMMERMANN, Karsten. *Gelebte Nachhaltigkeit im Unternehmen*. Frankfurt: VDMA Verlag GmbH, 2020.
- [92] BDEW. *Künstliche Intelligenz für Energiewirtschaft* [online]. Berlin: Bundesverband Der Energie- Und Wasserwirtschaft, 06.2020. Verfügbar unter: <https://www.bdew.de/energie/digitalisierung/kuenstliche-intelligenz-fuer-die-energiewirtschaft/> (abgerufen am 21.07.2021)
- [93] IASS POTSDAMM. *Digitalisierung & Nachhaltigkeit* [online]. Forschungsgruppe. Potsdam: Institute for Advanced Sustainability Studies e.V. Verfügbar unter: <https://www.iass-potsdam.de/de/forschungsgruppe/digitalisierung-nachhaltigkeit> (abgerufen am 21.07.2021)
- [94] AMNESTY INTERNATIONAL. *Menschenrechte im digitalen Zeitalter* [online]. Berlin: Amnesty International Deutschland e. V., 11.06.2021. Verfügbar unter: <https://www.amnesty.de/2015/6/4/digitalisierung-und-menschenrechte> (abgerufen am 21.07.2021)
- [95] Greenpeace Magazin. *Studie: Digitalisierung spart sechs Mal mehr CO₂ als eigener Ausstoß* [online]. Hamburg: Greenpeace Media GmbH, 18.03.2021. Verfügbar unter: <https://www.greenpeace-magazin.de/ticker/studie-digitalisierung-spart-sechs-mal-mehr-co2-als-eigener-ausstoss> (abgerufen am 21.07.2021)
- [96] Fraunhofer Fokus. *Kann Digitalisierung nachhaltig sein* [online]. Berlin: Das Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS. Verfügbar unter: https://www.fokus.fraunhofer.de/de/fokus/jahresbericht2018_editorial (abgerufen am 21.07.2021)

- [97] IRENA. *Innovation landscape brief: Peer-to-peer electricity trading*. Abu Dhabi: International Energy Agency, 2020. Verfügbar unter: https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jul/IRENA_Peer-to-peer_trading_2020.pdf (abgerufen am 21.07.2021)
- [98] Statistisches Bundesamt. *Online Plattform zu den Indikatoren der UN-Nachhaltigkeitsziele* [online]. Bonn: Statistisches Bundesamt. Verfügbar unter: <https://sdg-indikatoren.de/> (abgerufen am 21.07.2021)
- [99] Eurostat. *Nachhaltige Entwicklung – Übersicht* [online]. Brüssel: Europäische. Verfügbar unter: <https://ec.europa.eu/eurostat/de/web/sdi/overview> (abgerufen am 21.07.2021)
- [100] Statistisches Bundesamt. *Indikatoren der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie* [online]. Bonn: Statistisches Bundesamt. Verfügbar unter: <https://sustainabledevelopment-deutschland.github.io/> (abgerufen am 21.07.2021)
- [101] Europäische Union. Verordnung (EU) 2020/852 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Juni 2020 über die Einrichtung eines Rahmens zur Erleichterung nachhaltiger Investitionen und zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/2088. L 198/13, Brüssel, 22.06.2020.
- [102] European Commission. ANNEX 1 Commission Delegated Regulation supplementing Regulation (EU) 2020/852. C(2021) 2800/3, Brüssel, 04.06.2021.
- [103] European Commission. ANNEX 2 Commission Delegated Regulation supplementing Regulation (EU) 2020/852. C(2021) 2800/3, Brüssel, 04.06.2021.
- [104] Deutscher Nachhaltigkeitskodex. *Checkliste für die Erklärung nach dem Deutschen Nachhaltigkeitskodex* [online]. Berlin: Deutscher Nachhaltigkeitskodex, 04.2021. Verfügbar unter: <https://www.deutscher-nachhaltigkeitskodex.de/de-DE/Documents/PDFs/Sustainability-Code/DNK-Checkliste> (abgerufen am 21.07.2021)
- [105] Global Reporting Initiative. *GRI* [online]. Amsterdam: Global Reporting Initiative, o. J., Verfügbar unter: <https://www.globalreporting.org/> (abgerufen am 21.07.2021)
- [106] HEINEMANN, Christoph und andere. Chancen und Risiken der Digitalisierung für eine nachhaltige Energiewirtschaft – Am Beispiel von neuen Handlungsoptionen für Markt und Netz. Freiburg: Öko-Institut e.V., 2019. Verfügbar unter: <https://www.oeko.de/fileadmin/oe-kodoc/WP-Digitalisierung-Energiewirtschaft.pdf> (abgerufen am 21.07.2021)
- [107] Sustainability Accounting Standards Board. *SASB* [online]. San Francisco: Sustainability Accounting Standards Board, o. J.. Verfügbar unter: <https://www.sasb.org/> (abgerufen am 22.07.2021)
- [108] Sustainability Accounting Standard, Telecommunication Services, Industry Standard, Version 2018-10
- [109] EUROPÄISCHE KOMMISSION. Leitlinien für die Berichterstattung über nichtfinanzielle Informationen: Mitteilung der Kommission. 2017/C 215/01, Brüssel, 05.07.2017.
- [110] EUROPÄISCHE KOMMISSION. Leitlinien für die Berichterstattung über nichtfinanzielle Informationen: Nachtrag zur klimabezogenen Berichterstattung. 2019/C 209/01, Brüssel, 20.06.2019.
- [111] TASK FORCE ON CLIMATE-RELATED FINANCIAL DISCLOSURES. Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures [online]. TCFD, 15.06.2017. Verfügbar unter: <https://assets.bbhub.io/company/sites/60/2020/10/FINAL-2017-TCFD-Report-11052018.pdf> (abgerufen am 22.07.2021)
- [112] CLIMATE DISCLOSURE STANDARDS BOARD; SASB FOUNDATION. *TCFD Good Practice Handbook* [online]. London: CDSB, 09.2019. Verfügbar unter: https://www.cdsb.net/sites/default/files/tcfid_good_practice_handbook_web_a4.pdf (abgerufen am 21.07.2021)
- [113] ZOOM VIDEO COMMUNICATIONS INC: *Zoom Video Communications Reports Fourth Quarter and Fiscal Year 2021 Financial Results* [online]. Los Angeles: GlobeNewswire, Inc,

- 01.03.2021. Verfügbar unter: <https://www.globenewswire.com/news-release/2021/03/01/2184699/0/en/Zoom-Video-Communications-Reports-Fourth-Quarter-and-Fiscal-Year-2021-Financial-Results.html> (abgerufen am 21.07.2021)
- [114] RICHARD, Philipp; MAMEL, Sara; VOGEL, Lukas. *Blockchain in der integrierten Energiewende*. Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), 02/2019. Verfügbar unter: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2019/dena-Studie_Blockchain_Integrierte_Energiewende_DE4.pdf (abgerufen am 20.02.2022)
- [115] GE, Xiaohu, et al. *Energy efficiency challenges of 5G small cell networks*. IEEE Communications Magazine, 2017, 55. Jg., Nr. 5, S. 184-191.
- [116] WOLF, Katharina. *Neue Studie: Stromverbrauch steigt massiv durch 5G* [online]. Stuttgart: TFV Technischer Fachverlag GmbH, 13.12.2019. Verfügbar unter: <https://www.erneuerbareenergien.de/politik/energiepolitik/neue-stromluecke-neue-studie-stromverbrauch-steigt-massiv-durch-5g> (abgerufen am 23.07.2021)
- [117] JACOB, Michael. *Digitalisierung & Nachhaltigkeit - Eine unternehmerische Perspektive*. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2019
- [118] SÜHLMANN-FAUL, Felix; RAMMLER, Stephan: *Der blinde Fleck der Digitalisierung – Wie sich Nachhaltigkeit und digitale Transformation in Einklang bringen lassen*. München: oekom, 2018
- [119] ARUTE, F., ARYA, K., BABBUSH, R. et al.: *Quantum supremacy using a programmable superconducting processor*. Nature 574, 505–510 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1666-5> (abgerufen am 20.02.2022)
- [120] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Bundesministerium für Bildung und Forschung. *Das Projekt GAIA-X - Eine vernetzte Dateninfrastruktur als Wiege eines vitalen, europäischen Ökosystems*. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Oktober 2019. Verfügbar unter: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/das-projekt-gaia-x.pdf?__blob=publicationFile&v=24 (abgerufen am 21.07.2021)
- [121] REIHER, M., WIEBE, N. et.al. *Elucidating reaction mechanisms on quantum computers*. Washington DC: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS) 114 (29) 7555-7560, 18.07.2017. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1073/pnas.1619152114> (abgerufen am 21.07.2021)
- [122] SPINDLER, Stefan Dr.: *Intelligente Produktion als wichtiger Erfolgsfaktor der Nachhaltigkeitsstrategie*, Plenarvortrag und Tagungsband Aachener Werkzeugmaschinenkolloquium (Hrsg.: BERGS, Thomas; BRECHER, Christian; SCHMITT, Robert; SCHUH, Günther), Aprimum Verlag, 2021.
- [123] BERGS, Thomas et al. *Nachhaltige Produktion mit dem digitalen Zwilling in BERGS, Thomas et al. (Hrsg.). 30. Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium 2021: Internet of Production - Turning Data into Sustainability*. Aachen: Institut für Industriekommunikation und Fachmedien (IIF) GmbH an der RWTH Aachen, 23.09.2021.
- [124] ZÜHLKE, Karin: *EMS Firmen sehen Trend zurück zur lokalen Produktion* in WEKA FACHMEDIEN GmbH. *Markt und Technik*. Ausgabe 37/2021. Haar: WEKA FACHMEDIEN GmbH, 17.09.2021. Verfügbar unter: <https://www.elektroniknet.de/elektronikfertigung/ems/historische-chance-fuer-europa.189804.html> (abgerufen am 21.07.2021)
- [125] PROKOP, Heinz-Jürgen. *Nachhaltigkeit durch eine ganzheitliche Betrachtung der flexiblen Blechbearbeitung*, Plenarvortrag. Aachener Werkzeugmaschinenkolloquium 2021. Aachen: 23. September 2021
- [126] BASF SE. *Bosch und BASF gründen Joint Venture für digitale Technologien in der Landwirtschaft*. Pressemitteilung P-20-361. Ludwigshafen: BASF SE, 12.11.2020. Verfügbar unter: <https://www.basf.com/global/de/media/news-releases/2020/11/p-20-361.html> (abgerufen am 20.02.2022)

- [127] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: *Schwerpunktstudie Digitalisierung und Energieeffizienz - Erkenntnisse aus Forschung und Praxis*. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, November 2021. Verfügbar unter: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/schwerpunktstudie-digitalisierung-energieeffizienz.pdf?__blob=publicationFile&v=12 (abgerufen am 20.02.2022)
- [128] Bitkom e.V. *Bitkom-Studie „Klimaeffekte der Digitalisierung“*. Berlin: Bitkom e.V., Oktober 2021. Verfügbar unter: <https://www.bitkom.org/Klimaschutz> (abgerufen am 20.02.2022)
- [129] HEIDE, Dana. *Chinas Code-System: Wie die Coronakrise zu noch mehr Überwachung führte* [online]. Düsseldorf: Handelsblatt, 18.03.2020. Verfügbar unter: <https://www.handelsblatt.com/technik/digitale-revolution/digitale-revolution-chinas-code-system-wie-die-coronakrise-zu-noch-mehr-ueberwachung-fuehrte/25653166.html?ticket=ST-1386907-h3ERTtQNqnJc7Eu1YH1t-ap5> (abgerufen am 27.09.2021)
- [130] CALLAWAY, Ewen, (2021): News in Focus, *Nature* **588**, 203-204 (2020). Verfügbar unter: <https://www.nature.com/articles/d41586-020-03348-4> (abgerufen am 20.02.2022)
- [131] ProVita Alltagsassistent Deutschland GmbH. *Einsatz von Robotern in der Pflege. Ist das die Zukunft? Chancen und Risiken!* [online]. Köln: ProVita Alltagsassistent Deutschland GmbH, 25.03.2020. Verfügbar unter: <https://www.provita-deutschland.de/einsatz-von-robotern-in-der-pflege-ist-das-die-zukunft-chancen-und-risiken/> (abgerufen am 27.09.2021)
- [132] AMNESTY INTERNATIONAL. *"Ban The Scan": Amnesty fordert Verbot von Gesichtserkennungstechnologie* [online]. Berlin: Amnesty International Deutschland e.V., 27.01.2021. Verfügbar unter: <https://www.amnesty.de/informieren/aktuell/gesichtserkennungstechnologie-verbot-kampagne-ban-scan> (abgerufen am 27.09.2021)
- [133] KREMPL, Stefan. *Forscher entdecken Generalschlüssel für Systeme zur Gesichtserkennung* [online]. Hannover: Heise Medien GmbH & Co. KG, 05.08.2021. Verfügbar unter: <https://www.heise.de/news/Forscher-entdecken-Generalschluesel-fuer-Systeme-zur-Gesichtserkennung-6156605.html> (abgerufen am 22.02.2022)
- [134] Shmelkin, Ron; Friedlander, Tomer; Wolf, Lior. *Generating Master Faces for Dictionary Attacks with a Network-Assisted Latent Space Evolution* [online]. arXiv.org, 19.08.2021. Verfügbar unter: <https://arxiv.org/abs/2108.01077> (abgerufen am 22.02.2022)
- [135] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE. *IPCEI Nächste Generation Cloud Infrastrukturen und Services* [online]. Berlin, 25.05.2021. Verfügbar unter: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/ipcei-cis.html> (abgerufen am 22.02.2022)
- [136] WOHLEB, Dirk. *Privatanleger setzen auf nachhaltige Produkte*. Düsseldorf: Handelsblatt, 22.09.2021
- [137] HILBIG, Bärbel. *Digitaler Assistent entlastet Fachkräfte* [online]. Hannover: Verlagsgesellschaft Madsack GmbH & Co. KG, 16.11.2018. Verfügbar unter: <https://www.haz.de/Hannover/Aus-der-Stadt/Mittelstand-4.0-Hannover-Digitaler-Assistent-entlastet-Fachkraefte> (abgerufen am 22.02.2022)
- [138] REICHERT, Susann. *Inklusion 4.0: Digitaler Assistent unterstützt Menschen mit Behinderung im Job* [online]. Bayreuth: Informationsdienst Wissenschaft e. V., 27.07.2017. Verfügbar unter: <https://idw-online.de/en/news678915> (abgerufen am 22.02.2022)
- [139] SCHUBS GmbH. *Schubs nimmt eine Vorreiterrolle in der digitalen Welt der Schaltschrankfertigung ein* [online]. Hameln: SCHUBS GmbH, o. J. Verfügbar unter: <https://schubs.de/digitalisierung/> (abgerufen am 08.10.2021)
- [140] BECK, Susanne et al. (2019) *Künstliche Intelligenz und Diskriminierung - Herausforderungen und Lösungsansätze* [online]. München, Lernende Systeme - Die Plattform für Künstliche Intelligenz, Juni 2019. Verfügbar unter: https://www.plattform-lernende-systeme.de/files/Downloads/Publikationen/AG3_Whitepaper_250619.pdf (abgerufen am 22.02.2022)

- [141] JONAS, Uschi. *Umweltfreundlich oder Marketing-Trick? So erkennen Sie wirklich nachhaltige Produkte* [online]. München, FOCUS Online, 24.10.2019. Verfügbar unter: https://www.focus.de/perspektiven/welt-retten-kolumne/kolumne-in-kleinen-schritten-die-welt-retten-umweltfreundlich-oder-marketing-trick-so-erkennen-sie-wirklich-nachhaltige-produkte_id_11268221.html (abgerufen am 22.02.2022)
- [142] NABU. *Der NABU-Siegel-Check - App mit Fotoerkennung von Lebensmittellogos* [online] Berlin, NABU - (Naturschutzbund Deutschland) e. V. Verfügbar unter: <https://www.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/oekologisch-leben/essen-und-trinken/bio-fair-regional/labels/16627.html> (abgerufen am 28.09.2021)
- [143] DIETRICH, Christian, HÄHLER, Joschka, RATHKE, Selina, WEISS, Daniel, LEUSER, Leon und KEPNER, Benno: *Anwendung digitaler Technologien für ein nachhaltiges Lieferkettenmanagement - Eine Einordnung*. Berlin/Hamburg: adelphi consult GmbH/Systain Consulting GmbH, Februar 2019. Verfügbar unter: <https://www.systain.com/?ddownload=6500> (abgerufen am 22.02.2022)
- [144] JUNGMICHEL, Norbert, NILL, Moritz, SCHAMPEL, Christina, WEISS, Daniel und GARCIA, Bibiana. *Nachhaltiges Lieferkettenmanagement – Beispiele, Erfahrungen und Tipps*. Berlin/Hamburg: adelphi consult GmbH/Systain Consulting GmbH, Februar 2019. Verfügbar unter: <https://www.systain.com/?ddownload=6417> (abgerufen am 22.02.2022)
- [145] NATARAJAN, Harish; KRAUSE, Solvej; GRADSTEIN, Helen. *Distributed Ledger Technology and Blockchain*. FinTech Note;No. 1. Washington, DC: World Bank, 2017. Verfügbar unter: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/29053> (abgerufen am 22.02.2022)
- [146] RAMESOHL, Stephan; LAUTEN-WEISS, Julian; & KOBIELA, Georg. *Blockchains nachhaltig gestalten - Vorschlag von nachhaltigkeitsorientierten Entscheidungskriterien und eines Verfahrenskonzepts für die Umsetzung staatlich geförderter oder initiiertes Projekte im Bereich Blockchain* [online]. Wuppertal, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, 09.09.2021. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.48506/opus-7815> (abgerufen am 22.02.2022)
- [147] COOK, Gary et. al.: *Clicking Clean: Who is Winning the Race to Build a green Internet?* Washington DC: Greenpeace Inc., 2017. Verfügbar unter: <http://www.clickclean.org/downloads/ClickClean2016%20HiRes.pdf> (abgerufen am 22.02.2022)
- [148] COOK, Gary and JARDIM, Elizabeth: *Guide to Greener Electronics*. Greenpeace Reports. Washington DC: Greenpeace Inc., 17.10.2017. Verfügbar unter: <https://www.greenpeace.org/usa/wp-content/uploads/2017/10/Guide-to-Greener-Electronics-2017.pdf> (abgerufen am 22.02.2022)
- [149] BRIDGEN, Kevin; LABUNSKA, Iryna; SANTILLO, David; JOHNSTON, Paul: *Chemical contamination at e-waste recycling and disposal sites in Accra and Korforidua, Ghana*. Greenpeace Research Laboratories Technical Note 10/2008. Amsterdam: Greenpeace International, 2008. Verfügbar unter: <https://www.greenpeace.to/publications/chemical-contamination-at-e-wa.pdf> (abgerufen am 22.02.2022)
- [150] Greenpeace International: *Poisoning the poor - Electronic waste in Ghana*, Report August 2008. Amsterdam: Greenpeace International, 2008. Verfügbar unter: https://www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/GhanaEWaste_FINAL_0.pdf (abgerufen am 22.02.2022)
- [151] WEYLER, Rex. *It's a Waste World* [online]. Amsterdam: Greenpeace International, 20.07.2019. Verfügbar unter: <https://www.greenpeace.org/international/story/23747/its-a-waste-world/> (abgerufen am 22.02.2022)
- [152] WALTERS, A. & SANTILLO, D: *Evidence of environmental and health impacts of electronics recycling in China: an update*. Greenpeace Research Laboratories Technical Note 04/2008. Amsterdam: Greenpeace International, 2004. Verfügbar unter:

- <https://www.greenpeace.to/publications/impacts-of-e-recycling-china-update.pdf> (abgerufen am 22.02.2022)
- [153] European Digital SME Alliance. *Sustainable Digitalisation: Strengthening Europe's Digital Sovereignty*. Position paper. Brüssel: European Digital SME Alliance, 16.09.2020. Verfügbar unter: https://www.digitalsme.eu/digital/uploads/Position-paper-Sustainable-Digital-Transformation_FINAL-2.pdf (abgerufen am 22.02.2022)
- [154] BMWi. *Der digitalisierte Zander: Die Fischmaster GmbH entwickelt die Fischproduktion der Zukunft* in BMWi. *Digitale Geschäftsmodelle*. Themenheft Mittelstand-Digital. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, März 2017. Verfügbar unter: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Mittelstand/mittelstand-digital-digitale-geschaeftsmodelle.pdf?__blob=publicationFile&v=16 (abgerufen am 22.02.2022)
- [155] e-Vergabe, die Vergabeplattform des Bundes. *Ausschreibungssuche, Projektträgerschaft zur fachlichen und administrativen Abwicklung des Förderprogramms "Ressourceneffizienz zirkuläre Produktionsprozesse"* [online]. Bonn: Beschaffungsamt des Bundesministeriums des Innern, Referat Z14 - E-Beschaffung, Vergabeportal, 16.09.2021. Verfügbar unter: <https://www.evergabe-online.de/tenderdetails.html?2&id=413948> (abgerufen am 22.02.2022)
- [156] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. *Bundes-Klimaschutzgeschäft* [online]. Berlin: Bundesministerin der Justiz und für Verbraucherschutz, o. J. Verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/ksg/> (abgerufen am 08.10.2021)
- [157] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. *Förderdatenbank – Fördersuche „Nachhaltigkeit“* [online]. Berlin, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, o. J. Verfügbar unter: https://www.foerderdatenbank.de/SiteGlobals/FDB/Forms/Suche/Servicesuche_Formular.html?resourceId=75957770-36ec-4a46-a24b-63087e1d6e7c&input=d7236b7b-0830-4292-b71f-b724ae08ae7f&pageLocale=de&templateQueryString=Nachhaltigkeit&submit=Suchen (abgerufen am 08.10.2021)
- [158] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. *Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die hochwertige Verwertung von Verpackungen* [online]. Berlin: Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, o. J. Verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/verpackg/> (abgerufen am 08.10.2021)
- [159] Europäische Union. Verordnung (EU) 2019/631 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. April 2019 zur Festsetzung von CO₂-Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen und für neue leichte Nutzfahrzeuge und zur Aufhebung der Verordnungen (EG) Nr. 443/2009 und (EU) Nr. 510/2011. Luxemburg: Publications Office of the European Union EUR-Lex & Legal Information Unit, 25.04.2019. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/de/TXT/?uri=CELEX%3A32019R0631> (abgerufen am 22.02.2022)
- [160] circular.fashion. *circularity.ID – The Transformation to data-driven circularity in fashion* [online] Berlin, circular.fashion UG, 13.12.2019. Verfügbar unter: https://circularity.id/static/13.12.2019_Official_WhitePaper_circularity.ID.pdf (abgerufen am 22.02.2022)
- [161] FASSE, Markus. *Klimawende in der Autoindustrie: Zulieferer und deren Beschäftigte müssen den Großteil der Transformation stemmen* [online]. Düsseldorf: Handelsblatt, 28.03.2020. Verfügbar unter: <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/kommentar-klimawende-in-der-autoindustrie-zulieferer-und-deren-beschaeftigte-muessen-den-grossteil-der-transformation-stemmen/27656046.html> (abgerufen am 27.09.2021)
- [162] WAGENSONNER, Stefanie. *Die Lieferkette der Zukunft* [online]. Leinfelden-Echterdingen: Konradin-Verlag Robert Kohlhammer GmbH, 03.11.2017. Verfügbar unter: <https://beschaffung-aktuell.industrie.de/supply-chain-management/die-lieferkette-der-zukunft/> (abgerufen am 01.10.2021)

- [163] enArgus. *Suche "01235639/1"* [online]. Jülich: Projektträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH, o.J. Verfügbar unter: <https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/?op=enargus.eps2&q=%2201235639/1%22> (abgerufen am 08.10.2021)
- [164] Bundesministerium für Justiz und Verbraucherschutz. *Gesetz über die unternehmerischen Sorgfaltspflichten zur Vermeidung von Menschenrechtsverletzungen in Lieferketten* [online]. Berlin: Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, o. J. Verfügbar unter: https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&jumpTo=bgbl121s2959.pdf#_bgbl_%2F%2F%5B%40attr_id%3D%27bgbl121s2959.pdf%27%5D_164587776164 (abgerufen am 26.2.2022)
- [165] Die Bundesregierung. *CO₂-Ausstoß von Kraftstoffen senken* [online]. Berlin: Presse- und Informationsamt der Bundesregierung, 29.09.2021. Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/service/gesetzesvorhaben/weniger-co2-in-kraftstoffen-1850472> (abgerufen am 11.10.2021)
- [166] DRÖGE, Susanne: *Ein CO₂-Grenzausgleich für den Green Deal der EU - Funktionen, Fakten und Fallstricke*. SWP-Studie 9. Berlin: Stiftung Wissenschaft und Politik, Deutsches Institut für Internationale Politik und Sicherheit, Juli 2021. Verfügbar unter: https://www.swp-berlin.org/publications/products/studien/2021S09_CO2-Grenzausgleich.pdf (abgerufen am 22.02.2022)
- [167] Charité - Universitätsmedizin Berlin. *CovApp* [online]. Berlin: Charité – Universitätsmedizin Berlin, o. J. Verfügbar unter: <https://covapp.charite.de/> (abgerufen am 01.10.2021)
- [168] Data4Life. *Digitale Lösungen im Gesundheitswesen* [online]. Potsdam: D4L data4life gGmbH, o. J. Verfügbar unter: <https://www.data4life.care/de/was-wir-machen/digitale-loesungen-gesundheitswesen/> (abgerufen am 01.10.2021)
- [169] StellDirVor. *StellDirVor: Gesund digitalisiert – Beratung. Wissen. Prozesse* [online]. München: StellDirVor GmbH, o. J. Verfügbar unter: <https://www.stelldirvor.jetzt> (abgerufen am 01.10.2021)
- [170] Techniker Krankenkasse. *TK-Online-Sprechstunde - Fernbehandlung für TK-Versicherte* [online]. Hamburg: Techniker Krankenkasse, 09.07.2021. Verfügbar unter: <https://www.tk.de/techniker/gesundheit-und-medizin/behandlungen-und-medizin/infektionen/corona-virus/onlinesprechstunde-fernbehandlung-2092016> (abgerufen am 05.10.2021)
- [171] Telemed5000 (o.J.). *Entwicklung eines intelligenten Systems zur telemedizinischen Mitbetreuung von großen Kollektiven kardiologischer Risikopatienten* [online]. Teltow: GETEME -Medizin- und Informationstechnik AG, Verfügbar unter: <https://www.telemed5000.de/> (abgerufen am 05.10.2021)
- [172] Netzwerk für Tele-Intensivmedizin in MV. *Das Projekt – Netzwerk für Tele-Intensivmedizin in MV* [online]. Rostock: Universitätsmedizin Rostock, o. J. Verfügbar unter: <https://www.teleintensivmedizin-mv.de/das-projekt/> (abgerufen am 05.10.2021)
- [173] Ottobock SE & Co. KGaA. *Exoskelette für Mediziner:innen: Erleben Sie jetzt den "Paexo-Moment"* [online]. Duderstadt: Ottobock SE & Co. KGaA, o. J. (abgerufen am 05.10.2021).
- [174] Team VariLeg enhanced. *VariLeg enhanced - Das Rennexoskelett für CYBATHLON 2020* [online]. Rapperswil: Hochschule für Technik Rapperswil, September 2020. Verfügbar unter: https://www.varileg-enhanced.ch/wp-content/uploads/2020/09/Varileg_enhanced_booklet_interaktiv4.pdf (abgerufen am 05.10.2021)
- [175] Food & Energy Campus. *Willkommen am Food & Energy Campus* [online]. Groß-Gerau: Food & Energy Campus Groß-Gerau GmbH, 18.12.2020. Verfügbar unter: <https://food-and-energy.info/2020/12/18/willkommen-am-food-energy-campus/> (abgerufen am 05.10.2021)

- [176] MAWEDO. *Indoor-Farming* [online]. Küssnacht/Rigi: MABEWO AG, o. J. Verfügbar unter: <https://www.mabewo.com/de/unsere-loesungen/indoor-farming> (abgerufen am 05.10.2021)
- [177] Label-online. *Label-Suche „Essen und Trinken“* [online]. Berlin: Die VERBRAUCHER INITIATIVE e. V. (Bundesverband), o. J. Verfügbar unter: <https://label-online.de/suche/f0/sector%3AEssen%20und%20Trinken/> (abgerufen am 08.10.2021)
- [178] SCHRÄER, Frank. *Amazon-Zusteller: KI-Kamera im Führerhaus senkt Lohn durch falsche Strafen* [online]. Hannover: Heise Medien GmbH & Co. KG, 22.09.2021. Verfügbar unter: https://www.heise.de/news/Amazon-Zusteller-KI-Kamera-im-Fuehrerhaus-senkt-Lohn-durch-falsche-Abstrafung-6198126.html?utm_source=pocket-newtab-global-de-DE (abgerufen am 07.10.2021)
- [179] OBMANN, Claudia, KOSCHIK, Anne. *„People Analytics“ – So funktioniert digitale Mitarbeiterüberwachung* [online]. Düsseldorf: Handelsblatt, 28.02.2019. Verfügbar unter: https://www.handelsblatt.com/karriere/the_shift/kuenstliche-intelligenz-people-analytics-so-funktioniert-digitale-mitarbeiterueberwachung/24047386.html (abgerufen am 07.10.2021)
- [180] DER SPIEGEL (online). *Facebook-Whistleblowerin gibt sich zu erkennen* [online]. Hamburg: DER SPIEGEL GmbH & Co. KG, 04.10.2021. Verfügbar unter: <https://www.spiegel.de/netzwelt/web/frances-haugen-facebook-whistleblowerin-gibt-sich-zu-erkennen-a-be1d200e-94a4-4029-99dd-66e7f56450fe> (abgerufen am 08.10.2021)
- [181] HAVERTZ, Rieke. *Das Geschäft mit der sozialen Abhängigkeit* [online]. Hamburg: ZEIT ONLINE GmbH, 05.10.2021. Verfügbar unter: <https://www.zeit.de/politik/ausland/2021-10/facebook-whistleblowerin-frances-haugen-us-kongress-regulierung-demokratie-gesellschaft> (abgerufen am 08.10.2021)
- [182] Breeze Technologies. *Hochlokale Luftqualitätsdaten für eine lebenswertere Umwelt: Breeze Technologies* [online]. Hamburg: Breeze Technologies UG, o. J. Verfügbar unter: <https://www.breeze-technologies.de/de/> (abgerufen am 15.10.2021)
- [183] Ecotrek. *ecotrek – datengestützte Erkenntnisse zur Nachhaltigkeit* [online]. Berlin: Ecotrek GmbH, o. J. Verfügbar unter: <https://de.ecotrek.tech/> (abgerufen am 15.10.2021)
- [184] planA. *Nachhaltige Berichterstattung und Maßnahmen für Unternehmen und Mitarbeiter – planA* [online]. Berlin: PlanA.Earth GmbH, o. J. Verfügbar unter: <https://plana.earth/> (abgerufen am 15.10.2021)
- [185] Planetly. *Planetly: Holistisches CO₂-Management für Ihr Unternehmen* [online]. Berlin: Planetly GmbH, o. J. Verfügbar unter: <https://de.planetly.com/> (abgerufen am 15.10.2021)
- [186] anybill. *anybill – Digitale Kassenbons* [online]. Regensburg: techreach GmbH, o. J. Verfügbar unter: <https://anybill.de/> (abgerufen am 15.10.2021)
- [187] NORMCUT. *NORMCUT – Cutting the Scrap* [online]. Berlin: NORMCUT UG, o. J. Verfügbar unter: <https://normcut.com/> (abgerufen am 15.10.2021)
- [188] BlueBox Systems. *BlueBox Systems – Mehr Transparenz in der Luftfracht* [online]. Bonn: Bluebox Systems GmbH, o. J. Verfügbar unter: <https://bluebox-systems.com/> (abgerufen am 15.10.2021)
- [189] Back Market. *Back Market – Nachhaltige Technik zum günstigen Preis* [online]. Berlin: Back Market - JUNG SAS, o. J. Verfügbar unter: <https://www.backmarket.de/> (abgerufen am 15.10.2021)
- [190] Greenpeace. *Willkommen zum „Schools for Earth“ CO₂-Schulrechner!* [online]. Hamburg: Greenpeace e. V., o. J. Verfügbar unter: <https://co2-schulrechner.greenpeace.de/node/1> (abgerufen am 18.10.2021)
- [191] Bündnis ZukunftsBildung. *Kernforderungen des Bündnis ZukunftsBildung zur Bundestagswahl 2021*. Berlin: Politische Vertretung Greenpeace e.V., 2021.

- [192] Forum Schule der Nationalen Plattform „Bildung für Nachhaltige Entwicklung“. *Unterricht der Zukunft - BNE und Digitalisierung in der schulischen Bildungspraxis* [online]. Berlin: DLR Projektträger, Juli 2021. Verfügbar unter: https://www.bne-portal.de/bne/shared-docs/downloads/files/positionspapier_forum_schule_digitalisierung.pdf (abgerufen am 15.10.2021)
- [193] aidminutes. *Wir heben medizinische Kommunikation auf eine neue Ebene* [online]. Buchholz i. d. N.: aidminutes GmbH, o. J. Verfügbar unter: <https://www.aidminutes.com/> (abgerufen am 18.10.2021)
- [194] Air Quality Egg. *Air Quality Egg – Science is Collaboration* [online]. Ithaca, NY: Wicked Devices LLC, o. J. Verfügbar unter: <https://airqualityegg.com/home> (abgerufen am 18.10.2021)
- [195] SkyTruth. *If you can see it, you can change it* [online]. Shepherdstown: SkyTruth, o. J. Verfügbar unter: <https://skytruth.org> (abgerufen am 18.10.2021)
- [196] COWAN, Jeremy. *Illegal Amazonian logging traced by Cargo Tracck™ and Gemalto's M2M modules* [online]. Kingshill, Kent: IoT Now (online), 16.01.2013. Verfügbar unter: <https://www.iot-now.com/2013/01/16/9659-cargo-tracck-and-gemalto-use-m2m-modules-to-track-illegal-amazonian-logging/> (abgerufen am 18.10.2021)
- [197] OceanMind. *Fisheries Compliance* [online]. Harwell: OceanMind Limited, o. J. Verfügbar unter: <https://www.oceanmind.global/what-we-do/fisheries-compliance/> (abgerufen am 18.10.2021)
- [198] BAUMANN, Jeanette. *3D-Druck-Haus: Eine Idee für den nachhaltigen Wohnungsbau* [online]. Radevormwald: Gira, Giersiepen GmbH & Co. KG, 03.08.2021. Verfügbar unter: <https://g-pulse.de/3d-drucker-haus> (abgerufen am 18.10.2021)
- [199] DROPS. *DROPS Projekt* [online]. Hamburg: HafenCity Universität Hamburg, o. J. Verfügbar unter: <https://drops-projekt.de/> (abgerufen am 18.10.2021)
- [200] (idw) Nachrichten. *Nachhaltige Wohnquartiere durch ressourcenschonendes Bauen ermöglichen* [online]. Bayreuth: Informationsdienst Wissenschaft e.V. -idw-, 14.09.2021. Verfügbar unter: <https://nachrichten.idw-online.de/2021/09/14/nachhaltige-wohnquartiere-durch-ressourcenschonendes-bauen-ermoeglichen/> (abgerufen am 18.10.2021)
- [201] IntegrityNext. *Überwachung von Lieferanten für Nachhaltigkeit* [online]. München: Integrity Next GmbH, o. J. Verfügbar unter: <https://www.integritynext.com/de/index.html> (abgerufen am 19.10.2021)
- [202] Watershed. *Corporate climate programs* [online]. San Francisco: Watershed, o. J. Verfügbar unter: <https://watershedclimate.com/> (abgerufen am 18.10.2021)
- [203] Klarna. *Klarna launches carbon footprint insights for 90 million consumers* [online]. Stockholm: Klarna Bank AB, 20.04.2021. Verfügbar unter: <https://www.klarna.com/international/press/klarna-launches-carbon-footprint-insights-for-90-million-consumers/> (abgerufen am 18.02.2022)
- [204] HAAS, Georg. *Doconomy: 17 Mio. für das Fintech, das die CO₂-Bilanz von Einkäufen errechnet* [online]. 23.09.2021. Verfügbar unter: <https://www.techandnature.com/doconomy-17-mio-fuer-das-fintech-das-die-co2-bilanz-von-einkaeufen-errechnet/> (abgerufen am 19.10.2021)
- [205] Bertelsmann Stiftung. *Digitale Demokratie – Was Europa von Taiwan lernen kann* [online]. Gütersloh: Bertelsmann Stiftung, 09.09.2020. Verfügbar unter: <https://www.bertelsmannstiftung.de/de/unsere-projekte/demokratie-und-partizipation-in-europa/projektnachrichten/digitale-demokratie-was-europa-von-taiwan-lernen-kann-1> (abgerufen am 18.10.2021)
- [206] National Democratic Institute. *Citizen Participation and Technology. An NDI Study*. Washington DC: National Democratic Institute for International Affairs, 2013. Verfügbar unter: <https://www.ndi.org/sites/default/files/Citizen-Participation-and-Technology-an-NDI-Study.pdf> (abgerufen am 18.10.2021)

- [207] KRCMAR, Helmut. *Softwareplattformen als Digitale Infrastruktur – Herausforderungen für Unternehmensstrategie, Regulierung und die Digitale Souveränität*. Vortrag. München: Technische Universität München, 20.02.2021. Verfügbar unter: <https://www.giz.de/expertise/downloads/KrcmarPlatforms.pdf> (abgerufen am 18.02.2022)
- [208] Redaktion Naturschutz. *Landwirtschaft 4.0: Wie sieht der Bauernhof der Zukunft aus?* [online]. Zürich: Verein Naturschutz.ch, 24.02.2020. Verfügbar unter: <https://naturschutz.ch/hintergrund/wissen/landwirtschaft-4-0-wie-sieht-der-bauernhof-der-zukunft-aus/143170> (abgerufen am 19.10.2021)
- [209] BUND. *Chancen und Risiken der Digitalisierung in der Landwirtschaft*. Diskussionspapier des BAK Landwirtschaft. Hannover: Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland, 18.09.2019. Verfügbar unter: https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/landwirtschaft/bak_landwirtschaft_diskussionspapier_digitalisierung.pdf (abgerufen am 18.10.2021)
- [210] Netzwerk Digitale Landwirtschaft. *Revolutionäre Milchviehüberwachung – die smaXtec Bolus-Technologie im Fokus* [online]. Dresden: fodjan GmbH, o. J. Verfügbar unter: <https://digitale-landwirtschaft.com/milchviehueberwachung-smaxtec/> (abgerufen am 19.10.2021)
- [211] KNIGHT, Will. *Google just gave control over data center cooling to an AI* [online]. Cambridge MA: MIT Technology Review, 17.08.2018. Verfügbar unter: <https://www.technologyreview.com/2018/08/17/140987/google-just-gave-control-over-data-center-cooling-to-an-ai/> (abgerufen am 19.10.2021)
- [212] WICHERT, Silke. *Digitale Mode, die man nur online tragen kann, wird zur Realität* [online]. Zürich: NZZ Bellevue, 22.02.2020. Verfügbar unter: <https://bellevue.nzz.ch/mode-beauty/digitale-mode-die-man-nur-online-tragen-kann-wird-zur-realitaet-ld.1541555> (abgerufen am 18.10.2021)
- [213] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. *Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland - Art 20a* [online]. Berlin: Bundesministerin der Justiz und für Verbraucherschutz, o. J. Verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/gg/art_20a.html (abgerufen am 08.10.2021)
- [214] Open SC. *Case Study – Austral Fisheries* [online]. Sydney: BCG Digital Ventures, o. J. Verfügbar unter: <https://opensc.org/c%5b21-studies.html#trace> (abgerufen am 21.10.2021)
- [215] ReCarbonX Systems. *ReCarbonX Systems* [online]. Adliswil: ReCarbonX AG, o. J. Verfügbar unter: <https://www.recarbonx.com/> (abgerufen am 21.10.2021)
- [216] Amnesty International. *Sorgfaltspflichten in Lieferketten: Gesetz hat Lücken beim Menschenrechtsschutz* [online]. Berlin: Amnesty International Deutschland e. V., 11.06.2021 Verfügbar unter: <https://www.amnesty.de/allgemein/pressemitteilung/deutschland-lieferketten-gesetz-sorgfaltspflichten-menschenrechtsschutz> (abgerufen am 19.10.2021)
- [217] Amnesty International. *"Projekt Pegasus": Spionage-Software späht Medien, Zivilgesellschaft und Oppositionelle aus* [online]. Berlin: Amnesty International Deutschland e. V., 11.06.2021 Verfügbar unter: <https://www.amnesty.de/informieren/aktuell/projekt-pegasus-spionage-software-medien-zivilgesellschaft> (abgerufen am 19.10.2021)
- [218] Amnesty International. *Facebook und Google mitschuldig an Zensur und Einschüchterung* [online]. Berlin: Amnesty International Deutschland e. V., 11.06.2021 Verfügbar unter: <https://www.amnesty.de/allgemein/pressemitteilung/vietnam-facebook-google-zensur-einschuechterung> (abgerufen am 19.10.2021)
- [219] Amnesty International. *Enttäuschende Bilanz der Dual-Use-Reform* [online]. Berlin: Amnesty International Deutschland e. V., 17.11.2020 Verfügbar unter: <https://www.amnesty.de/informieren/aktuell/enttaeuschende-bilanz-der-dual-use-reform> (abgerufen am 19.10.2021)

- [220] DE.DIGITAL. *Porträts der Preisträger:innen* [online]. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, o. J. Verfügbar unter: <https://www.de.digital/DIGITAL/Redaktion/DE/Gruenderwettbewerb/Artikel/preistraeger-portraits-artikel.html> (abgerufen am 21.10.2021)
- [221] Umweltbundesamt. *Rebound-Effekte* [online]. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 17.09.2019 Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/oekonomische-rechtliche-aspekte-der/rebound-effekte> (abgerufen am 21.10.2021)
- [222] Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung. *SDG 9: Industrie, Innovation und Infrastruktur* [online]. Berlin: Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, o. J. Verfügbar unter: <https://www.bmz.de/de/agenda-2030/sdg-9> (abgerufen am 21.10.2021)
- [223] Heise. *Internet of Things – Was ist das?* [online]. Hannover: Heise Medien GmbH & Co. KG Verfügbar unter: <https://www.heise.de/tipps-tricks/Internet-of-Things-Was-ist-das-4292504.html> (abgerufen am 16.11.2021)
- [224] Gabler Wirtschaftslexikon. *Internet der Dinge* [online]. Wiesbaden: Springer Gabler | Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH. Verfügbar unter: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/internet-der-dinge-53187> (abgerufen am 16.11.2021)
- [225] LAB-IoT. *Was ist das Internet of Things* [online]. Stuttgart: Das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA. Verfügbar unter: <https://websites.fraunhofer.de/Lab-IoT/?p=535> (abgerufen am 16.11.2021)
- [226] DEWENTER, Ralf; RÖSCH, Jürgen und TERSCHÜREN, Anna (2014). *Abgrenzung zweiseitiger Märkte am Beispiel von Internetsuchmaschinen* Nr./ No. 151 October 2014. Helmut Schmidt Universität Hamburg Fächergruppe Volkswirtschaftslehre.
- [227] Bitkom. *Arbeitskreis Big Data & Advanced Analytics* [online]. Berlin: Bitkom e.V. Verfügbar unter: <https://www.bitkom.org/Bitkom/Organisation/Gremien/Big-Data-und-Advanced-Analytics.html> (abgerufen am 16.11.2021)
- [228] Bitkom Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. *Big Data im Praxiseinsatz – Szenarien, Beispiele, Effekte*. Berlin 2012
- [229] Bitkom. *Leitfaden Big Data im Praxiseinsatz – Szenarien, Beispiel, Effekte*. Berlin: Bitkom e.V. Verfügbar unter: <https://www.bitkom.org/Bitkom/Publikationen/Leitfaden-Big-Data-im-Praxiseinsatz-Szenarien-Beispiele-Effekte.html> (abgerufen am 16.11.2021)
- [230] TANNEBNBAUM, Andrew und WETHERALL, David (2021). *Computer Networks*, Global Edition Taschenbuch (6. Auflage). Pearson Verlag
- [231] ROCHET, Jean-Charles und TIROLE, Jean Tirole (2003). *Platform Competition in Two-Sided Markets*, Journal of the European Economic Association, Volume 1, Issue 4, 1 June 2003, pp. 990–1029. <https://doi.org/10.1162/154247603322493212>
- [232] etailment. *B2B-Plattformen: Wie sich Verfolger gegen Amazon Business wappnen müssen* [online]. Frankfurt am Main: Das Digital Commerce Magazin von der Handel Deutscher Fachverlag GmbH. Verfügbar unter: <https://etailment.de/news/stories/Marktplaetze-B2B-Plattformen-Wie-sich-Verfolger-gegen-Ama-zon-Business-wappnen-muessen-20290> (abgerufen am 16.11.2021)
- [233] eStrategy Consulting. *Studie zu lokalen Marktplätzen & Chancen für den stationären Handel* [Update 2021] [online]. Berlin: eStrategy Consulting GmbH. Verfügbar unter: <https://www.estrategy-consulting.de/de/studie/lokale-online-marktplaetze/> (abgerufen am 16.11.2021)
- [234] Europäisches Parlament. *Was ist künstliche Intelligenz und wie wird sie genutzt?* [online]. Brüssel: European Parliament. Verfügbar unter: <https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/society/20200827STO85804/was-ist-kunstliche-intelligenz-und-wie-wird-sie-genutzt> (abgerufen am 16.11.2021)

- [235] Fraunhofer IKS. *Künstliche Intelligenz (KI) und maschinelles Lernen* [online]. München: Das Fraunhofer-Institut für Kognitive Systeme IKS. Verfügbar unter: <https://www.iks.fraunhofer.de/de/themen/kuenstliche-intelligenz.html> (abgerufen am 16.11.2021)
- [236] Fraunhofer-Gesellschaft e.V. *Trends für die künstliche Intelligenz*. München 2017
- [237] GOODFELLOW, Ian; BENGIO, Yoshua und COURVILLE, Aaron (2016). *Deep Learning*. The MIT Press
- [238] WESSELER, Berthold (2018). *Nichts verallgemeinern, KI schnell und einfach* 04/2018, S. 46. <https://www.heise.de/select/ix/2018/4/1522370297348735>
- [239] BISHOP, Christopher M. (2006). *Pattern Recognition and Machine Learning*. Springer
- [240] LEUGERING, Johannes. *Neuromorphe Hardware*. Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen, in DESIGN&ELEKTRONIK 07/2020, S. 41-47
- [241] Stiftung Allianz für Entwicklung und Klima. *Was sind Scopes (Geltungsbereiche) bei der Berechnung der unternehmensbezogenen Treibhausgasemissionen* [online]. Berlin: Stiftung Allianz für Entwicklung und Klima. Verfügbar unter: <https://allianz-entwicklung-klima.de/toolbox/was-sind-scopes-geltungsbereiche-bei-der-berechnung-der-unternehmensbezogenen-treibhausgasemissionen/> (abgerufen am 16.11.2021)
- [242] United Nations. *Ensure sustainable consumption and production patterns* [online]. New York: Department of Economic and Social Affairs Sustainable Development. Verfügbar unter: <https://sdgs.un.org/goals/goal12> (abgerufen am 16.11.2021)
- [243] United Nations. *Promote sustained, inclusive, and sustainable economic growth, full and productive employment decent work for all* [online]. Department of Economic and Social Affairs Sustainable Development. Verfügbar unter: <https://sdgs.un.org/goals/goal8> (abgerufen am 16.11.2021)
- [244] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. *GAIA-X Förderwettbewerb Innovative und praxisnahe Anwendungen und Datenräume im digitale Ökosystem GAIA-X* [online]. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie Referat Soziale Medien, Öffentlichkeitsarbeit. Verfügbar unter: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/Dateninfrastruktur-GAIA-X/gaia-x-foerderwettbewerb.html> (abgerufen am 16.11.2021)
- [245] EUR-Lex. Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on European data governance (Data Governance Act) COM/2020/767 final [online]. Brüssel: Europäische Union. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020PC0767> (abgerufen am 16.11.2021)
- [246] E+Z. *Licht- und Schattenseiten* [online]. Bonn: ENGAGEMENT GLOBAL GmbH. Verfügbar unter: <https://www.dandc.eu/de/article/kryptowaehrungen-bergen-chancen-aber-auch-viele-risiken-fuer-reiche-und-fuer> (abgerufen am 16.11.2021)
- [247] DIW Berlin. *Facebook-Währung Libra: Nur ein genialer Marketingtrick?* Kommentar [online]. Berlin: Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung e.V. Verfügbar unter: https://www.diw.de/de/diw_01.c.678097.de/publikationen/wochenberichte/2019_37_5/facebook-waehrung_libra_nur_ein_genialer_marketing-trick_kommentar.html (abgerufen am 16.11.2021)
- [248] Amnesty International. *Facebook and Google's pervasive surveillance poses an unprecedented danger to human rights* [online]. London: Amnesty International, 21.11.2019. Verfügbar unter: <https://www.amnesty.org/en/latest/press-release/2019/11/google-facebook-surveillance-privacy/> (abgerufen am 22.11.2021)
- [249] DRESCHER, D. (2017). *Blockchain Basics. A Non-Technical Introduction in 25 Steps*. Berkeley, CA. Apress
- [250] Global Reporting Initiative (2016). *GRI 305: Emissions*. Verfügbar unter: [gri-305-emissions-2016.pdf \(globalreporting.org\)](https://www.globalreporting.org/standards/gri-305-emissions-2016.pdf) (abgerufen am 26.11.2021)
- [251] Global Reporting Initiative (2016). *GRI 301: Materials*. Verfügbar unter: [gri-301-materials-2016.pdf \(globalreporting.org\)](https://www.globalreporting.org/standards/gri-301-materials-2016.pdf) (abgerufen am 26.11.2021)

- [252] Global Reporting Initiative (2020). *GRI 305: Waste*. Verfügbar unter: [gri-306-waste-2020.pdf \(globalreporting.org\)](https://www.globalreporting.org/reports-and-publications/gri-standards/gri-305-waste) (abgerufen am 26.11.2021)
- [253] Arrhenius, S.. XXXI. *On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground*. In: The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science 41 (5), S. 237–276. DOI: 10.1080/14786449608620846.
- [254] Anderegg, W. R. L.; Harold, J.; Prall, J. W.; Schneider, S. H. *Expert credibility in climate change*. In: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 107 (27), S. 12107–12109. DOI: 10.1073/pnas.1003187107.
- [255] United Nations. *Paris Agreement*. Verfügbar unter: [ADOPTION OF THE PARIS AGREEMENT - Paris Agreement text English \(unfccc.int\)](https://unfccc.int/paris_agreement/text) (abgerufen am 26.11.2021)
- [256] Umweltbundesamt. *Primärenergieverbrauch*. Verfügbar unter: [Primärenergieverbrauch | Umweltbundesamt](https://www.umweltbundesamt.de/themen/energie/primaerenergieverbrauch) (abgerufen am 26.11.2021)
- [257] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. *Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz (NAPE)*. Verfügbar unter: [Mehr aus Energie machen - Nationaler Aktionsplan für Energieeffizienz \(bmwi.de\)](https://www.bmwi.de/SharedDocs/DE/Presse/Mehr-aus-Energie-machen-Nationaler-Aktionsplan-fuer-Energieeffizienz.html) (abgerufen am 26.11.2021)
- [258] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. *Das Abkommen von Paris*. Verfügbar unter: [BMW i - Abkommen von Paris](https://www.bmwi.de/SharedDocs/DE/Presse/BMWi-Abkommen-von-Paris.html) (abgerufen am 26.11.2021)
- [259] Sachverständigenrat für Umweltfragen. *Umweltgutachten 2020: Für eine entschlossene Umweltpolitik in Deutschland und Europa*. Berlin 2020.
- [260] WAHEEDUZZAMAN, A. (2008) *Market Potential Estimation in International Markets: A Comparison of Methods*, Journal of Global Marketing, 21:4, 307-320. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1080/08911760802206144> (abgerufen am 26.11.2021)
- [261] JEHL, G. A., RENY, P. J. (2011) *Advanced Microeconomic Theory* (Third). Essex: Pearson Education Limited.
- [262] BASTOS, D., SHACKLETON, M., & EL-MOUSSA, F. (2018). *Internet of things: A survey of technologies and security risks in smart home and city environments*. Verfügbar unter: <https://digital-library.theiet.org/content/conferences/10.1049/cp.2018.0030> (abgerufen am 26.11.2021)
- [263] Europäische Kommission (2021) *Key Enabling Technologies*. Verfügbar unter: <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/area/key-enabling-technologies> (abgerufen am 25.11.2021)
- [264] Deutscher Bundestag (2018) *Auswirkung zunehmender Automatisierung und Digitalisierung auf den Arbeitsmarkt - Ausgewählte Studien und Berichte*. Verfügbar unter: <https://www.bundestag.de/resource/blob/564996/1b9e0f09ff5e9944dcbfad652a514040/wd-6-043-18-pdf-data.pdf> (abgerufen am 25.11.2021)
- [265] Otto Newroom Kultur (2019) *So viel „New Work“ steckt in Deutschlands Unternehmen*. Verfügbar unter: <https://www.otto.de/newsroom/de/kultur/infografik-new-work-branchenvergleich> (abgerufen am 25.11.2021)
- [266] Statista (2020) *Überstunden der Arbeitnehmer in Deutschland seit 2000*. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/76945/umfrage/ueberstunden-der-arbeitnehmer-in-deutschland-seit-2000/> (abgerufen am 25.11.2021)
- [267] Statista (2019) *Wer die meisten Überstunden macht*. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/infografik/14454/wer-die-meisten-ueberstunden-macht/> (abgerufen am 25.11.2021)
- [268] Spiegel (2021) DIHK-Umfrage: *Jedes siebte Innenstadtgeschäft könnte auf Dauer leer stehen*. Verfügbar unter: <https://www.spiegel.de/wirtschaft/einzelhandel-jedes-siebte-innenstadt-geschaeft-koennte-auf-dauer-leer-stehen-a-645fdacd-dd14-44c2-b1f6-900e95cd1c95> (abgerufen am 25.11.2021)

- [269] Bundesministerium für Arbeit- und Soziales (2021) Sorgfaltspflichtengesetz. Verfügbar unter: <https://www.bmas.de/DE/Service/Gesetze-und-Gesetzesvorhaben/gesetz-unternehmerische-sorgfaltspflichten-lieferketten.html> (abgerufen am 25.11.2021)
- [270] Focus (2019) *Kein Arzt, kein Netz, nur Dorf? Andere Länder zeigen Deutschland, wie es besser geht*. Verfügbar unter: https://www.focus.de/perspektiven/serie-land-neu-leben-kein-arzt-kein-netz-nur-dorf-andere-laender-zeigen-deutschland-wie-es-besser-geht_id_10856565.html (abgerufen am 25.11.2021)
- [271] New York Times (2005) *A Closer Look at Income Mobility*. Verfügbar unter: <https://www.nytimes.com/2005/05/14/national/class/a-closer-look-at-income-mobility.html> (abgerufen am 25.11.2021)
- [272] Statista (2021) *Kinderarbeitsquoten ausgewählter Länder (Stand zwischen 2010 und 2019)*. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1189516/umfrage/ausmass-der-kinderarbeit-in-verschiedenen-laendern-der-welt/> (abgerufen am 25.11.2021)
- [273] Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2021) *Lieferketten und Abbaubedingungen im artisanalen Kupfer-Kobalt-Sektor der Demokratischen Republik Kongo*. Verfügbar unter: https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/lieferketten_abbaubedingungen_artisanaler_Cu-Co-Sektor_DR_Kongo_de.pdf?blob=publicationFile&v=3 (abgerufen am 25.11.2021)
- [274] Bundesregierung (2016) *Bericht der Bundesregierung zur Lebensqualität in Deutschland*. Verfügbar unter: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Wirtschaft/bericht-der-bundesregierung-zur-lebensqualitaet-in-deutschland.pdf?blob=publicationFile&v=8> (abgerufen am 25.11.2021)
- [275] Oracle (o.J.) *What is IoT?* Verfügbar unter: <https://www.oracle.com/internet-of-things/what-is-iot/> (abgerufen am 14.02.2022)
- [276] Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (2017): *Digitale Transformation in den Netzsektoren – Aktuelle Entwicklungen und regulatorische Herausforderungen*. Verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/Shared-Docs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Digitalisierung/Grundsatzpapier/Digitalisierung.pdf?blob=publicationFile&v=3 (abgerufen am 09.02.2022)
- [277] BfDI (o.J.). *Miniaturisierung der Informations- und Kommunikationstechnik*. Verfügbar unter: <https://www.bfdi.bund.de/DE/Buerger/Inhalte/Technik/Miniaturisierung.html> (abgerufen am 11.02.2022)
- [278] *The real climate and transformative impact of ICT: A critique of estimates, trends, and regulations*, <https://doi.org/10.1016/j.patter.2021.100340>
- [279] Digital Realty (2017): *What Is Hyperscale?* Verfügbar unter: <https://www.digitalrealty.com/blog/what-is-hyperscale> (abgerufen am 11.02.2022)
- [280] Recharge News (2019). Verfügbar unter: <https://www.rechargenews.com/wind/google-buys-first-ever-offshore-wind-power-as-part-of-record-deal/2-1-675522> (abgerufen am 11.02.2022)
- [281] Apple Newsroom (2020). Verfügbar unter: <https://www.apple.com/uk/newsroom/2020/09/apple-expands-renewable-energy-footprint-in-europe/> (abgerufen am 11.02.2022)
- [282] Pomerantz, Dorothy (2017). Amazon turns to wind to power ist business. Verfügbar unter: <https://www.ge.com/news/reports/amazon-turns-ge-wind-turbines-power-business> (abgerufen am 11.02.2022)
- [283] Bitkom (2021): *Klimaeffekte der Digitalisierung. Studie zur Abschätzung des Beitrags digitaler Technologien zum Klimaschutz*, Folie 7 [aktualisierte Fassung von Oktober 2021].

- [284] Deutschlandfunk (2020). Verfügbar unter: <https://www.deutschlandfunkkultur.de/5g-technologie-der-haerteste-widerstand-kommt-aus-bayern-100.html> (abgerufen am 22.02.2022)
- [285] Computerworld.ch (2021). Verfügbar unter: <https://www.computerworld.ch/social/schweiz/schweiz-5g-gut-organisierter-widerstand-2707904.html> (abgerufen am 22.02.2022)
- [286] GRIES, C.-I., KNIPS, J. & WERNICK, C. – Wissenschaftliches Institut für Infrastruktur und Kommunikation (Feb 2021) „Consumer-IoT in Deutschland“ https://www.wik.org/fileadmin/Studien/2021/Consumer_IoT_WIK_Marktstudie.pdf (abgerufen am 17.01.2022)
- [287] Deinkuechenplaner.de (o.J.) *Smarter Kühlschrank: Funktionen, Möglichkeiten, Grenzen*. Verfügbar unter: <https://www.deinkuechenplaner.de/blog/smarter-kuehlschrank/> (abgerufen am 27.02.2022)
- [288] XIAOYAN et. al (2019) <https://doi.org/10.1145/3349341.3349421>
- [289] CAMPBELL, I.C. (2021): *Amazon is reportedly working on a smart fridge*. Verfügbar unter: <https://www.theverge.com/2021/10/5/22711240/amazon-smart-fridge-cameras-go-stores> (abgerufen am 22.02.2022)
- [290] Statista (2022): „*Smarte Haushaltsgeräte*“. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/outlook/dmo/smart-home/smart-haushaltsgeraete/deutschland#umsatz> (abgerufen am 08.02.2022)
- [291] Statista (2022): *Consumer Markets > Haushaltsgeräte > Haushaltsgroßgeräte > Kühlschränke*. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/outlook/cmo/haushaltsgeraete/haushaltsgrossgeraete/kuehlschraenke/deutschland> (abgerufen am 08.02.2022)
- [292] Statista (2022): „*Anteil der TV-Haushalte in Deutschland mit einem internetfähigem Fernsehgerät (Smart-TV) im Haushalt in den Jahren 2013 bis 2021*“. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/325527/umfrage/anteil-der-tv-haushalte-in-deutschland-mit-smart-tv/> (abgerufen am 10.02.2022)
- [293] Samsung (o.J.) Verfügbar unter: <https://www.samsung.com/de/refrigerators/side-by-side/rs8000nc-side-by-side-refrigerator-with-family-hub-rs8000nc-side-by-side-refrigerator-with-family-hub-591l-black-rs6ha8891b1-eg/> (abgerufen am 10.02.2022)
- [294] LG (o.J.) Verfügbar unter: <https://www.lg.com/de/kuehlschraenke-gefrierschraenke/lg-GSX961MCVZ#> (abgerufen am 10.02.2022)
- [295] Samsung (o.J.) Verfügbar unter: <https://www.samsung.com/de/refrigerators/side-by-side/rs8000nc--8-609l-black-rs6qa8521b1-eg/> (abgerufen am 10.02.2022)
- [296] FUEST, B. (2012) *Was die Herstellung eines Tablets wirklich kostet*. Verfügbar unter: <https://www.welt.de/wirtschaft/webwelt/article110883861/Was-die-Herstellung-eines-Tablets-wirklich-kostet.html> (abgerufen am 10.02.2022)
- [297] Zigbee (o.J.) *The full-stack solution for all smart devices*. Verfügbar unter: <https://csa-iot.org/all-solutions/zigbee/> (abgerufen am 14.02.2022)
- [298] ioBroker (o.J.) Verfügbar unter: <https://www.iobroker.net> (abgerufen am 10.02.2022)
- [299] csa-iot (o.J.) Verfügbar unter: <https://csa-iot.org/all-solutions/matter/> (abgerufen am 14.02.2022)
- [300] HEARN, P. (2022) *Why matter ist he most important smart home trend from CES 2022*. Verfügbar unter: <https://www.digitaltrends.com/home/why-matter-most-important-smart-home-trend-ces-2022/>
- [301] PATTISON, J. (2022) *Matter was a major star at CES 2022, but can it maintain its shine?* Verfügbar unter: <https://www.theverge.com/2022/1/8/22872311/matter-smart-home-ces-2022> (abgerufen am 10.02.2022)
- [302] AEG (o.J.) Verfügbar unter: <https://www.aeg.de/kitchen/cooling/fridge-freezers/side-by-side-fridge-freezer/> (abgerufen am 10.02.2022)
- [303] Siemens (o.J.) Verfügbar unter: <https://www.siemens-home.bsh-group.com/de/produktliste/kuehlschraenke-gefrierschraenke> (abgerufen am 10.02.2022)

- [304] Haufe (2021) *Fachkräftemangel wächst – mit gravierenden Folgen* Verfügbar unter: https://www.haufe.de/personal/hr-management/mint-report-fachkraeftemangel-erreicht-hoehchststand_80_324146.html (abgerufen am 10.02.2022)
- [305] NAUMANN, M. (2019) *FCKW: Das hat das Verbot dieser Treibhausgase bewirkt*. Verfügbar unter: <https://utopia.de/ratgeber/fckw-das-hat-das-verbot-dieser-treibhausgase-bewirkt/> (abgerufen am 10.02.2022)
- [306] Umweltbundesamt (2021) *Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990-2020*. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-05-26_cc-45-2021_strom-mix_2021.pdf (abgerufen am 10.02.2022)
- [307] RUTSCHMANN, I (2022) *Wann Du Strom verbrauchst, ist entscheidend für seinen Preis*. Verfügbar unter: <https://www.finanztip.de/stromtarife/variable-stromtarife/> (abgerufen am 10.02.2022)
- [308] ZEHIR, M. A. and BAGRIYANIK, M. (2012): *Demand Side Management by controlling refrigerators and its effects on consumers* in: Energy Conversion and Management, Jg. 64., S. 238-244.
- [309] Elektro- und Elektronikgerätegesetz vom 20. Oktober 2015 (BGBl. I S. 1739), das zuletzt durch Artikel 23 des Gesetzes vom 10. August 2021 (BGBl. I S. 3436) geändert worden ist. Verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/elektrog_2015/ElektroG.pdf (abgerufen am 08.02.2022)
- [310] Umweltbundesamt (2022) *Elektroaltgeräte*. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/produktverantwortung-in-der-abfallwirtschaft/elektroaltgeraete#elektronikaltgerate-in-deutschland>
- [311] Deutschlandfunk (2021) *Elektroschrott – das schwierige Recycling wertvoller Rohstoffe*. Verfügbar unter: <https://www.deutschlandfunk.de/elektroschrott-das-schwierige-recycling-wertvoller-rohstoffe-100.html>
- [312] Rewe (o.J.) Verfügbar unter: <https://shop.rewe.de/>
- [313] Deutschlandfunk (2017) *Dem illegalen Coltanabbau auf der Spur* Verfügbar unter: <https://www.deutschlandfunk.de/tolle-idee-was-wurde-daraus-dem-illegalen-coltanabbau-auf-100.html> (abgerufen am 23.02.2022)
- [314] Business Insider (2021) *Diese Ereignisse haben zum weltweiten Chipmangel geführt – und wie weiter für genügend Halbleiter gesorgt werden soll*. Verfügbar unter: <https://www.businessinsider.de/wirtschaft/diese-ereignisse-haben-zum-internationalen-chipmangel-gefuehrt-und-so-soll-wieder-fuer-genug-halbleiter-gesorgt-werden/> (abgerufen am 23.02.2022)
- [315] FAIReconomics (o.J.) *Umfrage: Deutsche pfeifen auf vernetzte Kühlschränke*. Verfügbar unter: <https://fair-economics.de/umfrage-deutsche-pfeifen-auf-vernetzte-kuehlschraenke/> (abgerufen am 23.02.2022)
- [316] GRIES C.-I., KNIPS J. & WERNICK C. – Wissenschaftliches Institut für Infrastruktur und Kommunikation (Feb 2021) *Consumer-IoT in Deutschland* Verfügbar unter: https://www.wik.org/fileadmin/Studien/2021/Consumer_IoT_WIK_Marktstudie.pdf (abgerufen am 17.01.2022)
- [317] BHARTIYA, Swapnil (2017) *Your smart fridge may kill you: The dark side of IoT* Verfügbar unter: <https://www.infoworld.com/article/3176673/your-smart-fridge-may-kill-you-the-dark-side-of-iot.html> , abgerufen am 22.02.2022
- [318] Samsung (o.J.) Verfügbar unter: <https://www.samsung.com/de/refrigerators/side-by-side/rs8000nc-side-by-side-refrigerator-with-family-hub-rs8000nc-side-by-side-refrigerator-with-family-hub-591l-silver-rs6ha8880s9-eg/>

- [319] Bitkom (2020) *E-Commerce und stationärer Handel: So digital shoppen die Deutschen*, Bitkom-Studienbericht, 2020, Verfügbar unter: https://www.bitkom.org/sites/default/files/2020-07/200714_studienbericht-handel_2020.pdf (abgerufen am 20.12.2021)
- [320] KUHN, Axel, *Urbane Logistik*, in: *Stadt der Zukunft – Strategieelemente einer nachhaltigen Stadtentwicklung*, Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, acatech Materialien, K. Weinert, K. J. Beckmann, J. Encarnação, et al., 2014
- [321] Frankfurter Allgemeine Zeitung, *Lastenräder gegen den Verkehrskollaps* Anna-Sophia Lang, 14.12.2018, Verfügbar unter: <https://www.faz.net/aktuell/rhein-main/dhl-projekt-lastenraeder-gegen-den-verkehrskollaps-15939051.html> (abgerufen am 17.12.2021)
- [322] BOGDANSKI, Prof. Dr.-Ing. Ralf, *Quantitative Untersuchung der konsolidierten Zustellung auf der letzten Meile*, Juli 2019, Studie im Auftrag des Bundesverbandes Paket und Expresslogistik e. V. (BIEK)
- [323] Komodo (o.J.) Verfügbar unter: <https://www.komodo.berlin/> (abgerufen am 17.12.2012)
- [324] Stadt Nürnberg und Fraunhofer-Arbeitsgruppe für Technologien in der Logistik-Dienstleistungswirtschaft (ATL) (o.J.) *Wirtschaftsverkehr in Ballungsräumen*. Verfügbar unter: http://www.vsl.tu-harburg.de/qv/5/index_html?i=5c2&grafik=5c.gif (abgerufen am 17.12.2021)
- [325] Kiezbote (o.J.) Verfügbar unter: <https://kiezbote.berlin/> (abgerufen am 11.01.2022)
- [326] Pakadoo (o.J.) Verfügbar unter: <https://www.pakadoo.de/> (abgerufen am 17.12.2021)
- [327] pickshare (o.J.) Verfügbar unter: <https://pickshare.de/lastmile-heroes/> (abgerufen am 17.12.2021)
- [328] *Maßnahmen zur Digitalisierung der Innenstädte*, Bitkom Positionspapier, 18.12.2020, Verfügbar unter: <https://www.bitkom.org/Bitkom/Publikationen/Massnahmen-zur-Digitalisierung-der-Innenstaedte> (abgerufen am 20.12.2021)
- [329] THIELE, Sonja; WIELGOSCH, Julia, *Lokale Zustellung für den Einzelhandel: Fallbeispiele für lokale Online-Marktplätze*, Wissenschaftliches Institut für Infrastruktur und Kommunikationsdienste (WIK) Kurzstudie, Nov. 2021
- [330] Shoopping.at (o.J.) Verfügbar unter: www.shoopping.at (abgerufen am 26.2.2022)
- [331] THIELE, Sonja, *Erfolgsfaktoren für lokale Online-Marktplätze*, WIK Kurzstudie, Dezember 2021
- [332] GS1 (o.J.) *SSCC (Serial Shipping Container Code) – Warensendungen mit SSCC/NVE eindeutig identifizieren*. Verfügbar unter: <https://www.gs1-germany.de/gs1-standards/identifikation/versandseinheiten-sscc-nve/> (abgerufen am 17.12.2021)
- [333] GS1 (o.J.) *GS1-128 – Instrument für Tracking & Tracing*. Verfügbar unter: <https://www.gs1-germany.de/gs1-standards/barcodesrfid/gs1-128/> (abgerufen am 17.12.2021)
- [334] Smile-project.de (o.J.) Verfügbar unter: <https://smile-project.de/smile-projekt/> (abgerufen am 17.12.2021)
- [335] BNetzA *Tätigkeitsbericht Post 2020/2021*, Bericht gemäß § 47 Abs. 1 Postgesetz Stand: November 2021
- [336] BIEK, KE-Consult, *KEP-Studie 2021 - Analyse des Marktes in Deutschland*, Seite 13
- [337] Bundesvereinigung Logistik Österreich, Bundesvereinigung Logistik, *Grünbuch Nachhaltige Logistik in urbanen Räumen*, 2014
- [338] Erhebungen des Bundesverband E-Commerce und Versandhandel (bevh) und vom Handelsverband Deutschland (HDE), Quelle: Statista Dossier E-Commerce in Deutschland, Prognose der Marktentwicklung des Online-Handels in Deutschland bis 2021
- [339] Statista Industry Report – Germany, Postal & Courier Services, Sep. 2021, Quelle: Deutsche Bundesbank 2021
- [340] BIEK, KE-Consult, *KEP-Studie 2021 - Analyse des Marktes in Deutschland*, Seite 12, 15

- [341] Pickshare.de (o.J.) *Gebündelte Paketzustellung in Quartier-Boxen*. Verfügbar unter: <https://pickshare.de/gebuendelte-paketzustellung-in-quartier-boxen/> (abgerufen am 23.01.2022)
- [342] BERG, Achim, *Senioren in der digitalen Welt*, Präsentation des Bitkom-Präsidenten 18.8.2020, <https://www.bitkom.org/sites/default/files/2020-08/bitkom-prasentation-senioren-in-der-digitalen-welt-18-08-2020.pdf> (abgerufen am 21.02.2022)
- [343] GS1 GmbH, CC SCM – Competence Center Supply Chain Management, *Wegweisende Lösungen für die KEP-Branche*, 2016
- [344] DOUGLAS, Martyn, SCHUBERT, Tim, SCHUHMACHER, Thomas, *Urbane Logistik – Herausforderungen für Kommunen*, Texte 236/2020, Umweltbundesamt
- [345] BOGDANSKI, Prof. Dr.-Ing. Ralf., *Nachhaltige Stadtlogistik durch Kurier-, Express-, Paketdienste*, Bundesverband Paket & Expresslogistik BIEK, Nachhaltigkeitsstudie 2015
- [346] BOGDANSKI, Prof. Dr.-Ing. Ralf, *Quantitative Untersuchung der konsolidierten Zustellung auf der letzten Meile*, Juli 2019, Studie im Auftrag des Bundesverbandes Paket und Expresslogistik e. V. (BIEK)
- [347] Statista Industry Report – Germany, Postal & Courier Services, Sep. 2021, Quelle: Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung GmbH (ZEW) 2021
- [348] KPMG AG, EHI Retail Institute, Kantar TNS, Handelsverband Deutschland, *Trends im Handel 2025*, 2016.
- [349] Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Handel, *Leitfaden Micro-Hubs als Frequenzbringer für den Offlinehandel* - Bündle und herrsche, 2020.
- [350] BORMANN René, CHRISTMANN Antje, FABER Werner, FUCHS Tine, GROSS Michael, HEUSER Tilmann, JENSEN Annette, PAHL-WEBER Elke, SCHÖNKNECHT Christiane, STUBER Martin, WEIS Petra, *SMART CITY IN DER SOZIALEN STADT – Menschen in den Mittelpunkt stellen*, 2019.
- [351] Statista, Kurier-, Express- und Paket-Branche (KEP), Beschäftigte bei Kurier-, Express- und Paketdiensten in Deutschland bis 2020, Seite 8, Quelle: BIEK, KE-Consult, Juni 2021.
- [352] Statista Industry Report – Germany, Postal & Courier Services, Sep. 2021, Quelle: Statistisches Bundesamt 2021.
- [353] Statista, Kurier-, Express- und Paket-Branche (KEP), Ausbildung zur Fachkraft für Kurier-, Express- und Postdienstleistungen bis 2020, Seite 10, Quelle: Statistisches Bundesamt, November 2021
- [354] SCHREYER Jasmin, SCHRAPE Jan-Felix, *Algorithmische Arbeitskoordination in der plattformbasierten Gig Economy: Das Beispiel Foodora*, Arbeits- und Industriosociologische Studien, Jahrgang 11, Heft 2, Oktober 2018, S. 262-278.
- [355] Tagesschau.de (2021) Till Brücke, Bibiana Barth, *Der "knochenharte Job" der Kuriere*, Stand: 29.08.2021, Verfügbar unter: <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/unternehmen/lieferdienste-bringdienste-arbeitsbedingungen-bezahlung-101.html> (abgerufen am 24.01.2022).
- [356] Statista Industry Report – Germany, Postal & Courier Services, Seite 30, Quelle: Statistisches Bundesamt, Sep. 2021
- [357] Statista Industry Report – Germany, Postal & Courier Services, Seite 21, Quelle: Statistisches Bundesamt, Sep. 2021
- [358] SCHENK, Birgit; GROSS, Martina, *Innovationsfähigkeit ländlicher Kommunen – am Beispiel Lokale Online-Marktplätze*, Hochschule für öffentliche Verwaltung und Finanzen Ludwigsburg, 2020
- [359] Statistisches Bundesamt 2021, Statista 2021.
- [360] Statista (2021). *Trends im Einkaufsverhalten in Deutschland, Umfrage zum Vorteil von Online-Shopping gegenüber Einkäufen in stationären Läden*, Bitkom, Nov. 2021.

- [361] Statista Industry Report – Germany, Postal & Courier Services, Sep. 2021, Quelle: Statistisches Bundesamt 2021.
- [362] BOGDANSKI, Prof. Dr.-Ing. Ralf, *Quantitative Untersuchung der konsolidierten Zustellung auf der letzten Meile*, Juli 2019, Studie im Auftrag des Bundesverbandes Paket und Expresslogistik e. V. (BIEK).
- [363] SPIRKL, Katharina, *Packstationen schonen die Umwelt*, Verkehrsrundschau, 2016, Verfügbar unter: <https://www.verkehrsrundschau.de/nachrichten/transport-logistik/packstationen-schonen-die-umwelt-2993852> (abgerufen am 19.01.2022).
- [364] Bitkom Leitfaden, Energieeffizienz in Rechenzentren, 2015.
- [365] HINTEMANN, Ralph, *Energiebedarf der Rechenzentren steigt trotz Corona weiter an*, Borderstep Institut 2020.
- [366] Kunststofftragetasche.info (o.J.) *Pro-Kopf-Verbrauch von Kunststofftragetaschen in Deutschland bis 2019*. Verfügbar unter: <http://kunststofftragetasche.info/wordpress/datenerhebungen/> (abgerufen am 27.02.2022)
- [367] Statista (o.J.) *Recyclingquote verschiedener Haushaltsabfallarten in Deutschland im Jahr 2019*. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/194573/umfrage/recyclingquote-von-abfall-in-deutschland/> (abgerufen am 28.02.2022)
- [368] Statista Industry Report – Germany, Postal & Courier Services, Sep. 2021, Risk Assessment.
- [369] Eurostat, *Anteil der Online-Käufer nach Bundesländern 2020*
- [370] Europäische Kommission, Übereinkommen von Paris, Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/clima/eu-action/international-action-climate-change/climate-negotiations/paris-agreement_de#ecl-inpage-596 (abgerufen am 22.02.2022)
- [371] *Bewertung der Chancen für die nachhaltige Stadtlogistik von morgen*, Nachhaltigkeitsstudie 2017 im Auftrag des Bundesverbandes Paket und Expresslogistik e. V. (BIEK)
- [372] Schenk, Birgit; Gross, Martina, *Innovationsfähigkeit ländlicher Kommunen – am Beispiel Lokale Online-Marktplätze*, Hochschule für öffentliche Verwaltung und Finanzen Ludwigsburg, 2020.
- [373] Statistisches Bundesamt 2021
- [374] LNC LogisticsNetwork Consultants GmbH, Fraunhofer IML, *Die Veränderungen des gewerblichen Lieferverkehrs und dessen Auswirkungen auf die städtische Logistik*, Ergebnisbericht, Nov. 2020
- [375] Yougov, International Omni-Channel Retail Report 2021, Seite 18
- [376] Yougov, International Omni-Channel Retail Report 2021, Seite 19
- [377] Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) (2019) *Blockchain sicher gestalten - Konzepte, Anforderungen, Bewertungen*. Verfügbar unter: https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Unternehmen-und-Organisationen/Informationen-und-Empfehlungen/Kryptografie/Blockchain/blockchain_node.html (abgerufen am 06.12.2021)
- [378] Frankfurter Allgemeine Zeitung (24.08.2021) *USD-Coin soll wieder sicherer werden*. Verfügbar unter <https://www.faz.net/aktuell/finanzen/digital-bezahlen/krypto-werte-usd-coin-soll-wieder-sicherer-werden-17499114.html> (abgerufen am 06.12.2021)
- [379] Wirtschaftswoche (14.11.2021) *Tether ist ein Risiko für den ganzen Kryptomarkt*. Verfügbar unter: <https://www.wiwo.de/my/finanzen/geldanlage/kryptowaehrung-tether-ist-ein-risiko-fuer-den-ganzen-kryptomarkt/27788894.html?ticket=ST-4067604-Srz3CePXSKxvI4UT-WbPH-cas01.example.org> (abgerufen am 06.12.2021)
- [380] Fraunhofer Institut für angewandte Informationstechnik – FIT (2021) *Self-Sovereign Identity - Grundlagen, Anwendungen und Potenziale portabler digitaler Identitäten*. Verfügbar unter: <https://www.fit.fraunhofer.de/de/geschaeftsfelder/kooperationssysteme/blockchain.html> (abgerufen am 06.12.2021)

- [381] Europäische Union. Verordnung (EU) Nr. 910/2014 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Juli 2014 über elektronische Identifizierung und Vertrauensdienste für elektronische Transaktionen im Binnenmarkt und zur Aufhebung der Richtlinie 1999/93/EG. Luxemburg: Publications Office of the European Union EUR-Lex & Legal Information Unit, 23.07.2014. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32014R0910>, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/de/TXT/?uri=CELEX%3A32019R0631> (abgerufen am 26.02.2022)
- [382] Finanzen.net (2021) *Blockchain-ID: Cardano startet Pilotprojekt für digitale Ausweise in Äthiopien*. Verfügbar unter: <https://www.finanzen.net/nachricht/devisen/fuer-bildungseinrichtungen-blockchain-id-cardano-startet-pilotprojekt-fuer-digitale-ausweise-in-aethiopien-10099015> (abgerufen am 24.02.2022)
- [383] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (o.J.) *Schaufenster sichere digitale Identitäten*. Verfügbar unter: <https://www.digitale-technologien.de/DT/Navigation/DE/ProgrammeProjekte/AktuelleTechnologieprogramme/SichereDigitaleIdentitaeten/sichere-digitale-ident.html> (abgerufen am 24.02.2022)
- [384] Europäische Kommission (2021) *ESSIF Reference Architecture* <https://ec.europa.eu/cefdigital/wiki/display/EBSIDOC/ESSIF+Reference+Architecture> (abgerufen am 24.02.2022)
- [385] myEGOs *Nachhaltigkeitsziele*. Verfügbar unter: <https://myego.io/de/sustainable-goals/> (abgerufen am 24.02.2022)
- [386] Europäische Kommission (2021) *What is EBSI?* <https://ec.europa.eu/cefdigital/wiki/pages/viewpage.action?pagelId=381517902> (abgerufen am 24.02.2022)
- [387] Europäische Kommission (2021) *High-level scope (ESSIF)* <https://ec.europa.eu/cefdigital/wiki/pages/viewpage.action?pagelId=379913698> (abgerufen am 08.02.2022)
- [388] SSI Ambassador (2020) *The European self-sovereign identity framework* <https://ssi-ambassador.medium.com/essif-the-european-self-sovereign-identity-framework-4572f6875e12> (abgerufen am 24.02.2022)
- [389] Europäische Kommission (2021) *European Blockchain Strategy — Brochure* <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/european-blockchain-strategy-brochure> (abgerufen am 24.02.2022)
- [390] t-online.de (2021) *Hacker erbeuten 130 Millionen Dollar*. Verfügbar unter: https://www.t-online.de/digital/sicherheit/id_100003058/angriff-auf-kryptomarktplatz-hacker-erbeuten-130-millionen-dollar.html (abgerufen am 24.02.2022)
- [391] Tagesspiegel.de (2021) *Krypto-Hacker erbeuten mehr als halbe Milliarde Dollar*. Verfügbar unter: <https://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/digitaler-raubzug-der-superlative-krypto-hacker-erbeuten-mehr-als-halbe-milliarde-dollar/27503656.html> (abgerufen am 24.02.2022)
- [392] Heise.de (2021) *Angriff auf Kryptowährung: Liquid meldet Diebstahl von 97 Millionen US-Dollar*. Verfügbar unter: <https://www.heise.de/news/Angriff-auf-Kryptowaehrung-Liquid-meldet-Diebstahl-von-97-Millionen-US-Dollar-6171460.html> (abgerufen am 08.02.2022)
- [393] Heise.de (2021) *Proof of Stake: klimafreundlicheres Kryptogeld*. Verfügbar unter: <https://www.heise.de/hintergrund/Proof-of-Stake-klimafreundlicheres-Kryptogeld-6147207.html> (abgerufen am 08.02.2022)
- [394] Ethereum.org (o.J.) *Willkommen bei Ethereum*. Verfügbar unter: <https://ethereum.org/de/> (abgerufen am 08.02.2022)
- [395] Vilisto. *vilisto gewinnt Deutschen Innovationspreis für Klima und Umwelt* [online]. Hamburg: vilisto GmbH, 2020 Verfügbar unter: <https://www.vilisto.de/vilisto-gewinnt-deutschen-innovationspreis-fuer-klima-und-umwelt/> (abgerufen am 19.1.2022)
- [396] Bundesregierung (2021) *Koalitionsvertrag*. Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/koalitionsvertrag-2021-1990800> (abgerufen am 22.01.2022)
- [397] Kleis et al. (2021), *Erneuerbare Energien im Koalitionsvertrag – Ausbauziele jetzt konkret und nachhaltig umsetzen*. Hrsg.: Germanwatch e. V. Berlin.

- [398] WindNODE (2020), *Das Schaufenster für intelligente Energie aus dem Nordosten Deutschlands 2017-2020*. Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Berlin.
- [399] EnArgus (o.J.), *Einspeiseprognose*. Verfügbar unter: https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/d2796-2/**/Einspeiseprognose.html?op=Wiki.getwiki (abgerufen am 25.02.2022)
- [400] BNetzA (2017), *Flexibilität im Stromversorgungssystem. Bestandsaufnahme, Hemmnisse und Ansätze zur verbesserten Erschließung von Flexibilität*. Hrsg.: Bundesnetzagentur (BNetzA). Bonn.
- [401] Kasikci (2018), *Planung von Elektroanlagen* (3. Auflage). Hrsg.: Springer Vieweg. Heidelberg.
- [402] BNetzA (2018), *Zustand und Ausbau der Verteilnetze 2018*. Hrsg.: Bundesnetzagentur (BNetzA). Bonn.
- [403] Schmid et al. (2019), *Stromnetze in Deutschland: Das System, die Netzbetreiber und die Netzentgelte*. Hrsg.: Germanwatch e. V. Berlin.
- [404] Bundesrat (2021), *Verordnung zur Änderung der Anreizregulierungsverordnung und der Stromnetzentgeltverordnung*. Drucksache 405/21.
- [405] BNetzA (2022), *Bericht zum Redispatch nach Artikel 13 Verordnung (EU) 2019/43*. Hrsg.: Bundesnetzagentur (BNetzA). Bonn.
- [406] BNetzA (2021), *Quartalsbericht Netz- und Systemsicherheit 2020*. Hrsg.: Bundesnetzagentur (BNetzA). Bonn.
- [407] Hess (o.J.), *Software as a Service – Überblick und Einordnung*. Fachgespräch Münchner Kreis am 25. Oktober. München.
- [408] dena (2020), *Künstliche Intelligenz – vom Hype zur energiewirtschaftlichen Realität*. Hrsg.: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena). Berlin.
- [409] BDEW et al. (2021), *Digital @EVU 2021 – Wie ist der Stand der digitalen Transformation in der Energiewirtschaft*. Hrsg.: Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (BDEW), VSE, Kearney und IMP³ROVE
- [410] MIG (2021), *Breitbandatlas*. <https://netzda-mig.de/breitbandatlas/interaktive-karte>. (abgerufen am 25.02.2022)
- [411] BMWi (2014), *Smart Energy made in Germany*. Hrsg.: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BWi). Berlin.
- [412] KIT (2020), *Open Source für die globale Energiewende*. Verfügbar unter: https://www.kit.edu/kit/pi_2020_062_open-source-fur-die-globale-energiewende.php (abgerufen am 25.02.2022)
- [413] DAAD (o.J.), *STEM: natural sciences and mathematics*. Verfügbar unter: <https://www.daad.de/en/study-and-research-in-germany/plan-your-studies/main-subject-groups/stem/> (abgerufen am 25.02.2022)
- [414] Ingenieur (2019), *So viel verdienen Experten für künstliche Intelligenz*. Verfügbar unter: <https://www.ingenieur.de/karriere/gehalt/so-viel-verdienen-experten-fuer-kuenstliche-intelligenz/> (abgerufen am 25.02.2022)
- [415] Ingenieur (2021), *Ingenieurgehalt: Das verdienen Ingenieure in Deutschland wirklich*. Verfügbar unter: <https://www.ingenieur.de/karriere/gehalt/das-verdienen-ingenieure-in-deutschland-wirklich/> (abgerufen am 25.02.2022)
- [416] SOLANDEO (o.J.), *Wir schaffen die smarte Infrastruktur für die Energieversorgung der Zukunft*. Verfügbar unter: www.solandeop.com (abgerufen am 25.02.2022)
- [417] Bundesnetzagentur (2020) *Marktuntersuchung Eisenbahn 2020: Marktuntersuchung Eisenbahnen*. Verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Eisenbahn/Unternehmen_Institutionen/Veroeffentlichungen/Marktuntersuchungen/MarktuntersuchungEisenbahnen/MarktuntersuchungEisenbahn2020.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (abgerufen am 24.2.2022)

- [418] DFKI et al. (o.J.), *GridAnalysis – KI-basierte Systemanalyse von Stromverteilnetzen im Normal- und Kurzschlussbetrieb*
- [419] Hinz et al. (2017), *Regionale Unterschiede der Netzentgelte*
- [420] BMWi (2018), *Entwicklung von Maßnahmen zur effizienten Gewährleistung der Systemsicherheit im deutschen Stromnetz*
- [421] Zimmermann et al. (2019), *Künstliche Intelligenz für die Energiewende: Chancen und Risiken*
- [422] MaaS Alliance (2021) *What is MaaS?* Verfügbar unter: <https://maas-alliance.eu/homepage/what-is-maas/> (abgerufen am 22.02.2020)
- [423] SOCHOR et al. (2017), *A topological approach to Mobility as a Service: A proposed tool for understanding requirements and effects, and for aiding the integration of societal goals.*
- [424] Europäische Kommission (2021), *Multimodale digitale Mobilitätsdienste* Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13133-Multimodale-digitale-Mobilitatsdienste_de (abgerufen am 22.02.2020)
- [425] Statista (2020), *Mobility Services 2020*
- [426] World Economic Forum (2021) *Transforming Rural Mobility with MaaS* (03.01.2022). Verfügbar unter: https://www3.weforum.org/docs/WEF_MaaS_Rural_Mobility_2021.pdf (abgerufen am 27.02.2022)
- [427] Sampsa Ruutu, Thomas Casey, Ville Kotovirta (2017), *Development and competition of digital service platforms: A system dynamics approach*, Technological Forecasting and Social Change, Volume 117
- [428] ITF (2021), *The Innovative Mobility Landscape: The Case of Mobility as a Service*, International Transport Forum Policy Papers, No. 92, OECD Publishing, Paris
- [429] VDV eTicket Service (2022), *((e)Ticket Deutschland*. Verfügbar unter: <https://www.eticket-deutschland.de/> (abgerufen am 17.3.2022)
- [430] Government Office for Science, Foresight (2018), *Mobility as a Service (MaaS) in the UK: change and its implications* (03.01.2022). Verfügbar unter: [Mobility as a Service \(MaaS\) in the UK: change and its implications \(publishing.service.gov.uk\)](https://publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/644443/mobility-as-a-service-in-the-uk-change-and-its-implications) (abgerufen am 27.02.2022)
- [431] Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, *Nutzung von OTT-Kommunikationsdiensten in Deutschland*, Mai 2020. Verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Mediathek/Beurichte/2020/OTT.pdf?__blob=publicationFile&v=6 (abgerufen am 26.02.2022)
- [432] Friedrich-Ebert-Stiftung (2020), *Mobilitätsdienstleistungen gestalten*, WISO Diskurs, 04/2020
- [433] GitHub - [openmobilityfoundation/mobility-data-specification: A data standard to enable two-way communication between mobility companies and local governments.](https://github.com/openmobilityfoundation/mobility-data-specification) (abgerufen am 06.01.2022)
- [434] GTFS (o.J.) GTFS Static Overview. Verfügbar unter: <https://developers.google.com/transit/gtfs/> (abgerufen am 21.01.2022)
- [435] VDV (2014) *VDV-Mitteilung: Kundeninformationen für Smarte Informationsdienste*. Verfügbar unter: <https://www.vdv.de/4016-mds.pdf> (abgerufen am 06.01.2022)
- [436] Brecht Van de Vyvere, Pieter Colpaert, Ruben Verborgh (2021): *Third-party Payment Specification for MaaS*, CEUR Workshop Proceedings. Verfügbar unter: <http://ceur-ws.org/Vol-2939/paper1.pdf> (abgerufen am 06.01.2022)
- [437] UITP (2019), *Mobility as a Service*. Verfügbar unter: https://cms.uitp.org/wp/wp-content/uploads/2020/07/Report_MaaS_final.pdf (abgerufen am 06.01.2022)
- [438] IZA (2015) *Sharing Economy – Chancen, Risiken und Gestaltungsoptionen für den Arbeitsmarkt*. IZA, Verfügbar unter: https://legacy.iza.org/en/webcontent/publications/reports/report_pdfs/iza_report_69.pdf (abgerufen am 04.01.2022)

- [439] Hasselwander, Marc. (2019). *Mobility as a Service (MaaS) in Deutschland: Ausblick und Implikationen für den öffentlichen Verkehr*. Internationales Verkehrswesen (71). 59-63.
- [440] SCHALLER, Bruce. *Can sharing a ride make for less traffic? Evidence from Uber and Lyft and implications for cities*. Transport Policy 102 (2021): 1-10.
- [441] Zhao, Xiaoyun, Andruetto, Claudia, Vaddadi, Bhavana, Pernestål, Anna. *Potential values of maas impacts in future scenarios*. Journal of Urban Mobility Volume 1 (2021)
- [442] Bitkom (2018) *White Paper MaaS – Mobility-as-a-Service: Chancen für Mobility-as-a-Service-Geschäftsmodelle*. Bitkom, Verfügbar unter: <https://www.bitkom.org/sites/default/files/file/import/181016-White-Paper-MaaS.pdf> (abgerufen am 05.01.2022)
- [443] Martinez, L.M. & Viegas, Jose. (2017). *Assessing the impacts of deploying a shared self-driving urban mobility system: An agent-based model applied to the city of Lisbon, Portugal*. International Journal of Transportation Science and Technology. 6. 10.1016/j.ijtst.2017.05.005.
- [444] HILBIG, C ; ROTTMANN, O.; GRÜTTNER, A.; WAGNER, A.; BANASCHIK, V. (2020): *Smart-City-Studie: Chancen für die kommunale Infrastruktur*. Verfügbar unter: https://www.psp-consult.de/wp-content/uploads/2020/12/SmartCity_2020_021220_RZ.pdf (abgerufen am 08.02.2022)
- [445] Gabler Wirtschaftslexikon (o.J.) *Definition von „Smart City“*. Verfügbar unter: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/smart-city-54505> (abgerufen am 08.02.2022)
- [446] Bitkom e.V. (2021): *Smart City Index 2020*. Verfügbar unter: https://www.bitkom.org/sites/default/files/2021-02/210216_studienbericht_smart_city_index.pdf (abgerufen am 08.02.2022)
- [447] BMWK (2021): *Es werde Licht – mit energiesparenden Straßenlaternen*. Verfügbar unter: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Hightechnight/energiesparende-hybridleuchten-fuer-den-aussenbereich.html> (abgerufen am 08.02.2022)
- [448] Bundesverband Straßenbeleuchtung und Infrastruktur (2021): *Erfolge nachhaltiger Straßenbeleuchtung*. Verfügbar unter: <https://bvsi.org/strassenbeleuchtung/> (abgerufen am 08.02.2022)
- [449] Dena (2016): *Energieeffiziente Straßenbeleuchtung*. https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/1435_Broschuere_Energieeffiziente_Strassenbeleuchtung.pdf (abgerufen am 08.02.2022)
- [450] Smart Light & Living (2016). <https://smartlightliving.de/deutschlands-groesstes-citytouch-projekt-bergisch-gladbach/> (abgerufen am 08.02.2022)
- [451] Lemgo Digital (o.J.). Verfügbar unter: <https://www.lemgo-digital.de/index.php/de/news/84-smart-lighting-lemgo-digital-ermoglicht-ideale-testbedingungen-fuer-unternehmen> (abgerufen am 08.02.2022)
- [452] BMWK (o.J.). Verfügbar unter: <https://www.de.digital/DIGITAL/Redaktion/DE/Smart-City-Navigator/Projekte/smart-lighting.html> (abgerufen am 08.02.2022)
- [453] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (o.J.) *Adaptive Straßenbeleuchtung*. Verfügbar unter: <https://www.de.digital/DIGITAL/Redaktion/DE/Smart-City-Navigator/Projekte/adaptive-stra%C3%9Fenbeleuchtung.html> (abgerufen am 08.02.2022)
- [454] Stadt Münster (o.J.). Verfügbar unter: <https://www.stadt-muenster.de/tiefbauamt/strassen/strassenbeleuchtung> (abgerufen am 08.02.2022)
- [455] Kommunaltechnik (2015). *Intelligentes Licht für Hamburgs Straßen*. Verfügbar unter: <https://kommunaltechnik.net/news/fuhrpark/intelligentes-licht-fuer-hamburgs-strassen/> (abgerufen am 08.02.2022)
- [456] BMWK (o.J.). *„Golden Mile“ – Intelligente Straßenbeleuchtung*. Verfügbar unter: <https://www.de.digital/DIGITAL/Redaktion/DE/Smart-City-Navigator/Projekte/golden-mile-neu.html> (abgerufen am 08.02.2022)

- [457] BMWK (o.J.). *SMARTinfeld*. Verfügbar unter: <https://www.de.digital/DIGITAL/Redaktion/DE/Smart-City-Navigator/Projekte/smart-infeld.html> (abgerufen am 08.02.2022)
- [458] Licht.de (2018) *Intelligente Straßenbeleuchtung*. Verfügbar unter: https://www.licht.de/fileadmin/bildarchiv/Webbilder/portale/07_LED-Leitmarktinitiative/PDFs/180627_LED-LMI_Flyer_Intelligente_Strassenbeleuchtung.pdf (abgerufen am 08.02.2022)
- [459] Alpha-omega-technology (o.J.) *IoT in „SMARTinfeld“: Ein kleiner Ort auf dem Weg zur Smart City*. Verfügbar unter: <https://alpha-omega-technology.de/iot-in-smartinfeld-ein-kleiner-ort-auf-dem-weg-zur-smart-city> (abgerufen am 08.02.2022)
- [460] engie (o.J.) *Smarte Straßenbeleuchtung*. Verfügbar unter: <https://www.engie-deutschland.de/de/smarte-strassenbeleuchtung> (abgerufen am 08.02.2022)
- [461] Osram (o.J.) *Zukunftssichere Straßenbeleuchtung*. Verfügbar unter: <https://www.osram-group.de/de-de/media/press-releases/pr-2017/27-11-2017> (abgerufen am 08.02.2022)
- [462] Philips (o.J.) *Gestalten Sie effiziente und lebenswerte Städte*. Verfügbar unter: <https://www.lighting.philips.de/application-areas/roads-and-streets> (abgerufen am 08.02.2022)
- [463] Phoenixcontact (o.J.) *Intelligente Straßenbeleuchtung*. Verfügbar unter: https://www.phoenixcontact.com/online/portal/de?1dmy&urile=wcm:path:/dede/web/main/solutions/subcategory_pages/Traffic_infrastructure_street_lighting/ec212ac9-c53f-49e3-8ed7-2f920fb220a7 (abgerufen am 08.02.2022)
- [464] Signify (2020) *Auf dem Weg zur Smart City: Signify stattet die Stadt Köln mit intelligenter Beleuchtung aus*. Verfügbar unter: <https://www.signify.com/de-at/our-company/news/press-releases/2020/20200316-signify-connected-lighting-brings-cologne-closer-to-becoming-germany-first-smart-city> (abgerufen am 08.02.2022)
- [465] Yunex Traffic (o.J.) *Intelligente Straßenbeleuchtung*. Verfügbar unter: <https://www.yunext-traffic.com/global/de/portfolio/intelligente-kreuzung/intelligente-strassenbeleuchtung> (abgerufen am 08.02.2022)
- [466] Zenner (o.J.) *Modernisierung der Strassenbeleuchtung mit Lorawan*. Verfügbar unter: <https://zenner.de/solution/steuerung-der-strassen-beleuchtung/> (abgerufen am 08.02.2022)
- [467] HUNZIKER, M. (2019) *Intelligente Strassenbeleuchtung: Hell wird es nur bei Bedarf*. Aargauer Zeitung, 4.1.2019. Verfügbar unter: <https://www.aargauerzeitung.ch/aargau/brugg/intelligente-strassenbeleuchtung-hell-wird-es-nur-bei-bedarf-ld.1336392> (abgerufen am 08.02.2022)
- [468] Bayerische Staatszeitung (o.J.) *Kommunen unterschätzen die Kosten*. Verfügbar unter: <https://www.bayerische-staatszeitung.de/staatszeitung/wirtschaft/detailansicht-wirtschaft/artikel/kommunen-unterschaetzen-die-kosten.html#topPosition> (abgerufen am 08.02.2022)
- [469] Lampe.de Magazin (o.J.). Verfügbar unter: <https://www.lampe.de/magazin/zukunftsfahige-strassenbeleuchtung-intelligentes-licht-nach-bedarf/> (abgerufen am 08.02.2022)
- [470] Bundesverband Straßenbeleuchtung und Infrastruktur (2021). *Erfolge nachhaltiger Straßenbeleuchtung*. Verfügbar unter: <https://bvsi.org/strassenbeleuchtung/> (abgerufen am 02.02.2022)
- [471] McKinsey Global Institute (2018). *Smart Cities: Digital solutions for a more livable future*. Verfügbar unter: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/smart-cities-digital-solutions-for-a-more-livable-future> (abgerufen am 08.02.2022)
- [472] NDR (2014) *Laternen: Bürger zahlen, Gemeinden kassieren*. Verfügbar unter: <https://www.ndr.de/nachrichten/niedersachsen/Laternen-Buerger-zahlen-Gemeinden-kassieren,laternen127.html> (abgerufen am 08.02.2022)

- [473] SPIE (o.J.) *Nachhaltigkeit in der Betriebsführung von Straßenbeleuchtung*. Verfügbar unter: <https://spie.de/spie-stories/2021/03/nachhaltigkeit-in-der-betriebsfuehrung-von-strassenbeleuchtung> (abgerufen am 22.02.2022)
- [474] BMUV (2019): *Klimaschutz in neuem Licht. Die LED-Leitmarktinitiative: Innovation für Kommunen und Wirtschaft*. Verfügbar unter: https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/nki_klimaschutz_im_neuen_licht_bf.pdf (abgerufen am 08.02.2022)
- [475] AG Energiebilanzen e.V. (2021). *Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2019*. Verfügbar unter: https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2021/02/ageb_jahresbericht2019_20200325_dt.pdf (abgerufen am 09.02.2022)
- [476] Bundesverband Straßenbeleuchtung und Infrastruktur (o.J.). Verfügbar unter: <https://bvsi.org/strassenbeleuchtung/> (abgerufen am 08.02.2022)
- [477] Pro-emit (2018). *LED-Pflanzenlampe vs. Natriumdampflampe: LED und NDLED im Vergleich*. Verfügbar unter: <https://www.pro-emit.de/ratgeber/led-vs-ndled/> (abgerufen am 08.02.2022)
- [478] Deutscher Naturschutzring (o.J.). *Primär- und Sekundärrohstoffe*. Verfügbar unter: <https://www.dnr.de/themen/glossar/primaer-und-sekundaerrohstoffe?L=70> (abgerufen am 08.02.2022)
- [479] BMUV (2019). *Klimaschutz in neuem Licht. Die LED-Leitmarktinitiative: Innovation für Kommunen und Wirtschaft*. Verfügbar unter: https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/nki_klimaschutz_im_neuen_licht_bf.pdf (abgerufen am 08.02.2022)
- [480] Licht.de (o.J.). *Arten und Lebensräume schützen*. Verfügbar unter: <https://www.licht.de/de/lichtthemen/licht-und-umwelt/artenschutz/> (abgerufen am 08.02.2022)