TEXTE
85/2022

Der Beitrag von Big Data, KI und digitalen Plattformen auf dem Weg zu einer Green Economy - Einsatzbereiche und Transformationspotenziale

von:

Matthias Gotsch, Nicholas Martin, Elisabeth Eberling, Saeideh Shirinzadeh, Dirk Kuhlmann
Fraunhofer ISI, Karlsruhe

Ulrich Petschow, Jonas Pentzien
IÖW, Berlin

Herausgeber:
Umweltbundesamt

Für Mensch & Umwelt

Umwelt Bundesamt

TEXTE 85/2022

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

Forschungskennzahl 3719 16 102 0 - Endbericht zu AP 1 & AP 2 im Rahmen des Vorhabens "Wechselwirkungen zwischen dem Prozess der Digitalisierung und dem Übergang zu einer Green Economy"

FB000884

Der Beitrag von Big Data, KI und digitalen Plattformen auf dem Weg zu einer Green Economy - Einsatzbereiche und Transformationspotenziale

von

Matthias Gotsch, Nicholas Martin, Elisabeth Eberling, Saeideh Shirinzadeh, Dirk Kuhlmann
Fraunhofer ISI, Karlsruhe

Ulrich Petschow, Jonas Pentzien
IÖW, Berlin

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

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

/umweltbundesamt.de
/umweltbundesamt

Durchführung der Studie:
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Breslauer Straße 48
76139 Karlsruhe

Abgabedatum:
Oktober 2021

Redaktion:
Fachgebiet I 1.4 Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliche Umweltfragen
Dirk Osiek

Publikationen als pdf:
http://www.umweltbundesamt.de/publikationen

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, August 2022

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

Kurzbeschreibung: Der Beitrag von Big Data, KI und digitalen Plattformen auf dem Weg zu einer Green Economy - Einsatzbereiche und Entwicklungspotenziale

Im vorliegenden Bericht werden die Schnittpunkte zwischen der erhofften Entwicklung Deutschlands hin zu einer Green Economy einerseits sowie der zunehmenden Digitalisierung andererseits aufgegriffen und analysiert. Insbesondere die Einsatzbereiche und Transformationspotenziale von Big Data, KI und digitalen Plattformen auf dem Weg zu einer Green Economy werden dabei in den Blick genommen. Zur ausführlichen Analyse werden für die drei verschiedenen digitalen Technologien differenzierte Herangehensweisen und unterschiedliche, jeweils zugeschnittene, methodische Vorgehensweisen gewählt. Die zunächst getrennt erzielten Erkenntnisse zu Big Data, KI und digitalen Plattformen werden daraufhin gemeinsam unter dem Aspekt möglicher Hemmnisse und Risiken beleuchtet, um technologieübergreifend Einschätzungen bezüglich des Einflusses der Digitalisierung auf die Transformation zur Green Economy vornehmen zu können. Anhand der generierten Ergebnisse werden abschließend Handlungsempfehlungen für umwelt-, klimaschutz- und nachhaltigkeitsbezogene Veränderungen der Rahmenbedingungen erarbeitet und vorgestellt.

Abstract: The contribution of big data, AI and digital platforms on the way to a green economy - areas of application and development potential

In this report, the points of intersection between on the one hand the hoped-for shift in Germany toward a green economy and on the other hand the increasing digitization are considered and analyzed. In particular, the areas of application and the transformation potential of Big Data, AI and digital platforms are considered in the move toward a green economy. A differentiated set of approaches and different methodological procedures tailored to each of the three distinct digital technologies are chosen for detailed analysis. The findings on Big Data, AI and digital platforms, which were obtained separately, are then examined collectively under the aspect of possible obstacles and risks so that assessments can be made for all technologies regarding the role of digitization in the transformation to a green economy. Based on the findings obtained, recommendations for action regarding environmental, climate protection and sustainability-related changes to the framework conditions are then developed and presented.

Danksagung

Für diesen Bericht haben wir mit zahlreichen Expertinnen und Experten Interviews und Gespräche geführt. Ihnen sei an dieser Stelle noch einmal unser Dank für ihre Zeit und Hilfe ausgesprochen. Die Verantwortung für alle Aussagen im Text sowie für alle verbleibenden Fehler liegen bei den Autoren und Autorinnen dieses Berichts.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis ... 12
Tabellenverzeichnis ... 14
Abkürzungsverzeichnis ... 15
Zusammenfassung ... 17
Summary ... 23
1 Einleitung ... 29
1.1 Hintergrund ... 29
1.2 Vorgehensweise ... 29
2 Green Economy ... 32
2.1 Verständnis einer Green Economy ... 32
2.2 Überblick Nachhaltigkeits-Strategien ... 32
2.2.1 Effizienz-Strategie ... 32
2.2.2 Suffizienz-Strategie ... 33
2.2.3 Konsistenz-Strategie ... 34
3 Digitalisierung ... 35
3.1 Auswahl der digitalen Technologien ... 35
3.2 Zusammenhänge der ausgewählten digitalen Technologien ... 36
4 Green Economy und Digitalisierung ... 38
4.1 Transformation zur Green Economy unter dem Einfluss der Digitalisierung ... 38
4.2 Einteilung der Transformationswirkungen ... 40
5 Big Data - Einsatzbereiche und mögliche Transformationseinflüsse ... 43
5.1 Verständnis von „Big Data“ ... 43
5.2 Privatwirtschaftliche Akteure: Startups und Großunternehmen ... 43
5.2.1 Untersuchungsgegenstand und Vorgehen ... 43
5.2.1.1 Verständnis von „Großunternehmen“ und „Startups“ ... 44
5.2.1.2 Erhebungsmethode und Auswertung ... 44
5.2.2 Ergebnisse: Deutsche und US-amerikanische Unternehmen im Vergleich ... 47
5.2.2.1 Kunden und Nutzer ... 47
5.2.2.2 Branchen und Anwendungsfelder ... 48
5.2.3 Transformationswirkung ... 78
5.3 Anwendungsorientierte Forschungsprojekte ... 80
5.3.1 Erhebungsmethode und Auswertung ... 80
5.3.2 Ergebnisse ... 81

5.3.2.1 Branchen und Anwendungsfelder ... 81
5.3.2.2 Nutzerinnen und Nutzer ... 85
5.3.2.3 Transformationswirkung ... 86
5.3.3 Zusammenfassung zu Forschungsprojekte ... 87
5.4 Staatliche Stellen ... 87
5.4.1 Hintergrund ... 88
5.4.2 Einsatzfelder der staatlichen Stellen ... 88
5.4.2.1 Rechtsdurchsetzung und Zulassungen ... 89
5.4.2.2 Kreislaufwirtschaft und Klimabilanzberechnungen ... 90
5.4.2.3 Ökosystem-Dienstleistungen, Habitatschutz und Raumplanung ... 91
5.4.2.4 Monitoring von Umweltbelastungen ... 94
5.4.2.5 Toxikologische Bewertungen von Chemikalien ... 97
5.4.3 Datenquellen und Herausforderungen beim Einsatz in staatlichen Stellen ... 97
5.5 Umweltschutz-NGOs ... 99
5.5.1 Methodisches Vorgehen ... 99
5.5.2 Einsatzfelder ... 100
5.5.2.1 Monitoring von Flora- und Fauna-Beständen, Habitaten und Ökosystemen ... 100
5.5.2.2 Analyse und Management von Ressourcenausbeutung und Liefer- und Wertschöpfungsketten ... 103
5.5.2.3 Ökologische Raumplanung ... 107
5.5.2.4 Messung und Modellierung von Schadstoffemissionen ... 109
5.5.3 Diskussion zu Transformationswirkung und Hemmnissen ... 110
5.5.3.1 Transformationswirkung ... 110
5.5.3.2 „Weiße Flecken“ und etwaige Hemmnisse ... 111
6 Künstliche Intelligenz - Einsatzbereiche und mögliche Transformationseinflüsse ... 114
6.1 Einführung und Vorgehensweise ... 114
6.1.1 Einführung ... 114
6.1.2 Methodische Vorgehensweise ... 114
6.1.2.1 Plattformauswertungen ... 115
6.1.2.2 Literaturrecherchen ... 116
6.1.2.3 Datenbankenauswertungen ... 116
6.1.2.4 Interviews ... 116
6.2 KI - Definitionen und Typologien ... 118
6.2.1 Definition KI und Abgrenzung zu Big Data ... 118

6.2.2 Entwicklung einer Taxonomie für KI ... 119
6.2.3 Theoretische Potenziale, Hemmnisse und Risiken von KI-Anwendungen ... 124
6.3 Potenzialanalyse zu KI ... 126
6.3.1 Ergebnisse der Plattformauswertungen ... 126
6.3.2 Ergebnisse der Literaturrecherchen ... 127
6.3.3 Ergebnisse der Datenbankenauswertungen ... 133
6.3.3.1 Datenbankanalysen zu Startups mit KI-Bezug ... 133
6.3.3.2 Datenbankanalysen zu Forschungsprojekten mit KI-Bezug ... 136
6.3.4 Ergebnisse der Interviews ... 138
6.4 Potenziale von KI-Anwendungen in den Transformationsfeldern ... 142
6.4.1 Verkehrswende ... 143
6.4.2 Landwirtschaftswende ... 149
6.4.3 Energiewende ... 154
6.4.4 Wärmewende ... 158
6.4.5 Kreislaufwirtschaft ... 162
6.5 Transformationsfeld-spezifische Handlungsempfehlungen ... 167
6.6 Vertiefende Untersuchung zur Kreislaufwirtschaft ... 169
7 Digitale Plattformen - Einsatzbereiche und mögliche Transformationseinflüsse ... 176
7.1 Einleitung und Vorgehen ... 176
7.1.1 Einleitung ... 176
7.1.2 Vorgehen ... 177
7.2 Definition und Typologie ... 178
7.2.1 Definition: Plattform als Sammelbegriff ... 178
7.2.2 Typologie: Ausdifferenzierung des Feldes der Plattformökonomie ... 180
7.2.2.1 Nach Nutzungsgruppen ... 180
7.2.2.2 Nach Funktionsweise ... 181
7.3 Umweltpotenziale digitaler Plattformen für den Übergang in eine Green Economy: Crunchbase-Auswertung ... 182
7.3.1 Untersuchungsgegenstand und Vorgehen ... 182
7.3.1.1 Verständnis von „Startups“ ... 182
7.3.1.2 Erhebungsmethode und Auswertung ... 183
7.3.2 Ergebnisse: Potenziale von Plattform-Startups in Deutschland für eine Green Economy ... 187
7.3.2.1 Kund:innen, Plattformtyp und Nutzungsgruppen ... 187
7.3.2.2 Branchen, Anwendungsfelder und Nachhaltigkeitsstrategien ... 190

7.3.3 Diskussion ... 203
7.3.3.1 Umweltpotenziale nach Branchen und Plattformtypen ... 203
7.3.3.2 Umweltpotenziale nach Anwendungsfeldern und Nachhaltigkeitsstrategien ... 204
7.3.3.3 Transformationswirkung ... 205
7.4 Umweltpotenziale digitaler Plattformen für den Übergang in eine Green Economy: Literaturstudie ... 206
7.4.1 Untersuchungsgegenstand und Vorgehen ... 206
7.4.1.1 Methodisches Vorgehen ... 207
7.4.1.2 Datenlage und Charakter der Quellen ... 207
7.4.1.3 Differenzierung nach Plattformtyp und Branche ... 208
7.4.2 Ergebnisse: In wissenschaftlichen Fachartikeln identifizierte Potenziale von Plattformen für eine Green Economy ... 209
7.4.2.1 Verkehr und Mobilität ... 209
7.4.2.2 Verarbeitendes Gewerbe ... 210
7.4.2.3 Sharing Economy ... 212
7.4.2.4 Kreislaufwirtschaft ... 214
7.4.3 Diskussion ... 216
7.5 Vertiefende Untersuchung von Fallstudien ... 218
7.5.1 B2B-Plattformen und B2C-Plattformen im Vergleich ... 219
7.5.2 B2B-Industrieplattformen und B2B-(Umwelt)-Informationsplattformen ... 221
7.5.2.1 Differenzierung von B2B-Plattformtypen ... 222
7.5.2.2 B2B-Industrieplattformen: Fallbeispiel BMW ... 225
7.5.2.3 B2B-(Umwelt)Informationsplattformen ... 227
7.5.2.4 Gesellschaftliche Relevanz ... 231
7.5.2.5 Umweltpotenziale ... 233
7.5.2.6 (Strukturelle) Hemmnisse und Risiken ... 234
7.5.2.7 Politische Maßnahmen ... 234
7.5.3 B2C-Marktplatzplattformen im Onlinehandel/eCommerce ... 237
7.5.3.1 Gesellschaftliche Relevanz ... 237
7.5.3.2 Umweltpotenziale ... 238
7.5.3.3 (Strukturelle) Hemmnisse und Risiken ... 242
7.5.3.4 Politische Maßnahmen ... 245
7.6 Fazit ... 248
7.6.1 Umweltpotenziale ... 249
7.6.2 Abschließende Schlussfolgerungen ... 250

8 Zusammenfassung zu den untersuchten digitalen Technologien 252
8.1 Hemmnisse und Risiken bei Big Data und KI 252
8.1.1 Methodisches Vorgehen 252
8.1.2 Ergebnisse der Literaturrecherche und der Experteninterviews 253
8.1.2.1 Hemmnisse 253
8.1.2.2 Risiken 259
8.1.3 Zusammenfassung zu Hemmnissen und Risiken bei Big Data und KI 261
8.2 Hemmnisse und Risiken bei Digitalen Plattformen 262
9 Politische Handlungsempfehlungen zu den Wechselwirkungen von Digitalisierung und Green Economy 264
9.1 Politische Handlungsempfehlungen zu Big Data und KI 264
9.1.1 Verbesserung der Datenverfügbarkeit 264
9.1.2 Verbesserung des Datenzugangs 265
9.1.3 Verbesserung der Daten-Infrastrukturen 267
9.1.4 Fachkräftevernetzung und stärkeres Verständnis für Möglichkeiten und Grenzen digitaler Technologien 268
9.1.5 Abbau regulatorischer Hemmnisse 269
9.1.6 Entwicklung einer Zukunftsvision, die Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz ermöglicht 270
9.2 Politische Handlungsempfehlungen zu digitalen Plattformen 271
9.2.1 Politische Dynamiken 271
9.2.2 Handlungsempfehlungen 273
10 Literaturverzeichnis 275
11 Anhang 297
11.1 Interviewleitfaden KI-Experten-Interviews 297
11.2 Interviewleitfaden zur Befragung der KI-Leuchtturmprojekte 298
11.3 KI-Anwendungen für die Landwirtschaftswende aus Literatur 299
11.4 KI-Anwendungen für die Verkehrswende aus Literatur 301
11.5 KI-Anwendungen für die Energiewende aus Literatur 304
11.6 KI-Anwendungen für die Wärmewende aus Literatur 306
11.7 KI-Anwendungen für die Kreislaufwirtschaft aus Literatur 307
11.8 Zuordnung der KI-Startups zu KI-Technologiefelder und Transformationsfelder 308
11.9 Zuordnung der KI-Forschungsprojekte zu KI-Technologiefelder und Transformationsfelder 312
11.10 Zuordnung der Potenziale zu KI-Technologiefelder und Transformationsfelder aus den Interviews 316

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die drei Dynamiken des Digitalen Zeitalters 30
Abbildung 2: Zusammenhänge zwischen Big Data, KI und digitalen Plattformen 36
Abbildung 3: Einflüsse der Digitalisierung auf dem Weg zu einer Green Economy 39
Abbildung 4: Adressierte Kunden-/Nutzergruppen bei Startups 48
Abbildung 5: Amerikanische Startups - Branchenverteilung 49
Abbildung 6: Deutsche Startups - Branchenverteilung 50
Abbildung 7: Branchenverteilung bei Startups im Vergleich – USA und Deutschland 50
Abbildung 8: Energiebranche nach Anwendungsfeld 52
Abbildung 9: Energiewende 53
Abbildung 10: Landwirtschafts-Startups 57
Abbildung 11: Landwirtschafts-Startups - Nachhaltigkeitswirkungen 58
Abbildung 12: Startup-Aktivitäten im Bereich Personenverkehr/Mobilität 60
Abbildung 13: Startups im Bereich Wasserwirtschaft 66
Abbildung 14: Monitoring und Modellierung von Umweltbelastung 68
Abbildung 15: Finanzbranche und ESG Audit 70
Abbildung 16: Abfall, Recycling und Kreislaufwirtschaft 71
Abbildung 17: Startups im Naturschutz, Forstwirtschaft und Fischerei 74
Abbildung 18: Handel und Lieferketten 75
Abbildung 19: Prozent Startups, die Anwendungen für unterschiedliche Transformationsstufen entwickeln 78
Abbildung 20: Anzahl Konzerne, die Anwendungen für unterschiedliche Transformationsstufen entwickeln 79
Abbildung 21: Identifizierte Anwendungsfelder von Big Data bei den untersuchten NGOs 112
Abbildung 22: Eingesetzte Techniken zur Datenerhebung und -verarbeitung, und Arten der Datenverwertungen 113
Abbildung 23: Überblick über die Teildisziplinen der KI und ihre Zusammenhänge 121
Abbildung 24: KI-Periodensystem 122
Abbildung 25: Analyseebenen der Potenziale, Hemmnisse und Risiken von KI-Anwendungen 125
Abbildung 26: Verteilung nachhaltige KI-Anwendungen innerhalb der Plattform Lernende Systeme 127
Abbildung 27: Anzahl der KI-Technologiefeld-Zuordnungen deutscher KI-Startups je Transformationsfeld 134
Abbildung 28: Anzahl der KI-Technologiefeld-Zuordnungen amerikanischer KI-Startups je Transformationsfeld 135

Abbildung 29: Anzahl der KI-Technologiefeld-Zuordnungen deutscher Forschungsprojekte je Transformationsfeld 137
Abbildung 30: Anzahl der KI-Technologiefeld-Zuordnungen europäischer Forschungsprojekte je Transformationsfeld 138
Abbildung 31: Schematische Darstellung der Beziehung zwischen den Auswertungskriterien 185
Abbildung 32: Auswertung nach den durch die Plattformen im Sample adressierten Kunden 188
Abbildung 33: Auswertung nach Plattformtyp und den durch die transaktionszentrierten Plattformen vermittelten Nutzungsgruppen 189
Abbildung 34: Branchenverteilung von digitalen Plattformen mit Nachhaltigkeitspotenzialen 190
Abbildung 35: Nachhaltigkeitspotenziale in der Energiebranche.....191
Abbildung 36: Anwendungsfelder im Bereich der Energiewende.....191
Abbildung 37: Nachhaltigkeitspotenziale im Bereich Neue Mobilität.....193
Abbildung 38: Ausgewählte Nachhaltigkeitspotenziale in der Immobilienbranche 195
Abbildung 39: Nachhaltigkeitspotenziale in der Handelsbranche.....196
Abbildung 40: Nachhaltigkeitspotenziale im Verarbeitenden Gewerbe 198
Abbildung 41: Nachhaltigkeitspotenziale in der Finanzbranche 199
Abbildung 42: Nachhaltigkeitspotenziale in der Baubranche.....200
Abbildung 43: Nachhaltigkeitspotenziale in der Transport- und Logistikbranche.....201
Abbildung 44: Umweltpotenziale im Gesamtsample 205
Abbildung 45: Stufenbasierte Auswertung der Transformationswirkungen digitaler Plattformen 206
Abbildung 46: Systematische Betrachtung von B2B-Plattformen 223
Abbildung 47: Schematische Darstellung der Umweltpotenziale im Onlinehandel 239
Abbildung 48: Schematische Darstellung (struktureller) Hemmnisse und Risiken im Onlinehandel 242

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Skala zur Abschätzung der Transformationswirkung 42
Tabelle 2: Interviewpartner Big Data 47
Tabelle 3: Branchenverteilung bei Konzernen 51
Tabelle 4: Übersicht der von deutschen Forschungsprojekten adressierten Branchen 82
Tabelle 5: Branchen, welche die EU-Forschungsprojekte adressieren 83
Tabelle 6: Absolute und relative Häufigkeiten der Nutzerinnen- und Nutzergruppen der Forschungsprojekte 85
Tabelle 7: Absolute und relative Häufigkeiten der Nutzerinnen- und Nutzergruppen der EU-Forschungsprojekte 85
Tabelle 8: Häufigkeiten der Forschungsprojekte je Stufe der Transformationswirkung 86
Tabelle 9: Abs. Häufigkeit, rel. Häufigkeit und kum. rel. Häufigkeit der Forschungsprojekte je Stufe der Transformationswirkung 86
Tabelle 10: Zuordnung der Expert:innen zu KI-Anwendungen und Aufgabenfeldern des BMU 117
Tabelle 11: Liste der befragten Vorhabens-Koordinatoren der KI-Leuchtturmprojekte 118
Tabelle 12: Anzahl ausgewerteter KI-Startups je Transformationsfeld in Deutschland und den USA 134
Tabelle 13: Anzahl ausgewerteter KI-Forschungsprojekte je Transformationsfeld in Deutschland und Europa 136
Tabelle 14: Landkarte vermuteter KI-Einflüsse auf die Verkehrswende...146
Tabelle 15: Landkarte vermuteter KI-Einflüsse auf die Landwirtschaftswende 151
Tabelle 16: Landkarte vermuteter KI-Einflüsse auf die Energiewende 156
Tabelle 17: Landkarte vermuteter KI-Einflüsse auf die Wärmewende 161
Tabelle 18: Landkarte vermuteter KI-Einflüsse auf die Kreislaufwirtschaft 164
Tabelle 19: Zusammenfassung der vier Quellen 170
Tabelle 20: Zukünftige Produktionssysteme mit KI.....171
Tabelle 21: Umweltpotenziale differenziert nach den relevantesten Branchen.....203
Tabelle 22: Umweltpotenziale und Nachhaltigkeitsstrategien differenziert nach Branchen 216

Abkürzungsverzeichnis

AI	Artificial Intelligence
AR	Augmented Reality
BIM	Building Information Modeling
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BUND	Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e. V.
B2B	Business to Business
B2C	Business to Consumers
CO2	Kohlenstoffdioxid
CPS	Cyber-physische Systeme
CSR	Sorporate Social Responsibility
C2C	Consumers to Consumers
Destatis	Statistisches Bundesamt, Wiesbaden
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DLT	Distributed Ledger Technologies
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EU	Europäische Union
EV	Electric Vehicle
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik
GPS	Global Positioning System
IaaS	Infrastructure as a Service
IIoT	Industrial Internet of Things
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
IoT	Internet of Things
IT	Informationstechnologie
KI	Künstliche Intelligenz

KMU	Kleine und mittelständische Unternehmen
MaaS	Mobility as a Service
MIV	Motorisierter Individualverkehr
ML	Machine Learning
NGO	Non-governmental organization
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PaaS	Platform as a Service
PBefG	Personenbeförderungsgesetz
P2P	Peer-to-Peer-Computing
UBA	Umweltbundesamt
UFORDAT	Umweltforschungsdatenbank
VR	Virtual Reality

Zusammenfassung

Im vorliegenden Bericht werden die Schnittpunkte zwischen der erhofften Entwicklung Deutschlands hin zu einer Green Economy einerseits sowie der zunehmenden Digitalisierung andererseits aufgegriffen und analysiert. Insbesondere die Einsatzbereiche und Transformationspotenziale von Big Data, KI und digitalen Plattformen auf dem Weg zu einer Green Economy werden dabei in den Blick genommen. Anhand der generierten Ergebnisse werden daraufhin Handlungsempfehlungen für umwelt-, klimaschutz- und nachhaltigkeitsbezogene Veränderungen der Rahmenbedingungen erarbeitet und vorgestellt.

Zunächst werden die Entwicklungen getrennt voneinander betrachtet und die möglichen Strategien (Effizienz, Suffizienz, Konsistenz) auf einem Transformationspfad hin zur Green Economy erläutert sowie eine Auswahl zu untersuchender digitaler Technologien (Big Data, KI, digitale Plattformen) getroffen. Daraufhin wird ein konzeptioneller Rahmen aufgespannt, wie die Digitalisierung die Transformation grundsätzlich beeinflussen kann und welche Felder für eine Transformation hin zu einer Green Economy eine entscheidende Rolle spielen. Dabei werden fünf verschiedene Transformationsfelder (Verkehr, Landwirtschaft, Energie, Wärme, Kreislaufwirtschaft) unterschieden und hinsichtlich der Einflüsse der digitalen Technologien untersucht. Zusätzlich wird eine Transformationsskala entwickelt und im weiteren Verlauf der Arbeiten verwendet, welche die Stärke des Einflusses der digitalen Anwendung in mehreren Stufen erfasst und damit eine Aussage über die Höhe möglicher Transformationsbeiträge ermöglicht.

Zur ausführlichen Analyse werden für die drei verschiedenen digitalen Technologien differenzierte, jeweils zugeschnittene, methodische Vorgehensweisen gewählt. Für jede der drei untersuchten Technologien werden jedoch sowohl die direkten, als auch die indirekten Einflüsse auf eine Transformation zur Green Economy detailliert analysiert und zusammengefasst.

Im Rahmen der vertiefenden Auseinandersetzung mit **Big Data** werden zunächst fünf verschiedene Akteure unterschieden: Aus der Privatwirtschaft sowohl (1) Startups als auch (2) etablierte Großunternehmen sowie (3) Staatlich geförderte Forschungsprojekte und (4) Staatliche Stellen, als auch (5) NGOs aus dem Umweltsektor. Alle der fünf genannten Akteure nutzen dabei verschiedene Formen von Big Data für eine umwelt-, nachhaltigkeitsgerechte Anwendung und können somit (zumindest theoretisch) auf unterschiedliche Art und Weise zur Transformation zur Green Economy beitragen.

Wesentliche Ergebnisse im Bereich Big Data

Im Vergleich von deutschen und US-amerikanischen Startups zeigt sich, dass in beiden Ländern ähnliche Branchenverteilungen (insbesondere Energie, Landwirtschaft, Mobilität, Immobilien und Baugewerbe) und Schwerpunkte (insbesondere, Energiewende, Energieeffizienz, z. B. im Gebäudebereich, Präzisionslandwirtschaft, Elektromobilität, Verkehrsplanung) zu finden sind. Nur in wenigen Bereichen fällt Deutschland gegenüber den USA klar zurück, was die Anzahl an innovativen Big Data-Startups anbelangt, so z. B. in den Bereichen Landwirtschaft, Wasserversorgung oder im Finanzsektor. Insgesamt sind dabei zwei von drei der gefundenen Startups auf der geringsten der drei Transformationsstufen zu verorten.

Bei den Großunternehmen und Konzernen, die Big Data basierte Lösungen für die verschiedenen Transformationsstufen entwickeln, ist das Bild ausgewogener als bei den Startups. Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass deutsche Konzerne (wie z. B. Siemens und SAP) durchaus in vielen relevanten Schlüsselfeldern überaus aktiv sind und hier eine Vielzahl von Big Data-Anwendungen für unterschiedlichste Branchen bereithalten, die bei einem flächendeckenden Einsatz teilweise erhebliche Transformationsbeiträge liefern könnten.

Die meisten der staatlich geförderten deutschen und europäischen Forschungsprojekte untersuchen Lösungen für die gleichen Branchen (Energie, Landwirtschaft, Mobilität, Immobilien und Baugewerbe), wie bereits die Startups. Die Bewertung möglicher Transformationswirkungen der zu entwickelnden Lösungen gestaltet sich aufgrund der oft noch nicht gegebenen Marktreife der Ideen als herausfordernd; der Trend geht aber in die gleiche Richtung wie bei den Startups, mit einem Großteil von eher kleineren Transformationsbeiträgen.

Um Big Data-Anwendungen durch staatliche Stellen, quasi als Best Practice Beispiele für Deutschland, zu identifizieren, werden

1. die US-amerikanische Environmental Protection Agency,
2. das britische Ministerium für Umwelt-, Ernährung und ländliche Räume,
3. das finnische Umweltministerium und das ihr nachgeordnete finnische Umweltinstitut SYKE sowie
4. die EU Generaldirektion für Umwelt (DG Environment)

mittels Experteninterviews und Dokumentenanalysen untersucht. Dabei können primär fünf verschiedene Einsatzfelder von Big Data identifiziert werden:

1. Rechtsdurchsetzung und Zulassungen,
2. Kreislaufwirtschaft und Klimabilanzberechnungen,
3. Ökosystem-Dienstleistungen und Habitat-Schutz,
4. Monitoring von Umweltbelastungen und
5. Toxikologische Bewertungen von Chemikalien.

Die wichtigsten Datenquellen für die untersuchten ausländischen staatlichen Akteure scheinen dabei von Industrie- und landwirtschaftlichen Betrieben als Teil ihrer Berichtspflichten gemeldete Daten, eigene Programme zur Datenerhebung sowie andere staatliche Stellen, z. T. unterstützt durch NGOs und interessierte Privatpersonen (sogenannte citizen scientists) sowie die öffentlich geförderte Forschung zu sein. Daten aus der Privatwirtschaft spielen – abseits von den Berichtspflichten – für alle untersuchten Behörden nur eine sehr untergeordnete Rolle.

Die detailliert untersuchten NGOs mit Umweltbezug setzen Big Data vorrangig ein zum besseren Monitoring von Flora-, und Fauna-Beständen und Ökosystemen, zur ökologisch sensiblen Raumplanung, zum verbesserten Monitoring von Ressourcenausbeutung, Lieferketten und Wertschöpfungsnetzen sowie zur Messung und Modellierung von Schadstoffemissionen. Dabei fällt auf, dass die datenwissenschaftlichen Aktivitäten der deutschen NGOs meist in technisch eher niedrigschwellige Bereiche fallen (z. B. manuelle Datenerhebungen durch citizen scientists, nur begrenzter Einsatz fortgeschrittener Analyse- und Erhebungstechnologien), wohingegen man bei den großen internationalen NGOs einen starken Einsatz solcher fortgeschrittenen Technologien, verbunden mit relativ großen und institutionalisierten Datenwissenschafts-Abteilungen mit dedizierten Teams und „Chief Data Scientists", beobachten kann.

Bei der folgenden vertiefenden Untersuchung zu **KI** werden im Rahmen der methodischen Vorgehensweise verschiedenste Quellen verwendet. Sowohl Literaturrecherchen, als auch Auswertungen mit bestehenden Datenbanken sowie eine Vielzahl von Interviews werden herangezogen, um ein möglichst umfassendes Gesamtbild zu erhalten. Dabei werden aggregiert 150 verschiedene KI-Anwendungen, mit theoretischen Potenzialen für einen Beitrag zur Transformation zur Green Economy, identifiziert. Diese werden den fünf

Transformationsfeldern zugeordnet und es wird eine Einschätzung abgegeben, wie der Beitrag der KI-Lösungen in den jeweiligen Feldern voraussichtlich ist.

Wesentliche Ergebnisse im Bereich KI

Im Verkehrsbereich können eine ganze Reihe individueller und vergleichsweise wirkmächtiger KI-Anwendungen identifiziert werden, die im Zusammenspiel durchaus ihren Beitrag zu einer Verkehrswende leisten können. so dass insgesamt ein positiver Beitrag der KI zur Verkehrswende vermutet wird.

Was die gefundenen Beispiele für die Landwirtschaftswende eint, ist die Tatsache, dass durch den KI-Einsatz zwar traditionelle Anwendungen verbessert und optimiert werden, jedoch keine grundsätzlichen Änderungen herbeigeführt werden, so dass eher von einer Verfestigung der bestehenden, nicht unbedingt nachhaltigen Strukturen, in der Landwirtschaft ausgegangen werden muss.

Die für die Energiewende gefundenen KI-Anwendungen revolutionieren den Energiebereich nicht, erscheinen aber hilfreich für den Übergang zu einem nachhaltigeren und emissionsärmeren Energiesystem. In Anbetracht der Vielfalt der energiebezogenen Anwendungsbereiche und Möglichkeiten für den Einsatz von KI und ihrer Auswirkungen auf die Nachhaltigkeit kann die Rolle der KI bei der Energiewende insgesamt als positiv bewertet werden.

Die meisten KI-Anwendungen für die Wärmewende haben zwar eine vergleichsweise hohe Marktnähe, sind aber auf keiner hohen Transformationsstufe zu verorten, da sie nur dazu beitragen, Informationen und Effizienz beim Energieverbrauch im Zusammenhang mit Heizung und Kühlung zu verbessern. Immerhin können derart deutliche Verbesserungen gegenüber dem Status Quo realisiert werden.

Im Rahmen der Kreislaufwirtschaft lassen sich viele KI-Anwendungen im Recycling-Bereich verorten, nur vereinzelt werden auch andere Aspekte einer Circular Economy adressiert. Viele der gefundenen KI-Anwendungen setzen zudem ausschließlich an den etablierten Produktionsstrukturen an und zielen lediglich auf eine verbesserte Energie- und Ressourceneffizienz ab.

Damit KI-Anwendungen insgesamt einen noch größeren Beitrag für den Übergang zur Green Economy leisten können, müssten sie voraussichtlich von weiteren Maßnahmen flankiert werden, wie z. B. Veränderungen der Anreizsysteme oder der Regulatorik. Um eine möglichst hohe transformative Wirkung zu haben, sollten die zukünftigen KI-Anwendungen zudem mehrere Produktlebensphasen gleichzeitig adressieren, um ihr volles Optimierungspotenzial zu entfalten.

Wesentliche Ergebnisse im Bereich digitale Plattformen

Die Auseinandersetzung mit **digitalen Plattformen** beginnt mit der Beobachtung, dass die ökologischen Implikationen und Effekte des Plattformmodells bisher nur unzureichend in den Blick genommen wurden. Um dies zu ändern, werden im Rahmen der Teilstudie die Umweltpotenziale unterschiedlicher Plattformtypen über mehrere Branchen hinweg erhoben. Dabei wird gezeigt, in welchen Branchen digitale Plattformen bereits für den Umweltschutz genutzt und welche Potenziale dabei sichtbar werden sowie welche Hemmnisse vorliegen, die einer umweltorientierten Anwendung entgegenstehen. Aufbauend auf konzeptionellen Überlegungen zu den Funktionen und Typen digitaler Plattformen, einer Analyse von Startup-Unternehmen, Literaturstudien und vertiefenden Fallstudien entwickelt die Teilstudie ein Verständnis davon, wie die drei zentralen Charakteristika des Plattformmodells –

Intermediation, Datengewinnung sowie Netzwerk- und Skaleneffekte – den Übergang zu einer Green Economy unterstützen können.

Über die diversen Untersuchungsschritte hinweg wird deutlich, dass die schlussendliche Realisierung der Umweltpotenziale, die sich aus den drei genannten Charakteristika ergeben, stark vom Plattformtyp abhängen. Konkret bedeutet dies, dass die tatsächlichen Potenziale und Effekte des Plattformmodells nicht verallgemeinernd, sondern nur im Kontext einzelner Branchen und Sektoren bestimmt werden können. Um diesem Sachverhalt gerecht zu werden, werden im Rahmen von vertiefenden Fallstudien drei Ausprägungen von Plattformen eingehender betrachtet: B2B-Industrieplattformen, (Umwelt-) Informationsplattformen und B2C-Marktplätze im eCommerce.

B2B-Industrieplattformen erschließen die Möglichkeiten der Digitalisierung, indem Produktionsökosysteme gefördert werden, die Datenerfassungen und Optimierungen, wie z. B. eine unternehmensübergreifende Nutzung von Produktionsressourcen, gerade auch jenseits der einzelnen unternehmerischen „Silos“ ermöglichen – und dies in einer großen Bandbreite. (Umwelt-) Informationsplattformen erfassen und bewerten gegenwärtig u. a. die Umweltinformationen einer Vielzahl von unternehmerischen Akteuren und bereiten diese für interne und externe Stakeholder im Sinne des Risikomanagements auf. Mit Blick auf die Klimaherausforderungen zeigen sich hierbei aktuell neue Dynamiken bei der Informationsbereitstellung. B2C-Plattformen im eCommerce schließlich erlauben zumindest grundsätzlich, die Umweltrelevanz von Produkten oder Dienstleistungen vergleichend zu bewerten und damit Nachhaltigkeitsaspekte beim Einkauf explizit zu berücksichtigen. Zugleich können sich neue und zumindest potenziell umweltentlastende Geschäftsmodelle herausbilden.

Zusammenfassend zeigt die Analyse von Plattformen, dass diese auf unterschiedliche Art und Weise zur Transparenzmachung entlang der Lieferkette beitragen können. Im Falle von B2C-Plattformen im eCommerce können umweltrelevante Präferenzen und im Falle von B2B-Industrieplattformen vor allem Effizienzpotenziale erschlossen werden. Insbesondere mit Blick auf digitale Plattformen im B2B-Bereich wird deutlich, dass sich verstärkt Produktionsökosysteme herausbilden, in denen sich die traditionellen Grenzen einzelner Unternehmen tendenziell auflösen. Zugleich ist insbesondere bei den B2B-Industrieplattformen davon auszugehen, dass Informationen zur Umweltrelevanz zunehmend einfacher auch über Produktionsstandorte hinweg zur Verfügung gestellt und damit durch interne oder auch externe Steuerungsansätze adressiert werden können.

Ein zentrales Fazit der Analyse der Möglichkeiten und Grenzen der Plattformökonomie ist es allerdings, dass Plattformen gegenwärtig zu ambivalenten und zum Teil unklaren Umwelteffekten führen und daher nicht von vornherein zur Erreichung weitreichender Umweltziele beitragen. Damit digitale Plattformen die mit ihnen assoziierten Umweltentlastungspotenziale heben können, ist es entsprechend erforderlich, dass regulative Bedingungen entwickelt werden, die einerseits Anreize dafür setzen oder Verpflichtungen festschreiben, dass Plattformen ihre Marktdesigns ökologisch ausgestalten und andererseits den ökologischen Rahmen zur Erreichung der Klima-und Biodiversitätsziele entwickeln. Damit werden die Leitplanken vorgegeben, im Rahmen derer die Entwicklungs- bzw. Innovationsrichtungen von digitalen Plattformen einen Beitrag zur Transformation erzielen können.

Wesentliche übergreifende Ergebnisse und politische Handlungsempfehlungen

Die zuvor getrennt erzielten Erkenntnisse zu Big Data, KI und digitalen Plattformen werden daraufhin gemeinsam unter dem Aspekt möglicher **Hemmnisse und Risiken** beleuchtet, um technologieübergreifend Einschätzungen bezüglich des Einflusses der Digitalisierung auf die

Transformation zur Green Economy vornehmen zu können. Dabei wird ersichtlich, dass die größten Hemmnisse in den Bereichen (1) Datenverfügbarkeit und Datenqualität, (2) Datenzugang, (3) Dateninfrastrukturen, (4) fehlende Fachkräfte und fehlendes Verständnis für die Möglichkeiten und Grenzen digitaler Technologien, (5) regulatorische Hürden sowie (6) fehlende Wirtschaftlichkeit und fehlende Akzeptanz liegen.

Generell fällt hierbei auf, dass nur wenige Hemmnisse direkt mit der Umweltgesetzgebung oder der Umweltregulierung zusammenhängen, was bedeutet, dass der Großteil der Hemmnisse sich nicht durch alleinige Aktivitäten des Umweltressorts oder seiner nachgeordneten Behörden lösen lässt. Eine Lösung könnte folglich voraussichtlich nur in Abstimmung mit den jeweils zuständigen politischen Akteuren bzw. involvierten Stakeholder-Gruppierungen erfolgen.

Aus den zuvor vorgestellten Erkenntnissen können abschließend **politische Handlungsempfehlungen** abgeleitet werden, die einen Rahmen geben können, wie die skizzierten Hemmnisse überwunden und digitale Technologien auf dem Weg zu einer Green Economy bestmöglich eingebunden werden. Insbesondere sollten folgende Schritte von Seiten der politischen Entscheidungsträger und Umsetzungsverantwortlichen in Erwägung gezogen werden, um die benannten Hürden zu überwinden.

Bezüglich Datenverfügbarkeit und Datenqualität sollte in Konsultation mit KI-Expert:innen und Domänenakteuren geprüft werden, inwiefern die öffentlich geförderte Erstellung hochwertiger Referenz-Datensätze mit breitem Anwendungspotenzial sinnvoll wäre. Dabei sollte eine klare Prioritätensetzung, in welchen Domänen und für welche Anwendungscluster diese Referenz-Datensets geschaffen werden, erfolgen. Die öffentliche Forschungsförderung könnte zudem die Erstellung und Veröffentlichung hochwertiger Datensets als Projektoutput stärker unterstützen.

Ein verbesserter Datenzugang könnte durch ökonomische Anreize, die das Teilen von Daten für private Akteure attraktiver machen, geschaffen werden. Die Entwicklung technischer Lösungen, um Daten unter hohen Sicherheitsgarantien und ohne Zugriff auf die Klardaten (welche einer bestimmten natürlichen Person zugeordnet werden könnten) verarbeiten zu können, sollte ebenfalls unterstützt werden. Die Umsetzung von Open Data im öffentlicher Sektor gehört weiter gestärkt, um die Auffindbarkeit bereits bestehender Daten zu erhöhen. In der Wissenschaft müsste insbesondere die langfristige Sicherung von Datensets aus Forschungsprojekten sichergestellt werden.

Um die notwendigen Dateninfrastrukturen zu schaffen, könnten Fördermittel für eine moderne datentechnische Ausstattung von NGOs vorgesehen und der bereits begonnene Aufbau staatlicher Stellen, wie z. B. des "nationalen Umweltinformationszentrums" oder des "Laboratoriums künstliche Intelligenz für Nachhaltigkeitslösungen" weiter mit den dafür notwendigen Ressourcenausstattungen vorangetrieben werden.

Um ein noch stärkeres Verständnis für die Möglichkeiten und Grenzen digitaler Technologien zu fördern, existieren bereits mehrere Initiativen. Diese gilt es weiter zu stärken, aber zusätzlich sollte auch eine gezielte Nachforschung erfolgen, was explizit die Hürden der Vernetzung sind und wie man sie bestmöglich beheben kann. Um das Bewusstsein für die Möglichkeiten digitaler Technologien zu stärken, könnten beispielsweise Workshops und Austausche gerade mit ausländischen NGOs, die diese Technologien schon länger und in größerem Stil einsetzen, sowie mit angewandt arbeitenden Wissenschaftler:innen, angeboten werden. Derartige Workshops könnten auch für kleine und mittelständische Unternehmen in ausgewählten Domänen organisiert werden. Innerhalb der staatlichen Forschungsförderung für nachhaltige datenwissenschaftliche Anwendungen sollten verstärkt Ausschreibungen für angewandte Forschung ausgeschrieben werden, die auf Kooperationen und Konsortialbildung zwischen

Universitäten und Forschungsinstituten und NGOs abzielen, um den Austausch hier zu institutionalisieren.

Um bestehende regulatorische Hürden zu überwinden, sollte der Einsatz von Reallaboren, in denen bestehende regulatorische Vorschriften in einem begrenzten Raum gelockert werden, sowie die systematische Überführung der innerhalb dieser Reallabore gewonnenen Erkenntnisse in konkrete regulatorische Anpassungen, weiter forciert werden. Allgemein sollten zukünftige regulatorische Vorhaben nach Möglichkeit mit Ausnahme- und Experimentierklauseln versehen werden, um die unbürokratische Durchführung von Reallaboren zu unterstützen. In diesem Rahmen könnte dann auch der Zugang zu echten (und gegebenenfalls auch kritischen oder personalisierten) Daten kontrolliert ermöglicht werden, um daraufhin erkennen zu können, an welchen Stellen und welche genauen Aspekte der Anwendung gegebenenfalls reguliert werden müssten. Bei künftigen Überarbeitungen des Datenschutzrechts sollte das öffentliche Interesse an einer gesteigerten Datennutzung für den Übergang in eine Green Economy stärker mitgedacht werden. So sollten stärkere Ermöglichungsstrukturen in das Recht eingebaut sowie das öffentliche Interesse an Datennutzung stärker institutionell verankert werden.

Um für eine wirkliche Transformation den geeigneten Rahmen bereit zu stellen, müssten insbesondere Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz nachhaltiger digitaler Anwendungen gestärkt werden. Dies würde voraussichtlich aufeinander abgestimmte staatliche Interventionen in Form einer rahmengebenden Zukunftsvision, bestehend aus einem aufeinander abgestimmten konzertierten Mix aus finanziellen Anreizen, Subventionen, sinnvoller Regulierung, gegebenenfalls einer Ausweitung von Transparenz-, Prüf- und Sorgfaltspflichten, sowie notfalls auch Verboten, erfordern. Innerhalb dieses Rahmens müssten dann aber zwingend auch ausreichend Freiheiten für die privatwirtschaftlichen Akteure gewährleistet und die Anreize zum umweltfreundlichen Handeln müssten groß genug sein, um von den privaten und gesellschaftlichen Akteuren auch tatsächlich als entscheidungsrelevant angesehen zu werden. Hierzu erscheint z. B. der Ansatz einer missionsorientierten Innovationspolitik geeignet, die den notwendigen Rahmen aufspannen und koordinieren könnte.

Summary

In this report, the points of intersection between on the one hand the hoped-for shift in Germany toward a green economy and on the other the increasing digitization are considered and analyzed. In particular, the areas of application and the transformation potential of Big Data, AI and digital platforms are considered in the move toward a green economy. Based on the findings obtained, recommendations for action regarding environmental, climate protection and sustainability-related changes to the framework conditions are then developed and presented.

First, individual developments are considered separately and possible strategies (efficiency, sufficiency, consistency) which could lead the way to a green economy are explained, also a number of digital technologies (big data, AI, digital platforms) are selected for closer investigation. This is followed by a presentation of the conceptual framework of how digitization can fundamentally influence the transformation and which fields play a decisive role in the transformation process to a green economy. Five different areas of transformation (transport, agriculture, energy, heat, circular economy) are distinguished and investigated with regard to the influence of digital technologies. In addition, a scale of transformation is developed and applied during the studies, which captures the digital application's degree of influence in several steps, and thus makes it possible to draw conclusions about how much of a transformational contribution may be made.

A differentiated set of approaches and different methodological procedures tailored to each of the three distinct digital technologies are chosen for the detailed analysis. For each of the three technologies examined, both the direct and the indirect impact on the transformation to a green economy are analyzed and summarized in detail.

In the context of the in-depth discussion about **Big Data**, five different actors are distinguished: From the private sector, both (1) startups and (2) established large companies, as well as (3) government-funded research projects and (4) government agencies, as well as (5) NGOs from the environmental sector. All of the five actors mentioned use their own forms of Big Data for an environmentally sustainable application and can thus (at least theoretically) contribute in other ways to the transformation to a green economy.

Key findings in the area of Big Data

A comparison of German and U.S. startups shows that both countries have a similar distribution throughout the sectors (in particular in energy, agriculture, mobility, real estate and construction) and in the areas of focus (in particular, energy transition, energy efficiency, e.g. in the building sector, precision agriculture, electromobility and transport planning). Only in a few areas does Germany clearly lag behind the U.S. in terms of the number of innovative Big Data startups, e.g., in agriculture, water supply, or the financial sector. Overall, two out of three of the startups identified are located at the lowest of the three levels of transformation.

The picture is more balanced when it comes to large companies and corporations that are developing Big Data-based solutions for the various transformation stages than it is for startups. The results of the study show that German corporations (such as Siemens and SAP) are very active in many relevant key areas and have a large number of big data applications ready for a wide range of industries, some of which could make significant contributions in the transformation process if they were used across the board.

Most of the government-funded German and European research projects are investigating solutions for the same sectors (energy, agriculture, mobility, real estate and construction) as the startups. The evaluation of the possible effects on transformation of the solutions to be developed is challenging due to the fact that the ideas are often not yet ready for the market;

however, the tendency is the same as with the startups, with a majority of rather smaller transformational contributions.

In order to identify Big Data applications used by government agencies as best practice examples for Germany, interviews with experts and document analyses are used to study the following:

1. the U.S. Environmental Protection Agency,
2. the UK Department for Environment, Food and Rural Affairs,
3. the Finnish Ministry of Environment and its subordinate Finnish Environmental Institute SYKE, and
4. the EU Directorate General for the Environment (DG Environment).

Primarily, five different Big Data areas of application can be identified:

5. law enforcement and authorizations,
6. circular economy and climate balance calculations,
7. ecosystem services and habitat protection,
8. environmental monitoring, and
9. toxicological assessments of chemicals.

The most important sources of data for the foreign state authorities looked at appear to be data reported by industrial and agricultural companies as part of their reporting requirements, their own data collection programs, and data from other state agencies, in some instances supported by NGOs and citizen scientists, as well as publicly funded research. Data from the private sector, apart from those gathered through reporting requirements, play only a very minor role for all the authorities studied.

The environmental NGOs that were studied in detail use big data primarily to improve the monitoring of flora and fauna populations and ecosystems, for ecologically sensitive spatial planning, for improved monitoring of resource exploitation, supply chains and value networks, and for measuring and modeling pollutant emissions. It is noticeable that the data science activities of German NGOs mostly fall into technically rather low-threshold areas (e.g. manual data collection by citizen scientists, only limited use of advanced analysis and collection technologies), whereas one can observe a strong use of such advanced technologies by large international NGOs, combined with relatively large and institutionalized data science departments with dedicated teams and "chief data scientists".

In the following in-depth study on **AI**, a wide variety of sources are used as part of the methodological approach. Literature research and evaluations using existing databases as well as a large number of interviews are used to obtain the most comprehensive overall picture possible. In the process, 150 different AI applications with a theoretical potential for contributing to the transformation to a green economy are identified altogether. These are assigned to the five areas of transformation and an assessment is made of what the contribution of the AI solutions in the respective areas is likely to be.

Key results in the area of AI

In the transport sector, a whole series of individual and comparatively effective AI applications can be identified which, in combination, can certainly make a contribution to a transformation of the transport sector. Overall a positive contribution of AI to the transformation of the transport sector can be assumed.

What all the examples of transformation found in the agricultural sector have in common is the fact that the use of AI improves and optimizes traditional applications, but does not bring about any fundamental changes, so that it must rather be assumed that the existing, not necessarily sustainable, structures in agriculture will become entrenched.

The AI applications identified for the Energiewende do not revolutionize the energy sector, but appear helpful for the transition to a more sustainable and lower-emission energy system. Considering the diversity of energy-related application areas and possibilities for the use of AI and its impact on sustainability, the role of AI in the Energiewende can be assessed as being positive overall.

While most AI applications aimed at transformation in the heating sector have a comparatively close market proximity, they are not significant on a transformational level, as they only help to improve information and efficiency in energy consumption related to heating and cooling. Nevertheless, major improvements compared to the current state can be achieved in this way.

In the context of the circular economy, many AI applications are to be found in the area of recycling; only in isolated cases are other aspects of a circular economy addressed. Many of the AI applications found also focus exclusively on established production structures and only aim to improve energy and resource efficiency.

In order for AI applications to make an even greater overall contribution to the transition to a green economy, they would probably need to be accompanied by further measures, such as changes to incentive systems or regulations. In order to have the highest possible transformative impact future AI applications should also address several product life cycle phases simultaneously in order to unleash their full optimization potential.

Key results in the area of digital platforms

The discussion of **digital platforms** begins with the observation that the ecological implications and effects of the platform model have so far been insufficiently considered. In order to change this, the environmental potentials of different platform types across several industries are surveyed in this sub-study. It is shown in which industries digital platforms are already being used for environmental protection and which potentials are becoming apparent, as well as which obstacles exist that stand in the way of an environmentally oriented application. Based on conceptual considerations on the functions and types of digital platforms, an analysis of startup companies, literature studies and in-depth case studies, the sub-study develops an understanding of how the three central characteristics of the platform model - intermediation, data mining, and network and scale effects - can support the transition to a green economy.

It becomes clear from the various steps in the study that the ultimate implementation of the environmental potentials resulting from the three characteristics mentioned above is highly dependent on the type of platform. Specifically, this means that the actual potentials and effects of the platform model cannot be determined in a generalized manner, but only in the context of individual industries and sectors. In order to do justice to this fact, three characteristics of platforms are examined in greater detail within the framework of in-depth case studies: B2B industry platforms, (environmental) information platforms and B2C marketplaces in e-commerce.

B2B industry platforms open up the possibilities of digitization by promoting product ecosystems that enable data collection and optimization, e.g., cross-company use of production resources, even beyond the individual corporate "silos" - and do so in a wide range. (Environmental) information platforms currently record and evaluate the environmental information of a large number of corporate players and prepare it for internal and external

stakeholders in the interests of risk management. In view of the climate challenges, there are currently new dynamics in the provision of information. Finally, B2C platforms in e-commerce make it possible, at least in principle, to evaluate the environmental relevance of products or services in a comparative manner and thus to explicitly take sustainability aspects into account when purchasing. At the same time, new and at least potentially environmentally friendly business models can emerge.

In summary, the analysis of the platforms shows that they can contribute to transparency along the supply chain in different ways. In the case of B2C platforms in e-commerce, environmentally relevant preferences can be developed, and in the case of B2B industry platforms, it is primarily the potential for efficiency that can be unlocked. Particularly with regard to digital platforms in the B2B sector, it is clear that production ecosystems are increasingly emerging in which the traditional boundaries of individual companies are tending to dissolve. At the same time, it can be assumed, particularly in the case of B2B industrial platforms, that it will become increasingly easy to make information on the environmental impact available throughout different manufacturing sites and allowing the issue to be addressed using internal or external management approaches.

However, a central conclusion drawn from the analysis of not only the opportunities but also the limits of the platform economy is that platforms currently lead to ambivalent and in part unclear environmental effects and therefore do not contribute from the outset to the achievement of far-reaching environmental goals. In order for digital platforms to be able to leverage the environmental benefits they have to offer, it is necessary to develop regulatory conditions that, on the one hand, provide incentives or impose regulatory commitments for platforms to shape their market designs in an ecological way and, on the other hand, develop the ecological framework for achieving climate and biodiversity goals. This provides the framework within which the development and innovation direction of digital platforms can contribute to the transformation.

Key general findings and policy recommendations

The findings on big data, AI and digital platforms that were previously compiled separately are now considered collectively under the aspect of possible **obstacles and risks** so that assessments can be made for all technologies regarding the influence of digitization on the transformation to a green economy. It becomes apparent that the greatest obstacles lie in the areas of (1) data availability and data quality, (2) data access, (3) data infrastructures, (4) lack of specialists and lack of understanding of the possibilities and limitations of digital technologies, (5) regulatory hurdles, and (6) lack of cost-effectiveness and insufficient uptake.

In general, it is noticeable that only a few obstacles mentioned are directly related to environmental legislation or environmental regulation, which means that the majority of obstacles cannot be solved by activities of the environment ministry or its subordinate authorities alone. Therefore, a solution can probably only be found in coordination with the respective political actors or stakeholder groups involved.

In conclusion, the findings presented above can be used to formulate recommendations for **political intervention** that can provide a framework for overcoming the obstacles outlined and integrating digital technologies in the best possible way on the path to a green economy. In particular, the following steps should be considered by political decision-makers and those responsible for policy implementation in order to overcome the hurdles mentioned.

With regard to data availability and data quality, the extent to which the publicly funded creation of high-quality reference data sets with broad application potential would make sense

should be examined in consultation with AI experts and domain stakeholders. This should include a clear prioritization of which domains and for which application clusters these reference datasets are to be created. Public research funding could also provide greater support for the creation and publication of high-quality datasets as the project output.

Improved data access could be created through economic incentives that make it more attractive for those in the private-sector to share data. The development of technical solutions to process data with high guarantees of security and without access to the clear data (which could be assigned to a specific natural person) should also be supported. The application of open data in the public sector should be further strengthened in order to increase the discoverability of existing data. In science, it would be particularly important to ensure the long-term storage of data sets from research projects.

In order to create the necessary data infrastructures, funding could be earmarked for modern data technology equipment for NGOs, and the development of government agencies that has already begun, such as the "National Environmental Information Center" or the "Artificial Intelligence Laboratory for Sustainability Solutions," could be further advanced with the necessary resources.

Several initiatives already exist to promote an even greater understanding of the opportunities and limitations of digital technologies. These should be further strengthened, but in addition, targeted research should be conducted into what the explicit hurdles to interconnection are and how they can best be overcome. In order to raise awareness of the possibilities of digital technologies, workshops and dialogues could be organized, for example, with foreign NGOs that have been using these technologies for some time and on a larger scale, as well as with applied scientists. Such workshops could also be organized for small and medium-sized enterprises in selected domains. Within the scope of governmental research funding for sustainable data science applications, more calls are needed for applied research aimed at cooperation and consortium building between universities and research institutes and NGOs, in order to institutionalize this kind of dialogue.

In order to overcome existing regulatory hurdles, the use of real-world laboratories, in which existing regulatory requirements are eased in a limited area should be further promoted, along with the systematic transfer of the knowledge gained within these real-world laboratories into concrete regulatory adjustments. In general, future regulatory proposals should, if possible, be provided with exemption and experimentation clauses in order to support the unbureaucratic operation of real-world laboratories. Within this framework, access to real (and possibly also critical or personalized) data could then also be made possible in a controlled manner, in order to be able to identify where and which precise aspects of the application might need to be regulated. In future revisions of data protection law, the public interest in increased data use for the transition to a green economy should be considered more strongly. Stronger enabling structures should be incorporated into law, and the public interest in data usage should be more firmly institutionalized.

In order to provide the appropriate framework for a real transformation, the economic viability and acceptance of sustainable digital applications in particular would have to be strengthened. This would presumably require coordinated government intervention in the form of a framework for a vision for the future consisting of a coordinated, concerted mix of financial incentives, subsidies, sensible regulation, and if necessary an expansion of transparency, testing and due diligence obligations, as well as bans if necessary. Within this framework, however, it would then be imperative to ensure sufficient freedom for those in the private-sector, and the incentives to act in an environmentally friendly manner would have to be big enough for those

in the public and private sector to actually consider them relevant in their decision-making. The approach of a mission-oriented innovation policy, for example, seems suitable for this purpose, as it could provide and coordinate the necessary framework.

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

Green Economy ist das Leitbild einer umweltverträglichen Wirtschaft, welche Ökologie und Ökonomie positiv miteinander verbindet und die gesellschaftliche Wohlfahrt steigert. Eine umfassende Umsetzung des Green Economy Leitbildes würde folglich bedeuten, dass Wirtschaft und Konsum sich innerhalb ökologischer, durch Umweltziele unterlegter Leitplanken, entwickelt und nachhaltig wächst. Trotz einer bereits seit über zwei Jahrzehnten andauernden Debatte um das Leitbild einer Nachhaltigen Entwicklung scheinen dessen Prinzipien noch weit von einer flächendeckenden Umsetzung in Wirtschaft und Gesellschaft entfernt.

Insoweit besteht gegenwärtig ein erheblicher gesellschaftlicher **Transformationsbedarf**, um sowohl national gesehen, aber auch weltweit ein möglichst hohes Niveau des Wohlergehens innerhalb akzeptierter globaler ökologischer Grenzen sicherzustellen. Für Deutschland würde dies Reduktionen bezüglich des ökologischen Fußabdrucks und damit verbundener Treibhausgasemissionen bedeuten. Ebenfalls müsste der durchschnittliche Pro-Kopf-Naturverbrauch verkleinert werden. Sämtliche Innovationen (wie sie z.B. durch neue digitale Lösungen erst möglich werden), die zu einer Reduzierung des Umweltverbrauchs oder von Emissionen Beiträge leisten können, spielen in der Umsetzung der Transformation eine entscheidende Rolle (Kahlenborn et al. 2019).

Gleichzeitig kommt es durch die zunehmende Verfügbarkeit digitaler Daten, durch Vernetzung, Automatisierung und neue Benutzerschnittstellen zur Transformation von Geschäftsmodellen und zur Neuausrichtung ganzer Branchen (Gotsch et al. 2020). Die **Digitalisierung** ändert dabei grundsätzlich die Form unseres Wirtschaftens, unser Lebens und Arbeitens (BMU 2020). Die Digitalisierung (welche teilweise mit null Grenzkosten und starkem Wachstum verbunden ist) könnte dabei kontraproduktiv zum Umweltschutz bzw. verstetigend für nicht-nachhaltige Pfade wirken (und würde damit ein Teil des Problems). Deshalb ist es wichtig zu beachten, dass Digitalisierung nicht aus sich selbst heraus etwas Positives bewirkt, sondern dass Digitalisierung als Transformationsprozess beherrschbar gemacht sowie aktiv gestaltet werden muss (wie z. B. im Rahmen der umweltpolitischen Digitalagenda des BMU bereits angestoßen). Somit ist folglich ein besseres Verständnis notwendig, in welchen Formen Digitalisierung in den Umbau von Wirtschaft und Gesellschaft eingebaut werden kann und wo die Schnittpunkte der beiden Entwicklungen liegen.

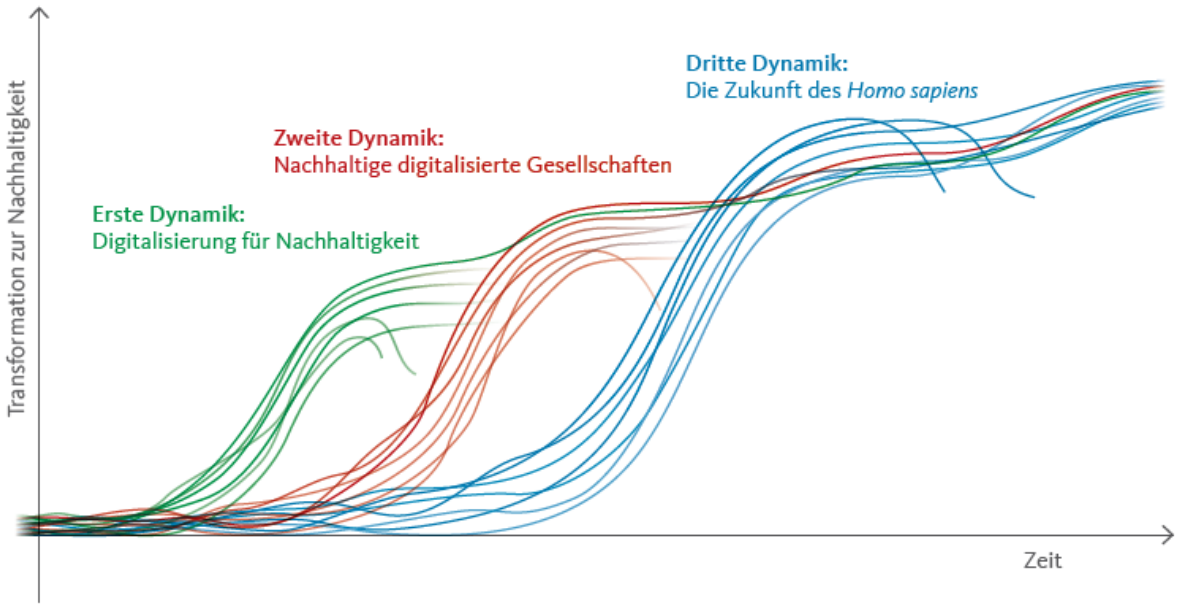
1.2 Vorgehensweise

Im vorliegenden Bericht werden die Schnittpunkte zwischen der Entwicklung Deutschlands hin zu einer Green Economy und der zunehmenden Digitalisierung aufgegriffen und analysiert. Anhand der Schnittpunkte werden daraufhin Handlungsempfehlungen für umwelt-, klimaschutz- und nachhaltigkeitsbezogene Veränderungen der Rahmenbedingungen erarbeitet und vorgestellt.

Übergreifende Fragen des **Umganges mit Daten** betreffen hierbei alle Themenbereiche gleichermaßen. Daher werden Aspekte des Datenumganges im Vorhaben als querliegender Aspekt aufgefasst und in allen Kapiteln jeweils entsprechend berücksichtigt. Daten sollen dabei auch ein Stück weit als Steuerungsfunktion, sowohl für einzelne Personen, als auch Organisationen, verstanden werden. Eine beabsichtigte Berücksichtigung von Daten und der damit verbundenen Umgänge im Rahmen von ökologischen Nachhaltigkeitsdiskussion, schafft dann eine Verbindung der in der Vergangenheit meistens getrennt geführten Diskussionen zu "Digitalisierung für Nachhaltigkeit" auf der einen und "Nachhaltige digitalisierte Gesellschaften"

auf der anderen Seite (vergleiche Abbildung 1). Die Notwendigkeit der stärkeren Verknüpfung dieser zwei Dynamiken unterstreicht insbesondere der WBGU in seinem Hauptgutachten von 2019 (WBGU 2019). Ökologische Fragestellungen sollten folglich verstärkt im Forschungsvorhaben mit gesellschaftlichen Fragestellungen verknüpft und gemeinsam untersucht werden.

Abbildung 1: Die drei Dynamiken des Digitalen Zeitalters



Quelle: WBGU 2019

Im Einzelnen wird im hier vorliegenden Bericht erörtert, in welchen Bereichen Big Data und darauf basierende KI-Anwendungen bereits für den Umweltschutz genutzt werden, welche weiteren bisher nicht genutzten Anwendungsmöglichkeiten es gibt und welche Hemmnisse vorliegen, die einer weiteren Anwendung entgegenstehen. Auf dieser Grundlage werden dann Vorschläge, die Hemmnisse für Big Data und KI-Anwendungen im Umwelt- und Klimaschutz abbauen, entwickelt. Weiterhin werden die Potenziale der Digitalisierung für die Green Economy anhand von digitalen Plattformen veranschaulicht und auch hier etwaige Hemmnisse thematisiert.

Nachdem im **1. Kapitel** der Hintergrund des Vorhabens erläutert wurde, werden im Rahmen des **2. Kapitels** die Begrifflichkeiten zur Green Economy eingeführt und mögliche Schritte auf dem Weg dorthin skizziert.

Im **3. Kapitel** wird daraufhin die Auswahl der zu untersuchenden digitalen Technologien begründet und die Zusammenhänge sowie die Abgrenzung der ausgewählten Technologien, wie sie im weiteren Verlauf verwendet werden, erläutert.

Im Rahmen des **4. Kapitels** wird beschrieben, wie die Digitalisierung die Transformation beeinflussen kann und welche Anwendungsfelder für eine Transformation hin zu einer Green Economy identifiziert werden können. Dabei werden fünf verschiedene Transformationsfelder unterschieden und hinsichtlich der Einflüsse der digitalen Technologien untersucht.

Das inhaltliche Herzstück des vorliegenden Berichtes stellen das **5. Kapitel** (Big Data), das **6. Kapitel** (KI) und das **7. Kapitel** (Plattformen) dar, welches die drei ausgewählten Technologien ausführlich analysiert und deren direkten und indirekten Einflüsse auf eine Transformation zur Green Economy im Detail erklärt. Hierbei werden für die drei verschiedenen Technologien bewusst differenzierte Herangehensweisen und auch ein unterschiedliches, jeweils zugeschnittenes methodisches Vorgehen verwendet.

Im **8. Kapitel** werden die zuvor erzielten Erkenntnisse unter dem Aspekt möglicher Hemmnisse und Risiken beleuchtet, um zum Teil technologieübergreifend Einschätzungen bezüglich des Einflusses der Digitalisierung auf die Transformation zur Green Economy vornehmen zu können.

Das abschließende **9. Kapitel** zieht ein Fazit und formuliert aus den Erkenntnissen politische Handlungsempfehlungen, die einen Rahmen geben könnten, wie die zuvor skizzierten Hemmnisse überwunden und digitale Technologien auf dem Weg zu einer Green Economy bestmöglich eingebunden werden.

2 Green Economy

2.1 Verständnis einer Green Economy

Wie oben geschrieben, soll unter **Green Economy** eine umweltverträgliche Wirtschaft, die grundsätzlich innerhalb ökologischer Leitplanken agiert und dabei Ökologie und Ökonomie positiv miteinander verbindet, verstanden werden. Da eine breite Umsetzung dieses Leitbildes in Wirtschaft und Gesellschaft noch aussteht, besteht folglich ein erheblicher Transformationsbedarf, um das erreichte Niveau des Wohlergehens, unter Berücksichtigung globaler ökologischer Grenzen, sicherzustellen (Kahlenborn et al. 2019).

Die betroffenen und zu adressierenden **Akteure** sind dabei sowohl von staatlicher Seite, als auch zivilgesellschaftliche Aktivitäten sowie insbesondere privatwirtschaftliche Akteure und Unternehmen. Neben der schrittweisen Anpassung ihrer bestehenden Geschäftsmodelle an die Knappheit natürlicher Ressourcen können Unternehmen auf der Grundlage radikaler Innovationen neue, nachhaltigere Geschäftsmodelle entwickeln. Die zugrundeliegenden Ursachen für die Ausbeutung natürlicher Ressourcen lagen in der Vergangenheit häufig an falschen politischer Regulierungsansätzen und dem Versagen von Märkten. In einer solchen Situation von Marktversagen können dann private Unternehmen eine aktive Rolle einnehmen. Die Unternehmen sollten in die Lage versetzt werden, innovative Geschäftsmodelle zu entwickeln, welche eine Korrektur des Marktversagens ermöglichen. Diese sogenannte „kreative Zerstörung“ von insbesondere nicht-nachhaltigen Geschäftsmodellen, kann daraufhin in Folge die notwendige Transformation einleiten (Gandenberger et al 2017).

Eine **Transformation hin zu einer Green Economy** geht dabei über rein technische Innovationen hinaus. Transformation bedeutet in diesem Zusammenhang weitaus mehr, nämlich auch einen Wandel des Gefüges von Institutionen und Mechanismen, und dies auf mehreren Ebenen (sektoral, betrieblich, bei Konsumenten). Dies ist nahezu zwangsweise durch historisch bedingte Pfadabhängigkeiten und der sich daraus ergebenden etwaigen Notwendigkeit von Brüchen geprägt und charakterisiert.

Grundsätzlich sollen dabei alle drei bekannten zentralen Nachhaltigkeits-Strategien für eine Transformation zu einer Green Economy, die einzeln und unabhängig voneinander, aber auch im Zusammenspiel den Übergang unterstützen können, Berücksichtigung finden. Diese lassen sich unter folgenden Überschriften zusammenfassen:

- Effizienz-Strategien,
- Suffizienz-Strategien,
- Konsistenz-Strategien.

2.2 Überblick Nachhaltigkeits-Strategien

2.2.1 Effizienz-Strategie

Der **grundsätzliche Effekt im Rahmen der Effizienz-Strategie** besteht in einer relativen Senkung des jeweiligen Ressourcenverbrauchs (z. B. Energie oder Material). Mögliche Werte für eine verbesserte Energieeffizienz könnten beispielsweise im Wohnungsbereich die Wärmeenergie pro Fläche oder pro Kopf sein. Unter der Materialeffizienz wird in diesem Zusammenhang das Verhältnis der Materialmenge in den erzeugten Produkten zu der Materialmenge, welche für ihre Herstellung verwendet wurde, verstanden (Kahlenborn et al. 2019).

Ein großer **Vorteil der Effizienz-Strategie** ist ihre hohe Anschlussfähigkeit an das bestehende Wirtschaftssystem und die darin geltenden Regeln, da sie keine Unvereinbarkeit zu den üblichen ökonomischen Zielen aufweist, sondern die Zielerreichung vielmehr ermöglicht (Schmidt 2008). Entsprechend des ihr inhärenten Wirtschaftlichkeitsdenkens wird die Effizienz-Strategie von vielen Unternehmen sowieso bereits konsequent angewendet (Schmidt 2008), da eine Steigerung der Ressourcenproduktivität sowohl in ökologischer, als auch wirtschaftlicher Hinsicht Vorteile verspricht. Die der Umsetzung zu Grunde liegenden Motive der Unternehmen (unabhängig ob in erster Linie Kosteneinsparung oder gezielter Umweltschutz) erscheinen dann zweitrangig.

Nach (Kahlenborn et al. 2019) bestehen in der Wirtschaft grundsätzlich noch erhebliche Effizienzpotenziale, die erschlossen werden können. Um jedoch die auf Ressourceneffizienz basierende Effizienz-Strategie als alleinige Transformationsstrategie für eine Green Economy (verbunden mit einer absoluten Umweltentlastung) uneingeschränkt verwenden zu können, müsste die Ressourceneffizienzzunahme deutlich beschleunigt werden (Kahlenborn et al. 2019; Simonis 2004).

Zudem liegen die offensichtlichen **Grenzen der Effizienz-Strategie** in den zahlreichen denkbaren Rebound-Effekten, zu denen verschiedene Mechanismen beitragen. Diese liegen vor allem darin, dass Effizienzverbesserungen oftmals eine kostensenkende Wirkung haben. Werden diese gesunkenen Kosten über ebenfalls sinkende Preise an die Kunden weitergegeben, können konsumsteigernde Wirkungen die Folge sein (Kahlenborn et al. 2019). Volkswirtschaften haben daher in der Vergangenheit auf Effizienzerhöhungen oftmals mit einer Nachfrageausweitung reagiert (Binswanger 2001).

Die Vereinbarkeit der Effizienz-Strategie mit ökologischen Zielen (wie z.B. Ressourcenschonung oder Umweltentlastung) ist folglich nur dann gegeben, falls der erzielte Effizienzgewinn jederzeit größer wäre, als das generelle Wirtschaftswachstum (Kahlenborn et al. 2019), was als unwahrscheinlich erscheint. Nichtsdestotrotz, schaffen die kurzfristigen Effizienzsteigerungen zumindest Zeitgewinne, die den handelnden Akteuren etwas Zeit "erkaufen", um nachhaltigere Lösungen zu finden (Huber 2000).

2.2.2 Suffizienz-Strategie

Unter der **Suffizienz- Strategie** werden Änderungen in bestehenden Konsummustern verstanden, die mit der Absicht erfolgen, zukünftig absolut weniger Energie und Rohstoffe zu verbrauchen als bisher. Durch diese Verhaltensveränderungen werden folglich Ressourcen eingespart (Heyen et al. 2013).

Das **grundsätzliche Potenzial der Suffizienz-Strategie** erscheint in manchen Gebieten (wie z.B. Energienutzungsverhalten oder umweltbewusstes Konsumverhalten) durchaus bedeutsam. Die tatsächliche Ausschöpfung des Potenzials scheint allerdings davon abzuhängen, inwieweit es gelingen kann, den erforderlichen kulturellen Wandel im Alltag mit den dafür notwendigen flankierenden Vorgehensweisen auch möglichst effektiv umzusetzen (Kahlenborn et al. 2019).

Daher ist für alle Suffizienz-Strategien zunächst zu prüfen, inwieweit und mit welchen Aktivitäten **suffizientere Verhaltensweisen größere Verbreitung** finden können. Ebenfalls zu klären ist die Frage, wie möglichst viele soziale Milieus realistischer Weise überhaupt erreicht werden können. Die Suffizienz-Strategie setzt anspruchsvolle Veränderungen von liebgewordenen Verhaltensmustern auf verschiedensten Ebenen voraus. Sie bedingt Lebensentwürfe, welche sowohl dem Prinzip der ökologischeren Bedürfnisbefriedigung folgen, als auch den Einbezug einer freiwilligen Selbstbegrenzung und einer individuell ausgeprägten Genügsamkeit Folge leisten (Kahlenborn et al. 2019). Ob eine solche anspruchsvolle und

komplexe Verhaltensänderung mehrheitsfähig ist und damit eine große Anschlussfähigkeit, die für eine wirkliche Transformation nötig wäre, auch in der Breite der Wirtschaft und Gesellschaft findet, bleibt durchaus fraglich.

2.2.3 Konsistenz-Strategie

Die **Konsistenz-Strategi**e versucht in erster Linie eine qualitative Umgestaltung der industriellen Stoffumsätze zu erreichen (Huber 2000). Unter Konsistenz wird folglich eine umweltverträglichere Beschaffenheit von Stoffströmen verstanden, "die entweder weitgehend störsicher im abgeschlossenen technischen Eigenkreislauf geführt werden, oder aber mit den Stoffwechselprozessen der umgebenden Natur so übereinstimmen, dass sie sich, auch in großen Volumina, relativ problemlos darin einfügen" (Huber 2000, S. 81).

Eine konsequent umgesetzte Konsistenz-Strategie würde folglich in den meisten Fällen eine radikale Veränderung gegenüber bestehenden Pfaden bedingen, die teilweise gänzlich andere Technologien nutzen würden als bisher. Mit einer Konsistenz-Strategie wären zudem nicht nur technische Veränderungen, sondern auch große organisatorische Umgestaltungen mit hoher Eingriffstiefe bei Entwicklung und Gestaltung, bei anschließender Herstellung und beim Vertrieb von Produkten verbunden (Kahlenborn et al. 2019).

Die Konsistenz-Strategie hat, im Vergleich mit den zwei anderen Strategien, vermutlich das **größte Transformationspotenzial**, indem sie den Versuch unternimmt, sowohl Energieströme, als auch Stoffströme den natürlichen Stoffkreisläufen und den damit verbundenen Grundprinzipien anzugleichen. Die damit verbundenen Prozesse sind jedoch nur langfristig umzusetzen (Huber 2000). Das konkrete Problemlösungspotenzial der Konsistenz-Strategie ist dabei umso größer, je stärker es machbar ist die Prozesse so zu gestalten, dass ökologische Folgen und denkbare Zielkonflikte bereits zu einem frühen Zeitpunkt erkannt werden. Derart ließen sie sich nach Möglichkeit von Vornherein vermeiden (Kahlenborn et al. 2019).

Allerdings wäre die notwendige Eingriffstiefe in bestehende Strukturen und Systeme vielfach derart hoch, dass sich die Konsistenz-Strategie **vielfältigen Blockaden und Pfadabhängigkeiten** (rechtlich, ökonomisch, technologisch, organisatorisch, nutzerbezogen) gegenübersieht. Zudem müssen aufgrund der tiefgreifenden strukturellen Veränderungen, die mit einer Konsistenz-Strategie einhergingen, vergleichsweise lange Zeiträume für die Umsetzung angenommen werden (Kahlenborn et al. 2019), so dass bereits kurzfristig wirkende Verbesserungen in Richtung weniger Ressourcenverbrauch oder geringer Treibhausgasausstoß eher nicht zu erwarten sind.

3 Digitalisierung

3.1 Auswahl der digitalen Technologien

Die **Digitalisierung** ist auf ihrem Weg, alle Bereiche der Wirtschaft und des Lebens zu durchdringen, gegenwärtig bereits sehr weit vorangeschritten, so dass einstige Visionen wie Künstliche Intelligenz (KI), Internet of Things (IoT) oder Virtual Reality (VR) aus heutiger Sicht tatsächlich realisiert wurden. Diese Entgrenzung der Einsatzgebiete erfolgt mit einer außergewöhnlich hohen Innovationsdynamik und Diffusionsgeschwindigkeit, so dass die Digitalisierung als ein wesentlicher Motor des technisch-sozialen Wandels in der jüngeren Moderne gelten kann (BMBF 2014). Viele zukünftige Ausprägungen der Digitalisierung im Hinblick auf Nachhaltigkeit sind derzeit noch unklar, jedoch grundsätzlich gestaltbar (Erdmann/Hilty 2010, Beckert/Schuhmacher 2013, UN SDG 2019).

Um den digitalen Wandel mitzugestalten, hat die Bundesregierung bereits 2014 die sogenannte „**Digitale Agenda**“ beschlossen (BMWi 2014). Mit der weiterführenden "**Digitalen Strategie 2025**" (BMWi 2016) sollte zudem zusätzlich aufgezeigt werden, wo zukünftig Schwerpunkte gesetzt, Kompetenzen entwickelt und neue Wege beschritten werden müssen, um ein digitales Deutschland zu ermöglichen. Unter dem Begriff **Green IT** gab es hierzu bereits Ansätze, um IT-Komponenten über den gesamten Lebenszyklus zu betrachten. Dieser Lebenszyklus besteht dabei aus den Schritten der Herstellung, der eigentlichen Verwendung sowie der letztendlichen Entsorgung der Geräte. Eine möglichst umwelt- und ressourcenschonende Gestaltung aller drei Schritte wird dabei angestrebt.

Auch das **BMU** und das **UBA** setzen sich seit vielen Jahren für eine effizientere Nutzung (insbesondere hinsichtlich Energie und Ressourcenverbrauch) der IKT ein. Die Handlungsfelder lagen in der Vergangenheit vor allem in der Verbraucherinformation und Produktkennzeichnung, der Unterstützung von Ökodesignanforderungen an IKT-Produkte, Information und Beratung für das öffentliche Beschaffungswesen und Ressortforschung im Rahmen des Umweltforschungsplanes (UBA 2022). In der jüngeren Vergangenheit wurde dabei zusätzlich in den Blick genommen, inwieweit der Einsatz von IT in vielfältigen Anwenderbranchen zu Umwelteffekten beiträgt (**Green durch IT**).

Die genannten Maßnahmen schlagen sich auch in der sogenannten umweltpolitischen Digitalagenda nieder (BMU 2020), die konkrete Maßnahmen für eine umweltgerechte Digitalisierung enthält, oder in der BMU-Initiative "KI-Leuchttürme für Umwelt, Klima, Natur und Ressourcen" (BMU 2019), die gezielt KI-Entwicklungen in diese Richtung fördern soll.

Klar fokussierbare direkte Wirkungen der Digitalisierung werden somit punktuell als separates Politikfeld behandelt (z. B. Energieverbrauch von Rechenzentren), indirekte Wirkungen oft integriert als Teil der sektoralen Politik (z. B. Digitalisierung zur Erhöhung der Effizienz von Verkehrsinfrastrukturen als Verkehrspolitik) und systemische Wirkungen werden als querliegendes Feld von ressortübergreifenden Institutionen adressiert (z. B. Digitale Wirtschaft und Gesellschaft in der Hightech-Strategie). Für die Umwelt- und Klimapolitik bedarf es zudem, auch angesichts der zunehmen Entgrenzung der Digitalisierung, einer verstärkten Beobachtung wesentlicher digitaler Trends, eines Verständnisses ihrer Wirkungen und eines geeigneten Betrachtungszuschnitts, um die Entwicklungen auch einordnen zu können.

Da im Folgenden nicht alle digitalen Technologien in ihrer Gänze betrachtet werden können, muss also ein geeigneter Zuschnitt vorgenommen werden. Zwar existieren eine Vielzahl möglicher Themen, jedoch erscheinen den Autoren sowohl die Potenziale für eine

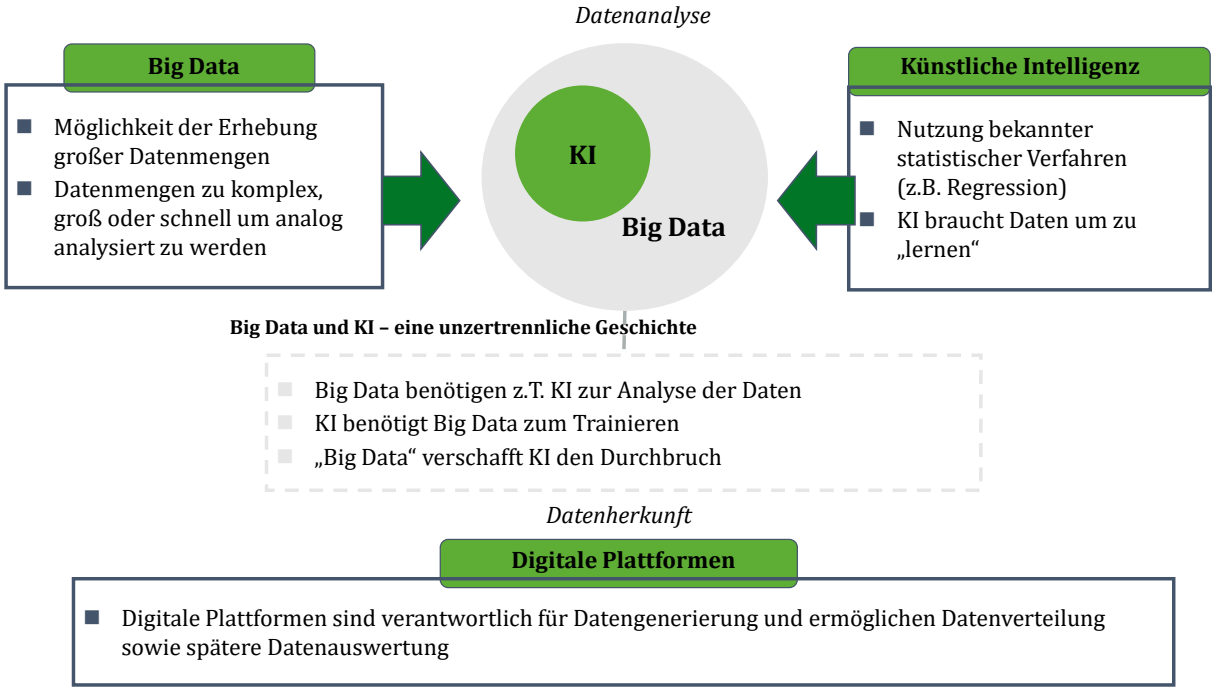
Transformation zu einer Green Economy, als auch die Regulierungsbedarfe für die folgenden drei Bereiche am größten, die daher verstärkt in den Fokus rücken sollen:

- Big Data,
- Künstliche Intelligenz (KI),
- Digitale Plattformen.

3.2 Zusammenhänge der ausgewählten digitalen Technologien

Die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen zu betrachtenden digitalen Technologien sind dabei wie folgt zu verstehen (siehe Abbildung 2). In Bezug auf Big Data analysieren wir die Anwendungen und die wesentlichen potenziell hemmenden Rahmenbedingungen (u. a. aufgrund bestehender Regulierung) sowie potenzielle gesellschaftliche Risiken, die mit Big Data allgemein und mit Big Data im Verbund mit KI-Anwendungen im Speziellen verbunden sein können. Bei der Betrachtung von KI können wir, darauf basierend, dann das "Innenleben" von Big Data genauer betrachten, nämlich die Algorithmen und Verfahren (u. a. Machine Learning, Deep Learning), mit denen die Auswertungen vorgenommen werden und welche spezifischen Tücken und Potenziale sie haben. Dabei soll insbesondere der disruptive Charakter der KI im Fokus stehen, der althergebrachte Vorgehensweisen ersetzt und teilweise überflüssig macht.

Abbildung 2: Zusammenhänge zwischen Big Data, KI und digitalen Plattformen



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer ISI

Im Anschluss vertiefen wir mit digitalen Plattformen eine spezifische Technologie, welche als "Datenquelle" die Grundlage für die späteren Datenauswertungen (z. B. mittels Big Data- und KI-Auswertungen) durch Datengenerierung, Datensammlung und -verteilung bereitstellt. KI und Big Data per Definition müssen mit ganz vielen Daten versorgt werden, um belastbare Ergebnisse zu erzielen. Es gibt zwar auch alternative Wege, Daten bereit zu stellen (z. B. öffentliche Datenbanken oder Open Data). Aber insbesondere digitale Plattformen bieten eine wichtige Basis, damit die datenbasierten Geschäftsmodelle aufgezogen und derart die

Datenbereitstellung und Datenauswertung mit Anreizen versehen werden können, dass daraus ein nachhaltiges Geschäftsmodell entstehen kann.

Eine trennscharfe Abgrenzung insbesondere zwischen den Begrifflichkeiten Big Data und KI erscheint dabei nicht möglich, vielmehr soll KI als eine spezifizierte Untermenge von Big Data verstanden werden. Aber auch einige Big Data-Anwendungen lassen sich nur schwer von Plattformen differenzieren bzw. müssen streng genommen beiden Bereichen zugleich zugerechnet werden.

4 Green Economy und Digitalisierung

4.1 Transformation zur Green Economy unter dem Einfluss der Digitalisierung

Zusammenfassend wird im Folgenden der Versuch unternommen, die zuvor diskutierten Bestandteile einer Green Economy und die möglichen Beiträge von digitalen Technologien (wie z. B. Big Data, KI und Plattformen) in einem Gesamtverständnis zusammenzufassen und möglichst strukturiert zu durchdringen.

Die in Abschnitt 2.2 vorgestellte **Effizienz**-Strategie erscheint dabei die höchste Anschlussfähigkeit an gegenwärtige Geschäftsmodelle zu haben und ließe sich entsprechend am einfachsten und ohne große Widerstände umsetzen. Gleichzeitig wären die Transformationsbeiträge hier voraussichtlich aber auch die kleinsten und die Gefahren für Verfestigungen bestehender (nichtnachhaltiger) Strukturen sowie von Reboundeffekten am größten. Die **Suffizienz**-Strategie verspricht im Vergleich zur Effizienz-Strategie, vor allem langfristig gesehen, schon deutlich größere Beiträge zur Transformation. Jedoch ist der Suffizienz-Strategie ein eher geringes soziokulturelles Anschlusspotenzial zu attestieren und es erscheint fraglich, ob Suffizienz jemals massentauglich werden wird. Die **Konsistenz**-Strategie verspricht langfristig den vermutlich größten Transformationsbeitrag. Jedoch müssen hier zunächst auch die größten Widerstände und Pfadabhängigkeiten überwunden werden, was aus verschiedensten Gründen und Interessenslagen wohl nicht in allen Fällen gelingen wird (Kahlenborn et al. 2019).

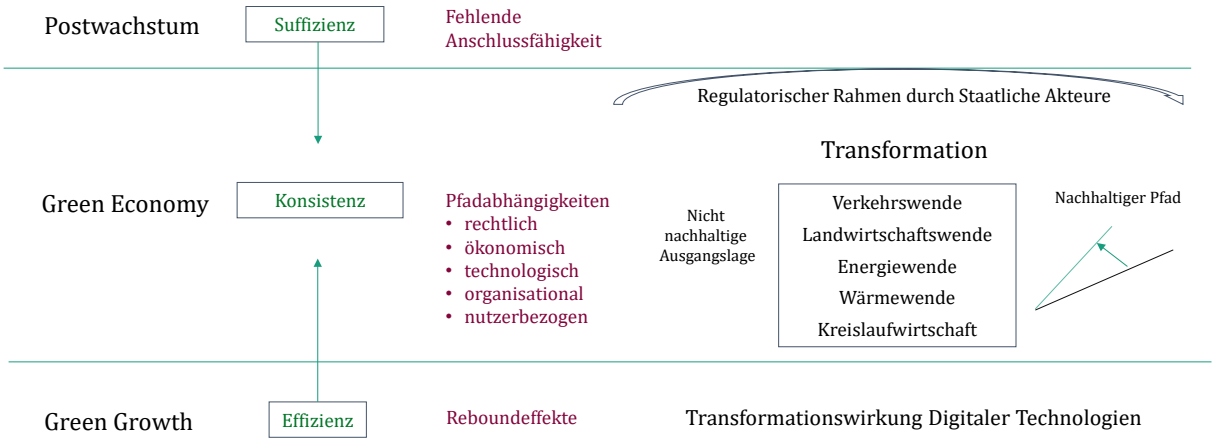
Mit **Fokus auf eine Transformation hin zu einer Green Economy** dürfte eine integrative Gesamtstrategie vermutlich das Erfolgversprechendste sein (siehe Abbildung 3). Diese Gesamtstrategie müsste erstens auf einen wirtschaftlichen Strukturwandel hinarbeiten (Konsistenz), zweitens bestehende Effizienzpotenziale konsequent nutzen (Effizienz) und sich drittens dabei innerhalb notwendiger Konsumgrenzen (Suffizienz) bewegen (Kahlenborn et al. 2019). In unserem Verständnis kann eine Transformation zur Green Economy folglich insbesondere dann gelingen, wenn alle drei Strategien (Effizienz, Konsistenz, Suffizienz) und die mit ihnen verbundenen Diskussionen (Green Growth, Green Economy, Postwachstum) parallel und möglichst komplementär verfolgt werden. Theoretische und praktische Zielkonflikte, die nicht ausgeschlossen werden können, gilt es dabei proaktiv zu erkennen und in komplementäre Ziele zu überführen bzw. Kompromisse zu schmieden.

Im weiteren Verlauf wird sich zudem zeigen, dass sich einzelne Maßnahmen nur selten präzise und konkret einer der drei Strategien zuordnen lassen. In manchen Fällen sind mehrere Strategien gleichzeitig tangiert. Mithilfe der drei Strategien kann jedoch abgeschätzt werden, welche Ansätze prinzipiell große Potenziale aufweisen und wie diese durch eine geeignete Kombination von Maßnahmen aus den Bereichen Effizienz, Konsistenz und Suffizienz umgesetzt werden können.

Dieser Prozess wird dabei durch neue Möglichkeiten des digitalen Wandels begleitet bzw. unterstützt. Daher werden im weiteren Verlauf der Arbeiten die drei ausgewählten digitalen Technologien (Big Data, KI, digitale Plattformen) und deren Einfluss auf den Transformationsprozess genauer untersucht. In diesem Zusammenhang muss beachtet werden, dass die untersuchten privatwirtschaftlichen Aktivitäten und Forschungsarbeiten immer im Kontext der rahmengebenden politischen Umstände gesehen werden müssen. Es sind folglich die staatlichen Akteure, die den regulatorischen Rahmen vorgeben, innerhalb dessen die

privaten Akteure, z. B. je nach Anreizsetzung, mit ihrem Verhalten und unter Zuhilfenahme der neuen digitalen Möglichkeiten, zur Transformation entweder beitragen können oder auch nicht.

Abbildung 3: Einflüsse der Digitalisierung auf dem Weg zu einer Green Economy



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer ISI

Um die Transformation zu einer Green Economy zu ermöglichen, sollen die möglichen Entwicklungen auf fünf zentralen Feldern, auf denen höchstwahrscheinlich über das Gelingen oder Missglücken einer Transformation entschieden wird, zunächst einzeln identifiziert und analysiert werden. Die fünf zentralen Transformationsfelder, die unterschieden werden sollen, sind:

- Verkehrswende,
- Landwirtschaftswende,
- Energiewende,
- Wärmewende,
- Kreislaufwirtschaft.

Unter einer **Verkehrswende** verstehen wir einen dahingehenden Veränderungsprozess, dass Verkehr und Mobilität zukünftig umweltfreundlicher und nachhaltiger ausgestaltet werden. Dies kann durch die Nutzung nachhaltigerer Energieträger (Bus und Bahn im öffentlichen Personennahverkehr bzw. Fahrrad und Pkw mit emissionsfreien Antrieben im Individualverkehr) erfolgen. Zusätzlich gehören zu einer umfassenden Verkehrswende aber auch die Vernetzung der verschiedenen Formen sowie der Güterverkehr. Der Verkehrswende zugeordnet werden folglich Anwendungen aus den Bereichen der Verkehrsüberwachung und -steuerung, des automatisierten und vernetzten Fahrens, der alternativen emissionsfreien Antriebe sowie der multimodalen Mobilität in Verbindung mit Ansätzen der Sharing Economy.

Die **Landwirtschaftswende** umfasst alle Bereiche der Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft, wie sie gegenwärtig in kommerziellen Maßstäben betrieben werden. Betroffen sind somit Veränderungen in den Bereichen Ackerbau, Tierhaltung und Fischerei, aber auch der Schutz des Waldes und der natürlichen Umgebung.

Die **Energiewende** beschreibt den Prozess der Ablösung fossiler Energieträger durch erneuerbare Energien mit dem Ziel, den Energiesektor zu dekarbonisieren. Dieser Prozess umfasst mehrere Aspekte, darunter technologische Verbesserungen, die eine größere und

effizientere Nutzung erneuerbarer Energien ermöglichen, sowie Aktivitäten auf gesellschaftlicher Ebene und von politischen Entscheidungsträgern. Im folgenden Verständnis beschränkt sich die Definition der Energiewende auf den Stromsektor und die damit verbundenen Prozesse, um ihn von der Erzeugung bis zum Verbrauch nachhaltiger und effizienter zu machen. Der Übergang zur Nachhaltigkeit im Wärme- und im Verkehrssektor wird gesondert betrachtet.

Die **Wärmewende** zielt darauf ab, die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen zu verringern und eine hohe Effizienz im Wärmesektor zu erreichen. Eine nachhaltige Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen sowie die Nutzung von Abwärme durch die Sektor-Kopplung sind Schlüsselaspekte der Wärmewende. Die Verringerung der Energieverluste in Gebäuden durch Dämmung und die Nutzung von Technologien für effizientes Heizen und Kühlen sind weitere Aspekte, die bei der Wärmewende eine wichtige Rolle spielen.

Kreislaufwirtschaft im Sinne einer Circular Economy wird als eine Wirtschaft definiert, „bei der es darum geht, den Wert von Produkten, Stoffen und Ressourcen innerhalb der Wirtschaft so lange wie möglich zu erhalten und möglichst wenig Abfall zu erzeugen“ (European Commission 2015). Damit beschreibt die Kreislaufwirtschaft "einen paradigmatischen Wandel der vorherrschenden Produktions- und Konsumstrukturen." Sie grenzt sich insbesondere durch die Etablierung von Kreisläufen vom vorherrschenden linearen Wirtschaftsmodell ab (Gandenberger 2021). Die Kreislaufwirtschaft bezieht alle Phasen eines Produktlebenszyklus ein: Rohstoffentnahme, Verarbeitung, Design, Produktion, Logistik, Nutzung und Entsorgung (Müller et al. 2020).

Inwieweit innovative digitale Technologien in der Lage sind, in den einzelnen Feldern einen positiven Beitrag (in Form der Schaffung eines Gelegenheitsfensters) oder vielmehr einen negativen Einfluss (in Form einer weiteren Verfestigung der bestehenden Strukturen) zu entfalten, soll im Rahmen der vorliegenden Arbeiten untersucht werden. Die dabei verwendete Einteilung der Transformationswirkungen in drei Stufen wird im anschließenden Abschnitt 4.2 erläutert.

4.2 Einteilung der Transformationswirkungen

Die oben vorgenommene Beschreibung von nachhaltigkeitsrelevanten Anwendungen wirft die Frage nach der Stärke der Transformationswirkung durch diese Anwendungen auf. Ebnen die digitalen Anwendungen letztlich den Weg in eine „Green Economy“ oder handelt es sich lediglich um marginale Verbesserungen des Status Quo? Oder die Frage anders formuliert: Handelt es sich nur um eine Effizienzsteigerung einer bereits bekannten Anwendung oder besteht tatsächliches Transformationspotenzial zur Green Economy?

Um eine solche Bewertung der Transformationswirkung für die einzelnen digitalen Anwendungen durchzuführen, wurde eine dreistufige Skala auf Grundlage existierender Literatur (UBA 2015; UBA 2017) zur Definition der Green Economy entwickelt (siehe Tabelle 1). Die drei Stufen enthalten jeweils verschiedene Kategorien, die im Folgenden erläutert werden.

Zunächst eine **Grobbeschreibung der drei Stufen**: Stufe 1 umfasst Anwendungen, die primär auf Effizienzsteigerungen in bestehenden Produktionsparadigmen abzielen oder ausschließlich Informationen bereitstellen, ohne, dass direkte Anreize für eine transformative Handlung enthalten wären. Stufe 2 umfasst Anwendungen, die direkte „Bausteine“ zur Transformation eines Sektors liefern, ohne jedoch bereits in sich selbst eine abgeschlossene Transformation des Sektors darzustellen. Stufe 3 umfasst schließlich Anwendungen, die einen Schlüsselbeitrag zur Transformation leisten können, indem sie grundsätzlich neue Paradigmen einleiten.

Anwendungen in Stufe 1 ermöglichen also durchaus Effizienzsteigerungen, jedoch können diese auch relativ gering sein oder vielmehr sogar zu einer Verstetigung des Status Quo bzw. einer Verfestigung bestehender, grundsätzlich nicht nachhaltiger, Strukturen gewollt oder ungewollt beitragen. Anwendungen der Stufe 2 enthalten dagegen offensichtliche Verbesserungen gegenüber dem Status Quo, so dass hier ein merklicher Beitrag zur Nachhaltigkeitstransformation gegeben scheint. Jedoch leisten sie nur einen Teilbeitrag zur sektoralen Transformation. Demgegenüber lassen sich Anwendungen der Stufe 3 als grundsätzlich neuer Ansatz einstufen. Derartige Anwendungen können folglich unter Umständen ein Gelegenheitsfenster zur Transformation eröffnen.

Die **Beschreibung der drei Stufen im Einzelnen**:

Stufe 1 fasst insbesondere Anwendungen zur Effizienzsteigerung von etablierten Prozessen, die für den Übergang in eine Green Economy eigentlich selbst transformiert werden müssten. Außerdem ist die Bereitstellung von Informationen enthalten, an die sich aber noch kein direkter Anreiz knüpft, unmittelbare auf diese zu reagieren (z. B. das allgemeine Monitoring von Umweltbelastungen). Zudem sind Produkte und Dienstleistungen enthalten, von denen nur geringe Nachhaltigkeitswirkungen erwartet werden, wie z. B. ein Online-Marktplatz für Endverbraucher für nachhaltig hergestellte Produkte. Ebenfalls beinhaltet sind Naturschutz-Anwendungen, die primär auf die Bereitstellung von Informationen abstellen (z. B. Ökosystemkartierung, Flora/Fauna-Monitoring, Waldbrand-Monitoring). Schließlich wurden auch Anwendungen für das Management natürlicher Ressourcen hinzugezählt, die die Ökobilanz der Ausbeutung dieser Ressourcen zwar in begrenztem Umfang verbessern können, sie aber nicht direkt und signifikant in Richtung einer nachhaltigen Nutzung transformieren (z. B. Monitoring von Fischereiflotten oder Waldrodung).

Stufe 2 enthält Anwendungen, die direkte Beiträge zur Transformation eines Sektors liefern (quasi als „Bausteine“ für die Transformation eines Sektors dienen und diese so ermöglichen), aber für sich alleine genommen diesen Sektor noch nicht transformieren. Diese Anwendungen wurden in drei Gruppen unterteilt. In der ersten Gruppe finden sich Anwendungen, die kritische Daten und Informationen für die Funktionalität des transformierten Sektors bereitstellen; beispielsweise Last- und Generationsvorhersagen für die Netzintegration von erneuerbaren Energien, oder Verkehrsflussdaten für die Planung und Umsetzung einer umfassenden „Verkehrswende“ (ÖPNV-Optimierung, intermodale Verkehrsflüsse und Umstieg auf Fahrrad/Fußverkehr). In der zweiten Gruppe finden sich Anwendungen, die die technische Funktionalität oder Wirtschaftlichkeit des transformierten Sektors steigern, oder seine Umwelt-/Biodiversitätsbilanz direkt verbessern. Beispiele sind die vorausschauende Wartung von Windrädern, Steuerungssysteme für die Netzintegration erneuerbarer Energien, oder naturnähere Landwirtschaft. Die dritte Gruppe schließlich stellt Informationen für die Klimawandelbekämpfung bereit, denen eine Handlung folgt oder eine Handlung direkt unterstützen; z. B. die Verifizierung von CO_2-Abscheidung und -Speicherung, oder die Bilanzierung der CO_2-Intensität von Firmen für Investoren.

Stufe 3 umfasst abschließend Anwendungen, die bereits für sich allein genommen einen Schlüsselbeitrag zur Transformation leisten können, indem sie die Transformation durch ganz neue Technologien wesentlich vorantreiben, z. B. Ansätze im Bereich Indoor Farming oder ein sehr starker Rückgang der CO_2-Intensität der Zementproduktion. Derartige Stufe-3-Anwendungen hätten demnach das größte Transformationspotenzial, wären wahrscheinlich aber gleichzeitig auch mit den größten Umsetzungshürden konfrontiert.

Tabelle 1: Skala zur Abschätzung der Transformationswirkung

	Beschreibung	Beispiele
1	Effizienzsteigerungen innerhalb grundsätzlich nicht-nachhaltiger Produktions-bzw. Konsumptionsparadigmen	Steigerung der Effizienz von Energie, Treibstoff, Wasser oder sonstigen Ressourcen Präzisionslandwirtschaft/-aquakultur (konventionell) Verkehrsplanung ohne „Wende"-Ambitionen (z.B. effizienterer Autoverkehrsfluss) Optimierung von Lieferketten (Energie/Treibstoff), z.B. bessere Planung und Auslastung von Lieferungen und Lagern; höhere Transparenz der Lagerbestände und Ablaufdaten
	Produkte und Dienste von denen lediglich geringe Nachhaltigkeitswirkungen zu erwarten sind	Online Marktplätze (Endverbraucher) für nachhaltig hergestellte Produkte Predictive Analytics zur Vermeidung von Industrieunfällen
	Indirekter Beitrag durch Informationsbereitstellung, ohne direkte Anreize auf Grundlage dieser Information zu handeln	Monitoring von Umweltbelastung Allgemeine Nachhaltigkeitsaudits (ESG) für Firmen
	Naturschutz (Informations-Bereitstellung, begrenzte Verbesserungen in der Nutzung natürlicher Ressourcen)	Kartierung von Ökosystemen Monitoring von Flora/Fauna Waldbrand-Monitoring Monitoring von Fischerei, Waldrodung
	Kritische Daten/Informationen für die Funktionalität des transformierten Sektors	Feinaufgelöste Daten/Vorhersagen zum Energiesystem (Generation, Last, Speicher, Wetterprognosen) Verkehrsdaten und -planung für „Verkehrswende" (ÖPNV-Optimierung, intermodale Verkehrsflüsse und Umstieg auf Fahrrad/Fußverkehr, bike sharing)
2	Steigerung der technischen Funktionalität, Wirtschaftlichkeit oder Umwelt-/Biodiversitätsbilanz des transformierten Sektors	Vorausschauende Wartung von Windrädern Steuerungssysteme für die Netzintegration erneuerbarer Energien KI-gestütztes Abfallrecycling Naturnähere / an Nachhaltigkeit ausgerichtete Landwirtschaft Naturschonendere Ressourcenausbeutung durch Identifikation und Sperrung ökologisch wertvoller Gebiete
	Informationen für die Klimawandelbekämpfung, die direkt an Handlungen geknüpft sind oder diese direkt unterstützen	Verifizierung von CO_2-Sequestrierung Bilanzierung der CO_2-Intensität von Firmen für Investoren.
3	Grundsätzlich neue, wesentlich nachhaltigere Produktionsparadigmen	Radikal CO_2-ärmere Zementproduktion Vertikales Indoor Farming Unkrautbekämpfung durch KI-Roboter KI-gestützte Züchtung neuer, wesentlich Hitze-/Dürre-/Salz-/Nährstoffmangel-resistenterer oder wesentlich ertragsreicherer Nutzpflanzen

Wie die Verteilung der identifizierten Big Data-, KI-, und Plattform-Anwendungen auf die drei Stufen ist, wird in den folgenden Abschnitten 5 (Big Data), 6 (KI) und 7 (Digitale Plattformen) diskutiert.

5 Big Data - Einsatzbereiche und mögliche Transformationseinflüsse[1]

5.1 Verständnis von „Big Data“

Der Begriff „Big Data“ ist klassisch über die drei „Vs“ *Volumen*, *Velozität* und *Vielfalt* (volume, variety, velocity) definiert worden (Laney 2001). „Volumen“ beschreibt die Speichergröße der Datensets und/oder die Zahl der einzelnen Dateneinträge (zu groß zur Bearbeitung mit herkömmlichen Infrastrukturen und Analyseverfahren), „Velozität“ die (sehr hohe) Geschwindigkeit der Datengenerierung, und „Vielfalt“ ihre Heterogenität (viele verschiedene Datenarten, oft in unstrukturierter Form). Nicht zuletzt aufgrund des Mangels an allgemein akzeptierten quantitativen Definitionen, welche Volumina, Velozitäten und Vielfaltsgrade nun „big“ sind, hat sich „Big Data“ als Sammelbegriff für Verfahren etabliert, bei denen die Auswertung gefühlt „großer“ Datenmengen im Zentrum des Wert- und Nutzenschöpfungsprozess steht (Bitkom und DFKI 2017).

Das rasche Wachstum kostengünstig verfügbarer Rechenleistungen und der ebenso schnelle technische Wandel, machen quantitative Definitionen, was aktuell „big“ ist, und qualitative Einschätzungen, welche Verfahren und Infrastrukturen „(nicht) herkömmlich“ sind, grundsätzlich immer nur zu einer Momentaufnahme (vgl. auch IDC 2017). Insofern „big“ ein relativer Begriff ist, ist davon auszugehen, dass er von Praktikern häufig vor allem mit Bezug auf die Menge der ihnen und ihrer „Branche“ *bisher* zur Verfügung stehenden Daten ausgelegt wird. Was für eine NGO „big“ ist, dürfte daher etwas Anderes sein, als für eine global agierende Bank oder Versicherung.

Dieses Forschungsprojekt übernimmt daher dieses offene und etwas amorphe Populärverständnis von Big Data. Im Fokus steht damit weniger die absolute quantitative Datenmenge als die neue Zentralität von Datenerhebung und -auswertung als *dem* Motor durch den Werte und Umweltschutz-/Nachhaltigkeitsnutzen geschaffen wird. Dieses Verständnis berücksichtigt sowohl die dem „Big Data“-Begriff inhärenten definitorischen Schwierigkeiten, wie auch die Vielfalt der neuen Möglichkeiten, die durch die zunehmende Bedeutung von Daten entstehen und hier im eigentlichen Zentrum des Erkenntnisinteresses stehen.

In diesem Sinne kann „Big Data“ hier auch als die Anwendung von Datenwissenschaft (*data science*) zu Umweltschutz-/Nachhaltigkeitszwecken verstanden werden, ein Begriff der in den durchgeführten Gesprächen mit Fachexperten wiederholt von diesen als Beschreibung für ihre Tätigkeiten angeführt wurde.

5.2 Privatwirtschaftliche Akteure: Startups und Großunternehmen

5.2.1 Untersuchungsgegenstand und Vorgehen

Da eine repräsentative Abdeckung der enormen Breite privatwirtschaftlicher Akteure (d. h. Firmen) den Rahmen dieses Forschungsprojekts sprengen würde, wurde der Fokus auf Startups und ausgewählte Großunternehmen gelegt. Grund für diesen Fokus ist, dass diese beiden Firmenarten besonders wichtige Rollen im Innovationssystem übernehmen; Startups als Entwickler neuer Technologien und Geschäftsmodelle, Großunternehmen als Akteure, die Innovationen in wirtschaftlich-gesellschaftliche Breite tragen und skalieren können. Diese Vorgehensweise scheint gerechtfertigt, da das Erkenntnisinteresse dieser Studie in der

[1] Die Autor:innen der Teilstudie danken Wilma Gießen und Marleen Georgesohn für ihre Unterstützung bei der Recherche und der Fertigstellung der Studie.

Identifikation von nachhaltigkeits-/umweltschutzrelevanten Big Data-Anwendungen sowie etwaiger Lücken in den einschlägigen Aktivitäten deutscher Akteure liegt.

5.2.1.1 Verständnis von „Großunternehmen“ und „Startups“

Als „Großunternehmen“ werden Firmen ab einer bestimmten Mitarbeiter- und Umsatzgröße verstanden. Für die EU beispielsweise gelten Firmen ab 250 Mitarbeitern und € 50 Millionen Umsatz im Jahr als Großunternehmen (ifm Bonn n. d.).[2] Von Interesse hier sind jedoch vor allem sehr große Firmen, mit Umsätzen im Milliardenbereich und weltumspannenden Tätigkeiten.

Der Begriff „Startup“ ist nur unscharf definiert. Allgemein wird mit dem Begriff ein junges, technologisch innovatives und/oder wachstumsstarkes Unternehmen verbunden, in Abgrenzung zu Existenzgründungen, welche alle Formen beruflicher Selbstständigkeit umfassen (Deutscher Startup Monitor 2020; Achtleitner 2018).[3] Diese Studie schließt sich jenem Verständnis an. Die hier verwendete Definition eines „Startups“ basiert auf der des Bundesverbands Deutscher Startups, gemäß welcher Startups

- jünger als zehn Jahre sind,
- (hoch) innovative Produkte, Dienstleistungen, Geschäftsmodelle oder Technologien entwickeln UND/ODER
- Mitarbeitenden- oder Umsatzwachstum anstreben.

Relevant für die Erhebung hier sind vor allem die ersten zwei Punkte, da ein „angestrebtes“ Wachstum nicht beobachtet werden kann. Der Einsatz von Big Data und, allgemeiner, Datenwissenschaft zu nachhaltigkeitsrelevanten Zwecken kann per se als „(hoch) innovativ“ gelten. Da das Erkenntnisinteresse dieser Arbeit vor allem auf einer möglichst umfassenden Erfassung von nachhaltigkeitsrelevanten Anwendungen von Big Data liegt, wurde für die Erhebung deutscher Startups ein Maximalalter von 15 Jahren gewählt (d. h. Gründung nach 31.12.2004), um eine ausreichend große Stichprobe zu gewährleisten. Für US-Amerikanische Startups verblieb diese Studie bei 10 Jahren als Maximalalter (Gründung nach 31.12.2009), da die Gesamtzahl von Startups in den USA wesentlich größer ist.

5.2.1.2 Erhebungsmethode und Auswertung

Erhebung

Zur Untersuchung von Konzernaktivitäten wurden jeweils fünf deutsche und fünf nicht deutsche (meist amerikanische) Firmen unterschiedlicher Branchen ausgewählt. Diese sind: Siemens und GE, SAP und IBM, Bayer und Nestle, Deutsche Bahn AG (DB) und die National Railroad Passenger Corporation (Amtrak), DHL und Amazon. Um Aktivitäten zu identifizieren, wurden die Firmenwebseiten und Jahres- und Nachhaltigkeitsberichte der letzten 4 Jahre analysiert, und Google-Suchen durchgeführt.[4]

Um Startups zu identifizieren, wurden die Datenbank Crunchbase (www.crunchbase.com) und die Webseiten von zwei Acceleratoren-Programmen ausgewertet. Crunchbase gilt dabei als international umfassendste Startup-Datenbank und wird neben Investoren und Finanzanalysten

[2] Streng genommen definiert die EU nur die Schwellenwerte, bis zu denen Firmen als „mittlere“ Unternehmen (bzw. also Klein- oder Kleinstunternehmen) gelten.

[3] Andere definieren Startups (ebenfalls in Abgrenzung zu reinen Existenzgründungen/klassischer Selbstständigkeit) eher anhand der Rolle von Fremdkapital, insbesondere Venture-Kapital, Unternehmensfinanzierung (vgl. Achleitner 2018).

[4] Such-Strings waren: [Firmenname] AND "Big Data" [bzw. “analytics”, “artificial intelligence”, “künstliche Intelligenz“] AND "klima" [bzw. "nachhaltig","Umwelt", "CO2", "ökolog", “climate, “sustainable”, “nature”, “ecolog”].

zunehmend auch von der Wissenschaft genutzt (Dalle et al. 2017). Es wurden jeweils Daten zu deutschen und (als Vergleichswert) US-amerikanischen Startups gezogen. Dazu wurde folgender Schlüsselwörter-basierter Such-String eingesetzt:

Headquarters Location: *Germany* [bzw. *United States*]

AND

Full Decription contains any: (*big data* OR *data analysis* OR *analytics* OR *artificial intelligence* OR *machine learning* OR *deep learning OR neural net* OR *neural network* OR *neutral networks* OR *ai*)

AND

Full Decription contains any: (*sustainable* OR *sustainability* OR *green* OR *environment* OR *environmental* OR *biodiversity* OR *climate* OR *carbon* OR *CO2* OR *emission* OR *emissions* OR *energy efficiency* OR *energy efficient* OR *mobility* OR *fuel efficiency* OR *fuel efficient* OR *water* OR *waste water* OR *recycling* OR *waste management* OR *circular economy* OR *agriculture* OR *farming* OR *soil* OR *forest*)

AND

Founded after: *12/31/2004* [bzw. *12/31/2009* für USA]

Der Such-String war folglich so konzipiert, dass er alle Firmen mit Hauptsitz in Deutschland bzw. den USA findet, die nach 2004 (2009) gegründet worden waren, und deren Beschreibung *sowohl* Begriffe verwendet, die auf den Einsatz von Big Data bzw. Datenwissenschaft allgemein, *als auch* auf potenziell nachhaltigkeitsrelevante Geschäftsmodelle oder Wirkungen hindeuten.

Der Suchbefehl lieferte 142 (Deutschland) und 1.183 Firmen (USA). Da manche der verwendeten Schlüsselwörter auch in Kontexten ohne Bezug zur ökologischen Nachhaltigkeit verwendet werden, wurden diese Suchergebnisse als nächstes manuell bereinigt, um die (wie zu erwarten, große) Zahl falsch-positiver Ergebnisse auszusortieren.[5] Nach weiterer Durchsicht der Firmenwebseiten selbst (also *nicht* nur auf Basis der Angaben in der Crunchbase-Beschreibung) wurden drei weitere (zahlenmäßig meist kleinere) Gruppen von Firmen aussortiert: Erstens, Firmen die nicht länger zu existieren schienen.[6] Zweitens, Firmen die zwar *angaben*, ein „grünes" Geschäftsmodell o. ä. zu verfolgen, wo de facto aber keine konkreten Nachhaltigkeitswirkungen irgendeiner Art in ihren weiteren Angaben zu Produkt/Technologie, Geschäftsmodell, o. ä. erkennbar waren. Drittens, Firmen deren Produkte und Dienstleistungen[7] zwar eine Nachhaltigkeitswirkung haben, diese jedoch nicht auf die Anwendung von Big Data (oder Datenwissenschaft allgemein) zurückgehen.[8]

Für Deutschland wurden zusätzlich die Webseiten von zwei Startup-Acceleratoren per Desk Research auf relevante Startups abgesucht. Acceleratoren sind kompetitive zeitbegrenzte Programme, die Startups i. d. R. eine Mischung aus Mentoring und anderer ideeller Unterstützung, Netzwerk-Bildung und verbilligte Büroräume und andere Dienste bieten. Als Teil ihres Wertversprechens für die Startups und für potenzielle Investoren (sowie zur

[5] Z. B. tauchte der Begriff „environment" in vielen Firmenbeschreibungen im Sinne von „(Software) Umgebung", nicht von „Umwelt/Natur", auf. „Sustainable" wurde vielfach im Sinne von „sustainable competitive advantage/nachhaltiger Wettbewerbsvorteil" u. ä. gebraucht, etc.

[6] D. h., Firmenwebseite nicht länger existent, Social Media (Twitter/LinkedIn) Accounts tot oder seit mehr als 12 Monaten nicht mehr updated, etc.

[7] Aus Gründen der Lesbarkeit werden „Produkte und Dienstleistungen" im weiteren Text unter dem Begriff „Produkte" zusammengefasst, soweit nicht anderweitig spezifiziert.

[8] Z. B. Betreiber von Rechenzentren, deren beworbene (Kühl-)Energieeffizienz auf ihren Standort im hohen Norden oder unter Wasser zurückgeht – und nicht auf z. B. innovative *datenbasierte* Kühlsysteme.

Selbstvermarktung) unterhalten sie Listen der von ihnen gegenwärtig oder in der Vergangenheit geförderten Firmen. Untersucht wurden die Webseiten des BMWi-geförderten *German Accelerator* (www.germanaccelerator.com; 324 Firmen) und der EU-geförderte Climate-KIC Accelerator DACH-Region[9] (http://climate-kic-dach.org/; 98 Firmen). Diesen wurden ausgewählt aufgrund ihres Bekanntheitsgrades (German Accelerator) bzw. ihres Fokus auf klimafreundliche Technologien und Geschäftsmodelle (Climate-KIC). Die Acceleratoren dienten dabei auch als Kontrolle, wie gut Crunchbase die deutsche Startup-Landschaft wirklich abdeckte: tatsächlich fanden sich fast alle der geprüften Firmen aus den Acceleratoren bereits in der Crunchbase-Stichprobe.

Nach diesen Datenbereinigungen blieben schließlich 69 deutsche und 226 amerikanische Startups übrig. Für jede von diesen Firmen wurden sodann die auf ihren Firmenwebseiten präsentierten Informationen analysiert, um ihre Kunden, Geschäftsmodelle und Produkte/Technologien („Anwendungen") zu verstehen und zu entscheiden, inwiefern diese zu einer ökologischen Nachhaltigkeit und einer „Green Transformation" beitragen.

Auswertung

Um die so gesammelten Informationen strukturiert aufzuarbeiten, haben wir die Anwendungen sowohl in Bezug auf die *Branchen*, in denen sie angewendet werden (z. B. Energie, Verkehr, Landwirtschaft,…), die *adressierten Kunden-/Nutzer-Gruppen* (B2B, B2C, etc.) sowie das *Anwendungsfeld* – was man auch die *Art der Nachhaltigkeitswirkung* nennen könnte – klassifiziert (z. B. Effizienzsteigerungen in der Nutzung von Wasser, Strom, Treibstoff; Naturschutz; Monitoring/Modellierung von Schadstoffeinträgen; Energiewende, etc.).

Die Zuordnung geschah auf Basis der Analyse der Firmenwebseiten-Informationen. Für die Branchenstruktur haben wir uns am System der Wirtschaftszweigklassifikationen von DeStatis orientiert, aber auch weitere nicht branchenzuordenbare Bereiche hinzugefügt (z. B. „Modellierung und Vorhersage von Klimawandel, -risiken und -resilienz" oder „Naturschutz") wenn der relevante DeStatis-Wirtschaftszweig zu ungenau erschien (z. B. „Erbringung freiberuflicher, wissenschaftlicher und technischer Dienstleistungen"). Zu beachten ist, dass unsere Branchenklassifizierung die Branche(n) angibt, die das Startup mit seinen Produkten (bzw. Dienstleistungen) bespielt, d. h. die Branche(n), in denen diese angewandt werden und damit nachhaltigkeitsrelevante Wirkungen erzeugen. Die Branchenzuordnung gibt also *nicht* zwangsläufig die Branche wieder, der das Startup selber angehört.[10] Entsprechend kann ein Startup auch mehreren Branchen zugeordnet werden. Ein Beispiel: ein Startup, dass Datenauswertungen von Energieverbräuchen in Immobilien vornimmt um Einsparungen zu erzielen, wird den Branchen „Energie" und „Immobilien/Bauwirtschaft" zugeordnet.

Interviews

Um die Ergebnisse zu validieren und einzuordnen, wurden im Nachgang der Auswertung der Firmeninformationen Interviews und Gespräche mit den folgenden Expert:innen geführt (siehe Tabelle 2).

[9] DACH: Deutschland, Österreich, Schweiz.

[10] Gemäß den Wirtschaftszweigklassifikationen von DeStatis dürften viele der untersuchten Firmen selber in den Zweigen J (Information und Kommunikation) und M (Freiberufliche, wissenschaftliche und technische Dienstleistungen) angesiedelt sein, was aber für die hiesigen Fragestellungen wenig aussagekräftig erscheint.

Tabelle 2: Interviewpartner Big Data

Person	Institution
Simon Becker	Umweltbundesamt UBA
Dr. Laurens M. Bouwer	Climate Service Center Germany GERICS
Thomas Clemens	Pydro GmbH
Dr. Marcel Dickow	Umweltbundesamt UBA
Dr.-Ing. Thomas Hillenbrand	Fraunhofer ISI
Prof. Dr. Hans W. Griepentrog	Universität Hohenheim
Prof. Lynn Kaack, PhD	Hertie School
Dr. Sujit Kapadia	Europäische Zentralbank EZB
Riazuddin Kawsar	Spacenus GmbH
Dr. Michael Krail	Fraunhofer ISI
Lisa Kratochwill	Deutsche Energie-Agentur DENA
Dr. Marian Klobasa	Fraunhofer ISI
Helga Kuechly	World Wide Fund for Nature WWF
Viola Lutz	Institutional Shareholder Services ESG
Julian Marek	Fraunhofer ISI
Dr. Christoph Neef	Fraunhofer ISI
Dr.-Ing. Jutta Niederste-Hollenberg	Fraunhofer ISI
Alexander Schwarz	Fraunhofer ISI
Petra Vogt	Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland
Prof. Dr. Volker Wohlgemuth	Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin

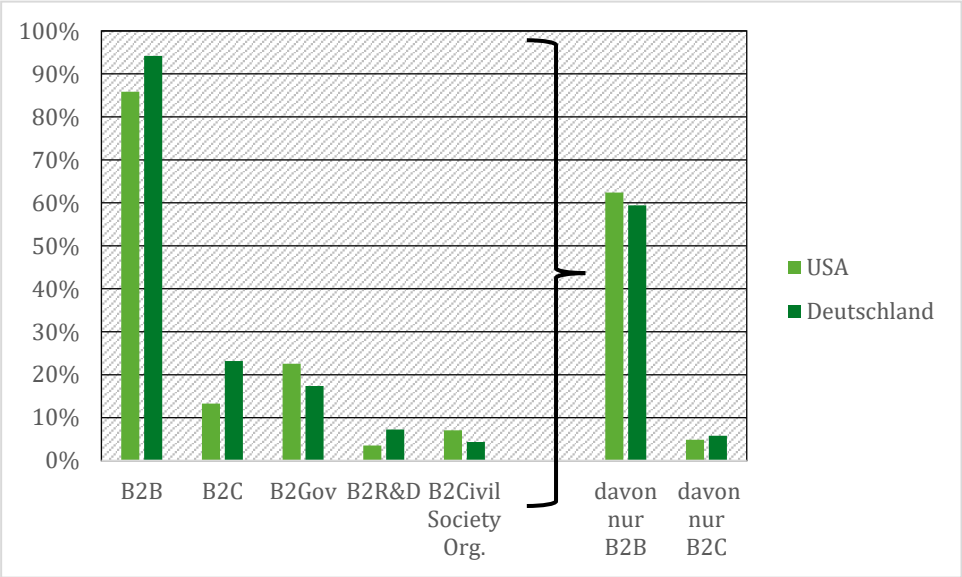
5.2.2 Ergebnisse: Deutsche und US-amerikanische Unternehmen im Vergleich

5.2.2.1 Kunden und Nutzer

Sowohl die amerikanischen wie die deutschen Startups adressieren primär den B2B-Sektor, haben also andere Unternehmen als Kunden (siehe Abbildung 4). 194 (86 %) der amerikanischen und 65 (94 %) der deutschen Startups adressieren den B2B-Sektor; 62 % bzw. 59 % haben sogar *nur* den B2B-Sektor im Fokus. Lediglich 13 % (USA) bzw. 23 % (Deutschland) bieten Produkte für private Endverbraucher (B2C) an; kaum 5 % bzw. 6 % adressieren *ausschließlich* den B2C Bereich. Jeweils 23 % (USA) und 17 % (Deutschland) bieten Produkte für die Öffentliche Hand an (B2Gov); in den allermeisten Fällen als Teil eines größeren Produktportfolios, das auch den B2B- oder B2C-Sektor einschließt. Eine kleine Zahl Startups in beiden Ländern hat auch Produkte für die Forschung (B2R&D) oder die Zivilgesellschaft (B2Civil Society) im Portfolio.

Gleiches gilt für die Großunternehmen. Die identifizierten Anwendungen richten sich überwiegend an andere Unternehmen (B2B); ein geringerer Anteil auch an die öffentliche Hand (B2Gov). Vereinzelt werden auch Produkte für zivilgesellschaftliche Gruppen (z. B. Umwelt-NGOs) oder für die Forschung entwickelt; meist scheint dies jedoch auf pro-bono Basis zu geschehen.

Abbildung 4: Adressierte Kunden-/Nutzergruppen bei Startups[11]



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer ISI

Der überwältigende Fokus auf den B2B-Markt ist nicht überraschend angesichts der Marktgröße sowie der Art der Anwendungen. Der wirtschaftliche Anreiz, Investitionen auch zur Erzielung prozentual kleinerer Effizienzsteigerungen durchzuführen, dürfte i. d. R. für Firmen, mit ihren viel höheren Gesamtverbräuchen von Energie, Wasser, Dünger, etc., ausgeprägter sein als bei Endverbrauchern. Der praktische Umbau ganzer Branchen und Systeme (Energie, Landwirtschaft, etc.) qua Installation neuer Anlagen, Produktionsprozesse und Infrastrukturen ist zwangsläufig eine Aufgabe, die vor allem in den Tätigkeitsbereich von Firmen (und teilweise staatlicher Stellen) fällt und nicht in den von Endverbrauchern.

5.2.2.2 Branchen und Anwendungsfelder

Abbildung 5, Abbildung 6 und Abbildung 7 zeigen die Branchen, die die Startups mit ihren Produkten adressieren und in denen sie Nachhaltigkeitseffekte entfalten. Abbildung 5 und Abbildung 6 geben diese Information in absoluten Zahlen wieder; Abbildung 7 die prozentualen Verteilungen, um einen besseren Vergleich zwischen den beiden Ländern zu ermöglichen. Da ein Startup mehreren Branchen zugeordnet werden kann, summieren sich die Prozentwerte auf *über* 100 %.

Wie aus den Abbildungen ersichtlich, bilden Big Data-Anwendungen für den Energiebereich den größten Schwerpunkt bei den Startups in beiden Ländern, gefolgt von Landwirtschaft, Verkehr und Mobilität sowie Immobilien und Baugewerbe. Auch im Bereich Monitoring und Analyse von Umweltkontamination sind zahlreiche Firmen in beiden Ländern aktiv. Danach folgt eine Vielzahl weiterer Anwendungsfelder, in denen jeweils eine kleinere Anzahl Firmen aktiv ist. Wie in Abbildung 7 zu erkennen (und im weiteren Bericht in größerem Detail diskutiert),

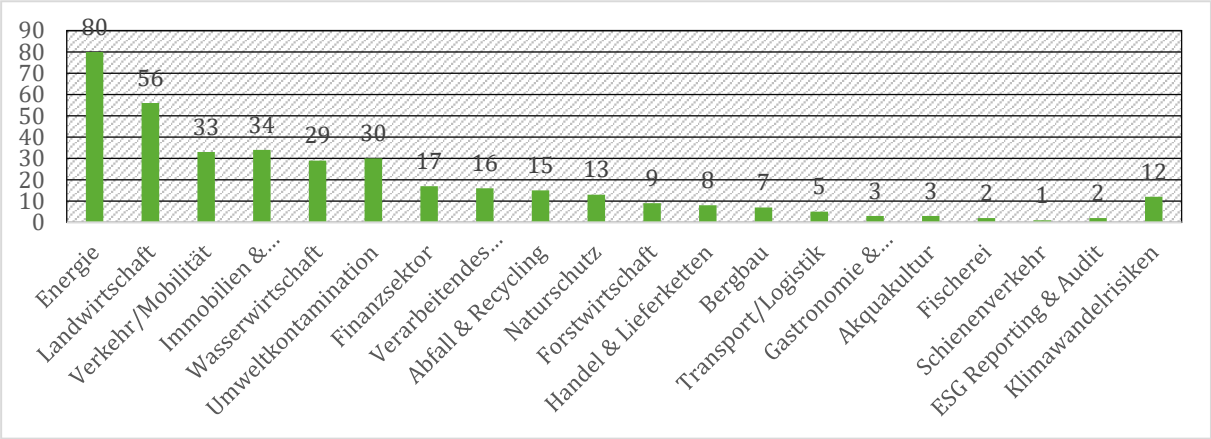
[11] Mehrfach-Zuordnungen möglich.

konzentrieren sich die Aktivitäten der deutschen und amerikanischen Startups überwiegend auf die gleichen Bereiche: eklatante „weiße Flecken“, wo die Prozentzahl der aktiven Firmen im einen Land, die im anderen Land klar übersteigt, finden sich nur in wenigen Feldern. Allgemein ist auch festzuhalten, dass die amerikanische Wirtschaft im Jahr 2019[12] etwa 5,6 Mal so groß war wie die deutsche Wirtschaft (US $ 21.43 Billion versus US $ 3.86 Billion [Worldbank n. d.]), wir allerdings nur 3,3 Mal so viele amerikanische wie deutsche Startups identifizieren konnten (69 versus 226), die Big Data für nachhaltigkeitsrelevante Anwendungen einsetzen. Es gib also zumindest keine offensichtlichen Anzeichen, dass deutsche Gründer weniger Geschäftspotenzial in Big Data basierten, nachhaltigkeitsrelevanten Produkten sähen als amerikanische.

Dennoch deuten die Daten in Abbildung 7 auf mögliche Lücken hin. So sind auch prozentual jeweils wesentliche mehr amerikanische als deutsche Startups in den Bereichen Landwirtschaft, Wasserwirtschaft, Finanzsektor, Abfall/Recycling und Klimawandelrisiken und Klimawandel-Resilienz aktiv. Mögliche Gründe hierfür werden im weiteren Text in den jeweiligen Kapiteln zu diesen Branchen diskutiert.

Bei den Konzernen bietet sich ein insgesamt ähnliches Bild (siehe Tabelle 3), wobei dieses auch maßgeblich auf die Konzernauswahl zurückgeht. Auch die Konzernaktivitäten häufen sich im Bereich Energie, Landwirtschaft und Verkehr und Mobilität (einschließlich Transport/Logistik). Ein weiterer Schwerpunkt bildet der Einsatz von Big Data zur Analyse der eigenen CO_2-Bilanz. Auch bei den Konzernen sind keine offensichtlichen „weißen Flecken“ auf der deutschen Seite erkennbar. In fast jedem Branchenfeld sind – oft mehrere – deutsche Konzerne mit nachhaltigkeitsrelevanten Anwendungen von Big Data aktiv. Die Ausnahme bilden Finanzsektor und Klimawissenschaft/Klimarisiken, wobei es sich hier auch bei einem aktiven US-Konzern (IBM) meist um Sonderprodukte (maßgeschneiderte Einzellösungen) oder Forschungsprojekte zu handeln scheint. Tatsächlich scheinen die deutschen Firmen eher sogar aktiver zu sein, als die amerikanischen Firmen. So konnten beispielsweise bei Siemens Produktangebote für 10 Branchenfelder identifiziert werden, bei GE (dem nächstvergleichbaren der betrachteten US-Konzerne) nur 4; bei SAP 13 versus 12 bei IBM.

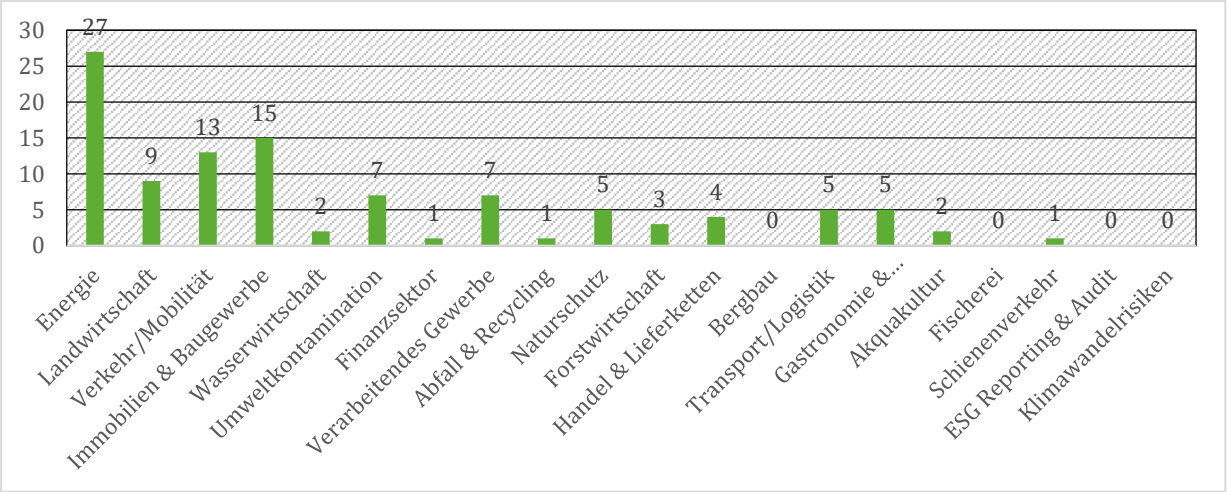
Abbildung 5: Amerikanische Startups - Branchenverteilung



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer ISI

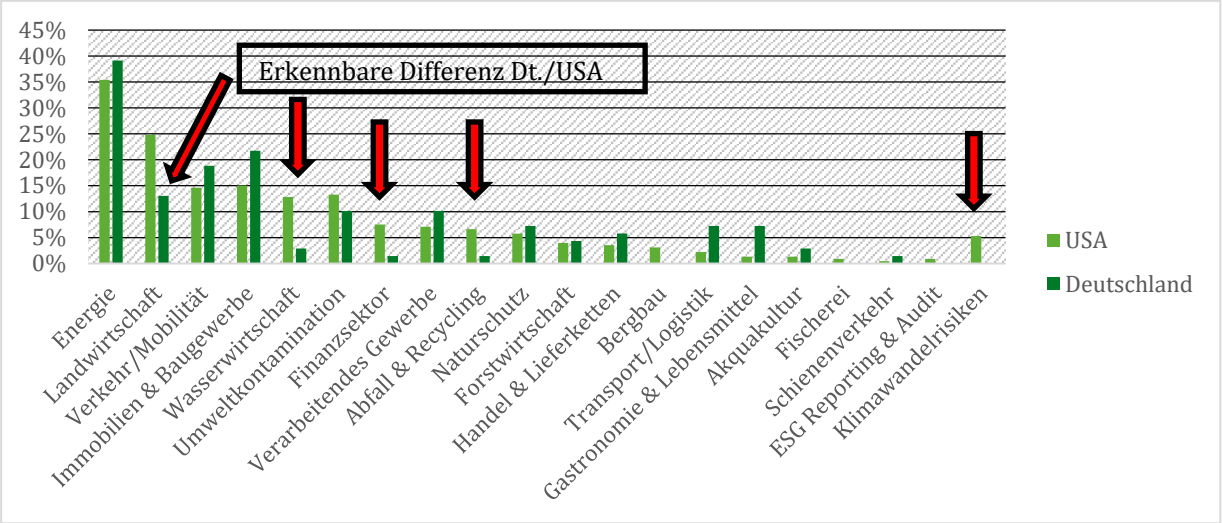
[12] Dem letzten vollendeten Jahr vor unserer Datenerhebung.

Abbildung 6: Deutsche Startups - Branchenverteilung



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer ISI

Abbildung 7: Branchenverteilung bei Startups im Vergleich – USA und Deutschland



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer ISI

Tabelle 3: Branchenverteilung bei Konzernen

	Ener-gie	Land-wirt-schaft	Perso-nen-ver-kehr/ Mobi-lität	Ana-lyse CO_2-Bi-lanz	Trans-port/ Logis-tik	Um-welt-konta-mina-tion	Verar-bei-tendes Gewer-be	Han-del/ Liefer-ketten	Wasser-versor-gung	Natur-schutz & Forstwirt-schaft	Akqua-kultur	Abfall, Recycling, Kreislauf-wirt-schaft	Immo-bilien & Bauge-werbe	Schienen-verkehr	Klima-wis-senschaft & Klima-risiken	Finanz-sektor	Analyse CO_2 Bilanz Dritter	Gesamt-zahl Branchen / Konzern
Sie-mens	X	X	X		X	X	X		X		X		X	X				10
GE	X		X				X							(x)[13]				4
SAP	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X				X	13
IBM	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X				X	X		12
Nestle		X		X						X								3
Bayer		X		X		X												3
DHL				X	X			X									X	4
Amazon				X	X													2
DB														X				1
Am-trak																		0

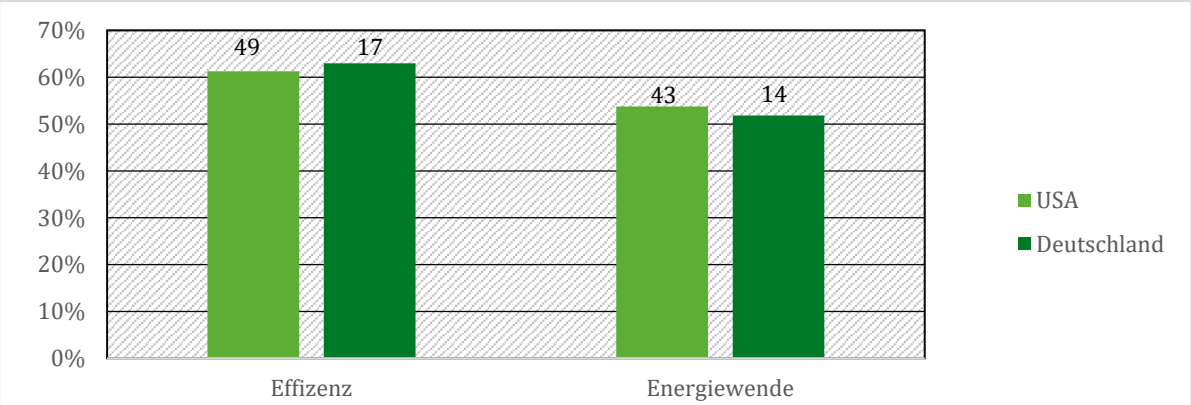
[13] GE verkaufte 2019 seine Transportsparte (einschließlich der Schienenverkehrseinheiten) an den amerikanischen Konzern Wabtec.

Energie

Startups

In beiden Ländern ist **Energie** mit Abstand die Branche, in der die größte Zahl von Startups im Sample aktiv ist (vgl. Abbildung 5, Abbildung 6, Abbildung 7). Wenn wir uns die *Anwendungsfelder,* in denen die Startups im Energiebereich aktiv sind, genauer ansehen (Abbildung 8) stellen wir fest, dass in beiden Ländern knapp über 60 % der Startups *Energieeffizienzlösungen* anbieten, und jeweils etwas über 50 % Lösungen entwickeln, die direkt zur *Energiewende* beitragen. Viele Firmen bieten natürlich Lösungen in beiden Bereichen an.

Abbildung 8: Energiebranche nach Anwendungsfeld



Die Zahl über den Balken gibt die absolute Anzahl der Startups an; mehrfache Zuordnung möglich.

Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer ISI

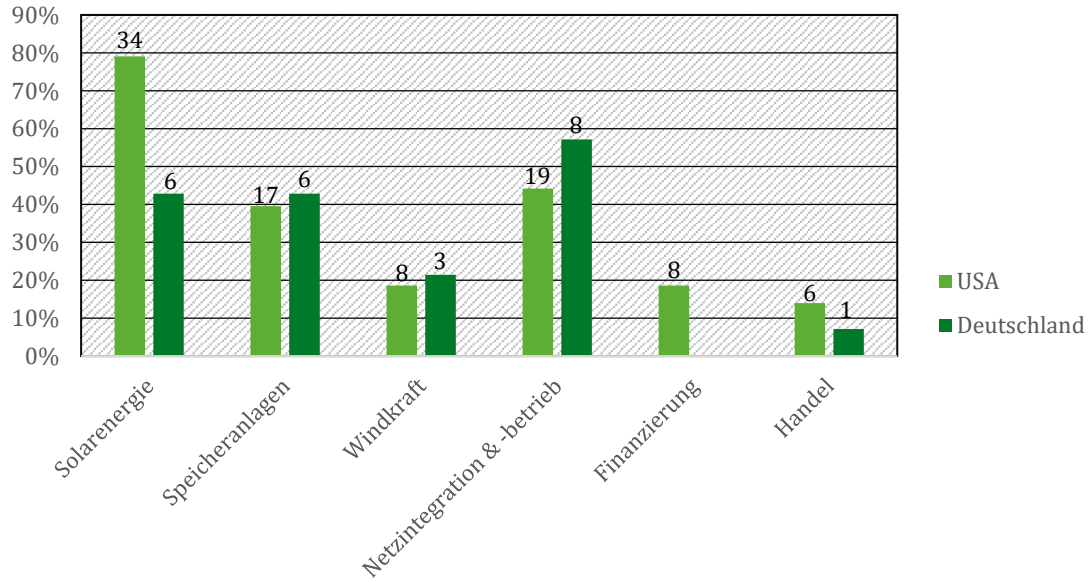
Schaut man sich die Startup-Aktivitäten im Anwendungsfeld Energiewende genauer an (Abbildung 9), so zeigt sich, dass sowohl im deutschen wie im amerikanischen Sample wesentlich mehr Startups Solarenergie- als Windkraft-bezogene Anwendungen entwickeln; der Fokus auf Solarenergie in Amerika aber besonders ausgeprägt ist: fast 80 % der Startups aus dem amerikanischen Sample, die im Feld Energiewende aktiv sind, entwickeln Solar-bezogene Anwendungen. In Deutschland sind es nur knapp über 40 %. Aufgrund der kleinen Zahl von Firmen müssen diese Prozentunterschiede vorsichtig interpretiert werden: schon wenige zusätzliche Firmeneinstiege bzw. Aufgaben würden ausreichen, um – zumindest auf deutscher Seite – die Prozentwerte grundlegend zu verändern. Mögliche Gründe für eine etwaige systematische Differenz könnten insbesondere in der markttreibenden Funktion von Kaliforniens hoher Sonneneinstrahlung und starker öffentlicher Förderung liegen (SEIA 2021).[14] Der stärkere Fokus der Startups in beiden Ländern auf Solarenergie verglichen mit Windkraft könnte, in der Einschätzung von interviewten Expert:innen, mit dem starken Engagement von Großkonzernen aus dem Maschinen- und Anlagenbau in der Windkraft zusammenhängen. Wie unten besprochen, entwickeln etwa Siemens und GE nicht nur eigene Windradsysteme, sondern auch entsprechende Steuerungs- und Data Analytics-Komponenten. Die starke Position etablierter Firmen könnte Startups abschrecken, und die Größe des noch bestreitbaren Markts eingrenzen.

Auffällig ist auch, dass in den USA etliche Firmen identifiziert werden konnten, die spezialisierte Finanzierungsdienste (einschließlich Versicherung) für Erneuerbare-Energieanalagen und Systeme anbietet; ein Anwendungsfall der in Deutschland – zumindest durch Startups – gänzlich unbesetzt scheint. Eine plausible Erklärung liegt im EEG-Umlagensystem, welches ein

[14] 2020/2021 wurde bereits über 20 % des Stroms in Kalifornien aus Solarenergie gewonnen (SEIA 2021).

deutschlandweit einheitliches, sicheres Vergütungssystem für erneuerbare Energien bietet (wogegen in Amerika Finanzierungsbedingungen stark zwischen Regionen variieren können), so dass schlicht weniger Dienstleistungsbedarf in diesem Bereich bestehen mag.[15] Umgekehrt sind prozentual etwas mehr Firmen im deutschen als im amerikanische Sample im Bereich der Netzintegration Erneuerbarer und der entsprechenden Steuerung von Stromnetzen aktiv. Das relativ starke Engagement deutscher Firmen in diesem Bereich dürfte auf den allgemein anerkannten Bedarf für bessere Netzsteuerung und Integration (auch als Alternative zu teurem Ausbau) zurückgehen.

Abbildung 9: Energiewende



Die Zahl über den Balken gibt die absolute Anzahl der Startups an; mehrfache Zuordnung möglich.

Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer ISI

Großunternehmen

Unter den analysierten Großunternehmen sind IBM, SAP, Siemens und GE im Energiesektor aktiv. Sie nutzen Big Data und Datenwissenschaft, um sowohl Energieeffizienz-Lösungen, wie Angebote, in den meisten Feldern der Energiewende anzubieten. Diese überschneiden sich teilweise mit den von Startups entwickelten Lösungen.

Siemens und GE sind seit sehr vielen Jahren im Energiegeschäft engagiert; traditionell als Entwickler physischer Anlagen und Systeme (z. B. Gasturbinen, Windräder, Industriemaschinen). Ihr Vorstoß ins Software-Geschäft zehrt von diesem Domänenwissen, und z. T. von ihrem Zugang zu detaillierten Anlagendaten (z. B. den Datenflüssen, die die von ihnen installierten Windräder generieren). Umgekehrt sind IBM und SAP primär Entwickler von (im Kern eher branchenübergreifenden) Unternehmenssoftware und IT-Lösungen. Entsprechend scheinen ihre Energielösungen meist auf ihren allgemeinen (branchenneutralen) Cloud, Analytics und ERP-Systemen aufzubauen, die dann an unterschiedliche Branchen (wie z. B. Energie) und spezifische Kundenbedarfe angepasst werden.

Alle vier Firmen entwickeln *Energieeffizienz-Lösungen für Industriekunden*, meist als Teil umfassenderer *Industrial Internet of Things* (IIOT)/Industrie 4.0-Software- und Big Data Analytics Produkte. IIOT/Industrie 4.0 beschreibt die großflächige sensorbasierte Vernetzung

[15] Wobei natürlich auch in Deutschland Finanzierung eine wichtige Herausforderung darstellen kann.

von Maschinen und Anlagen, welche umfangreiche Erhebung, Verknüpfung und Auswertung maschinen-/anlagenspezifischer sowie fabrikübergreifender Daten ermöglicht (Big Data Analytics). Bei den einschlägigen energiebezogenen Anwendungen, geht es in der Regel darum, Industrieprozesse möglichst (energie-) effizient zu gestalten, etwa über die Erkennung anormaler Verbräuche oder der Reduktion von Spitzenlasten.[16] Insbesondere Siemens und GE bieten umfangreiche Analytics-Plattformen und IIOT-Ökosysteme an, meist auf Basis ihrer Plattformen *Mindsphere* (Siemens) und *Predix* (GE). SAP und IBM entwickeln ähnliche Lösungen, teilweise in Kooperation mit Energieversorgern und Netzbetreibern.

Das Wertversprechen von Big Data im industriellen Kontext (und der hier betrachteten Produkte und Use Cases der vier Firmen) im Allgemeinen ist es, substanzielle Effizienzsteigerungen zu ermöglichen. Allerdings scheinen *Energie*effizienzgewinne – im Gegensatz zu *anderen* industriellen Effizienzen, wie etwa Reduktion von Wartungs-, Bereitstellungs- und Arbeitszeit oder Ausschussprodukten – regelmäßig eher *nicht* im Vordergrund der gesichteten Produkt- und Use Case-Beschreibungen zu stehen, vermutlich da besagte andere Effizienzen den Kunden größere finanzielle Einsparungen versprechen. Nur bei sehr energieintensiven Produktionsverfahren (z. B. Zementherstellung oder Ölraffination) wird der Energieeffizienzgewinn betont.

Wie im Kapitel zu Immobilien und Baugewerbe beschrieben, entwickeln Siemens und SAP ebenfalls Big Data Lösungen zur Steigerung von *Energieeffizienz im Gebäudebereich.* Im Gegensatz zu den Industrie-Use Cases liegt hier der Fokus auch stärker auf der Steigerung von *Energie*effizienz. Im Bereich *Energiewende* konnten für die vier Firmen vor allem Big Data-Anwendungen für die Erzeugung von Wind-, Solar- und Wasserenergie sowie für die Netzintegration und -steuerung identifiziert werden.

Spezialisierte Big Data Analytics-Produkte für Windräder, Windenergieanlagen und -flotten sowie für Solaranlagen werden von GE und Siemens angeboten. GE bietet solche Systeme auch für Wasserkraftanlagen an. Hier geht es meist darum, mittels Sensoren detaillierte Betriebsdaten zu erheben und auszuwerten (teils in Kombination mit anderen Daten, wie Wetterdaten) um vorausschauende Wartung zu ermöglichen, Einsatz zu optimieren (z. B. autonome Anpassung an Windbedingungen oder Sonneneinstrahlung), Energieerzeugung vorherzusagen und zu steigern, und Betriebskosten zu senken. Es ist davon auszugehen, dass beiden Firmen sich dabei auf ihre langjährigen Erfahrungen in der Entwicklung, Produktion und Wartung von Windrädern sowie von Industrial Internet of Things (IIOT) Applikationen stützen. Die fraglichen Analytics-Produkte laufen meist über die IIOT-Plattformen von Siemens und GE. Ähnliche Anwendungen – wenn auch möglicherweise mit begrenzteren Funktionalitäten – sind auch von IBM entwickelt worden.

GE, Siemens und IBM entwickeln ebenfalls Big Data Analytics und damit verbundene Software-Steuerungssysteme, um Erneuerbare Energien ins Netz zu integrieren und Netze mit vielen verteilten und variablen Energiequellen zu managen, sowie um Wind-, Solar- und Speicheranlagen netzdienlich zu steuern. Dies schließt auch die Prognose künftiger Erzeugung (etwa aufgrund wechselnder Wetterbedingungen sowie Anlagendaten) und Verbrauch ein, und nutzt zum Teil (etwa bei GE) auch Geoinformationsdaten. Dabei scheint sich IBM mehr auf die

[16] Spitzenlastreduktionen steigern nicht die physikalische Effizienz des Energieverbrauchs als solcher (wohl aber die wirtschaftliche Effizienz, über reduzierte Stromkosten), tragen allerdings zur Netzstabilität bei und unterstützen so die Integration erneuerbarer Energien. Auch kann so die benötigte Gesamtmenge von installierter Generationskapazität reduziert werden.

Prognose von Wind und Solarerzeugungsmengen zu fokussieren, während Siemens und GE Analytics und Steuerungssysteme für das Netz selber entwickeln.[17]

Produkte für (Erneuerbare) Energiefinanzierung und Energiehandel, die speziell *auf Big Data* beruhen, werden von den untersuchten Firmen nur begrenzt angeboten. Siemens und GE unterhalten eigene Finanzdienstleister (GE Capital, Siemens Financial Services) und Fördermittelberatung. Diese dienen jedoch primär zur Finanzierung des eigenen Projektgeschäfts. Als branchenneutrale Querschnittstechnologien werden SAP's Cloud, HANA- und Leonardo- Plattformen auch von spezialisierten Energie-Finanzdienstleistern als IT- und Analytics-Infrastruktur genutzt. Kaiserwetter Energy Asset Management beispielsweise verwendet diese SAP-Systeme, um Investoren spezialisierte „data (bzw. analytics) as a service"-Produkte für Erneuerbare Energieanlagen anzubieten. Auch Energiehändler nutzen die SAP-Systeme mitunter als Teil ihrer IT Infrastruktur und Analytics-Systeme.

Immobilien- und Baugewerbe

Startups

In Deutschland folgt auf Energie das **Immobilien- und Baugewerbe** als Branche, in der die zweitgrößte Zahl von Startups aktiv ist (15 Firmen); in den USA steht diese Branche an dritter Stelle (34 Firmen). Inhaltlich geht es hier meist um Energieeffizienz-Lösungen für den Gebäudebereich (d. h. Verbrauchsoptimierung und Einsparung, Erkennung anormaler Verbräuche, u. ä.). Jeweils etwa 80 % der identifizierten Immobilien-/Baugewerbe Startups in den zwei Ländern entwickeln derartige Lösungen. Teils sind ihre Produkte für den Gebäudebetrieb gedacht, teils für die Gebäudeplanung (Architektur).

Mit einigem Abstand folgt bei den amerikanischen Startups als zweiter Schwerpunkt die Optimierung des Wasserverbrauchs in Gebäuden (11 Firmen, oder 32 %). Diese Anwendungen fehlen unter den deutschen Startups. Wie im Kapitel zur Wasserwirtschaft besprochen, erklärten interviewte Branchenexpert:innen dies mit (bislang) fehlender Nachfrage in Deutschland: zumindest bisher galt Deutschland (im Gegensatz zu größeren Gebieten im Westen und Südwesten der USA) nicht als wasserarmes Land. Die Wasserinfrastruktur (Rohrleitungen, etc.) ist oft relativ modern und in gutem Zustand. Entsprechend war der ökonomische wie ökologische Imperativ, Wasser zu sparen, bisher begrenzt.[18]

Schließlich entwickeln zwei von den deutschen Startups Kreislaufwirtschaftslösungen für den Baubereich, was keine amerikanische Firma im Sample tut.

Großunternehmen

Unter den Großunternehmen sind Siemens und SAP im Bereich Immobilien und Baugewerbe aktiv. Wie bei den Startups, geht es bei beiden Konzernen primär um Energielösungen. Siemens ist besonders umfangreich engagiert; eine seiner zehn Konzerndivisionen ist ganz dem Thema Gebäudetechnik/Smart Buildings gewidmet.

Die von Siemens vermarkteten Lösungen mit Nachhaltigkeitswirkung, die sich auf Big Data stützen, fallen dabei primär in drei Kategorien: Energieeffizienzlösungen, netzdienliche Gebäude, und Monitoring und Controlling von CO_2-Emissionen einschließlich Teilnahme am Emissionshandel. Bei den Energieeffizienzlösungen geht es meist darum, Verbräuche mittels intelligenter Regelungstechnik, Automatisierung und vorausschauender Wartung (Anomalie-

[17] SAP bietet seit langem Software für Netzbetreiber und Energieversorger an (z. B. ERP-Systeme), scheint bislang aber noch keine dezidierten Lösungen für die Netzintegration von Erneuerbaren anzubieten. Jedoch gibt es Anzeichen für ein gestiegenes Interesse in diesem Bereich.

[18] Die Gesprächspartner betonten, dass sich dies mit dem fortschreitenden Klimawandel und zunehmenden Dürreperioden auch in Deutschland ändern dürfte; bzw. unter dem Eindruck des Dürresommers 2018, bereits geändert hat.

Erkennung, etc.) sowie intelligenter Verknüpfung mit Fertigungsprozessen (z. B. Nutzung von Abwärme) zu senken, auf Grundlage von Analysen der realen Verbrauchsprofile. Bei netzdienlichen Gebäuden versucht man, den Energieverbrauch des Gebäudes an die aktuelle Netzauslastung anzupassen, Last (Stromverbrauch) also entsprechend der aktuellen systemweiten Stromeinspeisungs- und Verbrauchssituation hoch- oder runterzufahren (*demand response*), um von Preisschwankungen am Spotmarkt zu profitieren und zur Netzstabilität beizutragen. Das kann Teilnahme an der Primär- und Sekundärreserve einschließen. Verknüpft mit Informationen zur jeweiligen Energiequelle lassen sich Energieverbräuche in CO_2-Emissionen umrechnen, so dass ein Controlling dieser möglich wird. Siemens-Systeme sind dabei so ausgelegt, um eine Teilnahme an Emissionshandel zu ermöglichen. Neben Sensorik, Automatisierung, Steuerungs- und Regelungstechnik, bilden die Siemens-Gebäudemanagementplattform Desigo CC und die Energie- und Nachhaltigkeitsplattform Navigator die technische Grundlage für diese verschiedenen Lösungen. Sie erlauben es, Daten gewerksübergreifend zusammenzuziehen, mit externen Daten (andere Gebäude, Wetterprognosen, etc.) zu verknüpfen und auszuwerten.

SAP bietet ebenfalls seit vielen Jahren IT- und Analytics-Lösungen für Immobilienmanagement an; bisher scheinen diese allerdings vor allem auf klassische betriebswirtschaftliche Ziele des Immobilienmanagements fokussiert gewesen zu sein (Raumnutzung, Kostenstruktur, Vertragsverwaltung, etc.). Seit 2020 kooperiert SAP allerdings mit dem Gebäudetechnikspezialisten Honeywell Forge, um auch Analytics-gestützte Energieeffizienzlösungen für den Gebäudebereich anzubieten. Wie bei Siemens scheint es hier vor allem um Verbrauchsreduktionen zu gehen.

Landwirtschaft

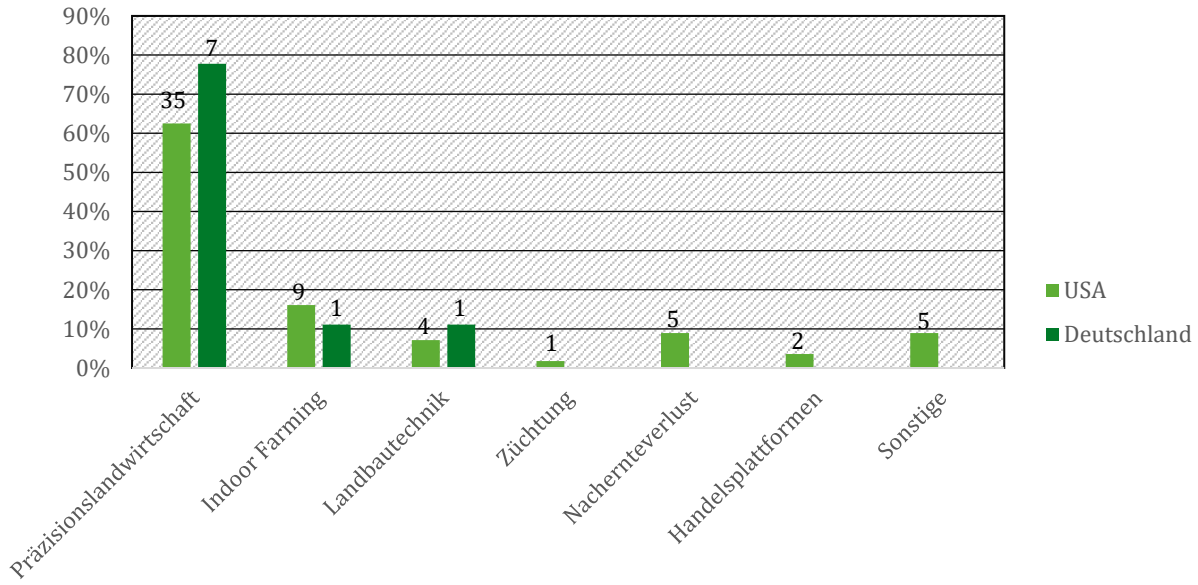
Startups

In den USA folgt auf Energie die **Landwirtschaft** als zweitgrößte Branche nach Zahl der darin engagierten Startups (mit 56 Firmen); in Deutschland steht diese nur an fünfter Stelle, mit neun Firmen. Die große Mehrheit dieser Startups – 35 Firmen in USA, sieben in Deutschland – entwickelt Lösungen für die *Präzisionslandwirtschaft* (vgl. Abbildung 10). Hier geht es darum, mittels im Feld eingesetzten Sensoren oder Satellitendaten, feingranulare Informationen zu Feuchtigkeit und Nährstoffreichtum des Bodens bzw. dem Nährstoff- und Wasserbedarf der Pflanzen sowie dem Vorkommen von Schädlingen und Unkräutern zu erheben und auszuwerten. So sollen punktgenaue, auf die einzelnen Bedarfe der jeweiligen Ackerstelle abgestimmte Applikationen von Wasser, Dünger, Herbiziden und/oder Pestiziden möglich werden, anstatt eine gleichbleibende Menge über den gesamten Acker auszubringen. Neben Einsparungen in der Gesamtmenge des ausgebrachten Wassers, Düngers, und Herbizid oder Pestizid sollen so Ertragssteigerungen (d. h. letztlich, Steigerung der Landnutzungs-/Flächenverbrauchseffizienz) realisiert werden. Die meisten dieser Firmen versuchen im Wesentlichen, bestehende konventionelle Landbautechniken zu optimieren; sowohl eine deutsche, wie eine amerikanische Firma verwendet ihre auf Satellitendaten und KI basierende Technologien aber auch, um die Raten von CO_2-Abscheidung und Speicherung im Boden zu verifizieren und zu kalkulieren (um einem entsprechenden Ökosystem-Dienstleistungsmarkt Vorschub zu leisten) und regenerative Landbautechniken zu stärken.

Die meisten der hier untersuchten Präzisionslandwirtschaftsfirmen entwickeln Systeme für den Ackerbau; einige wenige hingegen haben sich auf Tierzucht spezialisiert (Optimierung von Fütterung, Pflege, etc.). Eine amerikanische Firma bietet z. B. „smarte Bienenstöcke“ und „Präzisions-Bestäubungsdienste“ an; konkret, optimierte Ausbringung und Verteilung von

Stöcken (Bestäubung) und (sensor-basierte) Echtzeit-Informationen zum Status der Kolonien in den Stöcken.

Abbildung 10: Landwirtschafts-Startups



Die Zahl über den Balken gibt die absolute Anzahl der Startups an; mehrfache Zuordnung möglich.

Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer ISI

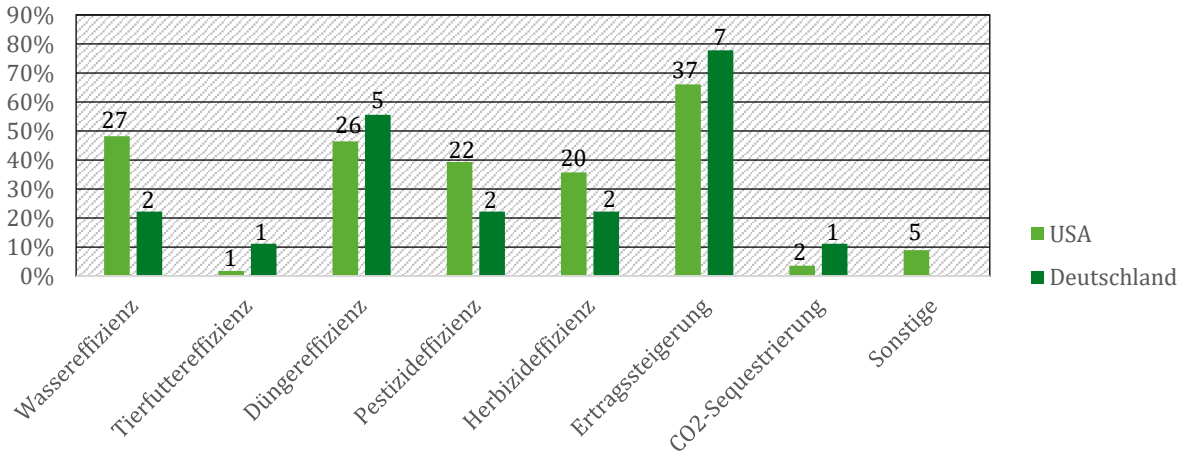
Die weiteren identifizierten Anwendungen werden in beiden Ländern von jeweils nur einer Handvoll Firmen vorangetrieben. *Indoor Farming* (oft vertikal) wird von neun amerikanischen und einer deutschen Firma verfolgt. Ähnlich der Präzisionslandwirtschaft versprechen die Indoor-Landwirte, Wasser-, Dünger-, Pestizid- und Herbizidverbrauch dramatisch – u. U. sogar auf Null – zu senken; insbesondere Vertikalfarming innerhalb von Städten soll zudem Treibstoff- (Lieferwege) und Flächenverbrauch senken. Im Bereich der *Landbautechnik* finden sich mehrere sehr unterschiedliche Anwendungen. Zum einen versuchen zwei amerikanische und eine deutsche Firma autonome, KI- (Bilderkennung)-basierte Roboter zum Jäten von Unkraut (Substitution von Herbiziden) zu entwickeln. Eine ganz andere Anwendung findet man bei einer amerikanischen Firma, die Landwirten hilft, auf die räumlichen Gegebenheiten und ihre bestehenden landwirtschaftlichen Aktivitäten abgestimmte Baumkulturen anzulegen. Neben der Generation klassischer Umsatzströme (Obst, Holz, Nüsse, etc.) wird dabei ein Schwerpunkt auf die Entwicklung monetarisierbarer Ökosystem-Dienstleistungen (CO_2-Sequestrierung, Vermeidung von Erosion und Bodenaustrocknung) und die Verbesserung des örtlichen Ökosystems und der Biodiversität gelegt.

Anwendungen in den Bereichen *Züchtung*, *Nachernteverlust* und *Handelsplattformen* werden nur von wenigen amerikanischen Firmen verfolgt. So setzt eine Firma Big Data ein, um nachhaltigkeits- und ernährungsrelevante genetische Eigenschaften von Nutzpflanzen zu identifizieren, um gezielte *Züchtungs*- und Geneditierungsstrategien zu entwickeln (z. B. höhere Dürre- und Extremwetterresistenz, längere Haltbarkeit). Mehrere Firmen entwickeln sensorbasierte Systeme, um *Nachernteverluste* im Lager zu reduzieren oder versuchen, Nahrungsmittel-Lieferketten entsprechend zu optimieren und „intelligent“ zu gestalten. Schließlich sind vier der Firmen im Bereich Handel mit landwirtschaftlichen Produkten aktiv. Davon entwickeln zwei Firmen Plattformen zum Handel mit Produkten aus dem Biolandbau; zwei weitere bieten Dienste zur Optimierung und Transparenzsteigerung von Lieferketten an

(Effizienzgewinne und Ressourceneinsparung durch bessere Abstimmung von Lieferungen, Einkauf und Lagerhaltung; Transparenz bzgl. der Herkunft von Produkten wie Palmöl und Kaffee).

Schließlich finden sich unter den amerikanischen Startups mit Landwirtschaftsanwendungen mehrere Firmen die in keine der genannten Kategorien passen; u. a. Energie- und Wassereffizienzlösungen für den landwirtschaftlichen Bereich, KI-gesteuerte „Bioreaktoren" (*bio reactors*), um Dünger aus organischen Abfällen herzustellen, Modellierungen von Klimawandelrisiken für die Landwirtschaft.

Abbildung 11: Landwirtschafts-Startups - Nachhaltigkeitswirkungen



Die Zahl über den Balken gibt die absolute Anzahl der Startups an; mehrfache Zuordnung möglich.

Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer ISI

Vergleicht man die durch diese diversen Anwendungen (laut den Startups) erzielten Nachhaltigkeitswirkungen (siehe Abbildung 11), so sticht heraus, dass die amerikanischen Startups prozentual stärker in den Bereichen Wasser-, Pestizid- und Herbizid-Effizienz engagiert sind, als die deutschen Firmen, während letztere einen besonderen Fokus auf Düngereffizienz haben. Allgemein versprechen die meisten Startups neben Effizienzverbesserungen auch Ertragssteigerungen (d. h. Flächeneffizienz).

Aufgrund der kleinen Zahl der deutschen Firmen sollten Unterschiede im Prozentanteil nicht überbewertet werden, da Zufallsschwankungen kaum auszuschließen sind. Die wesentlich stärkere Aktivität amerikanischer Big Data Startups in der Landwirtschaft allgemein, verglichen mit den deutschen Firmen (56 Firmen, oder 25 % des amerikanischen Samples, versus neun Firmen bzw. 13 % des deutschen, vgl. Abbildung 5, Abbildung 6, Abbildung 7); scheint jedoch zu groß, um nur zufallsgetrieben zu sein. Expert:inneninterviews deuteten auf mehrere Erklärungen hin. Zum einen wurde darauf hingewiesen, dass die deutsche Landwirtschaft oft kleinteiliger als die amerikanische ist. Des Weiteren werden in Deutschland vergleichsweise weniger hochwertige Sonderkulturen (z. B. Mandeln, Südfrüchte) als in Teilen der USA angebaut. Aus beiden Gründen ist die Wirtschaftlichkeit von Investition etwa in Präzisionslandwirtschaftstechnologie in Deutschland mitunter weniger klar. Schließlich liegen mit Kalifornien einige der wichtigsten Landwirtschaftsgebiete der USA in unmittelbarer Nähe des Silicon Valley, und Kaliforniens Universitäten beherbergen nicht nur weltweit führende Informatik- sondern auch Agrarwissenschafts-Departments. Austausch und Kooperation zwischen den beiden Domänen dürfte so oft naheliegend gewesen sein. Dass Kalifornien zwar eine landwirtschaftlich hochproduktive aber auch stark Dürre ausgesetzte Region ist, könnte

auch den amerikanischen Fokus auf Wassereffizienz erklären. Umgekehrt verweist einer der Gesprächspartner auf die Europäischen Vorgaben zur Reduzierung von Nitrateinträgen in Gewässer als eine mögliche Erklärung für den Fokus auf Düngemitteleffizienz unter deutschen Startups.

Großunternehmen

Unter den Großunternehmen sind Nestle, IBM, Bayer, SAP und Siemens im Bereich Landwirtschaft aktiv. Ihre Aktivitäten überschneiden sich dabei zum Teil mit denen der Startups. Der größte Teil dieser Aktivitäten entfällt auf den Bereich der Präzisionslandwirtschaft. Es gibt aber auch Aktivitäten in kleinerem Umfang in Anwendungsbereichen wie Indoor-/Vertikalfarming, Nutztierhaltung, Aquakultur und Lieferkette.

Im Bereich Präzisionsfarming entwickeln Bayer, IBM und SAP spezialisierte Produkte und Dienstleistungen für Großbetriebe und landwirtschaftliche Unternehmen vor allem in Regionen wie Nordamerika, Europa und anderen Ländern wie Brasilien, Argentinien. Nestle engagiert sich nur in geringerem Umfang selbst in der Entwicklung von Lösungen für die Landwirtschaft, kooperiert aber mit einem pakistanischen Forschungsinstitut, um kostengünstige intelligente Sensoren für die Präzisionsbewässerung von Kleinbauern zu entwickeln. Die Aktivitäten von Nestle zur Förderung der Entwicklung und Installation technologischer Lösungen in der Landwirtschaft stehen hauptsächlich im Zusammenhang mit Verpflichtungen der Firma zur Erreichung von Effizienz und Nachhaltigkeit in ihren Betrieben (z. B. durch Verbesserung der Wassernutzungseffizienz); Nestle bietet keine Präzisions- (oder sonstige) Landwirtschaftslösungen als kommerzielles Produkt für Dritte an. Bayer und IBM scheinen über das größte und am weitesten entwickelte Portfolio an Produkten und Lösungen zu verfügen.

Wie bei den Startups liegt der Schwerpunkt der Präzisionslandwirtschafts-Aktivitäten der untersuchten Konzerne auf der Steigerung der Gewinne der Landwirte durch Verbesserung der Ressourceneffizienz und/oder Erhöhung der Ernteerträge. Die ermittelten Anwendungen scheinen sich hauptsächlich darauf zu konzentrieren, den Landwirten datengestützte Empfehlungen zur Optimierung und Reduzierung des Einsatzes von Wasser, Düngemitteln, Pestiziden und Herbiziden zu geben. Weitere Anwendungen werden für die Überwachung der Pflanzengesundheit und die Diagnose von Pflanzenkrankheiten, die Ermittlung der produktivsten Bereiche auf dem Feld und die Vorhersage von Erträgen und Erntezeiten (in Kombination mit Wettervorhersagen) entwickelt. Darüber hinaus gibt es Spezialanwendungen, z. B. die Ausweisung unproduktiver Flächen in Zusammenarbeit mit NGOs, die aus der Bewirtschaftung genommen werden können, um auf oder in der Nähe des Feldes kleine Naturräume zur Wiederherstellung von Lebensräumen zu schaffen.

Die IBM-Lösungen für die Präzisionslandwirtschaft profitieren von der unternehmenseigenen Expertise in den Bereichen IoT-Analytics und kognitive Computertechnologien. Bayers Expertise in der Präzisionslandwirtschaft (und "digitaler Landwirtschaft" im Allgemeinen) scheint vor allem auf Übernahmen mehrerer amerikanischer Firmen (Monsanto, Climate Corporation) sowie Partnerschaften mit Industrie- und Forschungseinrichtungen, z. B. in China und Israel, zu beruhen.

Im Bereich Indoor-/Vertikalfarming sind Siemens und SAP mit Lösungen für die Integration von Daten aus verschiedenen Quellen wie Sensoren, Wasserzählern und Wetterdaten aktiv. Siemens bietet eine komplette Plattform für Indoor-Farming mit eigenen IoT-, Cloud- und Softwarelösungen sowie Robotern und digitalen Zwillingen an. SAP hingegen scheint eher maßgeschneiderte Lösungen eher für einzelne Kunden zu entwickeln.

Aquakultur

Startups

Die kleine Zahl von **Aquakultur**-Startups (drei amerikanische und zwei deutsche Firmen) entwickelt meist „Präzisions-Aquakultur", d. h. effizientere und gezieltere Fütterung und Pestizid-Applikationen (Lausbefall). Ein Startup experimentiert mit der Substitution von Anti-Laus-Giften durch Laser-Behandlung per autonomen Unterwasserroboter; ein anderes mit Anti-Verheddervorrichtungen, um die Meeres-Makrofauna (Waale, Schildkröten, etc.) besser zu schonen.

Großunternehmen

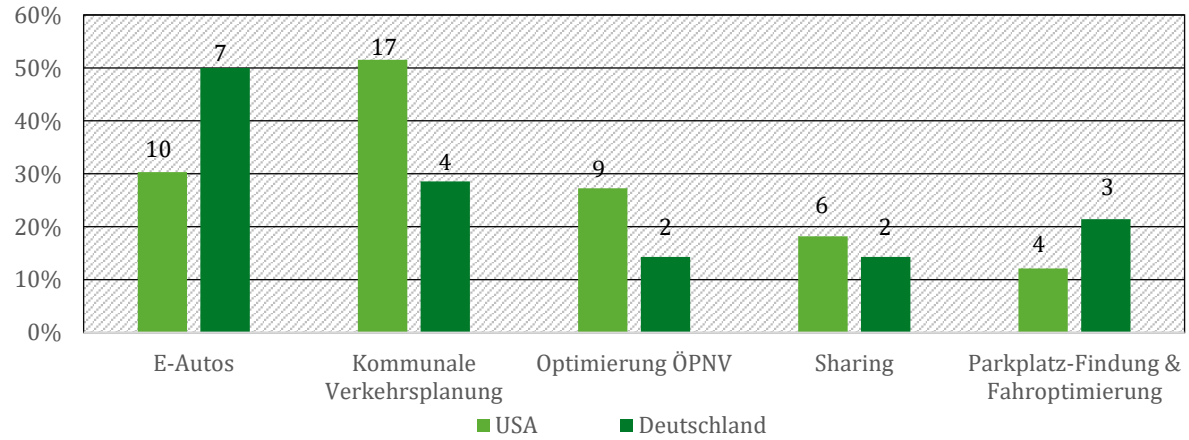
Unter Großunternehmen bieten IBM und Siemens in begrenztem Umfang spezialisierte datengesteuerte Aquakultur-Managementsysteme für einzelne Industriekunden in Norwegen, Finnland und Singapur sowie in Partnerschaft mit Forschungsprojekten an. Diese datenbasierten Aquakulturlösungen ermöglichen eine präzise nicht-invasive Unterwasserüberwachung mit Hilfe von Video und Hydroakustik sowie anderen Quellen. Wie bei den Startups liegen die Nachhaltigkeitseffekte in der Steigerung der Füttereffizienz und der besseren Kontrolle und Vorhersage von Seelausausbrüchen.

Verkehr und Mobilität

Startups

Jeweils 33 (USA) bzw. 13 (Deutschland) Startups im Sample entwickeln Lösungen für den Bereich **Verkehr und Mobilität** (siehe Abbildung 12).

Abbildung 12: Startup-Aktivitäten im Bereich Personenverkehr/Mobilität



Die Zahl über den Balken gibt die absolute Anzahl der Startups an; mehrfache Zuordnung möglich.

Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer ISI

Etwas mehr als die Hälfte der deutschen (aber nur 30 % der amerikanischen) Firmen sind im Bereich *E-Mobilität* aktiv (jeweils zehn und sieben Firmen). Von diesen entwickelt allerdings nur eine deutsche Firma Technologie für E-Autos selber (in diesem Fall Software zur Modellierung, Design und Vorhersagender Wartung von Batterien). Die übrigen Firmen adressieren eher die Netzintegration und das (netzdienliche und wirtschaftliche) Management von Ladestationen und E-Autos (Stromspeicher/Flexibilitätsreserve, Optimierung von Eigenverbrauch vs. Stromverkauf, personalisierte Stromtarife für E-Auto-Ladung, u. a.), oder sie bieten Raumplanungsdienste für den Aufbau der Ladeinfrastruktur an, z. T. kombiniert mit dem späteren Management dieser (z. B. Lotsen von Fahrern zu freien Ladestationen). Eine weitere

Firma bietet E-Auto-Reichweitenvorhersagen auf Basis von Wetter- und Geoinformationen an. In diesen Fällen handelt es sich um Firmen, deren Expertise und sonstige Produkte primär in der Energiebranche bzw. der Raumplanung und Auswertung von Wetter- und Geoinformationsdaten liegen. Es gibt auch Firmen, die primär Flottenmanager sind und Produkte zum Flottenumbau auf E-Mobilität anbieten.

Dass nur ein einzelnes Startup im Sample Produkte für die E-Autos Batterieentwicklung anbietet und der Fokus der gesichteten Firmen stattdessen auf Netzintegration, Verbrauchsoptimierung und Management und Planung von Ladestationen und Flotten liegt, erscheint nicht überraschend. Zwar wird Big Data zunehmend in der Materialforschung und für die Entwicklung neuer physischer Artefakte eingesetzt, doch sind die Einstiegshürden hier besonders groß, da neben datenwissenschaftlicher auch materialwissenschaftliche Expertise samt Zugang zu Laboren für physikalische Experimente benötigt wird. Speziell in Deutschland, so ein interviewter Experte, sei die Entwicklung einschlägiger Startups auch durch das Fehlen einer Batterieindustrie blockiert worden. Zudem habe die Batterieforschung bis vor Kurzem keinen Schwerpunkt auf Digitalisierung gelegt worden, wobei sich das im vergangenen Jahr mit der Auflage neuer Forschungsprojekte geändert hat. Weitere Gründungen in den kommenden Jahren würden daher nicht überraschen.[19]

50 % der amerikanischen (17 Firmen) und 30 % der deutschen (vier Firmen) bieten Dienste im Bereich der *kommunalen Verkehrsplanung* an, wobei jeweils etwa die Hälfte dieser Firmen explizit die *Optimierung des ÖPNV* als Arbeitsschwerpunkt benennt. Das Dienstleistungsspektrum dieser Firmen ist relativ breit; i. d. R. geht es jedoch darum, Kommunen bessere Einblicke (teilweise in Echtzeit) in Verkehrs- (Kfz, ÖPNV, Fahrrad) und Passanten-Flüsse zu geben, so dass bessere Planungen möglich werden, wie z. B. Taktung und Fahrtenvorhersage von ÖPNV, intermodale Verschränkung unterschiedlicher Verkehrsangebote, Entwicklung von *on-demand* ÖPNV-Angeboten, Standortwahl für Radwege, verkehrsberuhigte Zonen und Park- und Standplätzen für PKW und Sharing-Angebote (Roller, Rad, E-Bike). Meist bieten die Firmen auch entsprechende Beratungsdienstleistungen und/oder Betrieb der Software und IT-Infrastruktur zur Datenerhebung, Auswertung und Koordination an. Bei den meisten der (kleinen) Anzahl von Firmen, die im *Sharing*-Bereich aktiv sind (sechs Amerikaner, zwei Deutsche), handelt es sich um die eben besprochenen Verkehrsplaner (Standortwahl und intermodalen Integration von *Sharing*-Angeboten). Darüber hinaus entwickelt eine kleinere Zahl von Firmen Produkte, die sich entweder an Endverbraucher richten (z. B. App zum Teilen von Taxifahrten u. a.) oder an Betreiber von Sharing-Flotten (Standortwahl für Roller/Räder; Optimierung der Flottenauslastung, etc.). Schließlich entwickeln vier (USA) bzw. drei (Deutschland) Firmen Produkte (i. d. R. Apps), um die Parkplatzsuche effizienter zu gestalten (Fahrer werden zu freien Plätzen gelotst) oder um das Fahrverhalten kraftstoffsparender zu machen.

Aufgrund der kleinen Zahl der Firmen in beiden Ländern haben Differenzen in den Prozentwerten geringe Aussagekraft, da der Neueinstieg oder Aufgabe schon von ein bis zwei Firmen das Prozentbild erheblich verschieben kann. Allerdings wurde im Experteninterview betont, dass die gegenwärtige Fassung des Personenbeförderungsgesetzes durchaus ein Hemmnis für die Entwicklung von Sharing-Diensten in Deutschland darstellt.

<u>Großunternehmen</u>

Siemens, SAP und IBM gehören zu den großen Unternehmen, die datengestützte Entwicklungen für den Mobilitätssektor anbieten. Sie konzentrieren sich hauptsächlich auf den Personen- und

[19] Der Experte wies auch auf ein weiteres Startup hin, das ein ähnliches Konzept wie das hier identifizierte verfolgt, aber erst im letzten Jahr (d. h. nach der Erhebung der hier ausgewerteten Daten) gegründet wurde.

Straßenverkehr, und entwickeln Lösungen für das intelligente Verkehrsmanagement. Dabei scheint IBM nur begrenzte Lösungen für einzelne Anwendungen anzubieten, wie z. B. ein Mautprogramm für mehrere europäische Städte, darunter London, Göteborg und Stockholm, sowie die Bereitstellung von Cloud-Diensten für das Ticketing- und Informationssystem der regionalen Verkehrsbehörde von Helsinki. SAP und insbesondere Siemens scheinen jedoch ein größeres Engagement an den Tag zu legen, da sie in Zusammenarbeit mit lokalen Partnern auch intelligente Plattformen für "Mobility as a Service (MaaS)" für mehrere Städte und Regionen anbieten.

Intelligente Verkehrsmanagementsysteme ermöglichen ein intelligentes Mobilitätsökosystem durch Daten, die von verschiedenen Quellen wie Verkehrskameras, Sensoren, Radaren usw. bereitgestellt werden. Diese Systeme nutzen Simulation, Datenanalyse und künstliche Intelligenz zur Echtzeit-Visualisierung und Steuerung des Verkehrsnetzes durch Identifizierung von Verkehrsmustern, Vorhersage des Verkehrsflusses, Verkehrsplanung und Schätzung verkehrsbedingter Emissionen. Die Nachhaltigkeitseffekte liegen vor allem in der Verringerung von Verkehrsstaus und Unfällen, was zu geringeren Treibhausgasemissionen und höherer Sicherheit beiträgt. Zu den weiteren Vorteilen gehören eine verbesserte Reaktion auf Zwischenfälle, die Instandhaltung der Infrastruktur und eine verbesserte Zufriedenheit von Teilnehmern am öffentlichen Verkehr durch Ankunftsprognosen.

SAP und IBM haben in Zusammenarbeit mit lokalen Akteuren und/oder anderen Industriepartnern intelligente Verkehrslösungen für einzelne Städte entwickelt. So hat SAP eine Verkehrsmanagementlösung für Nanjing in China entwickelt, die SAP HANA als Grundlage für die Daten-/Softwareinfrastruktur und die Analytik nutzt. In der Schweiz hat SAP in Zusammenarbeit mit Deloitte und BMW eine Plattform für intelligente Mobilität entwickelt, die Dienste für E-Car/Carsharing und die Verwaltung von Parkplätzen für die Stadt Zug bereitstellt. IBM hat für die chinesische Stadt Zhenjiang eine Lösung für den intelligenten Verkehr entwickelt, um den Verkehrsfluss zu erhöhen und die Effizienz des öffentlichen Verkehrssystems durch die Vorhersage von Staus zu verbessern. Die Siemens-Tochter "Yunex Traffic" scheint insgesamt aktiver zu sein und ist in einer größeren Anzahl von Ländern und Regionen tätig. Yunex Traffic hat seine intelligenten Verkehrsmanagementlösungen für Großstädte wie Dubai, London, Berlin, Bogota und Miami in Europa, Großbritannien, Asien und Amerika entwickelt. Bei diesen handelt es sich vor allem um Lösungen, um Verkehrsflüsse zu optimieren und zu managen sowie Verkehrssicherheit zu erhöhen (z. B. Ampelsteuerungen, Verkehrsüberwachungs- und Mautsysteme, Automatisierungslösungen für Autobahnen und Tunnel), sowie um Lösungen für multimodale Verkehrssysteme und Verkehrsplanung.

Siemens und SAP sind beide im Bereich Mobility as a Service (MaaS) tätig, der Datenanalyse und maschinelles Lernen nutzt, um alle verschiedenen Transportmöglichkeiten (öffentlich und privat) aus einer Hand zu verknüpfen. MaaS bietet Fahrgästen mehr Transportmöglichkeiten und Reisekomfort auf der Grundlage von Aspekten, die für sie wichtig sind, wie z. B. Kosten, CO_2-Fußabdruck usw. Die Nachhaltigkeitseffekte liegen in der Bereitstellung von Zuverlässigkeit und Kosteneffizienz innerhalb eines Mobilitätsdienstes, um die Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel zu fördern und somit umweltfreundliche Verkehrsstrategien zu unterstützen. SAP bietet Lösungen, die multimodale MaaS ermöglichen[20], indem sie Standort-, Routing- und Abrechnungsdienste kombinieren. Siemens scheint bei der Bereitstellung von Lösungen für MaaS im internationalen Maßstab aktiver zu sein. Das Siemens-Unternehmen "HaCon" hat individuelle Plattformen für multimodale MaaS-Anwendungen für Städte und Länder wie Andorra, Dänemark, USA (Ohio, Bay Area und Silicon Valley) und Luxemburg bereitgestellt. Die

[20] SAP Billing and Revenue Innovation Management (SAP BRIM) und SAP Convergent Mediation by DigitalRoute (SAP CM).

HaCon-Lösung für Andorra beispielsweise integriert mehrere Verkehrsmittel und -dienste im ganzen Land, wie etwa öffentliche Busse, E-Bike-Sharing und Ladestationen für Elektrofahrzeuge sowie Parkplätze.

Im Bereich des Luftverkehrs wurde unter den Angeboten anderer großer Unternehmen nur GE als Anbieter datenbasierter Lösungen zur Verbesserung der Nachhaltigkeit identifiziert. GE hat Lösungen für die Fluganalyse und die Optimierung der betrieblichen Entscheidungsfindung entwickelt, die unter anderem Flugrouten und die Taktung von An- und Abflügen an Flughäfen verbessern sollen, um Treibstoff einzusparen.

Transport und Logistik und Schienenverkehr

Startups

Jeweils fünf der identifizierten Startups in den USA und in Deutschland sind im Bereich Transport und Logistik aktiv; im Schienenverkehr ist es jeweils nur eine Firma. Die angebotenen nachhaltigkeitsrelevanten Anwendungen drehen sich alle um Treibstoffeinsparung, durch Routenoptimierung, Reduktion von Leerfahrten über besseres Matching von Angebot und Nachfrage, und intelligente oder autonome Steuerung des Fahrzeugs.

Die beiden im Schienenverkehr aktiven Firmen bieten jeweils Produkte zur vorausschauenden Gleiswartung an, der (eher schwache) Nachhaltigkeitseffekt liegt also in der Reduktion von Kosten und Fahrt-/Routenausfällen und der dadurch erzielbaren Aufwertung des Schienenverkehrs im Vergleich zu anderen Transportmitteln).

Großunternehmen in Transport und Logistik

SAP, Siemens, DHL, IBM und Amazon entwickeln datengesteuerte Lösungen zur Verbesserung der Effizienz und Nachhaltigkeit von Transport- und Logistiknetzen. SAP und Siemens haben umfangreiche Produktportfolios mit digitalen Lösungen, diverse Aufgaben im Logistikmanagement, während DHL eine kleinere Zahl von Produkten für einzelne Anwendungen in der Logistikkette anbietet. IBM Logistikmanagement-Produkte beschränken sich auf die Lieferplanung (Routenoptimierung und andere Lieferkostenreduktionen). Amazon entwickelt datenbasierten Lösungen, um die Nachhaltigkeit der eigenen Logistikaktivitäten zu verbessern.

Bei den von SAP und Siemens entwickelten Lösungen geht es vor allem darum, Unternehmen zu helfen, ihre Logistik zuverlässiger (z. B. durch die Vermeidung von Verspätungen) und effizienter (durch Zeit-, Kosten- und Materialeinsparungen) zu managen, indem sie die gesamte Logistikkette automatisieren, optimieren und überwachen. Die Nachhaltigkeitseffekte liegen insbesondere in Anwendungen wie Routenplanung, Zusammenführung von Aufträgen, Standortoptimierungen und Prognosen von Nachfrage und Sendungsvolumen zur Feinplanung von Transportfahrzeugen, die kürzere, weniger und effizientere Transportzyklen und damit geringere Treibstoffverbräuche ermöglichen (z. B. XCargo von Siemens und SAP Transportation Management). Auch DHL und Amazon entwickeln Lösungen zur Transportoptimierung. Es scheint jedoch, dass beide Unternehmen diese Lösungen nur auf ihr eigenes Liefernetzwerk und ihre eigenen Transportflotten anwenden, ohne sie Dritten kommerziell anzubieten (zur Optimierung von deren Flotten, Routen und Standorten).

Das Lagermanagement ist ein weiterer Anwendungsbereich der Logistik, indem datengesteuerte Lösungen die Nachhaltigkeit verbessern können, indem sie die Qualität und Frische von Produkten sicherstellen und Abfall vermeiden. SAP hat eine Lösung für das Lagermanagement als Teil seines Logistiklösungspakets entwickelt, die kommerziell verfügbar ist. DHL zeigt ein kleineres Engagement in diesem Bereich in Form eines gemeinsam entwickelten intelligenten

Lagers (mit digitaler Zwillingstechnologie) mit einem anderen Unternehmen für einen Einzelfall im asiatisch-pazifischen Raum.

Die Effizienz der Verpackung korreliert mit der optimalen Auslastung der Transportfahrzeuge und dem Kraftstoffverbrauch im Lieferprozess. Sowohl DHL als auch Amazon entwickeln digitale Lösungen zur Paketoptimierung. Die Nachhaltigkeitseffekte liegen vor allem in der Erhöhung der Anzahl der Pakete pro Transportfahrzeug (d. h. Fahrtreduktion) und der Einsparung von Verpackungsmaterial. Amazon setzt auch maschinelles Lernen und KI ein, um die Qualität der Pakete für seine eigenen Dienstleistungen zu verbessern. Ziel ist es, Schäden während des Versands zu reduzieren und die Pakete leichter zu machen, was zu einer optimalen Auslastung der Transportfahrzeuge führt und Verpackungsmaterial einspart.

Großunternehmen im Schienenverkehr

Unter den betrachteten Großunternehmen sind Siemens, Deutsche Bahn AG (DB) und Amtrak im **Schienenverkehr** aktiv.[21] Die Kerngeschäfte der DB umfasst den schienengebundenen Transport von Personen und Gütern, straßengebundenen Güterverkehr, Transport- und Lagerlogistik sowie, in kleinerem Umfang, straßengebundenen Personenverkehr per Bus. Amtrak ist nur in der schienengebundenen Personenbeförderung aktiv. Siemens schließlich entwickelt Schienenverkehrssysteme (Fahrzeuge, Steuerungssysteme und Komponenten, Dienstleistungen). Da bei Amtrak keine Big Data-basierten Anwendungen (mit oder ohne Nachhaltigkeitsrelevanz) identifiziert werden konnten, konzentriert sich die nachfolgende Diskussion auf Deutsche Bahn und Siemens.

Die Digitalisierung des Schienenverkehrs ist bei der DB mittlerweile auf Geschäftsleitungsebene verankert und wird in einem dedizierten Programm (*Digitale Schiene*) koordiniert vorangetrieben. Die Initiativen der DB zum Einsatz von Big Data zielen meist primär auf die Verbesserung klassischer betriebswirtschaftlicher Zielstellungen (bessere Auslastung von Zügen und Gleisstrecken, Pünktlichkeit, Reduktion des Wartungs- und allgemeinen Kostenaufwands etc.). Aufgrund der wichtigen Rolle, die der Schienenverkehr in der Transition zu einer Green Economy einnimmt, sind Verbesserungen der betriebswirtschaftlichen Leistung der Bahn als Beiträge zur Verbesserung der Nachhaltigkeit zu bewerten, soweit sie die Verlagerung von Güter- und Personenverkehr von der Straße auf die Schiene befördern. Wenn diese Verlagerung ohne Trassenneubau oder substanzielle Aufstockung des Fuhrparks bewerkstelligt werden kann, gilt dies umso mehr.

Bereits vor Beginn des Programms *Digitale Schiene* wurden bei der DB Big Data-basierte Lösungen eingesetzt, etwa zur Unterstützung von Ein- und Verkauf an der deutschen Elektrizitäts-Börse. Ein künftiges Einsatzgebiet von KI und Big Data dürfte die IT-gestützte Streckenleitplanung und Zugtaktung sein, mittels derer höhere Auslastungen des Streckennetzes und Fuhrparks und bessere Pünktlichkeit erreicht werden sollen. Zudem soll Big Data verstärkt in der Wartung von Fuhrpark und Strecken eingesetzt werden.

Als Lieferant von Fahrzeugen, Steuerungssysteme, Komponenten und Dienstleistungen für den Schienenverkehr bietet Siemens verschiedene Big Data basierten Produkte an. Zum Teil werden diese auch in Kooperation mit der Deutschen Bahn entwickelt. Auch die Siemens-Produkte zielen primär auf die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit des Schienenverkehrs; der Nachhaltigkeitseffekt liegt also darin, dass dieser attraktiver wird. Konkret versprechen die verschiedenen Produkte Kostensenkungen durch vorausschauende Wartung und

[21] GE verkaufte 2019 seine Schienenverkehrseinheiten (sowie die restliche Transportsparte) an den amerikanischen Konzern Wabtec. Soweit aus älteren Dokumenten ersichtlich, hatte GE in den Jahren zuvor begonnen, ähnliche Big Data-basierten Anwendungen für den Schienenverkehr zu entwickeln, wie Siemens sie vertreibt.

Instandhaltung und höhere Auslastungen, höhere Sicherheit und Pünktlichkeit, sowie Energieeinsparungen durch effizientere Fahrweisen.

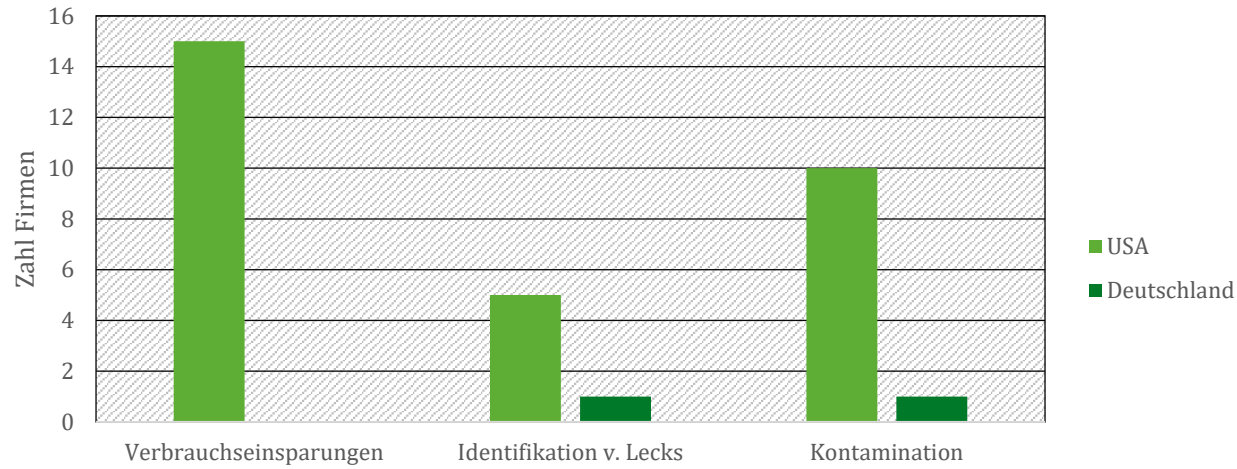
Wasserwirtschaft

Startups

Von den amerikanischen Startups sind 29 (13 % der amerikanischen Startups im Sample) in der **Wasserwirtschaft** aktiv; in Deutschland jedoch nur zwei (3 %). Wie Abbildung 13 zeigt, bietet über die Hälfte der US-Startups (15 Firmen) Lösungen zur Einsparung/Effizienzsteigerung des Wasserverbrauchs an, i. d. R. im Immobilien-, gewerblichen/industriellen oder landwirtschaftlichen Kontext. Meist geht es hier darum, über Auswertungen der Verbrauchsdaten und Vergleichswerte von ähnlichen Gebäuden, Betrieben, etc., anormale Verbräuche zu identifizieren. Interessanterweise ist keine der deutschen Firmen in diesem Bereich aktiv. Während sich diese Produkte an gewerbliche oder private Endverbraucher richten, bieten weitere fünf amerikanische sowie eine deutsche Firma Lösungen zur vorausschauenden Wartung von Wasserleitungen und zur Detektion von Wasserlecks für Wasserversorgungsunternehmen an. Diese beruhen teils auf der Auswertung von Satelliten- (Erdobservations-)-Daten, teils auf Daten aus lokal installierten Sensoren. Schließlich entwickeln zehn amerikanische und ein deutsches Startup Lösungen zur besseren Detektion von chemischer oder biologischer Wasserkontamination; teils wieder auf Sensor- und teils auf Satellitendaten- (Bildauswertungs-) Basis.

In Interviews erklärten Expert:innen das geringe deutsche Startup-Engagement mit einer Mischung aus objektiv begrenzterem Bedarf und regulatorischen Aspekten, die die Nachfrage dämmten. Grundsätzlich – und im Gegensatz zu wichtigen US-Bundesstaaten – galt Wassermangel in Deutschland nicht als signifikantes, strukturelles Problem; Anreize, die Wassereffizienz zu maximieren, wären daher eher begrenzt gewesen. Für wasserintensiven Industriekunden würden Dienste, wie sie die amerikanischen Startups entwickeln (Anomalie- und Leckagedetektion, Verbrauchsüberwachung) auch bereits von Wasserversorgungsunternehmen angeboten. Zudem ist die Wasserinfrastruktur (Rohrleitungen, etc.) in Deutschland oft (noch) in relativ gutem Zustand und – im Vergleich beispielsweise zu den USA (National Public Radio 2016) oder auch Großbritannien – relativ jungen Alters, wodurch sich Leckage Probleme vorerst noch weniger stellen. Die Wasserqualität ist – im Gegensatz zu manchen Gegenden in den USA – auch hoch, so dass chemische oder biologische Kontamination eine geringere Herausforderung darstellt. Schließlich tragen Wasserversorgungsunternehmen in Deutschland (und wieder im Gegensatz zu Großbritannien) keine Verantwortung, für was „hinter“ dem Wasserzähler (d. h. beim Verbraucher) passiert, und sind weiterhin eher beanreizt, Verbrauchern lieber mehr als weniger Wasser zu verkaufen. Zusammengenommen dürften diese Faktoren die Nachfrage nach datenbasierten Lösungen, wie sie die amerikanischen Firmen entwickeln, in Deutschland eher geringgehalten haben. Allerdings glaubten die Experten, dass sich dies künftig ändern dürfte. Mit den Dürresommern der letzten Jahre und der Flutkatastrophe von 2021 habe das Thema Wasser massiv an Bedeutung gewonnen, und es gäbe ein allgemeines Bewusstsein für die Potenziale datenbasierter Lösungen.

Abbildung 13: Startups im Bereich Wasserwirtschaft[22]



Die Zahl über den Balken gibt die absolute Anzahl der Startups an; mehrfache Zuordnung möglich.

Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer ISI

Großunternehmen

Unter den untersuchten Großunternehmen ist vor allem Siemens im Bereich Wasserversorgung engagiert; in wesentlich kleinerem Umfang auch SAP und IBM. Neben Lösungen mit primär betriebswirtschaftlichen Nutzen, bietet Siemens eine Reihe von Analytics-basierten Digitalprodukten mit dezidierten Nachhaltigkeitswirkungen an. Diese fallen in drei Kategorien: Leck- und Rohrbruch-Detektion, Abwasserüberlaufprävention und Energieeffizienzlösungen für die Wasserwirtschaft.

Leck- und Rohrbruch-Applikationen von Siemens nutzen Sensordaten zum Wasserdruck, Rohrnetzinformationen und Hydrauliksimulationen, um anormale Abflüsse und Druckveränderungen, die auf Lecks oder Rohrbrüche hindeuten, zu identifizieren und geographisch zu verorten. Abwasserüberläufe (etwa bei Starkregen oder aufgrund verstopfter Rohrleitungen) führen zu Gewässerverschmutzungen. Siemens bietet Applikationen an, um sich entwickelnde Rohrverstopfungen auf Basis von Wasserstands- und -druckdaten vorherzusagen, und um Abwassersysteme vor Überläufen zu schützen, indem Pumpen und Rückhaltebecken automatisch entsprechend der Wettervorhersagen und (Echtzeit) Wetterentwicklung gefahren werden.

Wasserversorgungssysteme sind relativ energieintensiv, aufgrund der nötigen Pumpleistungen und Ventilsteuerung. Siemens bietet daher mehrere Applikationen zur Optimierung von Pumpfahrplänen entsprechend des tatsächlichen Wasserverbrauchs sowie von flukturierenden Energiepreisen am Spotmarkt an.

Auch SAP und IBM sind in – wesentlich kleinerem – Umfang im Wasserbereich engagiert. So verwendet die Stadt Antibes in Frankreich SAP-Technologie für ihr Smart City System, welches auch das städtische Wasserleitungssystem kontrolliert und Datenanalyse zur vorausschauenden Wartung der Rohrleitungen und Leck-/Bruchprävention einsetzt. Als Teil eines Forschungsprojekts in Südafrika entwickelt die IBM-Forschungssparte (IBM Research) Datenbanken, Vorhersagemodelle und Entscheidungssysteme für das Management von Grundwasserleitern.

[22] Da nur zwei deutsche Startups identifiziert werden konnten, wird auf eine prozentuale Darstellung verzichtet.

Messung, Monitoring und Modellierung von Umweltkontamination

Startups

30 amerikanische und sieben deutsche Firmen bieten Produkte zum Monitoring und Modellierung von Umweltkontamination an. Diese Branche steht damit in beiden Ländern an fünfter Stelle, gemessen an der Zahl der hier aktiven Startups: 13 % aller amerikanischen und 10 % aller deutschen Startups im Sample sind hier aktiv.

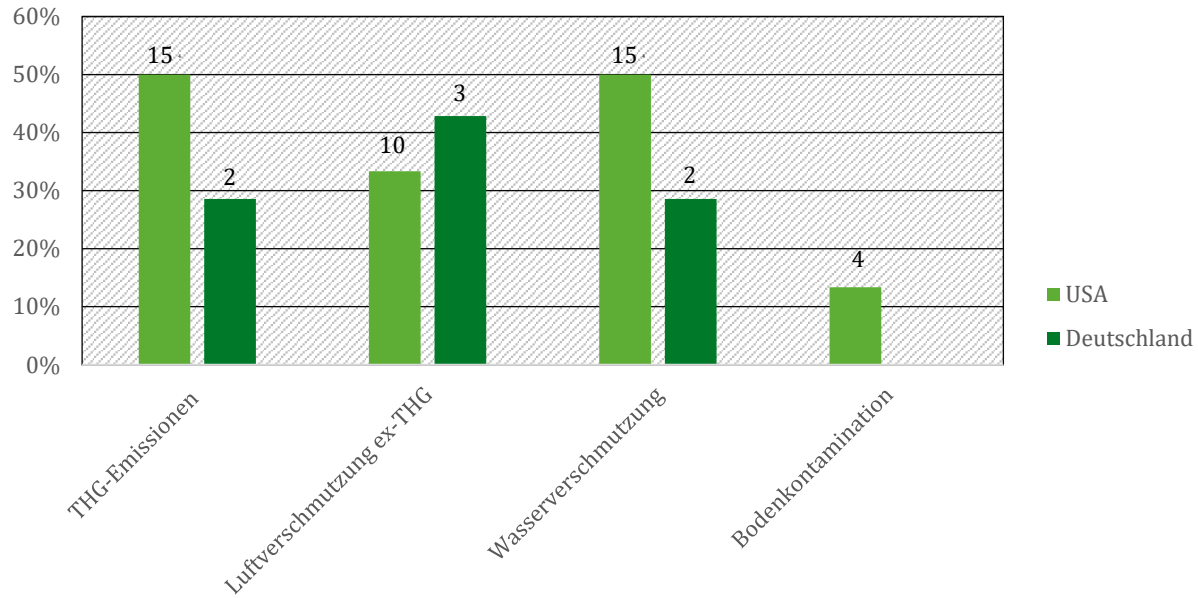
Wie Abbildung 14 zeigt, befassen sich dabei 50 % der amerikanischen (15 Firmen) und knapp 30 % der deutschen Startups (zwei Firmen) mit Treibhausgas (THG-) Emissionen (CO_2, Methan) und jeweils etwa 30 % (zehn bzw. drei Firmen) mit anderer Luftverschmutzung, wie Feinstaub, Ozon, Stickoxid, Kohlenmonoxid, etc. Etliche der Firmen machen beides zugleich. Soweit identifizierbar geht es hier in allen Fällen um die Messung oder Modellierung von Emissionen in relativ begrenzten geographischen Räumen, z. B. entlang einer Pipeline, einer Gruppe Mülldeponien oder Industrieanlagen, einer Stadt, oder für eine Firma (Kalkulation des THG-Fußabdrucks auf Basis von Firmendaten). Zur Datenerfassung verwenden die Firmen i. d. R. (von ihnen selbst betreute) Sensornetze, oder greifen auf Satellitendaten (bzw. Firmendaten) zurück. Oft scheint es auch darum zu gehen, die Daten/Auswertungen kartographisch zu verorten, um z. B. Emissionshotspots zu visualisieren. Die Firmen verbinden die Datenerfassungs- und Auswertungsdienste häufig mit Beratungsdienstleistungen, insbesondere für Städte (Entwicklung, Umsetzung und Betreuung maßgeschneiderter Smart City-Lösungen).

Weitere 15 amerikanische und zwei deutsche Firmen adressieren das Thema Wasserverschmutzung. Vier amerikanische Startups entwickeln auch Lösungen für *Bodenkontamination*. Dabei geht es, je nach spezifischer Anwendung, um Wasserbelastung durch Bakterien, Schwebestoffe und Sedimentfracht, Chlor, oder Wasser *und* Bodenkontamination aus Schieferöl- und -gasförderung, Industrieanlagen oder durch landwirtschaftlichen Abfluss. Daten werden i. d. R. entweder über Sensoren im Wasser/Boden erhoben oder es werden Satellitendaten ausgewertet. Eine Firma bietet auch eine Plattform an, die bestehende Datensets (z. B. von staatlichen Stellen) aggregiert und auf Karten visualisiert (so, dass auch Laien die vermutliche Wasser- und Bodenbelastung an einem gegebenen Ort nachschlagen können).

Auch hier verbieten die kleinen Firmenzahlen das Ziehen allzu starker Schlussfolgerungen aus den Prozentvariationen. Das vergleichsweise starke Engagement amerikanischer Firmen bei Wasser- und Bodenkontamination ist allerdings bemerkbar. Eine mögliche Erklärung liegt in der hohen politischen und gesellschaftlichen Aufmerksamkeit, die das Thema (Trink-) Wasserverschmutzung/-reinheit in den USA im Zuge des Skandals um bleibelastetes Trinkwasser in Flint, Michigan, ab 2015 erhalten hat (Wines und Schwartz 2016)[23], welches in Deutschland so nicht besteht. Tatsächlich wurden 11 der 15 amerikanischen Startups, die Produkte für Wasserkontamination anbieten, zwischen 2015 und 2018 gegründet.

[23] Tatsächlich gibt es in den USA landesweit erhebliche Probleme mit Wasser- und Trinkwasserbelastung.

Abbildung 14: Monitoring und Modellierung von Umweltbelastung



Die Zahl über den Balken gibt die absolute Anzahl der Startups an; mehrfache Zuordnung möglich.

Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer ISI

Großunternehmen

Unter den Großunternehmen entwickeln Siemens, SAP, IBM und Bayer Big Data-Produkte und Lösungen für Monitoring und Modellierung von Umweltbelastung. Dabei steht insbesondere städtische Luftverschmutzung im Fokus; in geringerem Umfang werden auch Lösungen zum Monitoring von Methanemissionen, Wasser- und Bodenverschmutzung sowie für Einträge von Arzneimitteln in die Umwelt entwickelt.

Zur Kontrolle von Luftverschmutzung bieten Siemens und IBM mit dem *Siemens City Air Management Tool* bzw. *IBM Green Horizons* jeweils Systeme für Städte an, um Feinstaub- und Stickstoff- (NOX) Belastung kontinuierlich zu messen, Prognosen für die nächsten Tage zu erstellen, und die Auswirkungen definierter Maßnahmen (z. B. Fahrverbote) auf die Einhaltung von Luftverschmutzungsgrenzen, zu modellieren. Neben Sensordaten und historischen Daten werden dazu Informationen und Prognosen zu Wetter, Verkehrsaufkommen und lokaler Industrie verwendet. SAP hat ein ähnliches System für die Stadt Novo Mesto in Slovenien gebaut, auf Basis seiner (Querschnitts-) Produkte Leonardo und SAP Cloud Platform. Über Monitoring und Kontrolle kurzfristiger Luftbelastung hinaus, bietet Siemens mit seinem *City Performance Tool* zudem ein System für die längerfristige Planung und Eindämmung von Luftverschmutzung und CO_2-Emissionen im städtischen Kontext an. Laut Eigenangabe können mit ihm die Auswirkungen des Einsatzes über 70 verschiedener Technologien für Gebäude, Verkehr, Energie und Industrie modelliert werden, sowohl auf Luftverschmutzung wie auf wirtschaftliche Indikatoren (CapEx/OpEx, Arbeitsplätze).

Für Methanemissionen bietet nur IBM ein Produkt an, welches die Firma auf Basis ihres Watson-Systems für das U.S. Department of Energy entwickelt hat. Das Produkt nutzt primär Sensordaten, um Methanlecks in der Öl- und Gasförderung und Gaspipelines zu identifizieren.

Das von der IBM Forschungsabteilung (IBM Research) entwickelte IBM DeepCurrent System zur (sensorbasierten) Messung und Modellierung von Strömungsdynamiken wird in verschiedenen Kontexten zum Monitoring und Modellierung von See- und Meeresverschmutzung verwendet, etwa im Lake Georg/USA (Salzabfluss aus der Straßenenteisung) und dem Golf von Mexiko

(Ölverteilung aus dem Deepwater Horizon Unfall). Speziell für *citizen scientists* und Landwirte hat IBM Research ebenfalls ein einfaches System zur Entnahme und raschen Vor-Ort-Auswertung von Wasser- und Bodenproben entwickelt, bestehend aus einem Mini-Testkit und einer Smartphone-App, die das Testergebnis mittels KI auswertet.

Im Bereich Arzneimitteleinträge in die Umwelt war Bayer am iPiE-Forschungsprojekt (https://i-pie.org/, 2015-2020) beteiligt. In diesem sollten Vorhersage- und Berechnungsmodelle sowie eine Datenbank für die voraussichtlichen Umweltrisiken von neuen sowie bestehenden Arzneimitteln entwickelt werden. So sollte insbesondere eine Priorisierung besonders riskanter Substanzen ermöglicht werden.

Finanzsektor und ESG Reporting und Audit

Startups

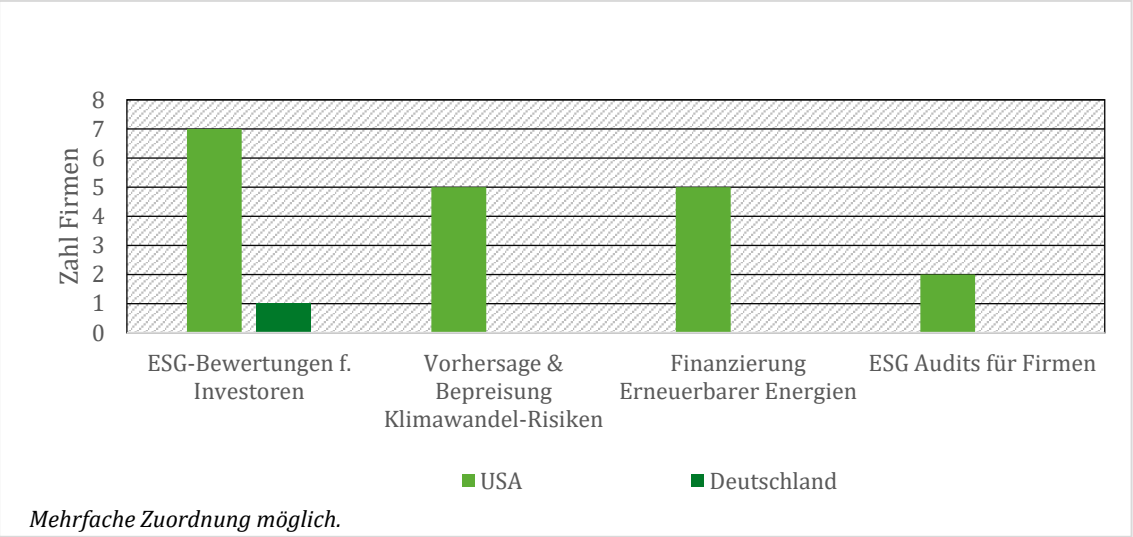
Anwendungen für den Finanzsektor werden von 17 identifizierten amerikanischen Startups (8 %); aber nur von einer der deutschen Firmen entwickelt. Die konkreten Anwendungen und Produkte, die diese Firmen anbieten, fallen in drei Kategorien (Abbildung 15): Die größte Gruppe (sieben amerikanische, eine deutsche Firma) verwenden Big Data und KI, um die Nachhaltigkeit (environmental, social and governance impacts) von Firmen und Investments zu bewerten, z. T. einschließlich regulatorischer Risiken aufgrund von THG-Intensität, als Dienstleistung für Investoren bzw. (seltener), um selber entsprechend ausgerichtete Investmentportfolios anzubieten. Jeweils weitere fünf US-Firmen bieten Modellierungen und Vorhersagen von Klimawandel-bedingten Risiken für unterschiedliche Investments (z. B. in küstennahe Immobilienportfolios, Landwirtschaftsbetriebe,) an, oder spezialisierte Produkte, um die Finanzierung von Erneuerbaren-Energie-Projekten zu unterstützen (z. B. Risikobewertungen).

Zwei amerikanische Firmen führen ESG-Audits für Firmen und andere Organisationen durch, um ihnen zu helfen, ihre ökologischen Fußabdrücke zu reduzieren. Hier geht es darum, diese Audits möglichst automatisiert zu erstellen (d. h. Daten aus den diversen IT-Systemen der Kunden möglichst automatisiert zusammenzuziehen und zu verarbeiten), in Kombination mit auf den Kunden angepassten Tools, um Einsparziele zu setzen und Umsetzung sowie Fort- und Rückschritte zu überwachen.

Es konnte kein einzelner Grund ermittelt werden, warum deutsche Startups in diesem Feld bisher anscheinend wenig aktiv sind. Wie oben und weiter unten in den Kapiteln zu Energie und Klimawandelanalyse besprochen, sind manche der fraglichen Anwendungen in Deutschland möglicherweise weniger relevant (z. B. aufgrund der EEG-Finanzierung) oder werden teilweise bereits von anderen Institutionen bereitgestellt (Klimarisikoanalyse), so dass die Marktlücke für Startups bislang kleiner gewesen sein könnte. Allgemein ist auch zu konstatieren, dass der Finanzsektor in der deutschen Wirtschaft eine kleinere Rolle spielt als in den USA und entsprechend eine allgemein geringere Gründungsaktivität zu beanreizen scheint.[24] Es ist allerdings möglich, dass sich dies in näherer Zukunft ändern wird. Die Entwicklung der EU Sustainable Finance Taxonomy und weiteren europäischen Regulierungen und Bestrebungen, Klimawandelrisiken stärker in der Europäischen Geld- und Finanzpolitik zu berücksichtigen und einen Markt für „Sustainable Finance“ anzustoßen, könnte es in Zukunft zu verstärkter Gründungsaktivität auch in Deutschland kommen.

[24] Der Deutsche Startup Monitor, einer seit 2013 laufenden jährlichen Erhebung des Deutschen Startup Verbands, deutet darauf hin, dass der Finanzsektor allgemein für Startups in Deutschland eine geringe Rolle spielt. Konstant nur etwa 4 % der im Monitor erfassten Startups ordnen sich dem Finanzsektor zu. Siehe https://deutscherstartupmonitor.de/.

Abbildung 15: Finanzbranche und ESG Audit[25]



Mehrfache Zuordnung möglich.

Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer ISI

Großkonzerne

Unter den untersuchten Konzernen hat nur IBM nachhaltigkeitsbezogene Big Data-Anwendungen für die Finanzwirtschaft entwickelt. Wie auch im Kapitel zu Klimawandelanalyse besprochen, bietet IBM mit dem PAIRS Geoscope ein Analysesystem an, mit dem auch finanzwirtschaftliche Implikationen des Klimawandels analysiert werden können. IBM führt auch zumindest in begrenztem Umfang Forschung in diesem Bereich durch. Wie im Kapitel zu Handel und Lieferketten weiter besprochen, bieten SAP und DHL Systeme an, mit denen Firmen ihren eigenen CO_2- (bzw. THG-) Fußabrücke berechnen können.

Verarbeitendes Gewerbe und Bergbau

Startups

Lösungen für das **Verarbeitende Gewerbe** werden von 16 amerikanischen Firmen (7 % des amerikanischen Samples) und sieben deutschen Startups (10 % des Samples) angeboten. Sieben weitere amerikanische Firmen sind im **Bergbau** aktiv. Bei den einschlägigen Lösungen geht es einerseits um die bereits diskutierten Anwendungen zur Steigerung der Effizienz von Energie- (Strom, Treibstoff) und Wasserverbrauch oder zum Monitoring von Schadstoff-Emissionen (Methan, Wasserkontamination u. a.), andererseits auch um Anwendungen zur Optimierung von Lieferketten (Ressourceneinsparung durch größere Effizienz und Passgenauigkeit in Transport und Lagerhaltung). Es gibt auch Versuche, die Wahrscheinlichkeit von Industrieunfällen besser und gezielter vorherzusagen. Manche der Modellierer von Klimawandel-Risiken adressieren ebenfalls spezifisch das verarbeitende Gewerbe oder den Bergbau (z. B. physische und wetterbedingte Risiken für Industrie- oder Öl- und Gasanlagen). Einige wenige Firmen setzten gezielt Big Data und KI ein, um gänzlich neue Produktionsprozesse oder Industrieprodukte zu entwickeln, z. B. radikal CO_2-ärmere Zementproduktionsverfahren oder intelligente Schwungmassenspeichersysteme für Energie/Elektrizität.

Großkonzerne

GE, IBM, SAP und Siemens sind vergleichbar aktiv im Angebot von Lösungen, welche Datenkonnektivität, Analyse und maschinelles Lernen für die Fertigungsindustrie nutzen.

[25] Da nur ein deutsches Startup identifiziert werden konnte, wird auf eine prozentuale Darstellung verzichtet.

Siemens und GE bieten maßgeschneiderte industrielle IoT-Lösungen an (*MindSphere*, *Predix*), während IBM und SAP ihre Cloud-basierten und analytischen Tools hauptsächlich an die spezifischen Anforderungen der Kunden anpassen, um industrielle Anwendungen zu unterstützen. Diese Lösungen zielen primär darauf ab, die Fertigung durch Echtzeitüberwachung, Visualisierung, intelligente Steuerung, Leistungsoptimierung von Produktionsprozessen und -anlagen sowie deren Wartung zu unterstützen.

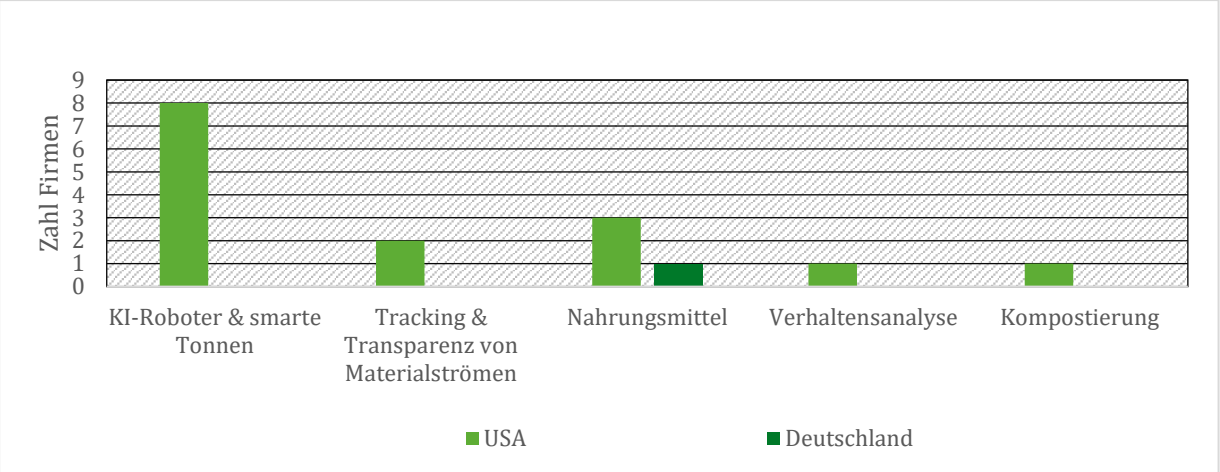
Was die Optimierung und Kontrolle betrifft, so scheinen sich die Lösungen hauptsächlich darauf zu konzentrieren, die Transparenz und Effizienz von Prozessen im Hinblick auf die Kosten und die Rentabilität zu verbessern. Diese Lösungen könnten jedoch Nachhaltigkeit und Umweltschutz unterstützen, indem sie Energieverbrauch und die Zahl von Ausschussprodukten senken, und damit die CO_2-Bilanz verbessern und Ressourcen effizienter nutzen. Auch kann so z. T. eine höhere Sicherheit von Industrieanlagen erreicht und Unfälle vermieden werden.

Abfall, Recycling und Kreislaufwirtschaft

Startups

Insgesamt 15 US- und ein deutsches Startup sind im Bereich Abfall, Recycling und Kreislaufwirtschaft aktiv (Abbildung 16). Über die Hälfte der amerikanischen Firmen entwickelt dabei intelligente Roboter (KI, Bilderkennung), die die Sortierung von Abfallströmen übernehmen sollen, und mit Sensoren bewehrte „smarte“ Abfalltonnen, die ihren Befüllungsstatus automatisch melden, so dass überflüssige Abholfahrten vermieden werden können. Meist werden diese zwei Systeme kombiniert. Neben verlässlicheren und für die Mitarbeiter in Recycling-Zentren sichereren Sortierprozessen, sollen diese Systeme auch die Kosten fürs Recycling senken. Kein deutsches Startup mit vergleichbaren Technologien oder Produkten wurde in der Stichprobe gefunden, wohl aber ein Konzern (SAP, s. u.).

Abbildung 16: Abfall, Recycling und Kreislaufwirtschaft[26]



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer ISI

Zwei weitere amerikanische Firmen entwickeln Datensysteme, um Materialströme und Produktbestandteile innerhalb von Wertschöpfungs- und Liefernetzketten bzw. innerhalb von Recycling-Unternehmen selbst, transparent zu machen und zu verfolgen. Dazu entwickelt eine Firma ein digitales Label für Kleidungsartikel, dass alle Informationen zu Materialbestandteilen, Färbung, Verkaufswegen und Recycling-Instruktionen enthalten sollen; die andere Firma bietet

[26] Da nur zwei deutsche Startups identifiziert werden konnten, wird auf eine prozentuale Darstellung verzichtet. Mehrfache Zuordnungen sind möglich.

eine Analysesoftware an, um Materialströme und -bestandteile (Ein- und Ausgänge) in Recycling-Unternehmen aufzuschlüsseln und zu verfolgen und Wirtschaftlichkeits- sowie Umwelt-Impact-Berechnungen durchzuführen.

Drei amerikanische und eine deutsche Firma entwickeln Plattformen, die überschüssige *Nahrungsmittel* aus Restaurants, Kantinen, Caterern u. a. mit Nachfrage durch Tafeln und andere gemeinnützige Institutionen zusammenbringen. Schließlich sind zwei amerikanische Firmen im Bereich *Kompostierung* (KI-gesteuerte „Bioreaktoren" zur Herstellung organischen Düngers aus landwirtschaftlichen Abfällen) bzw. der *Verhaltensanalyse* aktiv. Bei letzterem wird das Recycling-Verhalten von Haushalten über mit RFID-Chips ausgestattete Tonnen getrackt und mit anderen sozioökonomischen Daten korreliert, um Strategien für Kommunen zu entwickeln, um Haushalte zum Recycling zu animieren.

Es ist nicht ganz klar, warum deutsche Startup-Aktivität in diesem Bereich so schwach ausgeprägt zu sein scheint, zumal ein deutscher Großkonzern hier durchaus aktiv ist (s. u.) und in Deutschland etablierte Recycling-Systeme und Firmen bestehen. Eine Möglichkeit ist, dass gerade aufgrund der Reife dieser Systeme und Firmen, die Branche für Startups eher unattraktiv erscheint (im Vergleich beispielsweise zu einem sich in raschem Umbruch befindenden Energiesektor); eine weitere Möglichkeit könnte sein, dass Schwierigkeiten beim Datenzugang Entwicklungen hemmen. Es ist davon auszugehen, dass relevante Daten zur Entwicklung von Big Data-Anwendungen primär im Besitz von Abfallfirmen sein dürften und wie in den Expert:inneninterviews allgemein betont, ist der Zugang zu Unternehmensdaten oft sehr schwer.

Großkonzerne

Unter den Großkonzernen konnten nur bei SAP Big Data-bezogene Aktivitäten im Bereich Abfall- und Kreislaufwirtschaft identifiziert werden.[27] SAPs Aktivitäten fallen in zwei Felder; Sekundärmärkte für Abfallstoffe, und Smart-City Abfallmanagement-Systeme.

Wie im Unterkapitel zu Handel und Lieferketten besprochen, scheint SAPs Fokus dabei auf dem Aufbau von Sekundärmärkten für Abfallstoffe zu liegen. SAP unterhält mit Ariba und dem Ariba-Netzwerk eine der weltweit am weitesten genutzten Toolsuites für das Beschaffungs- und Einkaufswesen und das Management von Lieferketten, sowie einen der größten B2B-Märkte weltweit. Sekundärmärkte für Abfallstoffe können an dieses Netzwerk angeschlossen werden. Soweit liegt SAPs Fokus auf Plastik. So wurde 2019 als Teil der SAP *Plastics Cloud* ein Sekundärmarkt für recyceltes Plastik und Plastik-Alternativstoffe eröffnet. Über das Ariba-Netzwerk sollten Kunden mit zertifizierten Lieferanten von wiederverwertetem Plastik verknüpft werden. SAP entwickelt auch Technologie für den Aufbau eines digital vernetzten Recycling-Systems für Plastik in Ghana. Dieses – bisher in mehreren ghanaischen Großstädten pilotierte – System soll einen einheitlichen, transparenten und digitalen Markt für Gebrauchtplastik schaffen. So sollen Plastiksammler verlässlichere Informationen über aktuelle Plastikpreise (um damit eine stärkere Verhandlungsbasis) bekommen; und Ghanas Regierung bessere Daten zu Materialströmen, Recycling, und dem Einkommen der Sammler.

SAP hat zudem Smart City Abfallmanagement-Systeme entwickelt. Hier scheint es sich um maßgeschneiderte Systeme für einzelne Kunden zu handeln. So hat SAP für den Stadtstaat Singapur ein IOT- und Analytics-System aufgebaut, mit dem die öffentlichen Mülltonnen der Stadt in Echtzeit überwacht werden können (u. a. auf Füllstatus/Leerungsbedarf, Temperatur,

[27] Nestle scheint zahlreiche Projekte und Programme um die Themen nachhaltige Verpackungsstoffe und Plastikrecycling zu unterhalten, allerdings konnte bei keinem von diesem ein Bezug zu Big Data identifiziert werden.

Füllmaterial, falsche Befüllung) und Leerungsrouten entsprechend angepasst und optimiert werden können.

Gastronomie und Lebensmittel

Startups

Neben den eben besprochenen Kreislaufwirtschaftskonzepten für Nahrungsmittel, entwickeln 2 deutsche – aber keine amerikanischen – Startups Datenanalyse-Systeme für Kantinen und Caterer zur Vorhersage von Absatz und Nachfrage, um effizienteren Einkauf und reduzierte Lebensmittelverschwendung zu ermöglichen. Zwei weitere deutsche Firmen sind App-Entwickler, die Rabattsysteme und Angebot-/Nachfrage-Matching für Nahrungsmittel kurz vor dem Verfallsdatum im Einzelhandel implementieren, oder dem Endkunden zusätzliche (und eher generische) Informationen zum CO_2-Fußabdruck unterschiedlicher Lebensmittel bieten.

Großkonzerne

IMB entwickelt derzeit eine Blockchain-basierte Plattform, um die Transparenz und Rückverfolgbarkeit von Nahrungsmitteln von der Erzeugung bis zum Endverkauf zu ermöglichen, und Über- und Fehlbestände zu reduzieren.

Naturschutz, Forstwirtschaft und Fischerei

Startups

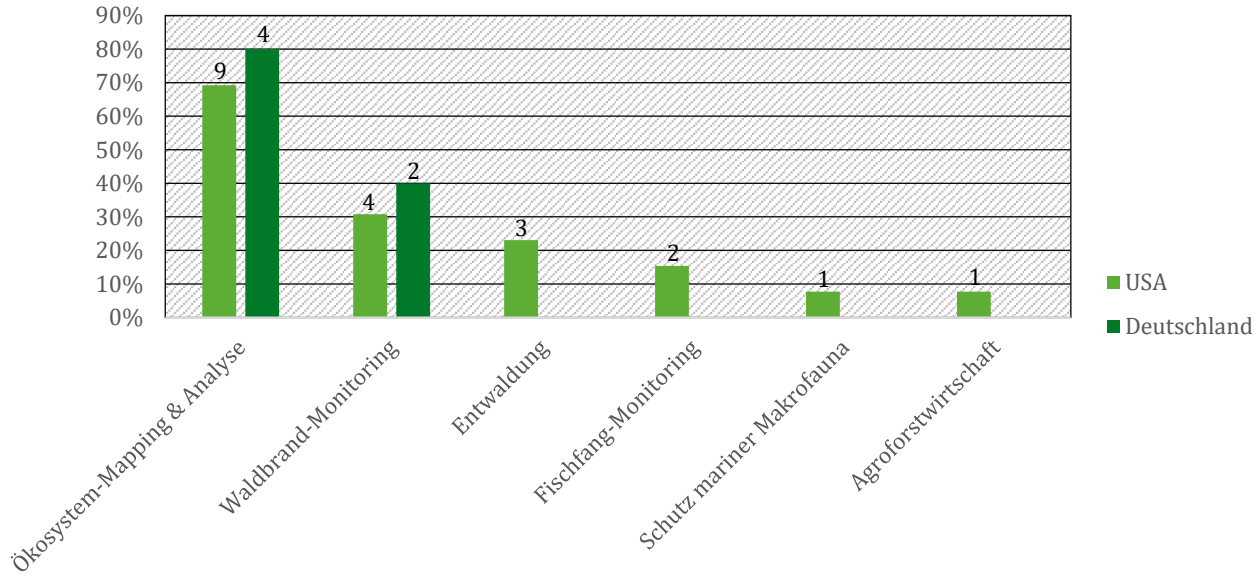
Insgesamt 14 amerikanische und fünf deutsche Startups entwickeln Produkte für Naturschutz, Forstwirtschaft und/oder Fischerei. Dabei fallen diese Produkte häufig in mehrere dieser Felder. Ein System zur Früherkennung von Waldbränden etwa kann sowohl im Naturschutz wie der Forstwirtschaft eingesetzt werden. Gleiches gilt für ein System zum Monitoring der Einhaltung von Fangquoten: es dient sowohl der Fischerei, wie dem Naturschutz. Entsprechende Dienstleister werden daher sowohl in der Kategorie Naturschutz wie Forstwirtschaft bzw. Fischerei gezählt.

Die von den Firmen entwickelten Anwendungen sind wie folgt (Abbildung 17): neun der amerikanischen Firmen und vier deutsche bieten Produkte zum Mapping und zur Analyse von Ökosystemen (z. B. Erfassung von Flora und Fauna, Identifikation besonders wertvoller Habitate, Monitoring von geophysischen/geochemischen oder biologischen Veränderungen wie Sedimentfracht, Trübheit oder Algenblüten) an. Vier amerikanische und zwei deutsche Firmen bieten Dienste zum Monitoring und Vorhersage von Waldbränden an; drei amerikanische Firmen Produkte zum Monitoring von Entwaldung. Schließlich entwickeln zwei der amerikanischen Firmen Produkte zum Monitoring von Fischfang (Quoteneinhaltung, illegale Fischerei), und jeweils eine Firma Agroforstwirtschaftsdienste bzw. Anti-Verhedderungssysteme für die Aquakultur (Schutz mariner Makrofauna; d. h. Walen, Delfinen, etc.).

Die meisten dieser Firmen setzen diese Dienste mittels Satellitenbildauswertung um. Teilweise können sie so mehrere, augenscheinlich grundverschiedene Dienste anbieten, z. B. Waldbrand-Früherkennung, Monitoring illegaler Fischerei, und Entwaldungsmonitoring.

Die Abwesenheit deutscher Startups in den Feldern Entwaldung, Fischfang-Monitoring und Schutz mariner Makrofauna überrascht insofern wenig, als dass diese Themen aufgrund der geringen Bedeutung von Fischerei, Aquakultur und Rodung von Naturwäldern in Deutschland entsprechend geringere lokale Relevanz aufweisen.

Abbildung 17: Startups im Naturschutz, Forstwirtschaft und Fischerei



Die Zahl über den Balken gibt die absolute Anzahl der Startups an; mehrfache Zuordnung möglich.

Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer ISI

Großunternehmen

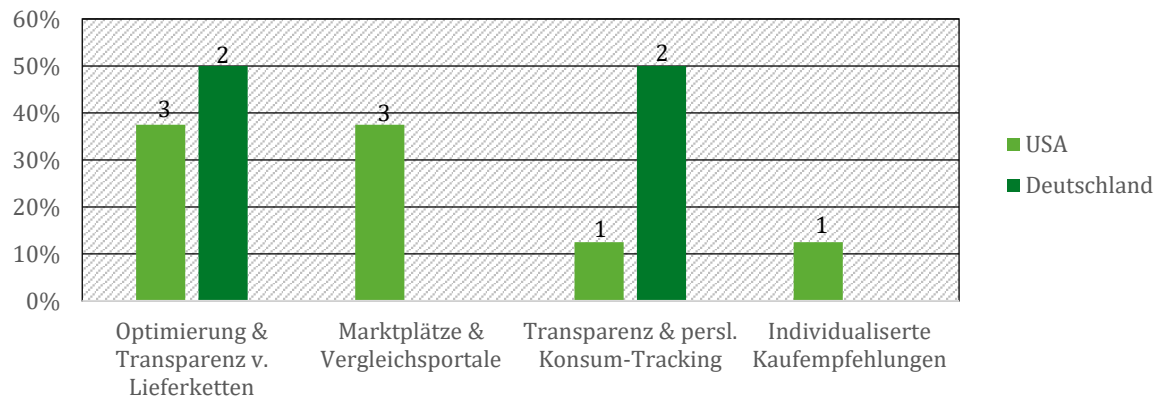
Unter den betrachteten Großunternehmen sind Nestle, SAP, und IBM im Bereich Naturschutz und Forstwirtschaft engagiert, meist in kleinem Umfang oder als Forschungsprojekte. Wie im Kapitel zu Handel und Lieferketten näher besprochen, setzt Nestle seit 2016 Satellitenbildauswertung ein, um Lieferketten auf Entwaldung zu kontrollieren. SAP-Technologie (Cloud und Analytics-Systeme) wird von verschiedenen NGOs für echtzeitnahes Monitoring von Entwaldung und Wilderei und Unterstützung staatlicher Rechtsdurchsetzung eingesetzt (KI-gestützte Auswertung von Akustiksensordaten auf Motorsägengeräusche; Analyse von Drohnen- und Kamerafallenbilder und GPS-Daten von Tierhalsbändern sowie automatische Autokennzeichen-Erkennung). Das im Kapitel zu Umweltbelastung erwähnte DeepCurrent System von IBM wird in mehreren Forschungsprojekten zur Analyse und Modellierung von Nährstoffverteilung in Meeresgebieten verwendet.

Handel und Lieferketten

Startups

Eine Reihe verschiedener Big Data bzw. datenwissenschaftliche Anwendungen sind **Handel und Lieferketten** zuordenbar. Hier sind insgesamt sieben amerikanische und vier deutsche Firmen aktiv. Abbildung 18 zeigt die verschiedenen Anwendungen. Zwei der deutschen Firmen (50 %) und drei der amerikanischen (43 %) konzentrieren ihre Aktivitäten auf die Anwendung *Optimierung und Transparenz von Lieferketten*. Wie schon im Unterkapitel **Verarbeitendes Gewerbe** beschrieben, versprechen diese Anwendungen teils Ressourceneinsparungen durch größere Effizienz und Passgenauigkeit in Transport, Einkauf und Lagerhaltung; teils höhere Transparenz hinsichtlich der Quellen, Nachhaltigkeit und Wiederverwertbarkeit von Ressourcen, um „grünere“ Produktionsweisen zu ermöglichen. Diese Lieferketten-Optimierer und Transparent-Macher sind teils auf das Verarbeitende Gewerbe, teils auf die Landwirtschaft bzw. andere natürliche Ressourcen (z. B. Holz, sea food) spezialisiert.

Abbildung 18: Handel und Lieferketten



Die Zahl über den Balken gibt die absolute Anzahl der Startups an; mehrfache Zuordnung möglich.

Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer ISI

Bei drei amerikanischen Firmen (43 %) handelt es sich um *Marktplätze* für nachhaltig produzierte bzw. aus dem Biolandbau stammende Produkte, oder *Vergleichsportale* mit Fokus auf Energie-/Treibstoffeffizienz. Eine amerikanische Firma entwickelt KI, um Online-Shoppern individualisierte Kaufempfehlungen (Größenempfehlungen für Kleider) zu geben, um so Retouren zu reduzieren. Keine deutsche Firma konnte in diesen Bereichen gefunden werden.

Schließlich entwickeln zwei deutsche, aber nur eine amerikanische Firma, Apps, um privaten Endverbrauchen zu helfen, den CO_2-Fußabdruck ihres Konsums zu kalkulieren und zu tracken.

Großkonzerne

DHL, SAP, Nestle und IBM entwickeln Big Data-Anwendungen zur Steigerung der Nachhaltigkeit von Lieferketten. Dabei handelt es sich bei DHL und SAP um kommerziell vertriebene Systeme und Lösungen, während es bei Nestle vor allem um die Verbesserung und Kontrolle der Nachhaltigkeit der eigenen Lieferketten geht.

Bei den Lieferkettenlösungen von DHL und SAP geht es vor allem darum, Firmen zu helfen, Transparenz über die Nachhaltigkeit ihrer Zulieferer sowie den CO_2-Fußabdruck ihrer Produkte zu bekommen und auch Materialalternativen zu identifizieren. Dabei sind diese Anwendungen meist Teile umfassenderer Produkte zur Übersicht und Kontrolle von Lieferketten und des Beschaffungs-/Einkaufswesens, die in erster Linie der Optimierung klassischer betriebswirtschaftlicher Ziele und Kennzahlen dienen. So bietet DHL als Teil seiner *„Resilience 360" Supply Chain Risk Management Platform* mehrere Module an, mit denen Firmen ihre Lieferanten und Unterlieferanten (Tier 2, 3, etc.) und deren Produktionsstandorte identifizieren, visualisieren und auf Nachhaltigkeitsrisiken (z. B. Einhaltung von Umweltstandards, Hinweise auf Unfälle oder Skandale) hin analysieren können. Dazu wertet das System Medienberichte und Posts in Sozialen Medien weltweit automatisiert und in Echtzeit aus. DHL bietet seinen Kunden auch an, den CO_2-Fußabdruck ihrer über DHL laufenden Logistik zu ermitteln, und ihre Lieferketten und Logistiknetze auf CO_2-Emissionen zu optimieren.

SAP unterhält mit Ariba und dem Ariba-Netzwerk eine relativ umfassende Suite von Tools zur Verwaltung und Abwicklung der Beschaffungs- und Einkaufsfunktionen von Unternehmen, sowie einen der größten B2B-Marktplätze weltweit. Als Teil der Lieferanten-

Risikomanagementfunktion bietet Ariba Informationen zur Einhaltung von Umwelt- (sowie Arbeits- und Menschenrechts-) Standards durch Lieferanten auf Grundlage automatischer Auswertung von, laut Eigenangabe, über 600.000 Quellen, und Nachhaltigkeitsratings für individuelle Firmen vom SAP Kooperationspartner Ecovadis. Über diese eher generischen Funktionen hinaus, entwickelt SAP seit ca. 2-3 Jahren spezialisierte Tools für CO_2-Fußabdrucksanalysen und für Plastik.[28]

Mit *Product Carbon Footprint Analytics* von SAP können Firmen den CO_2-Fußabdruck ihrer Produkte berechnen. Das Tool baut auf den häufig sehr umfassenden Informationen zu Betriebsabläufen, Kostenstrukturen und Einkauf auf, die regelmäßig in den von Firmen genutzten SAP ERP- und Einkaufsmanagementsystemen abliegen. Der Fußabdruck kann dabei für individuelle Produktionsstätten berechnet und über die einzelnen Stufen der Wertschöpfung heruntergebrochen werden (Produktion, Rohmaterialien, Energieverbrauch, Transport, etc.). Damit sollen Vergleiche zwischen Produktionsstätten und Material-/Prozessalternativen ermöglicht werden.

Die SAP *Plastics Cloud* soll Firmen u. a. dabei helfen, Materialalternativen zu Einwegplastik zu identifizieren, und Nachhaltigkeits- wie betriebswirtschaftliche Impacts der Nutzung von mehr recycle- oder wiederverwertbaren Materialien und Verpackungen zu berechnen. Darüber hinaus soll die *Plastics Cloud* (und assoziierte Information- und *Analytics*-Produkte) Firmen über lokale Recycling-Infrastrukturen, Regulierungen und aktuelle Politiken geben. Sie ist auch an einen Sekundärmarkt für Materialien angeschlossen (siehe Kapitel zu Abfall, Recycling und Kreislaufwirtschaft) und hilft bei der Erhebung und (z. T. KI-gestützten) Auswertung von Daten über Plastiklieferketten und Plastikeinkaufs- und Recyclingtrends.

Nestles Nutzung von Big Data zur Überwachung seiner Lieferketten scheint sich auf Entwaldung zu konzentrieren. Seit 2016 nutzt Nestle Satellitenbildauswertung, um Entwaldung in seinen Lieferketten zu identifizieren und zu unterbinden. Hierfür verwendet Nestle das Starling-System, welches Airbus und die NGO The Forest Trust entwickelt haben. Das System wurde zunächst auf Nestles Palmöllieferketten (primär in Südostasien) angewandt, und wird seit 2019 auch für Nestles Lieferketten in Russland, Kanada, Amerika und Brasilien verwendet (u. a. für Papier/Zellstoff und Soja).

Modellierung und Vorhersage von Klimawandel, -risiken & -resilienz

Startups

Zwölf amerikanische Firmen bieten Modellierungs- und Vorhersagedienste zum Klimawandel, Klimawandelrisiken (für Investoren, Kommunen und andere staatliche Stellen, Branchen wie z. B. Landwirtschaft oder Immobilien) an, z. T. auch kombiniert mit Unterstützungsdiensten (Beratung) zur Stärkung der Klimawandelresilienz.

Interessanterweise konnte kein deutsches Startup im Sample identifiziert werden, das in diesem Feld aktiv ist.[29] Als mögliche Erklärung dafür wurde in Expert:inneninterviews darauf hingewiesen, dass in Deutschland eine Reihe anderer Institutionen bereits derartige Dienste anbietet, es also nicht unbedingt eine klare Marktlücke gibt. Insbesondere gibt es in Deutschland mehrere anwendungsorientierte Forschungsinstitute, wie das Helmholtz Climate Service Center (www.climate-service-center.de), das Potsdam Institute for Climate Impact Research (http://www.pik-potsdam.de/) und das Mercator Research Institute on Global Commons and

[28] Ein weiteres SAP-Venture, GreenToken (www.green-token.io), entwickelt eine blockchainbasierte Lösung zur (Rück-) Verfolgung von zertifizierten Materialien durch die gesamte Lieferkette. Da Big Data Analytics keine wesentliche Rolle in dieser Lösung spielt, wird sie hier nicht weiter besprochen.

[29] In einem Expert:inneninterview wurden wir auf ein neues Startup (https://repathnow.com/) hingewiesen, welches diese Dienste in Deutschland anbietet, allerdings erst 2021 gegründet wurde (d. h. nach unserer Datenerhebung).

Climate Change (https://www.mcc-berlin.net), die auch Beratungsdienste für Firmen, Kommunen und staatliche Stellen anbieten. Derartige anwendungsorientierte Forschung und Beratungsdienstleistungen werden in Amerika eher von Startups als von Forschungsinstituten angeboten. Aber auch große Beratungskonzerne wie etwa PWC und NGOs wie Climate Analytics (https://climateanalytics.org) bieten einschlägige Dienstleistungen an.

Großkonzerne

Unter den untersuchten Großkonzernen bietet nur IBM dedizierte Systeme zur Analyse, Modellierung und Vorhersage des Klimawandels an, wobei das SAP HANA-System als Querschnittstechnologie zumindest von manchen Startups ebenfalls zur Erstellung von Klimarisikoanalysen verwendet wird.

Konkret hat IBM mit dem IBM PAIRS Geoscope ein System zur Speicherung, Verknüpfung und Auswertung von Geodaten (Satellitenbilder, Karten, Wetterdaten, Drohnen- und Sensoraufnahmen), sozioökonomischen Daten und weiteren Informationen (z. B. Nachrichten) entwickelt. Vor allem stellt das PAIRS Geoscope auch einschlägige Datensätze in sehr großem Umfang bereit. IBM erweitert und aktualisiert diese kontinuierlich. Das Produkt richtet sich vor allem an Klimaforscher und Analysten aus Wissenschaft, Meteorologie, Land-, Finanz- und Energiewirtschaft.

Eigene CO_2-Neutralität und internes Ressourcen-Management

Bis auf Amtrak haben sich alle der untersuchten Großunternehmen verpflichtet, Klimaneutralität zu erreichen. SAP will dies bis 2023; Bayer, Siemens, GE und IBM bis 2030, Amazon und DB bis 2040, und DHL und Nestle bis 2050. Die hierfür avisierten Hauptstellschrauben sind meist flächendeckender Einsatz erneuerbarer Energien, Umstellung von Fuhrparks, und Nutzung von Netto-Null- bzw. Niedrigemissionsgebäuden. Big Data spielt meist eine eher untergeordnete Rolle.

Big Data-Lösungen unterstützen Klimaneutralität, und Nachhaltigkeit allgemein, indem sie einerseits betriebsinterne Effizienzsteigerungen ermöglichen. Hierzu werden die diversen, in den obigen Kapiteln beschriebenen Lösungen von den Konzernen auch selbst eingesetzt.[30] Andererseits wird Big Data vor allem eingesetzt, um interne Transparenz über den eigenen CO_2-Fußabdruck und Ressourcenverbrauch zu gewinnen. So setzen zumindest SAP, Nestle, Bayer, DHL und Amazon gezielt Big Data ein, um ihren CO_2-Fußabdruck zu ermitteln. Amazon beispielsweise führt diese Berechnungen anhand eines Hybridmodells durch, das alle Unternehmensaktivitäten wie Finanzen, Transport, Strom, Wärme, Kühlung, und Verpackung berücksichtigt. Die so geschaffene Transparenz – insbesondere hinsichtlich der betriebsinternen CO_2-Quellen – ermöglicht es, Fortschritte in der Emissionsreduktion zu überwachen und zielgerichtete Maßnahmen einzuleiten.

Über Klimaneutralität hinaus setzen vor allem Nestle und Bayer Big Data auch zum Management des eigenen Verbrauchs natürlicher Ressourcen, primär ihres Wasserverbrauchs. Bei Bayer geht es vor allem darum, existierende oder drohende Wasserknappheit in den Regionen um seine Standorte zu identifizieren, während Nestle Waters eine Echtzeitüberwachung des Wasserverbrauchs im Produktionsprozess in den Abfüllanlagen anstrebt, um die Wassereffizienz zu steigern.

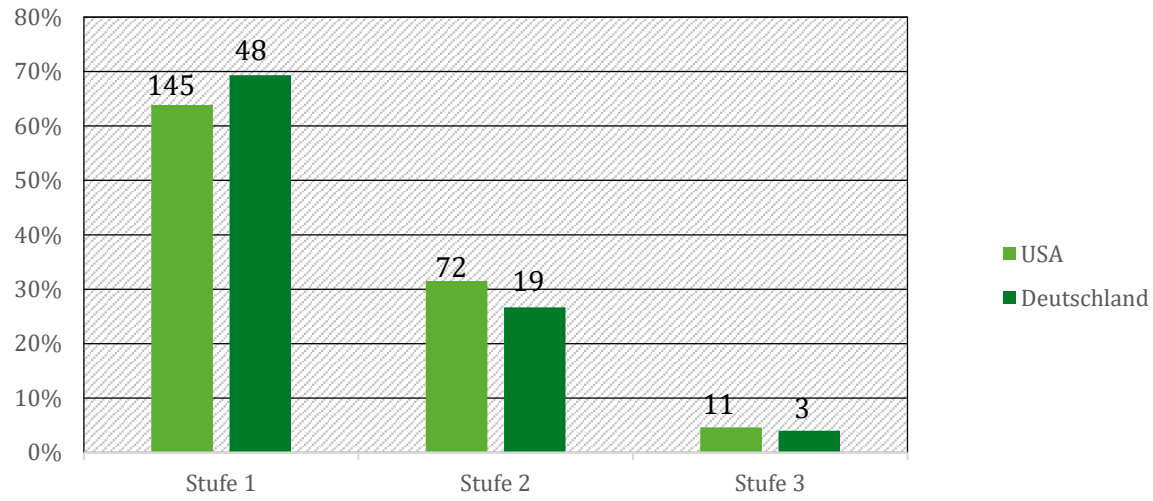
[30] Beziehungsweise wurden in manchen Fällen anscheinend erst für den betriebsinternen Einsatz entwickelt und dann nachträglich zu kommerziell vermarkteten Produkten für Dritte weiterentwickelt.

5.2.3 Transformationswirkung

Die oben vorgenommene Beschreibung von nachhaltigkeitsrelevanten Anwendungen von Big Data und Datenwissenschaft wirft die Frage nach der Stärke der Transformationswirkung durch diese Anwendungen auf. Um eine solche Bewertung der Transformationswirkung für die einzelnen Startup-Anwendungen durchzuführen, wurde auf Grundlage existierender Literatur zur Definition der Green Economy eine dreistufige Skala von Transformationswirkungen entwickelt (u. a. UBA 2015, 2017) (vgl. Kapitel 4.2). Die identifizierten Anwendungen der Startups und Konzerne wurden dann diesen Transformationsstufen zugeordnet, so dass schließlich für jede der Firmen ausgesagt werden konnte, ob sie Anwendungen der Stufen 1, 2 oder 3 entwickelte. Dabei sind Mehrfachzählungen möglich; beispielsweise wird ein Startup, das sowohl Energieeffizienzlösungen (Stufe 1) wie Systeme für die Netzintegration von Erneuerbaren (Stufe 2) entwickelt, sowohl den Stufen 1 und 2 zugeordnet.

Bei den Startups im Sample ergibt sich nun folgendes Bild. In beiden Ländern bewegt sich das Gros der Anwendungen im Sample (64 % bzw. 70 %) auf der niedrigsten Stufe, weitere 32 % (USA) bzw. 28 % (Deutschland) auf der Stufe 2 und lediglich 5 % bzw. 4 % auf der Stufe 3 (siehe Abbildung 19).

Abbildung 19: Prozent Startups, die Anwendungen für unterschiedliche Transformationsstufen entwickeln



Die Zahl über dem Balken gibt die absolute Zahl der Startups an; mehrfache Zuordnungen sind möglich

Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer ISI

Aufgrund der zwangsläufig qualitativen Natur dieser Einordnungen und der begrenzten Informationslage zu den Details der einzelnen Anwendungen und der Art, wie sie tatsächlich von Kunden eingesetzt werden, sollte diese Ergebnisse vorsichtig interpretiert werden. Jedoch verdeutlichen sie vor allem zwei Dinge, die auch gegenüber anderen möglichen Einschätzungen robust sein dürften.

Zum einen indiziert sie die Prädominanz der auf reine Effizienzsteigerungen ausgelegten Anwendungen, welche sich in der großen Zahl von Startups, die Stufe 1-Produkte entwickeln, widerspiegelt. Sehr wenige Startups im Sample versuchen tatsächlich, *radikal neue* Technologien und Paradigmen zu entwickeln (wie z. B. dramatisch CO_2-ärmere Zementherstellungsverfahren). Stattdessen versuchen viele, zusätzliche Effizienzen und Einsparungen (z. B. von Strom-, Wasser- oder Pestizidverbrauch) im Rahmen bestehender Produktions- und

Konsumptionsparadigmen möglich zu machen. Teilweise dürfte dies den Eigenschaften von Big Data (und KI) selber geschuldet sein: die Möglichkeit, mittels moderner Sensorik große Datensätze aus bestehenden industriellen und anderen Prozessen zu generieren, und diese dann automatisiert auszuwerten, lädt dazu ein, nach Anomalien und Optimierungspotenzialen zu fahnden. Entsprechende Anwendungen sind zwar technisch (sehr) herausfordernd, das grundlegende Wertversprechen und Geschäftsmodell – Kosteneinsparungen – ist aber relativ einfach und dürfte potenziellen Kunden auch leicht zu vermitteln sein. Grundlegend neue Technologien und Paradigmen zu innovieren und zu kommerzialisieren, ist hingegen außerordentlich schwer.

Zum anderen zeigt die Verteilung, dass auch die Startups, die direkter zu einer Systemtransformation (z. B. Energiewende) beitragen, dies meist so tun, indem sie relativ spezialisierte Produkte und Dienstleistungen innerhalb des sich neu konstituierenden Systems entwickeln (z. B. vorausschauende Wartung von Windrädern), aber nicht, indem sie selber gänzlich neue Systeme aufbauen. Sie sind also darauf angewiesen, dass „systemtransformierte" Märkte und Industrien (z. B. Erneuerbare Energien) bereits im Entstehen sind, meist aufgrund proaktiver staatlicher Maßnahmen und Regulierung, und der staatlich angetriebenen Schaffung neuer Märkte.

Bei den Großunternehmen, die Lösungen für die verschiedenen Transformationsstufen entwickeln, ist das Bild etwas ausgewogener als bei den Startups (siehe Abbildung 20). Fast alle Konzerne im Sample entwickeln Anwendungen für Transformationsstufen 1 und 2 (die Ausnahme ist Amtrak, welcher gar keine nachhaltigkeitsrelevanten Big Data-Anwendungen einzusetzen scheint), aber nur 2 (Siemens und SAP) auch Lösungen, die der Stufe 3 zugeordnet wurden (für vertikales Indoor Farming). Die hohe Aktivität bei Stufe 1 reflektiert wieder die Rolle von Effizienzanwendungen. Die stärkere Aktivität (verglichen mit den Startups) bei Stufe 2 hingegen, dass fünf der Konzerne aktiv Produkte für verschiedene sektorale Transformationen (primär Energiewende und Verkehrswende) entwickelten, oder zumindest Big Data zur Bilanzierung des eigenen CO_2-Fussabdrucks einsetzen, verbunden mit Commitments, diesen auf Netto-Null zu senken (was ebenfalls der Stufe 2 zugeordnet wurde).

Abbildung 20: Anzahl Konzerne, die Anwendungen für unterschiedliche Transformationsstufen entwickeln

Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer ISI

5.3 Anwendungsorientierte Forschungsprojekte

5.3.1 Erhebungsmethode und Auswertung

Unter Forschungsprojekten werden zeitbegrenzte Forschungsaktivitäten zu einer definierten Fragestellung verstanden. Es werden öffentlich geförderte Forschungsprojekte in Deutschland und auf EU-Ebene in den Blick genommen. Um deutsche Forschungsprojekte im Bereich "Big Data-Anwendungen für den Umweltschutz" zu identifizieren, wurde der Förderkatalog der Deutschen Bundesregierung genutzt. Der Förderkatalog ist eine öffentlich verfügbare Datenbank, die abgeschlossene und laufende Vorhaben des Bundes umfasst.[31] Von der EU geförderte Projekte wurden mithilfe der CORDIS-Datenbank zusammengetragen; sie erfasst abgeschlossene und laufende Projekte seit 1990.[32]

Beide Datensätze (Förderkatalog und Cordis) werden nachfolgend nach einem vergleichbaren Schema ausgewertet wie zuvor die Startups. Für jedes Forschungsprojekt wird klassifiziert, in welcher *Branche* die Nachhaltigkeitswirkung stattfindet und teilweise noch spezifischer in welchem *Anwendungsfeld*, welche *Nutzerinnen und Nutzer* adressiert werden, und welche *Transformationswirkung* erzeugt werden kann.

Förderkatalog

Die Suchmaske des Förderkatalogs durchsucht die Felder "Thema, Förderkennzeichen, Zuwendungsempfänger, Ausführende Stelle", aber keine Kurzzusammenfassung der einzelnen Projekte. Daher wurden in einem ersten Schritt nur Suchbegriffe verwendet, die Big Data-Anwendungen erfassen; folgende Begriffe wurden verwendet: "Big Data, Künstliche Intelligenz, Data Analytics, Deep Learning, Machine Learning". Diese Suche ergab insgesamt 1.024 Projekte.[33] Anschließend wurden Duplikate entfernt, es verblieben 997 Projekte. Es wurde manuell anhand des Forschungsthemas entschieden, welche Forschungsprojekte einen Bezug zur Green Economy haben könnten. Hierfür wurde die offizielle Green Economy Definition von BMU und UBA verwendet.[34] Es verblieben 119 Forschungsprojekte. Im weiteren Verlauf wurden jeweils die Verbundprojekte betrachtet, da nahezu alle Einzelprojekte in Verbundprojekten zusammengefasst sind. Für diese 64 Verbundprojekte wurden Projektwebsites recherchiert, um eine Bewertung vornehmen zu können. 18 weitere Projekte wurden aussortiert, da weder eine Projektwebsite noch eine Projektbeschreibung auf der Website eines Verbundpartners gefunden werden konnte, der Einsatz von Big Data und/oder KI zu klein oder nicht erkennbar war oder der Bezug zur Green Economy fehlte (s. o.). Insgesamt verblieben somit 46 Verbundprojekte für die Bewertung.

Cordis

In der CORDIS-Datenbank wurden die beiden folgenden Search-Strings verwendet: "green AND (big data OR artificial intelligence OR machine learning OR deep learning)" und "sustainable AND (big data OR artificial intelligence OR machine learning OR deep learning)". Es wurden insgesamt 822 Projekte gefunden. Nach der Entfernung von Duplikaten verblieben 731 Projekte. Mithilfe einer Stichwortsuche wurde versucht, die Branchenzuordnung der Projekte näher einzugrenzen. Die weitere Vorgehensweise, um eine möglichst zielführende Auswahl von zu untersuchenden Projekten zu finden, wird im Folgenden beschrieben:

[31] Der Förderkatalog ist unter folgendem Link aufrufbar: https://foerderportal.bund.de/foekat/jsp/StartAction.do?actionMode=list.

[32] Die Cordis-Datenbank ist unter folgendem Link aufrufbar: https://cordis.europa.eu/projects/en.

[33] Der Download aus der Datenbank erfolgte am 24.08.2020.

[34] Forschungsprojekte im Bereich Gesundheit, Weltraumexploration und Produktionsoptimierung (ohne erkennbaren Green Economy Bezug, z. B. im Sinne einer Ressourceneffizienzsteigerung) wurden ausgeschlossen.

Die Projekte sollten in Branchen liegen, die insbesondere durch die deutschen Forschungsprojekte und die zuvor identifizierten Startups wenig oder gar nicht adressiert wurden, dies sind insbesondere Abfall, Entsorgung und Recycling; Naturschutz; Forstwirtschaft; Fischfang, Monitoring und/oder Beseitigung von Umweltverschmutzungen sowie Gastronomie und Lebensmittel. Zudem wurde Kreislaufwirtschaft aufgenommen, da sie als wichtiger Bestandteil einer Green Economy gesehen wird. Da unter den deutschen Forschungsprojekten in den Bereichen Bergbau und Industrie so gut wie keine mit Green Economy Bezug gefunden werden konnten, wurden zudem gezielt EU-Projekte aus diesem Bereich ausgewählt. Auf Wunsch des UBA wurde zudem der Bereich Landwirtschaft aufgenommen. Die Projekte wurden dann anhand der zugeordneten Stichwörter ausgewählt, mit dem Ziel, auf eine vergleichbare Gruppengröße zu kommen, wie bei den deutschen Projekten (46 Projekte).

Einige Forschungsprojekte adressieren dabei mehrere Branchen. Nach der Auswahl ergab sich die folgende Zusammensetzung, welche im Kapitel Ergebnisse noch näher diskutiert und Überschneidungen benannt werden. Im Folgenden sind die insgesamt 50 identifizierten Projekte zunächst der primär adressierten Branche zugeordnet:

- Landwirtschaft: 10,
- Forstwirtschaft: 8,
- Fischfang: 4,
- Gastronomie und Lebensmittel: 5,
- Abfall, Entsorgung und Recycling: 9,
- Kreislaufwirtschaft: 4,
- Bergbau und Industrie: 5,
- Naturschutz: 5.

5.3.2 Ergebnisse

5.3.2.1 Branchen und Anwendungsfelder

Förderkatalog

Tabelle 4 zeigt die Branchen, die die Forschungsprojekte adressieren, d. h. in denen die Nachhaltigkeitswirkung stattfindet.[35] Je nach Forschungsprojekt werden mehrere Branchen adressiert bzw. hat eine Mehrfachzuweisung stattgefunden. Daher beträgt die absolute Häufigkeit adressierter Branchen 54, obwohl nur 46 Forschungsprojekte untersucht wurden. Die relative Häufigkeit bezieht sich auf die Anzahl Forschungsprojekte, dadurch lässt sich die "Priorisierung" von Themen in den Forschungsprojekten leichter vergleichen.

Am häufigsten werden die drei Branchen Personenverkehr und Mobilität (39 %), Energie (28 %) und Landwirtschaft (23 %) adressiert. Alle anderen Branchen werden deutlich seltener adressiert (Immobilien und Baugewerbe, Verarbeitendes Gewerbe, Naturschutz, Gastronomie und Lebensmittel, Forschung, Forstwirtschaft, Wasserversorgung und Abfall- und Entsorgung).

[35] Die Branchenbezeichnungen sind in Anlehnung an die Wirtschaftszweigklassifikation gewählt, aber zum Teil angepasst und erweitert worden, um die Anwendungsbereiche der Forschungsprojekte besser zu beschreiben.

Tabelle 4: Übersicht der von deutschen Forschungsprojekten adressierten Branchen

Sektor	abs. Häufigkeit	rel. Häufigkeit
Personenverkehr und Mobilität	18	39 %
Energie	13	28 %
Landwirtschaft	11	24 %
Immobilien und Baugewerbe	3	7 %
Verarbeitendes Gewerbe	2	4 %
Forstwirtschaft	2	4 %
Naturschutz	2	4 %
Gastronomie und Lebensmittel	2	4 %
Forschung	1	2 %
Wasserversorgung	1	2 %
Abfall- und Entsorgung	1	2 %

Anm.: Die rel. Häufigkeit bezieht sich auf die Gesamtzahl an bewerteten Forschungsprojekten von 46.

Im am häufigsten vertretenen Bereich **Personenverkehr und Mobilität** befassen sich die Projekte mit den Themen Autonomes Fahren (Intelligente Umgebung, Fahrzeugplattform zur Validierung, Radarsensing), Ticketsystem für Intermodale Mobilität, Prognose von Verkehrsverhalten, Flottenversuche, Batteriemanagementsystem, Monitoring und Lade-Infrastruktur für Elektromobilität, Carsharing und Tourenplanung. Ein Projekt befasst sich mit der Entwicklung eines Navigationsempfängers zur Personennavigation, ein anderes mit der dynamischen Wildunfallwarnung. Überschneidungen gibt es mit der Branche **Energie** im Bereich Elektromobilität und mit **Forstwirtschaft** und **Naturschutz** für die Infrastrukturplanung grüner Städte.

Im Bereich **Energie** finden sich Projekte zu den folgenden Themen: Echtzeitplattform zur Erfassung energiesystemrelevanter Daten, Analysesysteme zur Kostensenkung und Transparenz des Energieverbrauchs, Großspeicherentwicklung für Windkraft, vorausschauende Wartung für Windkraftanlagen, sich dynamisch anpassende lokale Energienetze, intelligente Netze in Modellregionen und Energieeffizienzsteigerungen in Gebäuden (Überschnitt zu **Immobilien und Baugewerbe**). Im Überschnitt zu **Personenverkehr und Mobilität** findet sich eine Plattform zur dynamischen Bepreisung von Parken und Laden für die Elektromobilität und ein Projekt zur Einbindung erneuerbarer Energien in Häfen.

In der Branche **Landwirtschaft** finden sich zum einen Projekte im Bereich der Vernetzung von Akteuren und Daten: ein standortbezogenes Dienste- und Wissensnetzwerk, ein Wissens- und Informationssystem zur Förderung von Ressourceneffizienz und Biodiversität, ein herstellerübergreifendes Datenmanagement sowie Datenintegration am Beispiel der Silomaisernte. Außerdem zwei Projekte in der Pflanzenzüchtung mit Deep-Learning Ansätzen und eines zu Indoor-Farming mit Nährstoffbezug aus einer Kläranlage. Zudem ein Projekt zu Unkraut- und Beikrautmanagement und ein Assistenzsystem zur Bodenschonung.

Die drei Projekte im Bereich **Immobilien und Baugewerbe** adressieren die Themen Integration erneuerbarer Energien und Energieeffizienz im Gebäudeneubau und Energieeffizienz bestehender Gebäude. In der Branche **Verarbeitendes Gewerbe** untersucht ein Projekt datengestützte Maschinen- und Anlagenplanung und eines Maschine-zu-Maschine-Kommunikation, welche beide zur Ressourcenschonung beitragen soll.

Zwei Projekte adressieren gleichzeitig sowohl **Naturschutz** als auch **Forstwirtschaft**: Eines dieser Forschungsprojekte entwickelt ein System zum Naturschutz- und Waldmonitoring, das andere Projekt verbessert die Planung grüner Infrastrukturen (s. o. bei Personenverkehr und Mobilität). Im Bereich **Gastronomie und Lebensmittel** wird ein dynamisches Haltbarkeitsdatum erforscht und ein digitaler Zwilling in der Lebensmittelherstellung zur Qualitätssicherung entwickelt.

Jeweils ein Projekt existiert in den folgenden Bereichen **Forschung** (aus geophysikalischen Daten Informationen generieren, die die strukturelle Beschaffenheit des oberflächennahen Untergrundes beschreiben), **Wasserversorgung** (automatisierte Erkennung von Bedrohungen und Schäden in Talsperren) und **Abfall- und Entsorgung** (Beseitigung von Weltraumschrott).

Cordis

Tabelle 5 zeigt die Branchen, die die EU-Forschungsprojekte adressieren, d. h. in denen die Nachhaltigkeitswirkung stattfindet. Je nach EU-Forschungsprojekt werden mehrere Branchen adressiert bzw. hat eine Mehrfachzuweisung stattgefunden. Daher beträgt die absolute Häufigkeit adressierter Branchen 75, obwohl nur 50 EU-Forschungsprojekte untersucht wurden. Die relative Häufigkeit bezieht sich auf die Anzahl EU-Forschungsprojekte. Die hier gelisteten Branchen ergeben sich zum Teil aufgrund der gezielten Projektauswahl, zum Teil sind weitere Branchen dazugekommen[36], die sich aus der Mehrfachzuweisung ergeben. Eine Auswertung der relativen Häufigkeit in Bezug auf die Verteilung adressierter Branchen in EU-Projekten ist aufgrund der gezielten Auswahl an Projekten nicht zielführend.

Tabelle 5: Branchen, welche die EU-Forschungsprojekte adressieren

Branche	Zahl Projekte	Prozentanteil
Landwirtschaft	17	34 %
Abfall, Entsorgung und Recycling	13	26 %
Gastronomie und Lebensmittel	8	16 %
Forstwirtschaft	8	16 %
Aquakultur und Fischerei	6	12 %
Monitoring und/oder Beseitigung von Umweltverschmutzungen	5	10 %
Verarbeitendes Gewerbe	5	10 %
Naturschutz	5	10 %
Wasserversorgung	3	6 %
Forschung	2	4 %
Bergbau	1	2 %

[36] Wie schon bei den deutschen Forschungsprojekten, adressieren die EU-Projekte meist mehrere Branchen, diese konnten erst nach der Analyse der Projektbeschreibungen identifiziert werden.

Branche	Zahl Projekte	Prozentanteil
Immobilien und Baugewerbe	1	2 %
Energie	1	2 %

Anm.: Die rel. Häufigkeit bezieht sich auf die Gesamtzahl an bewerteten Forschungsprojekten von 50.

In der Branche **Landwirtschaft** befassen sich die EU-Projekte mit den Themen Präzisionslandwirtschaft im Gewächshaus, Monitoring und Management von Tierverhalten, Pflanzenzüchtung, Roboter zur Herbizid-Reduktion, Modellierungsansätze zur Ableitung von Politikempfehlungen, Integration existierender IoT-Ansätze für Landwirtschaft in eine offene Architektur, Sprayer zur Pestizid-Reduktion. Ein Entscheidungsunterstützungssystem für Politikimplementierung und Gamification-Ansätze für Erdobservierungsdaten-Aufbereitung adressieren Landwirtschaft und **Forstwirtschaft**, eine Big-Data-Plattform zur Förderung der Bioökonomie adressiert Landwirtschaft, Forstwirtschaft sowie **Aquakultur und Fischerei**. Überschneidungen gibt es zudem mit **Gastronomie und Lebensmittel** im Bereich Präzisionsbestäubung, Kontaminationsmanagement entlang der Nahrungsmittellieferkette und Sammlung genetischer Daten zu Hülsenfrüchten.

Im Bereich **Abfall, Entsorgung und Recycling** finden sich Projekte zu Routenoptimierung für Müllsammlungen, Monitoringprogramm für die Lagerung radioaktiven Abfalls, Recyclingroboter und Sortiertechniken basierend auf ML sowie Kreislaufwirtschaftslösungen für Plastik, Metalle, Holz und Biomasse. Überschneidungen gibt es mit der Branche **Gastronomie und Lebensmittel** im Bereich Lebensmittelsicherheit und -qualität und mit **Immobilien und Baugewerbe** für Kreislauflösungen in der Gebäudebranche. Ein Projekt zu kleinen "Schwarmrobotern" adressiert neben Abfall, Entsorgung und Recycling auch **Wasserversorgung** und **Verarbeitendes Gewerbe**. Zudem gibt es ein weiteres Projekt zum Management von Ab- und Sturmwasser.

In der Branche **Forstwirtschaft** befassen sich die Projekte mit Waldinventarsystemen zum Forstmanagement, Wildfeuermanagement, Instrumente zum Schädlings- und Krankheitsmanagement und automatischer Wiederaufforstung mithilfe von Luftfahrzeugen.

Gastronomie und Lebensmittel wurde bereits im Überschnitt mit einigen anderen Branchen aufgeführt, zudem gibt es ein Projekt, dass das Interesse Jugendlicher für die Transformation der Nahrungsmittelbranche wecken soll und ein Projekt zur Modellierung des Nexus von Wasser, Energie und Nahrungsmittel. In der Branche **Aquakultur und Fischerei** finden sich Projekte zu Fischzucht, Entscheidungsunterstützungssysteme für Fischer und eine Plattform für Angler.

Projekte zu Prozessoptimierung und zur effizienten (Wieder-)Nutzung von Ressourcen und eine Plattform zum Management von geteilten Ressourcen finden sich im **Verarbeitenden Gewerbe**. Zudem ein europäisches Doktorprogramm in Kooperation mit fünf Firmen, um schwere Lastfahrzeuge grüner zu machen. Dieses Projekt adressiert zusätzlich die Branchen **Transport und Logistik**, **Landwirtschaft** und **Forschung**.

Die Branche **Naturschutz** deckt sich mit der Branche **Monitoring und/oder Beseitigung von Umweltverschmutzungen.** Die Projekte adressieren folgende Themen: Ökosystemmodellierung, invasive Spezien in Frischwasser, Modelle zur Verbreitung von Spezien, Infrastrukturaufbau zur Förderung von Biodiversitätsforschung (adressiert außerdem die Branche **Forschung**), Citizen Science zur Gewinnung von Biodiversitätsdaten. Ein Projekt zur Nutzung von Erdbeobachtungsdaten und eine Plattform für den Abbau von Rohstoffen findet sich in der Branche **Bergbau**.

Bedingt durch die Auswahl der EU-Forschungsprojekte finden sich nahezu keine Projekte, die die Branchen Energie oder Mobilität adressieren. Die Branche Landwirtschaft ist stark vertreten,

auch da oftmals Überschneidungen mit Gastronomie und Lebensmittel, Forstwirtschaft und Fischfang existieren. Im Gegensatz zu den deutschen Forschungsprojekten finden sich unter den EU-Forschungsprojekten 13, die den Bereich Abfall-, Entsorgung und Recycling adressieren.[37] Zudem konnten einige Projekte im Bereich Modellierung von Schadstoffemissionen, Ökosystemen und geophysischen Prozessen gefunden werden. Es konnten zudem fünf Industrieprojekte identifiziert werden, die umweltfreundlichere Produktionsprozesse anstreben. Jedoch stellte sich ein Großteil der potenziellen Industrieprojekte mit Green Economy-Bezug, identifiziert anhand der Stichwörter, als lediglich produktionsoptimierend heraus. Eine nachhaltige Produktion im Sinne einer umweltfreundlichen Produktion scheint hier oftmals kein Projektziel und auch kein Auswahlkriterium bei der Vergabe der EU-Gelder zu sein.

5.3.2.2 Nutzerinnen und Nutzer

Förderkatalog

Tabelle 6 zeigt die absoluten und relativen Häufigkeiten der Nutzerinnen- und Nutzergruppen der 46 Forschungsprojekte. Der Großteil der Forschungsprojekte richtet sich an Nutzerinnen und Nutzer im Bereich "2Business" (87 %). Die Gruppen "2Governance", "2Consumer" und "2R&D" werden von gut einem Drittel der Forschungsprojekte adressiert. Am wenigsten häufig wird die Gruppe "2Citizen" (24 %) adressiert.

Tabelle 6: Absolute und relative Häufigkeiten der Nutzerinnen- und Nutzergruppen der Forschungsprojekte

Nutzerinnen und Nutzer	abs. Häufigkeit	rel. Häufigkeit
2Business	40	87 %
2Governance	18	39 %
2Consumer	17	37 %
2R&D	17	37 %
2Citizen	11	24 %

Anm.: Die rel. Häufigkeit bezieht sich auf die Gesamtzahl an bewerteten Forschungsprojekten von 46.

Cordis

Tabelle 7 zeigt die absoluten und relativen Häufigkeiten der Nutzerinnen- und Nutzergruppen der 50 EU-Forschungsprojekte. Etwa dreiviertel aller EU-Forschungsprojekte adressieren Nutzerinnen und Nutzer der Gruppe "2Business". Gut ein Drittel aller EU-Forschungsprojekte richtet sich zudem an den Bereich "2Governance". Die drei Gruppen "2Consumer" (18 %), "2R&D" (16 %) und "2Citizen" (12 %) werden deutlich geringer adressiert. Ein Vergleich der relativen Häufigkeiten zwischen EU und Deutschland ist aufgrund der Auswahl bestimmter Branchen für die EU-Projekte nicht sinnvoll.

Tabelle 7: Absolute und relative Häufigkeiten der Nutzerinnen- und Nutzergruppen der EU-Forschungsprojekte

Nutzerinnen und Nutzer	abs. Häufigkeit	rel. Häufigkeit
2Business	38	76 %
2Governance	18	36 %

[37] Auf Basis der Stichwortsuche konnten keine weiteren EU-Forschungsprojekte in diesem Bereich ermittelt werden.

Nutzerinnen und Nutzer	abs. Häufigkeit	rel. Häufigkeit
2Consumer	9	18 %
2R&D	8	16 %
2Citizen	6	12 %

Anm.: Die rel. Häufigkeit bezieht sich auf die Gesamtzahl an bewerteten Forschungsprojekten von 46.

5.3.2.3 Transformationswirkung

Die vorne beschriebene Transformationsskala zur Abschätzung der Transformationswirkung soll auch im Folgenden Verwendung finden.

Förderkatalog

Tabelle 8 zeigt die Anzahl der Forschungsprojekte, die jeweils den drei Stufen der Transformationswirkung zugeordnet wurden, deren relative Häufigkeit und die kumulierte relative Häufigkeit der Forschungsprojekte je Stufe. Genau die Hälfte der Forschungsprojekte, wurden der ersten Stufe der Transformationswirkung zugewiesen, gut 40 % der zweiten Stufe, nur drei Forschungsprojekte wurden der Stufe mit der höchsten Transformationswirkung zugewiesen.

Tabelle 8: Häufigkeiten der Forschungsprojekte je Stufe der Transformationswirkung

Transformationswirkung	Abs. Häufigkeit	Rel. Häufigkeit	Rel. Häufigkeit kum.
Stufe 1	23	50 %	50 %
Stufe 2	20	44 %	94 %
Stufe 3	3	7 %	100 %
Summe	**46**	**100 %**	-

Anm.: Vier Forschungsprojekte wurden je nach Ausprägung Stufe 1 oder 2 zugeordnet, ein Forschungsprojekt je nach Ausprägung Stufe 1 oder 3. Alle fünf werden "konservativ" behandelt und sind in dieser Darstellung Stufe 1 zugeordnet.

Cordis

Tabelle 9 zeigt die Anzahl der EU-Forschungsprojekte, die jeweils den drei Stufen der Transformationswirkung zugeordnet wurden, deren relative Häufigkeit und die kumulierte relative Häufigkeit der Forschungsprojekte je Stufe. Die meisten Forschungsprojekte etwa die Hälfte (48 %), wurden der ersten Stufe der Transformationswirkung zugewiesen, gut 40 % der zweiten Stufe, nur vier Forschungsprojekte wurden der Stufe mit der höchsten Transformationswirkung zugewiesen.[38]

Tabelle 9: Abs. Häufigkeit, rel. Häufigkeit und kum. rel. Häufigkeit der Forschungsprojekte je Stufe der Transformationswirkung

Transformationswirkung	Abs. Häufigkeit	Rel. Häufigkeit	Kum. rel. Häufigkeit
1	24	48 %	48 %
2	22	44 %	92 %

[38] Interessanterweise ist die Verteilung über die drei Stufen zwischen EU-Forschungsprojekten und deutschen Forschungsprojekten sehr ähnlich. Ein solcher Vergleich ist jedoch aufgrund der unterschiedlichen Kriterien bei der Stichprobenziehung nicht zulässig.

Transformationswirkung	Abs. Häufigkeit	Rel. Häufigkeit	Kum. rel. Häufigkeit
3	4	8 %	1 %
Summe	**50**	**100 %**	**-**

5.3.3 Zusammenfassung zu Forschungsprojekte

Insgesamt konnten mithilfe der gezielten Auswahl an EU-Forschungsprojekten Branchen und Anwendungsfelder abgedeckt werden, die in den deutschen Forschungsprojekten nur sehr gering oder gar nicht vertreten waren. Hierzu zählen insbesondere die Bereiche Kreislaufwirtschaft, Forstwirtschaft, Fischfang und Naturschutz. Es konnten wenige Projekte im Bereich Industrie mit Green Economy Bezug entdeckt werden; dies deckt sich mit den Erfahrungen während der Erhebung der deutschen Forschungsprojekte. Ähnlich wie bei den deutschen Forschungsprojekten wurden auch unter den EU-Forschungsprojekten nur wenige der dritten Stufe der Transformationswirkung zugeordnet.

Bei der Bewertung der Forschungsprojekte muss beachtet werden, dass sich oftmals auf Grundlage der zugänglichen Informationen auf den Projektwebseiten nur ein vergleichsweise oberflächliches Verständnis der Inhalte einzelner Forschungsprojekte erfassen lässt, was eine objektive Bewertung insbesondere der Transformationswirkungen erschwert. Insgesamt war es eine große Herausforderung einen möglichst objektiven Bewertungsmaßstab konsequent zu verfolgen, insbesondere auch deshalb, weil die Wege zur Green Economy eben nicht klar definiert sind, sondern es offen ist, welche Technologien, Prozesse und Politiken welchen Beitrag leisten. Die Bewertung hinsichtlich der Dimensionen Branchen, Anwendungsfelder und Transformationswirkung überlappen sich zum Teil und sind nicht immer ganz voneinander abzugrenzen, bieten aber jeweils eine andere Perspektive auf die Forschungsprojekte und deren Charakteristiken.

5.4 Staatliche Stellen

Um Big Data-Anwendungen durch staatliche Stellen zu identifizieren, wurden die US-Amerikanische Environmental Protection Agency[39], das britische Ministerium für Umwelt-, Ernährung und ländliche Räume Defra[40], das finnische Umweltministerium und das ihr nachgeordnete Finnische Umweltinstitut SYKE[41] sowie die EU Generaldirektion für Umwelt (DG Environment) untersucht. Hierzu wurden gegenwärtige oder ehemalige Mitarbeitende dieser Behörden und ihrer nachgeordneten Stellen interviewt, sowie Dokumentenanalysen ihrer Webseiten und der Ergebnisse von Google-Suchen („Defra“ AND „big data“ OR „data analytics“, u. ä.) vorgenommen. Der Text beruht auf den Interviews sowie dem desk research, wobei aus den Interviews gewonnene Informationen nicht einzeln mit Fußnoten referenziert werden.

Bei der Auswahl der Interviewpartner:innen wurde Wert daraufgelegt, Gesprächspartner:innen zu identifizieren, die sowohl technisches Fachwissen im Bereich Big Data und Datenwissenschaft sowie tiefe Kenntnisse der umweltpolitischen Arbeit der jeweiligen Stellen hatten.

[39] www.epa.gov.

[40] Department for Environment, Food and Rural Affairs, www.gov.uk/government/organisations/department-for-environment-food-rural-affairs.

[41] https://ym.fi/en/, https://www.syke.fi/.

5.4.1 Hintergrund

Die **EPA** wurde 1970 gegründet und hat etwa 12.600 Mitarbeitende (Stand 2020), mit zehn regionalen Stellen in verschiedenen Bundesstaaten.[42] Zu ihren wichtigsten Aufgaben zählt die Umsetzung von der Legislative erlassener Umweltgesetze in konkrete Vorschriften, Rechtsdurchsetzung, und Umweltsanierung von mit gesundheitsgefährdenden Stoffen belasteten Böden und Gewässern (Superfund Program). Ferner führt die EPA umfangreiche eigene Forschung in hauseigenen Laboren und Instituten durch, v. a. zu Luft- und Wasserverschmutzung und -management, Klimawandel, Umweltgesundheit, Chemikalien/Toxikologie, Ökosystemschutz, Landnutzung und Abfallmanagement, sowie Naturkatastrophen. Auch ist die EPA eine wichtige fördermittelgebende Stelle (EPA 2020b). Nicht zuletzt aufgrund ihrer wissenschaftlichen Kapazitäten scheint die EPA schon seit längerem den Aufbau von Datenwissenschaftskompetenzen vorangetrieben zu haben. So wurde 2015 ein Chief Data Scientist/Director of Analytics benannt, und eine referate- und sogar behördenübergreifende *Data Science Community* aufgebaut.

Die **Defra** wurde 2001 als Fusion mehrerer zuvor getrennter Ministerien gegründet und bündelt Zuständigkeiten für Umwelt- und Naturschutz, Landwirtschaft, Fischerei, Hochwasserschutz, Klimawandel[43], Abfallmanagement und ländliche Räume. Die Defra hat etwa 3.500 Mitarbeitende, weitere 20.000 Personen arbeiten in nachgeordneten Behörden. Die Defra versucht seit einigen Jahren, ihre Datenwissenschaftskompetenzen systematisch auszubauen. So wurde 2015 beschlossen, alle internen Datensets frei zugänglich zu machen, soweit rechtlich möglich (Cameron et al. 2016). Über 12.000 Datensets wurden danach veröffentlicht (Defra Science Advisory Council 2018). 2016 wurde eine Untergruppe im Wissenschaftlichen Beirat (Scientific Advisory Council) des Ministeriums gegründet um der Defra zu helfen, eine „durchwegs datengetriebene Behörde“ (*fully data driven department*) zu werden.

Das **finnische Umweltministerium** wurde 1983 gegründet und hat etwa 260 Mitarbeitende. Hinzu kommen die Mitarbeitenden nachgeordneter Behörden und Forschungsinstitute, insbesondere des **Finnischen Umwelt Instituts SYKE**, welches viele der praktischen Forschung und Untersuchungen für das Ministerium durchführt. Die Hauptzuständigkeiten des Ministeriums liegen im Umweltschutz, Landnutzung, Raumplanung und Bau, sowie Klimawandel und die nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen.

Die **EU Generaldirektion für Umwelt** (**DG Env**) wurde 1981 geschaffen und hat etwa 460 Mitarbeitende. Je nach Bedarf wird die DG Env zudem von den Joint Research Centers und anderen Institutionen der EU-Kommission unterstützt. Die Hauptaufgaben von der DG Env liegen in der Ausarbeitung von Politikmaßnahmen sowie dem Monitoring von deren Umsetzung und Compliance seitens der Mitgliedsstaaten.

5.4.2 Einsatzfelder der staatlichen Stellen

Folgende Einsatzfelder konnten für die fünf Stellen identifiziert werden:

- Rechtsdurchsetzung und Zulassungen,
- Kreislaufwirtschaft und Klimabilanzberechnungen,
- Ökosystem-Dienstleistungen, Habitat-Schutz und Raumplanungen,

[42] 2016 beschäftigte die EPA noch über 15.000 Mitarbeitende (EPA 2020a, EPA 2016).

[43] Zuständigkeiten für die britische Klimapolitik liegen auch beim Ministerium für Wirtschaft, Energie und Industriepolitik (Department for Business, Energy and Industrial Strategy BEIS).

- Monitoring von Umweltbelastungen,
- Toxikologische Bewertungen von Chemikalien.

Anschließend geht der Text auf von den Stellen verwendete Datenquellen sowie identifizierte Herausforderungen beim Einsatz von Big Data in staatlichen Behörden ein.

5.4.2.1 Rechtsdurchsetzung und Zulassungen

Die **EPA** setzt seit einigen Jahren Big Data im Bereich der Rechtsdurchsetzung (*enforcement*) ein. Die EPA verfügt über große Sätze von historischen Daten zu Compliance-Verhalten und Durchsetzungsmaßnahmen. Insbesondere die öffentlich zugängliche ECHO-Datenbank (Enforcement and Compliance History Online, https://echo.epa.gov) hat entsprechende Daten für über eine Million Anlagen, aufgeschlüsselt nach Umweltmedien, Schadstoffemissionen, Wirtschaftszweig, Firmenname und Standort. Die Daten lassen sich mit GIS-Kartenschichten verknüpfen (z. B. zu Luft- und Wasserverschmutzung oder Umweltgerechtigkeit [*environmental justice*]), um individuelle Karten zu erstellen.

Die **EPA** wertet diese Daten zu verschiedenen Zwecken mit Methoden des Maschinellen Lernens aus. Zum einen werden Anlagen so für Inspektionen priorisiert (d. h. Anlagen identifiziert, bei denen Datenkorrelationen eine besonders hohe Wahrscheinlichkeit von Compliance-Problemen indizieren). Diese Anwendungen wurden zum Teil von Wissenschaftlern der Stanford Universität mitentwickelt (Hino et al. 2018). Dabei geht es nicht nur um Sanktionierung, sondern auch darum, sich wiederholende Probleme zu identifizieren, so dass Anlagen besser bei der Behebung unterstützt werden können. Zum anderen geht es darum, Datenanomalien zu identifizieren, die auf Fehleinträge der Anlagenbetreibenden (z. B. Einheitenfehler) oder Täuschungsversuche hindeuten. Es scheint keine wichtigen Unterschiede in der Anwendbarkeit dieser Vorgehensweisen auf verschiedene Umweltmedien (Wasser, Luft, Boden) oder Wirtschaftszweige zu geben.

Neben den ECHO Datensätzen wertet die **EPA** spezialisiertere Daten für besondere Fälle aus, oft auf Projektbasis. Beispielsweise konnte ein großer Fall von Betrug mit Zertifikaten für Öko-Treibstoffe (*Renewable Fuel Credits*) durch Auswertung von AIS-Daten zu Positionen und Fahrtrouten von Handelsschiffen aufgedeckt werden. AIS-Daten kombiniert mit Satellitendaten zu Luftverschmutzung wurden auch eingesetzt, um illegale Nutzung minderwertiger Treibstoffe zu verfolgen. Satellitendaten wurden auch verwendet um die genaue geographische Lage von bestimmten landwirtschaftlichen Anlagen zu identifizieren (etwa im Kontext überschwemmungsbedingter Wasserverschmutzung).

Die **Defra** hat Big Data ebenfalls zu Enforcement-Zwecken eingesetzt. Im Vergleich zur EPA scheinen die Aktivitäten von der Defra jedoch noch eher experimentell zu sein. Beispielsweise gab es ein Projekt, um illegale Abfallentsorgung durch Firmen und Haushalte mittels Satellitendaten (aus dem EU Copernicus Programm) ausfindig zu machen. Auch werden Satellitenbilder verwendet um die tatsächlichen Landnutzungsmuster der Landwirtschaft und die Bestände und Bewegung von Nutztieren zu verfolgen; sowohl um Betrugsversuche aufzudecken wie um der Ausbreitung von Viehkrankheiten vorzubeugen. Allgemein sah der/die Interviewpartner:in noch viel Potenzial für die Nutzung Big Data für Rechtsdurchsetzung und Compliance in der Landwirtschaft: Die **Defra** habe sehr umfangreiche Datensets zu jedem landwirtschaftlichen Betrieb[44]; diese auszuwerten, um aufwändige Vor-Ort-Inspektionen und Einsätze besser zu priorisieren, wäre sinnvoll; geschehe aber bislang kaum, auch aus Sorgen um **Datenschutz**.

[44] Hier sei an Defras Doppelfunktion als Umwelt- aber auch Landwirtschaftsministerium erinnert.

Schließlich haben die **Defra** bzw. ihre nachgeordneten Behörden Erdobservations- (Satellitenaufnahmen, LiDAR) und andere GIS-Daten eingesetzt, um drohende Wasserverunreinigung durch Oberflächenabfluss in der Landwirtschaft zu bekämpfen (Throup 2017). Hierbei werden Informationen zur gegenwärtigen Landnutzung (Satellitenaufnahmen) mit Daten zur Höhe und Neigung des Landes (LiDAR) und Informationen zu Bodenbeschaffenheiten und Lagen von Wassereinzugsgebieten übereinandergelegt, um Gefahrenpunkte zu identifizieren und so Inspektionen zu priorisieren (Throup 2017).

Big Data und Datenwissenschaft werden vom **finnischen Umweltministerium** noch nicht in signifikanten Umfang zu Rechtsdurchsetzung eingesetzt, die Interviewpartner:innen sahen hier allerdings sehr großes Potenzial. Wie in anderen Ländern, unterliegen auch finnische Industrieunternehmen umfangreichen Berichtspflichten. Diese Daten werden bislang noch oft manuell übertragen und ausgewertet. Interviewpartner:innen sahen hier erhebliche Potenziale zur Effizienzsteigerung (Datenübertragung per API, automatisierte Auswertung mit KI), hielten dies trotz erster Experimente allerdings noch eher für „Zukunftsvisionen". Erhebliche Potenziale zur Effizienzsteigerung sieht das finnische Umweltministerium auch im Einsatz von Big Data und KI zur der Automatisierung von Genehmigungsverfahren (etwa im Industrie- oder Baubereich). Die 2018 veröffentlichte „Strategie 2030" des Ministeriums betont in diesem Zusammenhang auch die Zusammenführung von Umwelt- mit GIS-Daten, um Verfahren zu vereinfachen und besser auf individuelle Genehmigungsgesuche zuzuschneiden, sowie die bessere Verlinkung der unterschiedlichen staatlichen Informationssysteme (Ympäristöministeriö 2018).

Gesprächspartner:innen von **DG Environment** sagten im Interview, dass sie großes Potenzial im Einsatz von Big Data zum Monitoring der Umsetzung von und Compliance mit EU Politiken (Direktiven, Verordnungen, etc.) durch die Mitgliedsstaaten sahen. Bislang sei das Monitoring eher langsam, und primär auf die von den Mitgliedsstaaten (oft in Jahres- oder Mehrjahres-Turnus) übermittelten Daten angewiesen. Sie hofften, dass größere und kontinuierlichere Datenflüsse in Kombination mit Digitalen Zwillingen von Öko- und Erdsystemen – wie sie das europäische DestinationEarth Projekt entwickelt – es in Zukunft möglich machen würden, antizipativer zu arbeiten, mit kürzeren Reaktionszeiten und einen holistischeren Blick auf das Zusammenspiel unterschiedlicher Policy-Interventionen zu entwickeln. DG Environment hat auch begonnen, einzelne kleinere digitale Tools für seine eigenen Beamten (*policy officers*) sowie anderer Institutionen zu entwickeln. Ein Beispiel ist ein vor allem auf Erdobservationsdaten basierendes Tool, dass es Beamt:innen ermöglichen soll, Compliance-relevante Veränderungen in der Landnutzung (z. B. Ackerbau in Natura-2000 Gebieten) zu identifizieren. Diese und ähnliche Vorhaben bei DG Environment seien allerdings noch in den Kinderschuhen. Andere EU-Institutionen allerdings sind schon heute am Einsatz von Big Data zur Rechtsdurchsetzung im Umweltbereich beteiligt, oft in Kooperation mit den Mitgliedsstaaten. Das *Clean Sea Net* der European Maritime Safety Authority beispielsweise nutzt Echtzeitdaten aus dem Copernicus-System, um Behörden der Mitgliedsstaaten über mögliche Ölaustritte in ihren Hoheitsgewässern zu informieren, so dass Inspektionen eingeleitet werden können.[45]

5.4.2.2 Kreislaufwirtschaft und Klimabilanzberechnungen

Finnlands Umweltministerium ist auch zuständig für den Bausektor. Als Teil der Umsetzung der EU-Abfallrahmenrichtlinie sowie Finnlands eigenen Klimaneutralitätszielen verfolgt das Ministerium mehrere Initiativen, um Kreislaufwirtschaft und klimaneutrales Bauen zu stärken. Zum einen ist eine **umfassende Datenbank,** zu **welchen Materialien in einzelnen Gebäuden verbaut** werden, im Aufbau. Damit soll Kreislaufwirtschaft und – wo Recycling unmöglich ist -

[45] Siehe https://mcc.jrc.ec.europa.eu/main/dev.py?N=simple&O=350&titre_page=CleanSeaNet.

bessere Abfallentsorgung ermöglicht werden. Einsatz von *Building Information Models* (BIM; Computermodelle des Gebäudes, in denen alle Daten zum Objekt, Bauplan und Materialien festgehalten werden) ist im finnischen Bausektor bereits Standard; die Daten liegen also vor, werden aber noch nicht in einer zentralen öffentlichen Datenbank zusammengeführt. Eintrag dieser Daten in der zentralen Datenbank des Ministeriums wird in den nächsten Jahren rechtlich obligatorisch werden. Die längerfristige Version der Interviewpartner:innen ist, dass zu jedem Gebäude ein **digitaler Zwilling** bei den zuständigen staatlichen Stellen archiviert wird.

Parallel zum Aufbau dieser Datenbank entwickeln SYKE und das Umweltministerium umfassende Datensätze und Berechnungsverfahren für die THG-Emissionen aller Baumaterialien und Bauprozesse (von Planung und Materialproduktion über den Bau selbst bis zu Gebäudeabbau und Materialentsorgung). Mittels dieser Daten soll es in drei bis fünf Jahren möglich werden, den realen THG-Fußabdruck von jedem Gebäude zu berechnen, zumindest für Neubauten. Gepaart mit der oben besprochenen Datenbank und Berichtspflichten zum Materialeinsatz, sollen diese Informationen die notwendige Datengrundlage für eine Dekarbonisierung des Bausektors liefern und klimaschutzorientierten Wettbewerb zwischen Baufirmen und Materialanbieter:innen forcieren. Insbesondere sollen diese Informationen die praktische Durchsetzung rechtsverbindlicher CO_2-Grenzen für verschiedene Gebäudearten ermöglichen.

Allerdings ist die verfügbare Datenbasis noch unausgewogen: sehr gute Daten liegen zu Energieverbräuchen und (baubezogenen) Transport/Logistikdienstleistungen vor; es gibt auch viele generische Daten zu den Emissionen verschiedener Arten von Baumaterialien, die aber noch verfeinert werden müssen. Produktspezifische Daten – die letztlich nötig sind – hingegen liegen meist nicht vor oder nur in verstreuten und uneinheitlichen Datenbanken für Umweltdeklarationen von Produkten. Daher wird zunächst der Aufbau von generischen Datensätzen vorangetrieben; produktspezifische Informationen sollen später folgen (Vgl. Kuittinen und Häkkinen 2020).

Finnlands Umweltministerium hat auch eine **Plattform für die Kreislauf- und Entsorgungswirtschaft** namens „Material-Markt“ (*Materiaalitori*; https://materiaalitori.fi/) entwickelt. Firmen können ihre Abfallprodukte und benötigte (bzw. angebotene) Entsorgungsdienste hier bewerben. Wenn Abfallproduzent:innen (z. B. eine Abrissfirma) auf dem „Material-Markt“ keine angemessenen wettbewerblichen Angebote für ihre Entsorgungsbedarfe finden können, ist die lokale Kommune verpflichtet, ihnen diese zu stellen. Eine zwei Wochen nach Einstellung auf dem „Material-Markt“ noch immer unbeantwortete Anfrage nach Entsorgungsdienstleistungen gilt hierfür als Nachweis, und ist Vorbedingung, um kommunale Dienste beanspruchen zu dürfen. Die „Material-Markt“-Plattform wurde 2019 in Betrieb genommen und hat momentan 1.160 registrierte Nutzer:innen (Stand Mai 2021) (Motiva Finland n. d.).

5.4.2.3 Ökosystem-Dienstleistungen, Habitatschutz und Raumplanung

Die **EPA** entwickelt seit längerer Zeit große Datensets zu den ökologischen, räumlichen, geophysischen und geochemischen Eigenschaften und Veränderungen von Ökosystemen. Ein Beispiel hierfür sind die *StreamCat*- und *LakeCat*-Datensets, die jeweils 300 bzw. 600 Variablen für fast 380.000 Seen und 2,65 Millionen Fließgewässer erfassen.[46] Die **EPA** verwendet diese (und andere) Datensets, um die Zustände von Ökosystemen zu ermitteln, Schutz- und Renaturierung-Maßnahmen zu planen und zu priorisieren und die Auswirkungen menschlicher

[46] https://www.epa.gov/national-aquatic-resource-surveys/streamcat-dataset-0; https://www.epa.gov/national-aquatic-resource-surveys/lakecat-dataset-0.

Einflüsse sowie des Klimawandels zu verstehen. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der Identifizierung und Berechnung von Ökosystem-Dienstleistungen.

Eine wichtige Initiative in diesem Bereich ist die Entwicklung **kartenbasierter Webapplikationen**, über die diese Daten und Analysemöglichkeiten der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden. Das größte und wichtigste dieser Tools ist *EnviroAtlas*[47]. *EnviroAtlas* führt hunderte verschiedene Kartenschichten und Datensets zusammen, u. a. zu regionalen Ökosystemen, -dienstleistungsmärkten und dem Gesundheitsnutzen unterschiedlicher Ökosystemdienstleistungen, regionalen Auswirkungen des Klimawandels (Szenarien), demographische und sozioökonomische Daten, wirtschaftlichen und landwirtschaftlichen Informationen (z. B. Transportkosten, Intensität von Dünge-/Gülleausbringung) sonstige Geoinformationen (z. B. Gewässer, Böden, Infrastrukturen, Bodendecke…), politisch-administrative Informationen (z. B. räumliche Zuständigkeiten verschiedener Stellen und Stakeholder), Schadstoffbelastungen, u. v. a. m.[48]

EnviroAtlas bietet Nutzerinnen und Nutzern verschiedene Tools, um statistische und räumliche Analysen dieser Daten vorzunehmen und insbesondere Karten zu erstellen. Ziel ist es, staatliche Stellen, NGOs und Firmen bei verschiedensten Planungsaufgaben mit Bezug zu Ökosystemen bzw. ihren Dienstleistungen zu unterstützen. Beispielanwendungen sind etwa die Evaluation kompensatorischer Feuchtgebietsrenaturierung, Gülle-Management, Planung von Stadtgrün, ökologische Entwicklung von Brachflächen oder Anpassungen an Klimawandel (Pickard et al. 2015).[49]

Ein ähnliches Tool ist *NEPAssist (EPA n.d.)*[50]. *NEPAssist* setzt auf vielen der gleichen Datensets und Kartenschichten wie *EnviroAtlas* auf, richtet sich aber vornehmlich an Industrieunternehmen und Raumplanende, um sie bei der Umweltprüfung von Planungsvorhaben zu unterstützen.

Neben *EnviroAtlas* und *NEPAssist* veröffentlicht (und nutzt) die EPA noch viele weitere (ebenfalls oft kartenbasierte) Webtools und Datensätze zur Analyse von Ökosystemen und Ökosystemdienstleistungen. Der *Global Change Explorer*[51] etwa ist ein Satz Webtools und Datenbanken, mit denen klimawandelbedingte Veränderungen von Ökosystemen, Landnutzung, Wassereinzugsgebieten, sowie Stickstoff- und Schwefelbelastungen im Bundesgebiet der USA untersucht, visualisiert, und kommunale Resilienz gegenüber dem Klimawandel evaluiert werden kann. Ein weiteres Beispiel ist das *Causal Analysis/Diagnosis Decision Information System CADDIS*[52], eine Webapplikation, um Nutzende bei der Analyse von Gewässerökosystemen zu unterstützen. Es besteht aus einem analytischem Framework, statistischen Tools und praktischen Anleitungen, um Stressfaktoren und Beeinträchtigungen zu identifizieren und quantifizieren. Die *Watershed Health Assessment Tools Investigating Fisheries WHATIF*[53] haben ähnliche Funktionen, mit einem stärkeren Schwerpunkt auf dem Management von Fischbeständen.

Die **Defra** hat ebenfalls begonnen, Big Data zum Habitatschutz und zur Ermittlung und Quantifizierung von Ökosystemdienstleistungen einzusetzen. Dabei kommen vor allem

[47] https://www.epa.gov/enviroatlas.

[48] https://www.epa.gov/enviroatlas/enviroatlas-dynamic-data-matrix.

[49] https://www.epa.gov/enviroatlas/enviroatlas-use-cases.

[50] https://www.epa.gov/nepa/nepassist.

[51] https://www.epa.gov/gcx.

[52] https://www.epa.gov/caddis.

[53] https://www.epa.gov/water-research/watershed-health-assessment-tools-investigating-fisheries.

Erdbeobachtungsdaten aus dem *Copernicus*-Programm der **ESA** zum Einsatz, oft kombiniert mit weiteren Datensets (z. B. meteorologische Daten, Forstinventare, Inventare von Fauna-/Floraobservationen etc.). Häufig geht es darum, Veränderungen in der Landschaftsstruktur und Landnutzung zu identifizieren, ihre Auswirkungen zu berechnen, und Habitatkarten zu erstellen. Beispielhafte Anwendungen sind das Monitoring von Mooren, Grasland und Forsten um Veränderungen in Feuchtigkeit, Baumbeständen, Holzschlag u. ä. zu erfassen und Schlussfolgerungen auf CO_2-Sequestrierung und Habitatzustände anzustellen, so dass gegebenenfalls Maßnahmen eingeleitet werden können; oder von Flüssen, Gewässern und Landnutzung/Landschaftsstruktur im Zusammenhang mit dem Hochwasserschutz. Durch Einsatz von Erdobservationsdaten können aufwändige Feldforschung und Außeneinsätze reduziert werden.

Gleichzeitig hat der Einsatz von Erdobservationsdaten auch Grenzen. Zum einen sind diese Datenströme mitunter so groß und komplex, dass ihre Handhabung schwierig wird. Zudem ist die analysefertige Aufbereitung der EO-Rohdaten technisch anspruchsvoll und zeitaufwändig. Die **Defra**-nachgeordnete Behörde **Joint Nature Conservation Committee** (JNCC) entwickelt daher Prozesse zur automatisierten Aufbereitung von EO-Daten. Aufbereitete Datensets werden über die open-access Webapplikation GeoNode (https://geonode.org/) veröffentlicht.[54]

Zum anderen sind EO-Daten nicht für alle Fragen geeignet. Für Informationen über Fauna- und Florabestände, etwa, ist die **Defra** weiterhin oft auf Beobachtungen *in situ* durch Menschen angewiesen. Nachgeordneten Behörden der **Defra**, v. a. das JNCC, unterhalten Programme zum Monitoring von Biodiversität, z. B. zu Vögeln, Pflanzen, Schmetterlingen und Fledermäusen, mit Datensätzen die teilweise mehrere Dekaden zurückgehen. *Citizen science* sowie Kooperationen mit NGOs und anderen Dritten spielen eine wichtige Rolle beim Unterhalt und der Fortentwicklung dieser Datenbestände. Ein Fokus liegt momentan darauf, diese Daten besser mit den Erdobservationsdaten zu verknüpfen, um z. B. detaillierte landesweite Habitat-Karten zu erstellen (JNCC 2019b).

Die **Defra** (bzw. das JNCC) haben auch erste kartenbasierte Webtools veröffentlicht. Der *Marine Protected Area Online Mapper*[55] beispielsweise bietet verschiedene Kartenschichten und Datensets mit Informationen zu den britischen Meeresschutzgebieten. Die *Magic Map*[56] ähnelt dem *EnviroAtlas* der EPA und bringt 300 Kartenschichten und Datensets zusammen, die insbesondere für Planungszwecke gedacht sind. Das von der Universität Exeter in Kooperation mit der Defra entwickelte – ebenfalls kartenbasierte – *Natural Environment Valuation Online Tool NEVO*[57] bringt Daten zu Biodiversität (Artenverbreitung und Habitate), Geoinformationen, Klima- und ökonomischen Modellen zusammen, um die Auswirkungen unterschiedlicher Landnutzungsmöglichkeiten und Raumplanungsentscheidungen auf diverse Ökosystemdienstleistungen bis 2030 vorherzusagen (u. a. Biodiversität, Land- und Forstwirtschaft, Treibhausgasemissionen, Wassermenge und -qualität, etc.) (JNCC 2019c).

Schließlich hat die **Defra** (wie auch die **EPA**) mit dem Einsatz von Daten aus Sozialen Medien sowie Mobilfunkdaten experimentiert. Beide Stellen versuchten so, Zahl und Demographie der Besucherinnen und Besucher von Nationalparks und naturnahen Erholungsgebieten abzuschätzen. Die **EPA** versuchte zusätzlich, Photos in Sozialen Medien zu analysieren, um besser zu verstehen, was für Arten von Landschaften die Menschen offenbar besonders

[54] Laut JNCC kann die Identifizierung relevanter EO-Rohdaten und ihre Aufbereitung bis zu 70 % eines typischen Projektbudgets kosten (JNCC 2019a).

[55] https://jncc.gov.uk/mpa-mapper/.

[56] https://magic.defra.gov.uk/.

[57] https://www.exeter.ac.uk/leep/research/nevo/.

schätzten – Informationen, die wiederum in Form neuer Karten im *EnviroAtlas*-Raumplanern zugänglich gemacht werden sollten. Es ist allerdings unklar, ob diese Ansätze nach ersten Experimenten weiterverfolgt wurden. Der Defra-Interviewpartner zumindest war skeptisch, ob Aussagekraft und Nutzen derartiger Analysen letztlich den Aufwand rechtfertigten.

Das **finnische Umweltministerium** (in Kooperation mit **SYKE**) setzt Erdobservationsdaten (Satellitenaufnahmen von Copernicus, LiDAR) ebenfalls zum Monitoring von Habitaten, Wasserqualität (s. u.) und Klimaindikatoren ein. Bezüglich Habitate und Landnutzung (Stadtbau, Land- und Weidewirtschaft etc.) geht es vor allem darum, diese zu klassifizieren und Veränderungen in Landnutzung und Habitatqualität und -ausdehnung zu erfassen. Laut den Interviewpartner:innen lassen sich mit Copernicus-Satellitenbildern gegenwärtig bis zu 55 verschiedene Habitatarten identifizieren, was allerdings noch ungenügend sei, um die EU-Habitatsdirektive zu erfüllen (so kennt das nationale Klassifikationssystem Finnlands 400 verschiedene Habitate). Um feingranularere Klassifizierungen zu ermöglichen, versucht **SYKE** Satellitenbilder mit LiDAR sowie Feldforschungs- (in-situ) Daten zu kombinieren und mittels maschinellem Lernen auszuwerten. Diese Arbeiten befinden sich allerdings noch im Experimentierstadium.

SYKE und das finnischen Umweltministerium nutzen Erdobservationsdaten insbesondere auch, um Schnee- und Eisverhältnisse (Schneefallmengen, Eisdicke und Ausdehnung, etc.) sowie Wasseroberflächentemperaturen in der Ostsee sowie den finnischen Seen zu erfassen. Zweck dieser Erhebungen ist sowohl Erfassung von Klimawandeldaten als auch Hochwasserschutz.

Finnische Stellen experimentieren auch mit der Nutzung von Citizen Science; sowohl zum Habitat-Monitoring (Erfassung von Flora-/Faunavorkommen[58]), wie der Erfassung von Daten zu Wasser-, Schnee und Eisständen. Wie hilfreich diese Daten wirklich sind, so die Interviewpartner:innen, sei aber noch offen. Vor allem bei den Wasser-, Schnee- und Eisdaten mache die variable Datenqualität und Zuverlässigkeit es schwierig, sie zu wissenschaftlichen oder regulatorischen Zwecken einzusetzen.

Wie oben erwähnt, sahen die Interviewpartner:innen von **DG Environment** großes Potenzial im Einsatz von Big Data – und insbesondere Erdobservations- (Satelliten- und LiDAR-) Daten –, um das **Monitoring** und die **Analyse von Landschafts- und Habitatsveränderungen** zu verbessern, und die Auswirkungen von politischen Interventionen besser zu antizipieren. Sie betonten auch den Nutzen von Citizen Science in diesem Kontext (z. B. Erfassung von Flora-/Faunavorkommen).

5.4.2.4 Monitoring von Umweltbelastungen

Monitoring und Bekämpfung von **Luft-, Wasser- und Bodenbelastung** zählt zu den originären und wichtigsten Aufgaben der **EPA**. Big Data wird dabei in verschiedenen Zusammenhängen eingesetzt.

Die **EPA** erhebt umfangreiche Daten zu **Luftqualität** über ein Netz von Sensoren (das sog. *AirNOW*-Sensornetz), die von verschiedenen staatlichen Stellen in den USA, Kanada und Mexico betreut werden. Zusätzlich werden Satellitendaten von NASA und ESA (Copernicus) herangezogen (s. u.). Die Daten werden mit dem open-source *Community Multiscale Air Quality Modeling System*[59] unter Einbezug von Geoinformationen (z. B. Straßennetze, Industrieanlagen, landwirtschaftliche Raumnutzung, etc.) ausgewertet und stündliche Vorhersagen zur Luftqualität (Ozon, PM 2,5, PM 10) in Orten im ganzen Land erstellt. Die Daten und Vorhersagen

[58] Erfassung von Fauna/Floradaten per Citizen Science wird primär vom finnischen Ministerium für Land- und Forstwirtschaft betrieben, nicht dem Umweltministerium.

[59] Eine open-source Suite von Programmen zur Modellierung von Luftqualität; https://www.epa.gov/cmaq.

werden der breiten Öffentlichkeit über ein Online-Tool (https://www.airnow.gov) zur Verfügung gestellt, welches umfangreiche Suchmöglichkeiten und interaktive Karten bietet.

Die **EPA** kooperiert häufig mit Universitäten und Forschungsinstituten, um diese Daten weiter auszuwerten. In einem laufenden Projekt mit der Cornell University werden beispielsweise KI-Modelle entwickelt, um Schadstoffemissionen von Kraftwerken vorherzusagen (Aloi, D. 2019). Ein weiterer Schwerpunkt der hausinternen Forschungstätigkeit sowie externer Kooperationen bilden die Zusammenhänge zwischen Luftverschmutzung und Gesundheitsbelastung. So laufen Projekte mit der UC Berkeley und mit Gesundheitsdienstleistern, um Daten zu Luftqualität mit Informationen aus elektronischen Patientenakten zu verknüpfen (Ward-Caviness, C. 2019).

Auch zur Messung und Modellierung von **Wasserbelastung** (z. B. Algenblüten, Phosphor, Nitrat, Schwermetalle, u. a. m.) verknüpft die **EPA** Daten aus einem großflächigen Netz von Sensoren (oft ebenfalls unter der Obhut diverser anderer staatlichen Stellen) mit Satellitenbildern und anderen Geoinformationen. Diese bilden die Grundlage für zahlreiche Online-Tools und Portale, die die EPA bereitstellt, auf denen interessierte Nutzende die Daten weiter analysieren oder zusammen mit den Rechenmodellen direkt herunterladen können.[60] Beispielsweise kann man mit dem *Nitrogen and Phosphorus Pollution Data Access Tool*[61] Nitrat- und Phosphorbelastung in Gewässern untersuchen, visualisieren und diese für Schutzmaßnahmen priorisieren. Während dieses Tool vor allem für bundesstaatliche Behörden und andere professionelle Akteure gedacht ist, richtet sich *How's My Waterway*[62] an die breite Öffentlichkeit. Es stellt Informationen zur Qualität von Trinkwasser und Gewässern (Schwimmen, Essbarkeit von Fischen, Renaturierungen, etc.) über ein kartenbasiertes Interface bereit.

Die **EPA** setzt *data analytics* ebenfalls zur Messung, Modellierung und Beseitigung von **Bodenbelastung** ein. Hier geht es i. d. R. um spezifische Brachflächen; Daten werden anscheinend meist vor Ort erhoben (Proben, lokal stationierte Sensoren). Auch hier stellt die **EPA** über das kartenbasierte *Envirofacts Portal* sehr umfangreiche Datensets zur Verfügung (u. a. zum Standort einzelner Brachflächen, Sanierungsvorgängen, Anlagen, Schadstoffen, u. v. a. m.).

Eine Herausforderung für die **EPA** beim Einsatz von Big Data zum Monitoring von Umweltbelastung, insbesondere in Luft und Wasser, ist, dass diese Daten bislang vor allem über statische Sensoren vor Ort erhoben werden. Die **EPA** und ihre Partnerbehörden (z. B. der **US Geological Survey**) verfügen jedoch nur über eine begrenzte Zahl von hochwertigen (entsprechend teuren) Sensoren, die Daten in Referenzqualität liefern. Die räumliche Distanz zwischen einzelnen Sensoren kann groß sein; fehlende Daten werden i. d. R. auf Basis von Rechenmodellen interpoliert. Die **EPA** experimentiert daher verstärkt mit dem Einsatz von (i) Satellitendaten und (ii) von Daten, die durch *citizen scientists* mit einfacheren und billigeren Sensoren erhoben werden. Sowohl das *Multi-angle Imaging Spectroradiometer* an Bord des *Terra*-Satelliten der **NASA** sowie die Instrumente des **ESA** *Copernicus Sentinel 5P* Satelliten können dreidimensionale Darstellungen und Messungen von Schadstoffen in der Luftsäule liefern. Einfache Sensoren, wie sie *citizen scientists* verstärkt einsetzen, können helfen, Lücken im Sensornetz der **EPA** zu schließen. Sie haben aber den Nachteil geringerer Datenqualität und Verlässlichkeit (z. B. aufgrund fehlerhafter Kalibrierung). Zu regulatorischen Zwecken können die so gewonnen Daten daher (bislang) kaum eingesetzt werden; liefern aber dennoch nützliche Informationen. Die **EPA** experimentiert mit dem Einsatz von KI zur Fehlererkennung (Fehlkalibrierungen, falscher Einsatz, etc.), um problematische Daten einfacher herauszufiltern,

[60] Für eine volle Liste der Datensets und Tools siehe https://www.epa.gov/waterdata.

[61] https://www.epa.gov/waterdata/epa-nitrogen-and-phosphorus-pollution-data-access-tool.

[62] https://www.epa.gov/waterdata/hows-my-waterway.

und mit Möglichkeiten, um *citizen science* Daten gegen Referenzwerte aus den „offiziellen" Sensoren zu kalibrieren.

Während die **EPA** Big Data also bereits umfangreich zum Monitoring und zur Analyse von Umweltbelastungen einsetzt, scheinen derartige Anwendungen bei der **Defra** noch in einem frühen Stadium zu sein. Die **Defra** verfügt natürlich über Sensoren und Messstellen zur Ermittlung von Wasser-, Luft- und Bodenbelastung; doch scheinen diese in ihrem Ausmaß kaum vergleichbar den großen Sensorennetzen der **EPA** zu sein. Auch bietet die **Defra** bislang nichts Vergleichbares zu zahlreichen Online-Tools der **EPA**, in denen Sensordaten mit vielfältigen anderen Informationen (insbesondere Geoinformationsdaten) verknüpft und analysiert werden können.

Eine Hürde für die **Defra** scheint dabei zu sein, dass Daten weiterhin nur bedingt selbst zwischen hausinternen Abteilungen geteilt werden, z. T. aus rechtlichen Bedenken (Datenschutz, Betriebsgeheimnisse) (Cameron et al. 2016). Das wiederum steht der für Big Data charakteristischen Verknüpfung und kombinierten Auswertung (sehr) verschiedener Daten im Wege. Etwa gab es Überlegungen, Luftverschmutzungsdaten mit Informationen zu Viehbeständen und landwirtschaftlichen Aktivitäten aus Satellitenbildern zu verknüpfen, um Methangasemissionen besser zu berechnen; dies scheiterte jedoch an Datenschutzbedenken.

Im Bereich **Wasser** experimentiert die **Defra** seit etwa 2015 mit dem Einsatz von Satellitendaten (Copernicus) zum Monitoring von Wasserqualität. Auch wird versucht, bestehende Sensornetzwerke zu erweitern (z. B. smarte, mit Sensoren ausgerüstete Bojen und autonome Unterwasserfahrzeuge), die kontinuierliche Datenströme zu verschiedenen Umweltparametern liefern. Hier scheint es sich allerdings um Pilotprojekte zu handeln (Defra 2019, Cameron et al. 2016).

Auch im Bereich **Luftqualität** versucht man Fähigkeiten zu stärken. Im Rahmen der *Clean Air Strategy* (2019) sollen 10 Millionen Pfund in Modellierungsfähigkeiten und Analysetools investiert, und die verschiedenen von lokalen und nationalen Stellen erhobenen Datenströme zu Luftqualität besser integriert werden. Ein zentrales Webportal soll aufgebaut werden, um diese Daten zusammen zu führen und der Öffentlichkeit zur Verfügung zu stellen (Defra 2019).

Auch in Großbritannien nimmt die Zahl der von *citizen scientists* und anderen Dritten ausgebrachten Umweltsensoren (Wasser-, Luftbelastung) zu, und auch bei der **Defra** werden daher Überlegungen angestellt, wie diese systematischer für die eigenen Zwecke verwendet werden könnten. Soweit scheint dies jedoch nur in begrenztem Ausmaß zu erfolgen. Hürden sind auch hier die wechselhafte und unzuverlässige Qualität dieser Daten, fehlende Zeitserien und mangelnde historische Daten (Cameron et al. 2016). Als Teil der *Clean Air Strategy* sollen daher auch Methoden entwickelt werden, um von *citizen scientists* und anderen Dritten generierte Datenströme besser zu nutzen und in eigene Modellierungen einfließen zu lassen.

Das **finnische Umweltministerium** begann bereits 1998, Satellitendaten zum Monitoring von **Wasserqualität** einzusetzen, und hat diese Nutzung seither stark vorangetrieben. Mittlerweile werden Satellitendaten aus dem Copernicus-System sowohl zur Messung der Qualität der Binnengewässer wie der Ostsee, und zur Erfüllung der EU-Wasserrahmenrichtlinie verwendet. Diskussionen in der Anfangszeit, inwiefern diese Daten tatsächlich regulatorischen Zwecken genügten, konnten positiv entschieden werden. Aufgrund der niedrigen Bevölkerungsdichte und großen Wald- und Naturgebieten, kommt **Luftqualität** in Finnland eine geringere umweltpolitische Bedeutung zu als etwa in USA, UK oder Deutschland. Luftqualitätsmessungen werden primär auf kommunaler Ebene (d. h. von Großstädten) durchgeführt, teilweise in Kooperation mit dem Finnischen Meteorologischen Institut.

DG Environment bezieht Daten zu **Luft-, Wasser- und Bodenbelastung** und **Emissionen** primär von den Mitgliedstaaten, im Rahmen ihres regulären regulatorischen Reporting. Viele dieser Daten sind aggregiert und relativ ungenau. Die Interviewpartner:innen äußerten daher die Hoffnung, dass mit der wachsenden Erhebung und Veröffentlichung von Daten durch Privatpersonen und NGOs (Citizen Science) sowie durch die Industrie selber, ihnen künftig wesentlich größere und granularere Datensätze, aus einer größeren Vielfalt von Quellen, zur Verfügung stehen würde.

5.4.2.5 Toxikologische Bewertungen von Chemikalien

Ein wichtiger Auftrag der **EPA** ist die **toxikologische Bewertung von Chemikalien**, so dass ggfs. regulatorische Maßnahmen eingeleitet werden können. Dabei stellt die schiere Anzahl der zu bewertenden Chemikalien eine große Herausforderung dar. Zehntausende Chemikalien müssten grundsätzlich einer Bewertung unterzogen werden; allein die in-vivo Datenbanken der **EPA** enthalten über 111.000 Chemikalien mit 800.000 Datenpunkten (Williams 2017; Judson 2019). **EPA**-Forschende haben daher Algorithmen entwickelt, um ihre wahrscheinliche Giftigkeit vorherzusagen, so dass die gefährlichsten Chemikalien prioritär untersucht werden können. Auch sind Modelle entwickelt worden, um die Gefährlichkeit einer Chemikalie für eine bestimmte Spezies (für die noch keine Informationen vorliegen) auf Basis ihrer Gefährlichkeit für andere, ähnliche Spezies vorherzusagen (Raimondo et al. 2010).

Eine **Herausforderung** dabei ist, dass sehr viele relevante **Daten** zwar existieren, diese aber **häufig nur in Textform** (z. B. in Fachzeitschriften, staatlichen Registern, Datenbanken und Berichten, etc.) vorliegen, oft unter Verwendung inkonsistenter Terminologien, Datenstrukturen und Größeneinheiten. Um diese Informationen für Big-Data-Analysen verfügbar zu machen, entwickelt die **EPA** daher **KI-gestützte Textmining-Programme**, um die Daten zusammenzuziehen und in konsistente Ontologien zu überführen (Judson 2018). Die **EPA** stellt diese Daten und Modelle öffentlich zur Verfügung.[63]

Vergleichbare Einsätze von Big Data scheint es bei der **Defra** nicht oder nur in begrenztem Ausmaß zu geben.

5.4.3 Datenquellen und Herausforderungen beim Einsatz in staatlichen Stellen

Die wichtigsten Datenquellen für **EPA, Defra** und **Finnlands Umweltministerium** scheinen von Industrie- und landwirtschaftlichen Betrieben als Teil ihrer Berichtspflichten gemeldete Daten, eigene Programme zur Datenerhebung sowie die von anderen staatlichen Stellen (z. B. **US Geological Survey**), z. T. unterstützt durch NGOs und citizen scientists (v. a. bei der Biodiversitätserfassung), und die öffentlich geförderte Forschung (insbesondere die Erdobservationssatelliten von **NASA** und **ESA**) zu sein. Gleiches gilt für **DG Environment**, mit der Einschränkung, dass das DG Daten für den regulatorischen Vollzug primär von den Mitgliedsstaaten im Rahmen ihrer Berichtspflichten erhält, und meist keine Berichtsdaten direkt von Industrie oder Landwirtschaft bekommt.

Daten aus der Privatwirtschaft spielen – abseits von Berichtspflichten – für alle vier Behörden nur eine sehr untergeordnete Rolle. Für spezifische Zwecke werden kommerziell angebotene Datensets gelegentlich am Markt eingekauft; allgemein jedoch, so die Interviewpartner, ist die Nutzung von Daten privater Anbieter meist unattraktiv. Zum einen sind diese Daten oft teuer, zum anderen ist ihre Nutzung häufig mit Auflagen verbunden (z. B. lizenzspezifische Einschränkungen, inwiefern die Daten geteilt oder veröffentlicht werden können) die

[63] Siehe unter anderem das CompTox-Dashboard (https://comptox.epa.gov/dashboard), das Web-ICE Tool (https://www3.epa.gov/webice/) und die ECOTOX Knowledgebase (https://cfpub.epa.gov/ecotox/).

praktischen Anforderungen oder sogar statutarischen Auflagen zuwiderlaufen. Z. T. halten auch langsame Beschaffungsprozesse von der Nutzung privater Daten ab; man greift lieber auf das Verfügbare zurück als Monate auf einen Einkauf zu warten.

Schließlich gibt es Bereiche – insbesondere die Erfassung von Flora-/Faunaarten –, wo alle Behörden weiterhin stark auf manuelle Datenerhebung durch fachkundige Forschende und Freiwillige angewiesen sind.[64]

Wie bereits oben angesprochen ist die Integration verschiedener Datensätze und ihre analysefertige Aufbereitung (Säuberung von Fehlern, konsistente Terminologien und Metadaten, maschinenlesbare Formate, etc.) eine wichtige Herausforderung, quer durch verschiedene Anwendungsbereiche. EPA, Defra, Finnisches Umweltministerium und Sykke sowie die EU-Kommission (DGs und Joint Research Center) verfügen über (bzw. haben Zugriff auf) sehr große Datenschätze; die technische Infrastruktur ermöglicht jedoch nicht immer leichten Zugriff auf sie. Das gilt umso mehr für die noch größeren Datenbestände in anderen staatlichen Stellen (andere Ministerien, kommunale Stellen, etc.). Probleme der technischen Interoperabilität verschiedener Informationssysteme, (fehlende) einfache organisatorische Prozesse für rechtssicheren Zugriff und Datenaustausch, und schlichter Mangel an Information über welche Daten und Informationen überhaupt wo vorliegen (d. h. leicht einsehbare, umfassende Register) wurden wiederholt als Probleme benannt.

Datenschutz wurde von mehreren Interviewpartner:innen als Herausforderung bei manchen Anwendungen bezeichnet. Allgemein fallen personenbeziehbare Daten in der EU in den Geltungsbereich der DSGVO; in England in den des UK Data Protection Act (der bislang im Wesentlichen auf der EU Datenschutz-Grundverordnung aufbaut und diese in britisches Recht überführt) bzw. in den der verschiedenen US-Amerikanischen *privacy* Gesetzen. Manche der besprochenen Anwendungen sind hiervon betroffen, z. B. *social media* und Mobiltelefon-Daten, Landwirtschaftsdaten insofern Information über spezifische Felder oder Produktionsstätten meist auch spezifischen Landwirten zugeordnet werden kann. Datenschutz ist jedoch nicht der einzige Rechtsbereich, der Datennutzung einschränkt – Schutz von Betriebsgeheimnissen etwa schien für manche Interviewpartner:innen ein mindestens so großes wenn nicht größeres Thema zu sein. Zudem enthält das Datenschutzrecht auch eine gewisse Flexibilität (z. B. Ausnahmen für Wissenschaft und hoheitliche Aufgaben, risikobasierter Ansatz, etc.), und es gibt technische Maßnahmen, um Datensätze zu anonymisieren oder pseudonymisieren. Allerdings braucht es rechtliches wie technisches Fachwissen, um Spielräume zu erkennen. Der britische Interviewpartner vermutete, dass die realen Einschränkungen wahrscheinlich kleiner wären als bisweilen befürchtet. „Datenschutz“ scheint mitunter einen gewissen „chilling effect“ auszulösen, so dass auf angedachte Anwendungen von vorneherein verzichtet wird, ohne ihre tatsächliche rechtliche oder technische Machbarkeit näher zu untersuchen. Insbesondere für die Landwirtschaft merkten mehrere Gesprächspartner:innen auch kritisch an, dass der Verweis auf Datenschutz (jedes Feld ist einem Landwirt und einem Hof, der auch eine Wohnstätte ist, zuordenbar) von interessierter Seite auch mitunter strategisch eingesetzt würde, um Berichtspflichten und Datenoffenlegung zu vermeiden (z. B., um Umweltbehörden Zugang zu Daten über Feldbepflanzung, Fruchtfolgen oder Dünger und Pestizideinsatz zu geben).[65]

Technische Infrastruktur und die organisatorische Herangehensweise wurde insbesondere von den britischen und amerikanischen Interviewpartner:innen als wichtige Faktoren für den

[64] Dieses Problem wird auch von Forschenden und NGOs erwähnt. Zumindest manche sehen auch einen Rückgang in der Zahl (und Zunahme im Alter) der Hobby-„Tier- und Pflanzenkundigen“, auf die diese Arbeit oft angewiesen ist. Eine mögliche Gegenmaßnahme könnte die Entwicklung KI-gestützter Apps zur Arten-Identifikation auf Bilderkennungsbasis sein.

[65] In Interviews mit Startups und Big-Data Experten wurde angemerkt, dass besserer Zugang zu genau diesen Daten von sehr großem Wert für Landwirtschafts-Startups sein könnte.

erfolgreichen Einsatz von Big Data betont. Das Outsourcing von Infrastruktur und sogar Datenanalyse an externe Dienstleister, wie manchmal praktiziert, wurde in diesem Zusammenhang extrem kritisch bewertet. Wenn die Mitarbeitenden der Behörde nicht länger operative Kontrolle über die Gestaltung der Infrastruktur und die Bereitstellung von Daten haben, sondern von einem externen Dienstleister abhängen, hemme dies ihre Arbeit mitunter massiv. Vielversprechender sei der Aufbau eigener interner Datenwissenschaftsfähigkeiten, gepaart mit der Nutzung von Clouddiensten wie Amazon Webservices um die notwendige Rechenkapazität und open-source online Software-Umgebungen wie *Jupyter Notebooks* und *R Studio*. Mitarbeitende bekämen so direkten und flexiblen Zugriff auf Datenbestände und Rechentools über einfache Webbrowser.

Gleichzeitig kann es empfehlenswert sein, insbesondere den Aufbau fortgeschrittener *Data Science* Fähigkeiten und Infrastrukturen einer strengen Nutzen-Kosten-Analyse zu unterziehen. So betonte der britische Gesprächspartner, dass es für viele Fragestellungen und Aufgaben schlicht nicht notwendig sei, auf sehr fortgeschrittene Datenanalysen, komplexe Statistik und KI zurückzugreifen. Einfachere Analysen seien oft vollkommen ausreichend.

Um *Data Science*-Fähigkeiten aufzubauen, wählte die **EPA** einen „dezentralisierten" Ansatz, d. h. anstatt ein einzelnes großes Referat für *Data Science* aufzubauen und Kapazitäten dort zu zentralisieren, versuchte man ein grundlegendes Verständnis von Datenwissenschaft und ihren Potenzialen in allen Fachabteilungen aufzubauen, nach Möglichkeit gepaart mit der Fortbildung (oder Einstellung) einzelner Mitarbeitende als Expertinnen und Experten. Parallel dazu wurde eine abteilungsübergreifende *Data Science Community of Practice* ins Leben gerufen, um Erfahrungen auszutauschen, Fortbildungen anzubieten und Vernetzung voranzutreiben. Dieser gehören mittlerweile 1.200 Mitarbeitende an und zahlreiche spezialisiertere Subgruppen sind entstanden (z. B. für die Statistik-Programmiersprache *R*, Erdobservation, etc.).

Der Eindruck aus dem Interview sowie der Dokumentenanalyse ist, dass die Defra einen ähnlichen Ansatz gewählt hat, mit verschiedenen Fortbildungen für Mitarbeitende in den verschiedenen Abteilungen, und einem kleinen „Data Science Hub", um den dann eine größere und abteilungsübergreifende Community orchestriert werden soll (Defra Science Advisory Council 2018).

5.5 Umweltschutz-NGOs

5.5.1 Methodisches Vorgehen

Big Data und in einem breiteren Sinne, daten- und datenwissenschaftsbasiertes Vorgehen, wird mittlerweile auch von Umwelt-NGOs eingesetzt. Auch im Journalismus spielt Big Data eine wachsende Rolle („data journalism"). Dieses Kapitel soll dazu eine Übersicht geben.

Um eine breite Übersicht zu bekommen, haben wir die Daten- und Big Data-bezogenen Aktivitäten von drei internationalen und vier deutschen NGOs analysiert, sowie die datenbasierten Umwelt-Investigationen des International Consortiums of Investigative Journalists (ICIJ, www.icij.org). Die untersuchten NGOs waren: Greenpeace International (www.greenpeace.org), The Nature Conservancy (TNC, www.nature.org), und World Wide Fund for Nature (WWF; worldwildlife.org); sowie Naturschutzbund Deutschland (NABU; www.nabu.de), Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND; www.bund.net), Urgewald (urgewald.org) und Deutsche Umwelthilfe (www.duh.de).

Diese insgesamt sieben NGOs wurden ausgewählt, um sowohl eher Naturschutz-orientierte Arbeit (NABU, BUND, TNC, WWF) wie eher umweltpolitische und *Campaigning*-fokussierte Akteure (Greenpeace, Urgewald, DUH) zu erfassen (wobei sich Arbeitsfokusse und politische

Strategien dieser Organisationen selbstverständlich überschneiden). Für jede der ausgewählten NGOs wurden jeweils die Webseite samt den dort veröffentlichten Dokumenten, die Jahresberichte der letzten fünf Jahre sowie ihre Organisations-Zeitschriften und Magazine (falls vorhanden) untersucht. Zusätzlich wurden Google-Abfragen durchgeführt.[66] Schließlich wurden zwei Interviews mit Mitarbeitenden von NGOs geführt.

Das 1997 gegründete International Consortiums of Investigative Journalists (ICIJ) ist eine spendenbasierte non-profit Nachrichtenorganisation mit Sitz in Washington DC, USA. Neben einem Kernteam von 35 Personen gehören dem ICIJ (laut Eigenangabe) über 280 Investigativreporter:innen aus 100 Ländern an. Das ICIJ hat sich auf große, z. T. mehrjährige Investigativrecherchen spezialisiert, bei denen oft Dutzende Journalist:innen aus verschiedenen Ländern und Nachrichtenorganisationen kooperieren. Häufig basieren diese auf dem ICIJ zugespielte große oder sehr große Datensätze. Zu den bekanntesten Recherchen des Centers zählen die *Panama Papers*, *Pandora Papers* und *Lux Leaks* über globale Steuervermeidung und Steuerhinterziehung. Das Center hat aber auch eine Reihe Umweltinvestigationen durchgeführt, die ebenfalls auf der Auswertung großer Datensätze (mit-)beruhen.

5.5.2 Einsatzfelder

Bei fast allen der untersuchten NGOs spielt die systematische Erhebung und Analyse von oft beträchtlichen Datenmengen eine zunehmende Rolle. Grob gesprochen, lassen sich die vielfältigen Anwendungen von Daten und *Data Science* seitens der NGOs vier verschiedenen Feldern zuteilen, wobei es hier häufig Überlappungen gibt:

- Monitoring von Flora- und Fauna-Beständen, Habitaten und Ökosystemen,
- Analyse und Management von Ressourcenausbeutung und Liefer- und Wertschöpfungsketten,
- Ökologische Raumplanung,
- Messung und Modellierung von Schadstoff-Emissionen.

Im Weiteren werden diese vier Felder zunächst beschrieben, um dann Rückschlüsse auf Unterschiede und etwaige „weiße Flecken“ in der Art, wie deutsche und amerikanische/internationale NGOs diese Technologien einsetzen, zu ziehen. Auch mögliche Hemmnisse für den stärkeren Einsatz von Big Data durch deutsche NGOs werden diskutiert.

Der Umweltjournalismus des ICIJ beschäftigt sich zumeist mit der Ausbeutung natürlicher Ressourcen, und wird daher an jener Stelle diskutiert, gemeinsam mit den einschlägigen NGO-Aktivitäten.

5.5.2.1 Monitoring von Flora- und Fauna-Beständen, Habitaten und Ökosystemen

Big Data-Einsätze zum Monitoring von Tierbeständen, Habitaten und Ökosystemen konnten für WWF, NABU, BUND und der Nature Conservancy identifiziert werden. Bei diesen Einsätzen geht es in der Regel darum, feingranulare Datenbestände und Zeitreihen – und somit ein besseres Verständnis – zu deren Zuständen, Funktionen, Veränderungen und geographischen Verteilungen aufzubauen und transparent zu machen, oft zum ersten Mal. Auf dieser Basis können Gefährdungen (z. B. genetische Fragmentierung von Populationen), Bedarfe (z. B. Migrationsrouten, Fress-, Ruhe- und Paarungsorte) und ihre Interaktionen mit menschlichen Aktivitäten und Strukturen (Landwirtschaft, Freizeitaktivitäten, Infrastruktur, Wohnorte und

[66] Search Strings waren ”[Name der NGO]“ AND „Big Data“ bzw. “Data Science”/”Datenwissenschaft”.

Transportwege, etc.) besser verstanden, und effektivere und wissenschaftlich belastbarere Schutzmaßnahmen und Handlungsempfehlungen entwickelt werden, als ohne diese Datengrundlagen möglich wären. Unter Umständen kann die Erfassung und Transparentmachung von Bestandszahlen und Bestandsveränderungen sogar die gesamtgesellschaftliche politische Themensetzung beeinflussen, wenn sie neue (oder in ihrer Tragweite vielleicht bisher nicht erkannte) Tatsachen in einfachen und dramatischen Zahlen zugänglich macht (Hallmann et al. 2017, Seibold et al. 2019).[67]

Zur Datenerhebung werden unterschiedliche Methoden eingesetzt. Die **klassische manuelle Erhebung im Feld** scheint weiterhin eine wichtige Rolle zu spielen. Ein Beispiel hierfür ist die Erstellung einer der weltweit größten und qualitativ hochwertigsten Gendatenbanken für Wildkatzen, mit über 35.000 Datenpunkten, durch den **BUND** und der Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung. Die Daten stammen aus tausenden von Wildkatzen-Haarproben, die – oft von Freiwilligen – im Feld gesammelt wurden. Die Analysen der Daten ergab, dass die Wildkatzenbestände genetisch fragmentiert sind und wahrscheinlich Ausbreitungsbarrieren existieren. Auf dieser Grundlage entwickelt der **BUND** neue Schutzkonzepte wie Korridore, um Habitate zu verbinden (BUND 2016, 2019).

Weitere Beispiele für die **Generierung von großen Datensets durch klassische Feldbeobachtungen** – die ebenfalls die wichtige Rolle von Freiwilligen und citizen scientists unterstreichen – sind die *Stunde der Wintervögel* (bzw. der *Gartenvögel*) und *Insektensommer*-Aktionen, welche der **NABU** seit 2004 sukzessiv aufgebaut hat. Hobby-Ornithologen/Entomologen sollen die von ihnen innerhalb definierter Zeitspannen beobachtete Zahl von Vögeln bzw. Insekten artenfein erheben und melden. Zur Unterstützung des *Insektensommers* entwickelte der NABU auch eine App („Insektenwelt"), die mittels KI Insektenarten automatisiert bestimmen kann (Bilderkennung). Hier kommen mittlerweile sehr große Datenmengen zusammen. 2018 beispielsweise nahmen über 135.000 Menschen an der *Stunde der Wintervögel* teil, und meldeten Daten zu über 3,5 Millionen Vögeln. Beim *Insektensommer 2018* wurden über 70.000 Beobachtungen gemeldet (NABU 2018).

Technisch anspruchsvoller ist die Erfassung von Tieren mittels **Kamerafallen und Drohnen**, teils in Kombination mit **Geodaten.** Diese werden etwa von **WWF**, **TNC** und ihren Partnerorganisationen (sowie zahlreichen Forschungsgruppen und Hobbybeobachtern weltweit) mittlerweile großflächig eingesetzt. Eine große Herausforderung dabei ist bislang die zeitaufwändige manuelle Auswertung. Gemeinsam mit **Google**, **Conservation International** und weiteren Partnern, hat der **WWF** daher die Cloud-basierte Plattform **Wildlife Insights** entwickelt, welche mittels KI bis zu 18.000 Bilder pro Stunde auswerten kann. Die Plattform steht allen Interessent:innen offen und enthält laut **WWF** die weltweit größte öffentlich zugängliche Datenbank von Kamerafallenbildern. Hunderttausende Kamerabilder können so rasch produziert und ausgewertet werden, was präzisere und umfassendere Einblicke in Faunabestände, Ökosysteme und Mensch-Natur-Interaktionen ermöglicht. Der **WWF** setzt die Plattform (und Kamerafallen) z. B. dazu ein, um die Auswirkung von Outdoor-Freizeitaktivitäten (Reiten, Moutainbiken, Wandern u. ä.) auf Fauna, die Interaktionen zwischen Viehwirtschaft und Wildtieren zu verstehen (Thau et al. 2019; WWF 2020; Birch 2020). **Drohnen** – in Kombination mit **Geodaten** (*satellite tags*) – werden zu ähnlichen Zwecken eingesetzt, etwa um Fressplätze, -verhalten und Populationsentwicklungen von Buckelwalen zu erfassen (WWF 2019a), oder Amazonasdelphine zu zählen (Globil n. d.). **TNC** führt ähnliche Studien durch (The Nature Conservacy 2019).

[67] Ein Beispiel für die politische „Durchschlagskraft", welche schon verhältnismäßig kleine Datensets bisweilen entfachen können, wäre etwa die vielbeachtete Studie des Entomologischen Vereins Krefeld zum Insektensterben (Hallmann et al. 2017), sowie die Anschlussstudie von Seibold et al. (2019).

Erfassung und Auswertung von **Satellitendaten** (**remote sensing**), **LiDAR**, und die Nutzung von **Geographischen Informationssystemen** (**GIS**) spielen allgemein eine wachsende Rolle im Naturschutz. Der **WWF** beispielsweise unterhält in **Berlin** ein auf diese Technologien spezialisiertes „Space + Science"-Team (space-science.wwf.de). Das Team hat diese Technologien in – teils BMU-geförderten – Projekte eingesetzt, um z. B. die Auswirkungen von Bergbau auf Wälder in Guayana oder von menschlichen Einflüssen auf Wildwechsel in Ostafrika zu analysieren oder die Biomasse und CO_2-Speicher der kongolesischen Wälder zu berechnen und Schutzmaßnahmen abzuleiten. Weitere Einsätze drehen sich um das Mapping von Mangroven, Korallenriffen, Seegrasfelder und Baumartenbeständen sowie Waldbrand- und Entwaldungsdynamiken, neben anderen mehr. Festzuhalten ist, dass diese Analysen oft nicht ohne unterstützende Feldarbeit auszukommen scheinen. **„Händische" Datenerhebung vor Ort** – mitunter wieder durch *citizen scientists* und z. T. mit eigens dafür programmierten Apps – und lokales Wissen bleibt wichtig, um die Satellitendaten korrekt zu interpretieren.

Der **WWF Deutschland** und das Berliner **WWF „Space + Science"-Team** unterhalten mit dem **Global Observation and Biodiversity Information Portal GLOBIL** (globil-panda.hub.arcgis.com) auch eine Plattform, die allgemeinen Zugang zu zahlreichen **Geoinformationsdatensets** und auf diesen basierenden **Applikationen, Dashboards** und **interaktiven Karten** bietet. Die Datensets und Applikationen, Dashboards und Karten wurden i. d. R. von **WWF**-Gruppen und Programmen erhoben bzw. programmiert. Manche der Apps und Dashboards bieten **übersichtsartige** und **kartenbasierte Zusammenstellungen** von **Informationen und Statistiken**, die teilweise in Fast-Echtzeit geupdated werden (z. B. „Global Fire Hotspots Dashboard", „Entwaldungstrends und Hotspots", „Forest Landscape Integrity Index"). Andere sind **Planungs- und Managementtools** für den **Naturschutz** (z. B. kann das *High Conservation Value Mapping for Congo Basis Forests*-Tool verwendet werden, um Schutzgebiete im Kongo zu priorisieren und zu planen). Die GLOBIL-Daten werden auch verwendet, um Habitatveränderungen, z. B. im *Kavango-Zambezi Transfrontier Conservation Area* in Ostafrika, zu monitoren, und Meeresschutzgebiete zu planen (Shapiro et al. 2015).

Geodaten zum Monitoring von Flora und Fauna werden in kleinerem Maßstab auch von anderen deutschen NGOs eingesetzt. Beispielsweise setzte der **BUND** – unterstützt durch *citizen scientists* in Köln das *open-source* **Geoinformationssystem QGIS** ein, um Hecken und Brutstätten von Fledermäusen, Spatzen und Mauerseglern zu kartieren. Ziel war der Aufbau eines umfangreicheren und präziseren Verständnisses und Datenbestand zum Zustand der städtischen Ökosysteme (BUND n. d. a, b). Dieses letzte, wie manche der vorherigen Einsatzbeispiele, unterstreicht auch die logische Nähe zwischen dem Einsatz von (Big) Data zum Monitoring von Tierbeständen und Ökosystemen einerseits, und zum Zweck der ökologisch nachhaltigen Raumplanung andererseits, welche nachfolgend weiter besprochen wird. Feingranulare, geographisch aufgeschlüsselte Verständnisse der Zustände, Funktionsweisen und Bedarfe von Tieren wie Ökosystemen sind notwendige Grundlage für ökologisch sensitive Raumplanung.

Daten zu Ökosystemen und Tiervorkommen werden weltweit von vielen zehntausenden Einzelpersonen (Ehrenamtliche, Hobby-Naturkenner) und Forschungsgruppen generiert. Bisher lagern diese aber häufig in Computer-Laufwerken und privaten Aufzeichnungen einzelner Forschungsgruppen und Personen. Um diese Datenschätze allgemeiner und in standardisierter Form zugänglich zu machen, unterhalten mehrere NGOs online-Plattformen, die als Datenrepositorien dienen, Datenerhebung standardisieren und vereinfachen und - insbesondere - das Teilen von Daten ermöglichen sollen. Z. T. werden auch analytische Tools angeboten.

Der **WWF** unterhält z. B. neben der bereits erwähnten Plattform **Wildlife Insights**, die als globales Repositorium für Kamerafallenbilder dient, in der jede und jeder Bilder hochladen, sie dort auswerten und teilen kann, auch die Webapplikation **MERMAID** (*Marine Ecological Research and Monitoring Aid*), in Kooperation mit der Wildlife Conservation Society und der University of California Santa Barbara. **MERMAID** richtet sich an Meeresbiolog:innen und besteht aus einer App zur standardisierten Erhebung, Eintragung und automatisierten Prüfung von Daten aus Unterwasser-Untersuchungen (v. a. von Riffen), einem Dashboard, mit dem Daten aus verschiedenen Erhebungen visualisiert und verglichen werden können, sowie ersten Tools zur statistischen Auswertung (z. B. automatisierte Berechnung von Fisch-Biomasse). Datensätze können auch geteilt werden. Im ersten Jahr (2019) wurden Daten von fast 10.000 Transsekten von mehr als 1.200 Orten hochgeladen (WWF 2019b, WCSNewsroom 2020).

Eine mehr auf ehrenamtliche und Hobby-Naturbeobachter ausgerichtete Plattform betreibt der **NABU** in Form der **Naturgucker** (naturgucker.de) Datenbank. Die gegenwärtig knapp 95.000 Aktiven (Stand April 2021) können Bilder und Beobachtungen von Flora und Fauna hochladen, welche der NABU wiederum zu Naturschutzzwecken (z. B. Gutachten) nutzt. Es bestehen Schnittstellen zu behördlichen Datenbanken der Länder. Bis April 2021 waren fast 12,5 Millionen Beobachtungen eingetragen worden (NABU n. d.).

5.5.2.2 Analyse und Management von Ressourcenausbeutung und Liefer- und Wertschöpfungsketten

Die identifizierten Anwendungen von Big Data und Datenwissenschaft zur Analyse und Management der Ausbeutung von natürlichen und fossilen Ressourcen und ihrer Lieferketten fokussieren sich primär auf Fischerei, Holzgewinnung, Agrarprodukte (Palmöl, Soja, Fleisch), und Kohle sowie sonstiger Bergbau. Bei den Anwendungen geht es einerseits darum, diese Industrien, ihre Praktiken, Liefer- und Wertschöpfungsketten transparent zu machen, um Handlungsempfehlungen und Forderungen an Regierungen und Konzerne formulieren zu können, mitunter begleitet von politisch-medialen Kampagnen. Konkret geht es hier meist darum, die tatsächlichen Prozesse der Ressourcengewinnung (z. B. wo/wie und von wem Fisch gefangen wird) nachzuzeichnen und herauszuarbeiten, wie die jeweiligen Industrien und Wertschöpfungsketten strukturiert sind (Eigentümerstrukturen, Lieferantenbeziehungen, Handelsflüsse, Finanzierung); Illegalität aufzudecken (Menschenrechtsverletzungen, Missachtung von Quoten, Regularien und Lizenzen, etc.) sowie die Präsenz „schmutziger“ bzw. „gewaschener“ Produkte in westlichen Lieferketten nachzuweisen.

Über Analyse und Ableitung von an Konzernen und Regierungen gerichtete Empfehlungen hinaus entwickeln manche NGOs auch Prozesse und Tools zum datenbasierten Management natürlicher Ressourcen, die für die betroffenen Communities (z. B. Fischer) oder Industrien (z. B. Soja-Lieferkette) gedacht sind. Hier geht es weniger darum, über Enthüllungen und Kampagnen politischen Druck für Wandel aufzubauen, als vielmehr die Fähigkeiten der betroffenen Industrien und Communities zu stärken, natürliche Ressourcen nachhaltiger zu nutzen.

Fischerei

Ein Beispiel für den Einsatz von Big Data zur Analyse und Aufdeckung von illegalem, nicht gemeldetem und unreguliertem Fischfang (IUU; *illegal, unreported, unregulated*) – sowie grober Menschen- und Arbeitsrechtsverstößen – ist der **Greenpeace** *Turn the Tide*-Report. Für diesen wurden fast 200.000 Funkdatensendungen des **Automatischen Schiffsidentifizierungssystems AIS** (*automatic identification system*) und weiteren Schiffspositionsdaten ausgewertet, um IUU-Fischfang und Menschenrechtsverstöße durch die thailändische Hochseeflotte im Indischen Ozean sowie die zugrundeliegenden Eigentümerstrukturen und Lieferketten (einschließlich Lieferbeziehungen zu westlichen

Firmen) aufzuzeigen (Greenpeace 2016). Durch die Auswertung der Positionsdaten konnte gezeigt werden, dass einzelne Schiffe – die spezifischen Firmen und Eigentümern zugeordnet werden konnten, welche in Lieferantenbeziehungen zu westlichen Firmen standen – illegalen Fischfang betrieben. Anzumerken ist, dass der Report keineswegs nur auf Big Data-Analysen der Positionsdaten beruht. Diese bilden eine wesentliche Beweisgrundlage; er stützt sich aber auch auf Interviews, Analysen von Branchen- und Handelsregistern sowie „undercover Methoden" (sic) (Greenpeace 2016, S. 8). Hier ersetzt Big Data also nicht so sehr herkömmliche analytische Methoden, als dass es sie komplementiert, ermöglicht dabei aber auch neue Erkenntnisgrade (z. B. den Nachweis, dass Boote Fischfang in Meeresgebieten betreiben, wo sie keine Fischereierlaubnis haben).

Auch der **WWF** setzt **AIS-Daten** zur **Erkennung von IUU-Fischfang** ein, sieht das größte Potenzial von AIS aber in Kombination mit anderen Datenquellen (z. B. **Satellitenaufnahmen**), da nicht alle Fischereischiffe AIS-Transponder tragen, und sie diese auch ausschalten können (WWF n. d. a).

Der **WWF** setzt Big Data auch zur **Aufdeckung von Handel mit illegal gefangenem Fisch** ein. Dazu hat der **WWF** gemeinsam mit der NGO TRAFFIC und der Technologiefirma Hewlett-Packard das Webtool **Detect IT: Fish** (https://detect.trade/) entwickelt. Mit **Detect IT** können UN-Handelsdaten automatisiert erhoben und analysiert werden, um Diskrepanzen zwischen Im- und Exportströmen zu identifizieren, die Hinweise auf illegale/nicht gemeldete Fischfänge sein könnten. Sehr große Datenmengen, deren Analyse sonst extrem zeitaufwändig wäre, können so rasch untersucht werden. Diskrepanzen allein sind kein Beweis von Handel mit illegal gefangenem Fisch, erlauben aber Zollbeamten, NGOs und anderen gezielter vorzugehen. Begrenzte Personalressourcen können so effektiver eingesetzt werden. Laut **WWF** war das Tool „zentral" für seine Arbeit in Japan und Pakistan, um illegalen Thunfisch- und Haifischflossenhandel zu bekämpfen. Die NGO hat auch afrikanische Zoll- und Fischereibeamten im Einsatz des Tools ausgebildet (Our Ocean 2019; WWF 2017a, 2018).

Der WWF war auch Partner im **Common Oceans ABNJ**[68] **Tuna Project** der **UN Food and Agriculture Organisation (2014-2020)**[69]. Als Teil dieses Projektes wurden **on-board Kameras** und andere **elektronische Monitoring Systeme** auf Thunfischbooten in Ghana und Fiji installiert, so dass Einhaltung von Regulationen und tatsächliche Fänge und Beifänge kontinuierlich gemonitort werden können. Im **Common Oceans**-Projekt erfolgte die Auswertung der so geschossenen Videos händisch, was allerdings mit relativ großem Zeitaufwand verbunden ist. Algorithmen zur maschinellen (KI-basierten) Auswertung solcher Monitoring Videos sind daher in Entwicklung (Stobberup et al. 2021).

Die **TNC** führt ähnliche Projekte durch, sowohl in den USA – wo die **TNC** auch Algorithmen zur **KI-basierten Videoauswertung** entwickelt – wie in Mikronesien, wo **TNC** eng mit staatlichen Behörden kooperiert, um bis 2023 die gesamte Thunfischflotte mit tracking Systemen wie on-board **Kameras**, **GPS-Ortung** und weiteren Sensoren auszurüsten, um **kontinuierliches Monitoring** zu ermöglichen (TNC 2018a, Gaskill 2018). TNC entwickelt auch **einfache KI-basierte Tools** um **Fangdaten in fast-Echtzeit** zu erheben. So sollen **Datengrundlagen für bislang datenarme Fischereien** geschaffen und eine nachhaltige Bewirtschaftung ermöglicht werden.

[68] ABNJ steht für *Areas Beyond National Jurisdictions* – (Meeres)gebiete außerhalb nationaler Gerichtsbarkeit (d. h. weiter als 200 Meilen von der Küste des jeweiligen Nationalstaats entfernt.

[69] Der offizielle Name des Projektes lautete „Sustainable management of tuna fisheries and biodiversity conservation in the ABNJ" und lief von 2014 bis 2020, mit einer Verlängerung in 2021. Die Überführung in eine zweite Projektphase ab 2022 war zumindest angedacht (Stand Sommer 2020) (FAO 2020).

Ein solches Tool ist die Applikation „**FishFace**“, welche mit der schwedischen Firma Refind Technologies entwickelt wird. Mit ihr soll die Art der gefangenen Fische automatisiert per Bilderkennung erkannt und in Datenbanken registriert werden. Ein weiteres Tool ist das „**Smart Weighting Scale**“-System, mit der die Größen gefangener Fische automatisiert gemessen und in eine Datenbank hochgeladen werden, verknüpft mit Daten zum Fangort (GPS-Position) und -schiff. Beide Tools werden in Indonesien getestet (TNC n. d. a; Feldkamp 2016).

Über die reine Erhebung und Auswertung von Fischereidaten hinaus, hat **TNC** auch das **Entscheidungssystem FishPath** (www.fishpath.org) als Webapplikation entwickelt, um Fischenden und anderen Stakeholdern zu helfen, datenbasierte Entscheidungen für das nachhaltige Management ihrer Fischbestände zu treffen. FishPath ist vor allem für datenarme Fischereien im Globalen Süden gedacht, und soll der jeweiligen Community helfen, relevante fischereibiologische wie sozioökonomische und Governance-Informationen und Datenquellen (einschließlich qualitativer Daten) zu erschließen und so fundierte Entscheidungen zu treffen. FishPath wird mittlerweile in 12 Ländern eingesetzt (TNC 2019a., Revenga 2016).

Das ICIJ veröffentlichte 2012 eine dreiteilige Serie von großen Investigativrecherchen zu Überfischung und illegaler Fischerei (Looting the Seas I, II and III; ICIJ 2012a, b, c). Unter anderem konnten die Journalist:innen zeigen, dass Quoten und Regulierungen in wichtigen globalen Fischereien wie Blauflossenthun und pazifische Anchovetta systematisch missachtet wurden, regelmäßige Rechtsbrüche durch europäische Fangschiffe keine Auswirkungen auf die Subventionierung eben dieser Schiffe und Betreiberfirmen hatten, und zum Teil milliardenschwere Schwarzmärkte für illegal gefangenen Fisch existierten. Diese Recherchen basierten Teils auf der automatisierten wie händischen Auswertung von (meist zugespielten) Datensets über Subventionen und Fänge sowie hunderten von Interviews, Dokumentenauswertungen und sogar Analysen von Fisch-DNA. Forst- und Landwirtschaft (ICIJ 2011, 2012d, 2012e).

Um die Entwicklung nachhaltigerer Forst- und Landwirtschaft zu unterstützen, setzen die NGOs Big Data und Datenwissenschaft auf ähnliche Arten ein wie bei der Fischerei. Ähnlich zum *Turning the Tide*-Report, beispielsweise, wertete **Greenpeace** nach den verheerenden Waldbränden in Indonesien in 2019 **Satelliten-** und anderen **GIS-Daten** sowie Daten zu Konzessionsgrenzen von **Palmölplantagen**, Eigentümer- und Konzernstrukturen und Lieferbeziehungen aus, um Feuerhotspots individuellen Palmöl-Konzessionen und Produzenten zuzuordnen und die Lieferbeziehungen zwischen großen westlichen Konsumgüter- und Nahrungsmittelproduzenten und vielen der am stärksten in die Feuerkrise verstrickten Palmölproduzenten aufzuzeigen (Greenpeace 2019a).

Um **Handel mit illegal geschlagenem Holz** einzudämmen, kooperiert der **WWF** mit der bereits genannten NGO TRAFFIC und Datenwissenschaftler:innen der Virginia Technology University (USA). Gemeinsam entwickeln sie ein KI-basiertes Software Tool, mit dem – ähnlich wie bei **Detect IT: Fish** – große Mengen von **Handelsdaten, IUCN Rotlisten- und CITES-Daten** automatisiert zusammengeführt und ausgewertet werden können, um anormale und verdächtige Im- und Exporte von CITES- und IUCN-gelisteter Hölzer zu identifizieren. Das Tool soll Zoll- und Polizeibehörden bei der **Rechtsdurchsetzung** unterstützen; Ziel ist, dass verdächtige Lieferungen bereits an der Grenze, in Echtzeit, erkannt werden können (Datta et al. 2020; WWF n. d. b, Micale 2020).

Um **Abnehmer landwirtschaftlicher Produkte** wie **Palmöl**, die in Gebieten mit hohem **Risiko illegaler Entwaldung** angebaut werden, bei der **Kontrolle ihrer Lieferketten** und Staaten bei der **Rechtsdurchsetzung** zu unterstützen, entwickelt der **WWF** zusammen mit Global Forest Watch, das **Jurisdictional Risk Assessment** Tool. Das Tool verwendet öffentlich verfügbare

Satellitendaten, um einen Risiko- (Wahrscheinlichkeits-) Score für illegale Entwaldung auf Distriktebene in Indonesien zu kalkulieren. Das Tool ist soweit für die indonesische Palmölproduktion pilotiert worden, und momentan als **Excel-basierte Demo-Version** verfügbar. Der **WWF** betont, dass es traditionelle Informationsquellen – insbesondere das Wissen der Akteure vor Ort – nicht ersetzen, sondern komplementieren und unterstützen soll. Es ist *nicht* als alleiniges Entscheidungsgrundlage für Einkaufs- und Sourcing-Entscheidungen gedacht (WWF 2017b).

Ein ähnliches Tool ist **Agroideal.org**, welches **TNC** gemeinsam mit 18 brasilianischen und internationalen Institutionen, Handelshäusern, Banken, NGOs und anderen Akteuren der südamerikanischen Soja- und Viehwirtschaft als kostenlose Webapplikation entwickelt hat. Agroideal nutzt **Geodaten** und andere **sozioökonomische und räumliche Informationen** um **ökologische und soziale Risiken von Einkaufs- und Investitionsentscheidungen** für Soja und Rindfleisch vorherzusagen, und Produktionsflächen mit den geringsten Risiken – insbesondere bereits entwaldete Flächen – zu identifizieren. So soll das Risiko, neue und illegale Entwaldung zu forcieren, reduziert werden (TNC 2018b).

Kohlebergbau und Verstromung sowie sonstiger Bergbau

Mit der **Global Coal Exit List** (GCEL; coalexit.org/database) führt **Urgewald** seit 2017 eine Datenbank, die versucht, die globale Kohleindustrie und ihre gesamte Wertschöpfungskette umfassend abzubilden. Geführt werden nicht nur Kohlebergbauunternehmen und Kraftwerksbetreiber, sondern auch Transport- und Logistikfirmen, Maschinen- und Anlagenbauer sowie Ingenieurs-, Bau- und andere Dienstleister mit signifikantem Anteil an der weltweiten Kohleproduktion, Transport und Verstromung, sowie konzerneigene Finanzunternehmen. Auch Firmen, die Kohle in andere Produkte und Energieträger verarbeiten (Coal to Gas/Liquids) werden geführt. Die verschachtelte und eher intransparente reale Struktur der Kohleindustrie und -Wertschöpfungskette wird so sichtbar.

Die Datenbank enthält Informationen zur jährlichen Kohleförderung bzw. installierten Kohlestromerzeugungskapazität und Expansionsplänen der einzelnen Firmen, dem Kohleanteil am Gesamtumsatz und der Gesamterzeugungskapazität, sowie ihre *financial identifier* (ISIN-Nummer, Bloomberg ticker). Bei Erstveröffentlichung 2017 umfasste die Datenbank etwa 1.900 Firmen und Tochterfirmen; mittlerweile ist sie auf knapp unter 3.000 Unternehmen angewachsen (Stand Mai 2021). Sie wird primär mittels „händischer" Recherche von Primär- und Sekundärdaten gepflegt und erweitert (Jahresberichte, Firmenwebseiten, Präsentationen und Analystenberichte, Energie- und Bergbaudatenbanken, u. a. m.), da herkömmliche Datenbankprodukte (z. B. Bloomberg) meist nicht die in der Global Coal Exit List (GCEL) geführten Daten in der nötigen Feingranularität enthalten (Urgewald 2017, 2018).

Die GCEL gibt Investoren ein umfassendes, feingranulares Tool an die Hand, um ihre Portfolios relativ vollständig von Firmen mit erheblichem Kohlegeschäft zu bereinigen. Laut **Urgewald** wird die Liste von über 400 User:innen aus dem Finanzsektor verwendet (Urgewald 2021). Andererseits dient die CGEL als Faktengrundlage für die politische Arbeit von **Urgewald** (Divestment-Kampagnen, Lobbyarbeit u. ä.). So konnte **Urgewald** zeigen, dass der tatsächliche Kohle-Aktienbesitz des Norwegischen Pensionsfonds 32 Mal größer war als von diesem angenommen, und so Entscheidungen des Norwegischen Parlaments zu seiner Investmentpolitik nachhaltig beeinflussen (Urgewald 2017).

Auch das ICIJ hat Bergbau-Praktiken untersucht. Die Investigativerecherche Fatal Extraction untersuchte die Aktivitäten von australischen Bergbaufirmen in Afrika. Auf Grundlage von umfangreicher Datenanalyse (vor allem von Firmenberichten) sowie hunderten Vor-Ort-Interviews konnten die Journalist:innen zeigen, dass australische Firmen in einem wesentlich

größeren Maßstab als angenommen im Bergbau in Afrika engagiert waren, und dass sie oft für unsichere Arbeitsbedingungen und Umweltzerstörung verantwortlich waren.

5.5.2.3 Ökologische Raumplanung

Die Aktivitäten im Bereich Raumplanung lassen sich grob zwei Feldern zuordnen. Zum einen, die Identifizierung, Planung und Erweiterung möglicher neuer sowie bestehender Naturschutzgebiete; zum anderen, die bessere Abstimmung menschlicher Raumnutzungsbedarfe (Fischerei, Landwirtschaft, Infrastruktur- und Städtebau u. a. m.) mit dem Schutz von Ökosystemen. Grundlage für beide Felder sind zum einen meist Daten aus Geographischen Informationssystemen (GIS); zum anderen ein tiefes und i. d. R. datenbasiertes Verständnis der Funktionsweisen, Bedarfe, Zustände und Verbreitungen der betroffenen Ökosysteme und Flora- und Fauna-Arten sowie der geplanten oder bereits laufenden menschlichen Raumnutzung. Insofern haben die hier besprochenen Aktivitäten oft enge Berührung mit den in vorne besprochenen Anwendungen von Big Data.

Planung von Schutzgebieten

Ein Beispiel für den Einsatz von **Satellitendaten** zur **Planung neuer und Optimierung bestehender Naturschutzgebiete** ist das **BUND**-geführte EU-Projekt „DaRE to Connect“ (2018 – 2021). In diesem werden Satellitendaten aus dem EU-Erdbeobachtungsprogramm Copernicus genutzt, um grenzüberschreitende Biotopverbünde und ökologische Korridore im Donauraum entlang des „Grünen Bandes“/ehemaligen Eisernen Vorhangs zu ermitteln. Die Auswertung und Verarbeitung der Satellitendaten übernehmen die Projektpartner:innen Umweltbundesamt Österreich und Universität Wien. Weitere Partner:innen erfassen vor Ort, wo mögliche Barrieren (z. B. Zäune, Straßen) bestehen. Hochtechnische Ansätze zur Informationsgewinnung machen also auch hier niedrigtechnische Ansätze und lokales Wissen nicht überflüssig; vielmehr geht es um die geschickte Kombination unterschiedlicher Ansätze. Auf Grundlage der so erfassten Daten werden Konzepte und Empfehlungen entwickelt, um identifizierte Habitate ökologisch durchlässiger zu gestalten. Besonderes Augenmerk kommt dabei auch dem Schutz von Ökosystemdienstleistungen zu. Die Konzepte und die Daten sollen Anwender:innen vor Ort (Gemeinden, Planern, u. a.) zugänglich gemacht werden (Interreg 2019; BUND 2019).

Ähnliche Projekte verfolgen **Greenpeace** und der **WWF**. Gemeinsam mit Forscher:innen der Universitäten York und Oxford hat Greenpeace auf Basis von **GIS, fischereibiologischen, ozeanographischen, biogeographischen** und **sozio-ökonomischen Daten** ein Konzept für ein weltumspannendes Netz von Hochseeschutzgebieten entwickelt, dass 30 % der weltweiten Ozeanfläche beinhalten würde (Greenpeace 2019b). Der **WWF** hat das **ArcNet**-Konzept für ein Netzwerk von Schutzgebieten, das die gesamte Arktis umfassen soll, ausgearbeitet, ebenfalls auf Grundlage von **GIS** sowie **biologischen** und **sozioökonomischen Daten**. **ArcNet** beinhaltet auch die laut **WWF** umfassendste **Datenbank** zu arktischen Biodiversitätsvorkommen (WWF 2021). Wie oben besprochen, setzt der WWF die umfangreichen Geodaten und Applikationen, die auf seiner GLOBIL-Plattform zusammengeführt sind, allgemein auch zur Planung von Schutzgebieten ein.

Ökologisch-verträgliche Planung von Städten, Raumnutzung und Infrastrukturausbau

TNC ist in verschiedenen Projekten zur ökologisch-verträglicheren **Planung von Städten, Raumnutzung** (einschließlich **Nutzung natürlicher Ressourcen**) und **Infrastrukturausbau** aktiv. Diese Projekte drehen sich teils um städtische, teils um ländliche Räume, sowie Meeresgebiete. Ein Schwerpunkt liegt in der Entwicklung von oft **kartenbasierten digitalen Tools und Webapplikationen** – ähnlich etwa dem **EnviroAtlas** der US Environmental Protection Agency – die Dritte bei der Planung ihrer Bau- oder sonstigen Nutzungsvorhaben

unterstützen und eine ökologisch-sensible Abstimmung von menschlichen und ökologischen Bedarfen ermöglichen sollen. Besondere Aufmerksamkeit kommt dabei der **Identifikation und Nutzung von Ökosystemdienstleistungen** zu. Gleichzeitig ist **TNC** auch in lokalen Projekten aktiv, die spezifische Bedarfe einzelner Städte adressieren.

Ein Beispiel für ein **Stadtplanungsprojekt** ist der „Living Melbourne Plan", den **TCN** gemeinsam mit der Stadt Melbourne (Australien) entwickelte. Mittels Geo-, Biodiversitäts-, geophysischen und sozioökonomischen Daten wurden die gesamten bestehenden Grünflächen- und Baumbestände der Metropolregion Melbourne kartiert, und die auf ihnen beruhende **Biodiversität** und **Ökosystemdienstleistungen** (geistige und körperliche Gesundheit der Anwohner:innen, Hochwasserschutz, Kühlung, u. a. m.) und relevante **geophysische und sozioökonomische Informationen** (z. B. Hitzeinseln, Durchschnittseinkommen und *Relative Social Disadvantage*-Scores der Bezirke) analysiert. Auf dieser Basis wurde eine Strategie entwickelt, um weitere Rückgänge der Baumbestände und Grünflächen zu stoppen, Waldflächen zu vergrößern und Lebensqualität zu steigern. Der Fokus dabei lag sowohl auf Naturschutz (z. B. Habitatskonnektivität, Biodiversität) wie der Stärkung und Sicherung gleichen Zugangs zu Ökosystemdienstleistungen (TNC 2019b, 2019c, 2020a).

In einem weiteren **Stadtplanungsprojekt** der **TNC** geht es um das **Management von Sturmwasser-Abflussteichen**. Städtisches Regenwasser vermischt sich leicht mit Ölspuren, Reifenabrieb, Sedimenten und anderen Verschmutzung; sein Abfluss stellt daher ein Umweltproblem dar. Eine Behandlungsmethode sind Abflussteiche, aus denen das Wasser langsam versickern und abgegeben werden kann. Längerer Rückhalt des Wassers verbessert seine Qualität, da mehr Nähr- und Schwebestoffe im Teichboden festgehalten werden. Vor allem bei Starkregen droht jedoch Überflutung. **TNC** kooperiert daher mit der Technologiefirma OptiRTC und staatlichen und privaten Stellen im US-Bundesstaat Maryland, um Abflussteiche mit Sensoren und automatisierter Regelung auszustatten. Wasserstand, Abflussgeschwindigkeit und Wettervorhersagen werden überwacht und die Abflussgeschwindigkeit in Reaktion auf Wetterveränderungen automatisch angepasst (TNC 2019d, Rischar 2020; Maryland DOT 2019).

Im Bereich **Infrastrukturausbau** hat **TNC** die kartenbasierte Webapplikation **Site Win Right**[70] entwickelt, um **ökologisch-sensiblen Windenergie-Ausbau** zu fördern. Site Wind Right verwendet GIS-Technologie und mehr als 100 Datensets zu Windressourcen, Fauna- und Flora-Habitaten, bestehenden Infrastrukturen und Landnutzung, um Standorte mit dem niedrigsten ökologischen Impact und der höchsten Windausbeute zu identifizieren. Das Tool deckt momentan nur die 17 US-Bundesstaaten mit den höchsten Windenergiepotenzialen ab. **TNC** hat ähnliche Arbeit allerdings auch für andere Bundesstaaten sowie Kroatien, Kolumbien, Indien und Gabon durchgeführt (Hise et al. 2020, TNC 2020b TNC 2019).

Ein wesentlich größeres Planungstool, welches **TNC** mitentwickelt hat, ist das **Mid-Atlantic Ocean Data Portal** (https://portal.midatlanticocean.org/). Es beinhaltet über 5.000 Kartenschichten mit administrativen, fischerei- und meeresbiologischen, fischereiwirtschaftlichen, ozeanographischen, geophysischen/geochemischen, sozioökonomischen und militärischen Daten (z. B. Sperrgebiete), und anderen mehr, sowie umfangreiche Tools zur Visualisierung und räumlichen Analyse. Das Data Portal wird von **TNC** gemeinsam mit dem Ecotrust und den Monmouth- und Rutgers-Universitäten betrieben, im Auftrag eines Zusammenschlusses mittelatlantischer US-Bundesstaaten. Es soll ihnen sowie vielen weiteren Stakeholdern helfen, die Nutzung maritimer Ressourcen sowie Klimawandelsadaption, Ausbau Erneuerbarer Energien und Naturschutz zu koordinieren und

[70] www.nature.org/sitewindright; https://www.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=41b780468606415e8dcee36b39045d79.

dient als wesentliches Planungstool. Beispielanwendungen sind etwa Fischerei- und Schutzgebietmanagment und -bestimmung oder ökologisch sensible Standortplanung für erneuerbare Energien und Fahrrinnen (Fischereiressourcen, Schutzgebiete, Meersäuger). Laut **TNC** und Stakeholder-Aussagen liegt der zentrale Mehrwert des Portals darin, eine „holistischere, ökosystem-basierte" Planung zu ermöglichen, bei der Wechselwirkungen und Abhängigkeiten zwischen den verschiedenen Tierarten und Ökosystemen, und den vielfältigen menschlichen Nutzungen des Ozeangebiets, besser Rechnung getragen werden kann. Insbesondere verschafft es überhaupt erst einen (relativ) vollständigen Überblick über die vielfältigen, parallel ablaufenden Nutzungen des Ozeans und ihrer Wechselwirkungen und ökologischen Impacts. Darüber hinaus dient es als gemeinsame, von allen Stakeholdern anerkannte und transparente Wahrheitsquelle (*single source of truth*), was Entscheidungs- und Kompromissfindungen vereinfacht und legitimiert (Goldfarb 2015, TNC 2020c, Mid-Atlantic Ocean Forum 2019).

Mit dem **Natural Solutions Toolkit** (https://coastalresilience.org/natural-solutions/toolkit/) bietet **TNC** eine noch breitere Palette von (i. d. R.) **geodaten- und kartenbasierten Webapplikationen für Raumplanung und Schutzgebietsmanagement**. Die Applikationen sollen Raumplaner:innen, betroffenen Communities, Naturschützer:innen und anderen Stakeholdern bei der Analyse der lokalen und regionalen Folgen des Klimawandels sowie der Entwicklung von Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen helfen. Der Fokus dabei liegt auf lokalen Ökosystemdiensten, so dass Klimaschutz und -anpassung mit Renaturierung und Naturschutz einhergehen kann (TNC 2017).

5.5.2.4 Messung und Modellierung von Schadstoffemissionen

NGOs setzen die Analyse großer Datenmengen auch zunehmend ein, um Umweltbelastungen und Gesundheitsschäden durch Schadstoffemissionen von Fabriken, Kraftwerken, Verkehr und anderen Quellen großflächig zu messen, modellieren und dokumentieren. Big Data kann hier eine neue Transparenz ermöglichen, die wiederum das Bewusstsein für Umweltbelange in der breiten Öffentlichkeit und bei politischen und wirtschaftlichen Entscheidungsträgern erhöhen kann. Dabei scheinen sich die NGO-Aktivitäten vor allem auf die Bereiche Luftverschmutzung und, zu einem etwas geringerem Grad, auf chemische Belastung in anderen Medien (Wasser, Boden, Konsumprodukte) zu konzentrieren. Es hat auch Aktivitäten im Bereich Plastikverschmutzung gegeben. Für diese Analysen kooperieren die NGOs meist mit Universitäten oder greifen auf *citizen scientists* zurück.

Luftverschmutzung

Insbesondere **Greenpeace** hat vielfältige Studien durchführen lassen, um die gesundheitlichen und wirtschaftlichen Kosten von Luftverschmutzung durch Kohlekraftwerken und Verkehr zu quantifizieren. Beispielsweise legten Expert:innen von Greenpeace und dem Centre for Research on Energy and Clean Air (CREA) 2020 die (laut Eigenangaben) erste Berechnung der weltweiten wirtschaftlichen Kosten und Gesundheitsfolgen von Luftverschmutzung durch Feinstaub, Ozon und Stickoxide vor. Hierzu wurden bestehende Datensets und Kartierungen zur Oberflächenkonzentration der Schadstoffe anhand neuer Erdobservationsdaten der *Terra*- und *Aqua*-Satelliten der NASA skaliert, und dann mit Daten zu Bevölkerung und Gesundheitsauswirkungen kombiniert (Greenpeace 2020). In einem ähnlichen Projekt verwendete Greenpeace Daten des **Sentinel-5-Erdbeobachtungssatelliten** der **European Space Agency (ESA)** in Kombination mit der **EDGAR** Datenbank (Emissions Database for Global Atmospheric Research) des EU Joint Research Centers, um die weltweit größten Quellen von Stickoxid-Emissionen zu identifizieren, heruntergebrochen auf einzelne regionale Hotspots, Sektoren und Firmen (Greenpeace 2018).

Auch der **BUND** hat sich an großangelegten Messungen von Luftverschmutzung beteiligt. So war der **BUND** Projektpartner im EU-geförderten „hackAIR"-Projekt (https://www.hackair.eu/), in dem *citizen scientists* mit stationären und mobilen (App-basierten) Messsensoren ausgestattet, und eine (offen einsehbare) Datenbank und Datensatz mit über 596.000 Feinstaubmessungen aus verschiedenen europäischen Ländern generiert wurden. In kleinerem Umfang nimmt auch die **DUH** stationäre Messungen von Stickoxiden vor (oft in Kooperation mit citizen scientists). Im „**no2airpollution**"-Projekt (https://www.duh.de/no2airpollution/), etwa, wurden Messungen mit einfach zu bedienenden und relativ preisgünstigen Diffusionsrohren in Deutschland und fünf weiteren Ländern vorgenommen, um Mängel im amtlichen Messwesen nachzuweisen.

Chemische Belastungen und Bedrohungen in weiteren Medien

Greenpeace hat auch öffentlich verfügbare Daten und GIS-Kartierungstechnologie verwendet, um die genauen Standorte von 33.625 Chemiewerken in China zu kartieren, und ihre räumliche Nähe zu dicht besiedelten Gebieten aufzuzeigen (Greenpeace 2019c).

Der **BUND** (wie auch das UBA) ist als Projektpartner im EU-geförderten Projekt **AskREACH** beteiligt, in dem eine Datenbank und ein Materialdatensystem zur Verwendung von gefährlichen chemischen Stoffen in Verbraucherprodukten zusammengestellt wird. Mittels einer App können Verbraucher entsprechende Informationen von Herstellern anfordern, die dann automatisch in die Datenbank eingepflegt werden. Der **BUND** hatte bereits 2016 ein ähnliches Projekt mit der „ToxFox"-App durchgeführt, und dabei Daten zu Produkten von über 3.000 Herstellern gesammelt (BUND 2017, BUND n. d.).

Plastikbelastung

Greenpeace (in Kooperation mit anderen NGOs und Initiativen) hat citizen science auch eingesetzt, um Daten zur weltweiten Plastikbelastung zu erheben. Im Rahmen der Initiative „Brand Audit" in 2018, sammelten knapp 10.000 Freiwillige in 42 Ländern insgesamt 187.851 Plastikstücke, die dann auf ihre Konsumgütermarke (Pepsi, Mars, etc.), Hersteller und Produkt- und Verpackungstyp (Getränk, Haushaltsprodukt; PET, PVC, etc.) ausgewertet wurden, um ein genaueres Bild der Zusammensetzung des weltweiten Plastikmülls sowie der beteiligten Firmen zu erhalten (Priestland 2019).

5.5.3 Diskussion zu Transformationswirkung und Hemmnissen

5.5.3.1 Transformationswirkung

Umwelt-NGOs wollen mit ihren Tätigkeiten meist per Definition eine Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft hin zu einem nachhaltigeren, umweltfreundlichen Modell erwirken. Wie transformativ wirken Big Data und Datenwissenschaft dabei? Bei den identifizierten Anwendungen geht es meist darum, Daten und Informationen zu generieren und sie politischen Entscheidungsträgern, Medien, Wissenschaftler:innen, wirtschaftlichen Akteuren und anderen Stakeholdern sowie der Öffentlichkeit bereitzustellen (Stufe 1 auf der Transformationsskala). Dies erfolgt in Form von klassischen Berichten, Empfehlungen, Vorschlägen und Konzepten (z. B. Pläne für Schutzgebiete); zunehmend aber auch in Form offener Datensätze und Plattformen zum Datenteilen sowie Web- und mobilen Applikationen mit teils umfangreichen Tools zur Analyse und Unterstützung von Entscheidungsprozessen. In der „höchsten" Form geht es nicht nur darum, Daten und Analysen bereitzustellen, sondern Stakeholder im Einsatz neuer Management-Strategien zur Schonung natürlicher Ressourcen auszubilden und ihnen entsprechende technische Tools an die Hand zu geben.

Die viel größere Verfügbarkeit von Daten und Auswertungstools ermöglicht NGOs, ein akkurateres, feingranulareres und umfassenderes Bild der Welt zu zeichnen als bisher oft möglich war. Die *tatsächlichen* Zustände von Ökosystemen und Umweltbelastung können leichter erfasst und belegt werden. Bessere Datenlagen und neue, automatisierte Tools zur Datengenerierung und Auswertung versprechen auch ein umfassenderes, kontinuierlicheres und verlässlicheres Monitoring von menschlichen Aktivitäten (Hochseefischerei, Forst- und Landwirtschaft in entlegenen Gebieten). Die *tatsächlich* praktizierten Formen der Ressourcenausbeutung und Strukturen von Wertschöpfungsketten werden aufgezeigt. NGOs können Missstände so leichter identifizieren und beweisen; Staaten – so sie wollen – Recht verlässlicher durchsetzen, etwaige regulatorischer Lücken schließen, und bessere Anreizstrukturen für die betroffenen Akteure schaffen; und Firmen, Industrien und Communities können ihre Aktivitäten besser selber kontrollieren.

Vorausgesetzt, dass die so erzielte neue und bessere Informationslage von Entscheidungsträger:innen und/oder der breiten Öffentlichkeit berücksichtigt wird, kann das durchaus signifikante Transformationswirkungen entfalten. Ein Beispiel dafür sind etwa Änderungen der Investmentpolitik des Norwegischen Pensionsfonds aufgrund der Global Coal Exit List von Urgewald (s. o.). Ein weiteres sind die neuen Gesetze und Initiativen zum Insekten- und Artenschutz in Deutschland, die auf die vielbeachtete Studie des Entomologischen Vereins Krefeld zum Insektensterben (Hallmann et al. 2017), sowie die Anschlussstudie von Seibold u. a. (2019) zurückzugehen scheinen.

Mit Blick in die Zukunft erscheint es plausibel, dass aufgrund der Tiefe und Universalität der menschlichen Eingriffe in globale Ökosysteme heute (Stichwort Anthropozän), diese nur werden erhalten bleiben können, wenn künftig Eingriffe sehr genau erfasst und kalibriert sowie kontinuierlich große Mengen verlässlicher Daten zu ihrem realen Zustand ausgewertet werden, so dass Zusammenhänge besser verstanden und bei Zustandsverschlechterungen rasch gegengesteuert werden kann (Driscoll et al. 2018, Dalby et al. 2021). Perspektivisch kann Big Data helfen, dies zu ermöglichen, und NGOs können dabei eine wertvolle Rolle spielen.

5.5.3.2 „Weiße Flecken“ und etwaige Hemmnisse

Bei einem Vergleich der Anwendungsfelder von Big Data und Datenwissenschaft, die für die verschiedenen NGOs identifiziert werden konnten, fällt auf, dass die deutschen NGOs Big Data meist in weniger Feldern einsetzen, als die großen internationalen NGOs (siehe Abbildung 21). Bei NABU, DUH und Urgewald konnte jeweils nur ein Anwendungsfeld identifiziert werden; während es beim WWF vier und bei Nature Conservancy und Greenpeace jeweils fünf sind. Unter den deutschen NGOs konnten nur beim BUND mehrere Anwendungsfelder identifiziert werden. Allerdings scheinen Datenerhebung und -analysen hier oft von Projektpartner:innen durchgeführt zu werden, oder sich um kleinere Aktivitäten von BUND-Ortsgruppen zu handeln.

Abbildung 21: Identifizierte Anwendungsfelder von Big Data bei den untersuchten NGOs

Anwendungs-felder / NGOs	Monitoring Flora/Fauna- & Ökosystem	Ökologisch sensible Raumplanung		Ressourcennutzung, Lieferketten & Wertschöpfungsnetze			Messung & Modellierung Schadstoffemissionen		
		Schutz-gebiete	*Städte, Infrastruktur*	*Fisch-erei*	*Forst- & Agrarprod.*	*Kohle*	*Luft*	*Chemi-kalien*	*Plastik*
Greenpeace				✓✓	✓✓		✓✓	✓✓	✓
Nature Conservancy	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓				
WWF	✓✓	✓✓		✓✓	✓✓				
NABU	✓								
BUND	✓	✓					✓	✓	
DUH							✓		
Urgewald						✓			

✓✓ Hochtechnische Datenerhebung & Auswertung (Satelliten, KI, etc.)

✓ Eher niedrigtechnisch (citizen science, manuelle Erhebung, größere Rolle für Partner, etc.)

Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer ISI

Allgemein scheinen die datenwissenschaftlichen Aktivitäten der deutschen NGOs meist in technisch eher niedrigschwellige Bereiche zu fallen – manuelle Datenerhebungen durch citizen scientists, begrenzter Einsatz fortgeschrittener Analyse- und Erhebungstechnologien wie KI und Satellitendaten, und eine größere Rolle für Projektpartner:innen, die anspruchsvollere Datenverarbeitungen vornehmen können. Umgekehrt sieht man bei den großen internationalen NGOs einen stärkeren Einsatz solcher fortgeschrittenen Technologien der Datenerhebung und Verarbeitung. TNC, WWF, Greenpeace, und andere haben relativ große und institutionalisierte Datenwissenschafts-Fähigkeiten, oft mit dedizierten Teams und „Chief Data Scientists“ mit PhDs in relevanten Fächern. Dennoch bleiben Kooperationen mit Universitäten und spezialisierten Daten- und Analyse-Dienstleister auch für die internationalen NGOs wichtig. Währenddessen scheint es sich bei den deutschen Aktivitäten eher um einzelne Projektaktivitäten und keine systematisch aufgebauten und institutionalisierten Fähigkeiten zu handeln.

Identifizierte deutsche Aktivitäten konzentrieren sich vor allem im Bereich des Monitorings von Ökosystemen und, in begrenzterem Umfang, auch der Raumplanung und Schadstoffemissionsanalyse. Die großen internationalen NGOs unterhalten hingegen auch große Programme in den Bereichen Analyse und Management der Nutzung natürlicher Ressourcen, Raumplanung und Erfassung von Umweltbelastung und Schadstoffemissionen.

Budgetäre Restriktionen dürften ein wichtiger Grund für die begrenzteren deutschen Aktivitäten sein. Während die Jahreseinkommen von NABU und BUND 2019 jeweils € 55,7 Millionen bzw. € 36,5 Millionen betrugen, hatten WWF und TNC Einkommen von US $ 308,3 Millionen bzw. US $ 1,05 Milliarden (umgerechnet € 280 bzw. € 938 Millionen) (NABU 2019; WWF 2019b, BUND 2020). Diese völlig anderen Größen ermöglichen entsprechend umfangreichere Aktivitäten.

Vergleicht man die eingesetzten Techniken zur Datenverarbeitung und die Arten, auf die die NGOs die Daten verwerten (siehe Abbildung 22), fällt auf, dass die „händische“ Sammlung von Daten im Feld oder am Computer – oft gestützt durch freiwillige citizen scientists – bei allen NGOs weiterhin eine wichtige Rolle spielt. Trotz der wachsenden Nutzung von „Hochtechnologie“ wie Drohnen, Kamerafallen oder Erdobservationssystemen und dem wachsenden Angebot von kommerziellen Datenbanken für verschiedene

Wirtschaftsinformationen, werden für die allermeisten Ökosysteme – und die allermeisten wirtschaftlichen und industriellen Strukturen und Prozesse – keine Daten regelmäßig automatisiert generiert (Driscoll et al. 2018, Huberty 2015). Zur Datengenerierung ist man viel mehr auf – große Mengen – menschlicher Arbeitskraft angewiesen. Ein Hemmnis dabei scheint das oft relativ große Fachwissen (z. B. zu Fauna/Flora oder Industriestrukturen und Reporting) zu sein, welches auch freiwillige Helfende benötigen, um Beiträge leisten zu können. Gerade die Zahl sachkundiger „Amateur-Naturbeobachter" nimmt möglicherweise allerdings eher ab (NABU 2020). Eine Möglichkeit, hier gegenzusteuern, ist der Aufbau neuer Schulungsangebote. Das wird tatsächlich auch neuerdings getan, beispielsweise im Rahmen des BMU-geförderten Projekts KennArt (NABU 2020). Technologische Lösungen – z. B. KI-gestützte Apps zur Fauna-/Flora-Identifikation) – wie sie in NABU Initiativen bereits eingesetzt werden – bieten auch eine wertvolle Hilfe (siehe auch Dalby et al. 2021).

Abbildung 22: Eingesetzte Techniken zur Datenerhebung und -verarbeitung, und Arten der Datenverwertungen

	Manuelle Daten-sammlung	Drohnen	*Erdobser-vations-daten*	*Andere GIS*	*Automatische Schiffs-identifizierung*	*Automati-sierte Daten-auswertung*	*Schrift-liche Berichte*	*Analyse- und Entscheidu ng-stools*	*Open Data, Plattformen zum Datenteilen*
Greenpeace	✓		✓	✓	✓	✓	✓		
Nature Conservancy	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
WWF	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
NABU	✓			✓		✓	✓	✓	✓
BUND	✓		✓	✓			✓	✓	✓
DUH	✓						✓		
Urgewald	✓						✓		✓

Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer ISI

Die Abbildungen indizieren auch, dass die Deutschen, im Vergleich zu den großen internationalen NGOs, weiterhin eher im „niedrigtechnologischen" Bereich unterwegs sind. Einsatz von Erdobservationsdaten etwa konnte nur beim BUND identifiziert werden (und schien auch da primär von Projektpartnern durchgeführt zu werden); KI wird vom NABU eingesetzt, allerdings – soweit identifizierbar – nur im Kontext von Fauna/Flora-Apps, also einem eher begrenzten Rahmen. BUND und NABU haben zwar Analyse- und Entscheidungstools entwickelt, doch auch hier handelt es sich – soweit identifizierbar – vor allem um mobile Apps für Privatverbrauchende und citizen scientists, nicht um große Webportale mit vielfältigen Tools für professionelle Anwendende, wie TNC und WWF sie entwickeln.

Die bereits erwähnten eher begrenzten finanziellen Möglichkeiten der deutschen NGOs sowie der allgemeine Mangel an Datenwissenschafts-Fachkräften in Deutschland dürften dem schnellen Aufbau größerer internen Fähigkeiten in deutschen NGOs im Wege stehen. Eine Möglichkeit, ihnen dennoch zu helfen, verstärkt Big Data einzusetzen, könnte sein, Kooperationen und Vernetzungen mit den internationalen NGOs sowie mit Universitäten zu stärken, sowohl um ihnen besseren Zugang zu einschlägigen Fähigkeiten zu verschaffen, wie auch um Bewusstsein für die Einsatzpotenziale von Big Data zu stärken.

6 Künstliche Intelligenz - Einsatzbereiche und mögliche Transformationseinflüsse

6.1 Einführung und Vorgehensweise

6.1.1 Einführung

Im Rahmen der folgenden Ausführungen wird für KI beschrieben, welche Potenziale durch den Einsatz der Technologie in den Anwendungsfeldern für den Umweltschutz und die Transformation zu einer Green Economy zu erwarten sind. Dabei stellt sich einführend die Frage was KI von anderen Formen der Digitalisierung unterscheidet und einzigartig macht? Hierzu lässt sich zunächst festhalten, dass KI in der Lage ist, bisher unbekannte oder noch nicht genutzte Muster in Daten zu entdecken. Die entscheidende Frage ist jedoch, ergibt sich hieraus auch eine sozioökonomische Innovation, in welche die neue KI-Lösung eingebettet wird und die zumindest potenziell eine Transformationswirkung entfalten kann. Grundsätzlich könnte KI unter diesen Voraussetzungen in vielen Bereichen etwas bewirken.

Daher sollen alle denkbaren Vorteile und Möglichkeiten von KI für den Klima-, Umwelt-, Natur- und Ressourcenschutz genutzt werden, um das Gelingen der Transformation zu unterstützen Durch die Analyse großer Datenmengen und Mustererkennung können z. B. neues Wissen über Ökosysteme und ihren Zustand geschaffen und viele bestehende Prozesse optimiert werden. Es gibt unzählige und nur schwer zu klassifizierende Anwendungsfelder, die vom BMU benannt werden: "Beispielsweise können mittels KI gebündelte Echtzeitdaten verschiedener Verkehrsträger den klimafreundlichsten Weg durch die Stadt anzeigen, Empfehlungen für einen klimagerechten Waldumbau abgeleitet, industrielle Prozesse umweltfreundlicher gesteuert, Unkraut auf Feldern bedarfsgerecht bekämpft und dabei die Biodiversität geschützt oder Nitrat im Grundwasser vorhergesagt und nachhaltig reduziert werden (BMU 2019)."

Doch der Einsatz von KI kann auch unerwünschte Nebenwirkungen mit sich bringen bzw. kann der KI-Einsatz natürlich auch ohne Klima-, Umwelt-, oder Naturschutz-Motivation erfolgen. Daher "[...] liegt [es] an uns, zu entscheiden, wofür wir KI einsetzen und in welche Art von Anwendungen wir investieren: Die gleichen KI-Verfahren, die die Kosten von erneuerbaren Energien senken, machen ebenso die Ölförderung profitabler und beschleunigen die Erschließung neuer Ölfelder (BMU 2021)". Dies verdeutlicht die Komplexität der Themenstellung und die Notwendigkeit, differenziert zu antworten.

Jedoch sind auch KI-Anwendungen, die speziell für den Klima-, Umwelt-, Natur- oder Ressourcenschutz geschaffen wurden, nicht automatisch positiv zu bewerten, denn "[...] es gibt auch ökologische Schattenseiten, die wir in den Blick nehmen müssen: Die Milliarden von Berechnungen auf Hochleistungsprozessoren, die den KI-Systemen ihre beeindruckenden Fähigkeiten verleihen, verschlingen viel Energie. Gleiches gilt für den Transport und die Speicherung der riesigen Datenmengen [...]. Künstliche Intelligenz im Sinne des Umweltschutzes einzusetzen, heißt auch, die direkten und indirekten Umweltwirkungen der KI-Systeme und ihres Einsatzes möglichst gering zu halten (BMU 2021)". Im hier vorliegenden Bericht soll der Schwerpunkt jedoch auf der Anwendungsseite und der damit verbundenen Chancen liegen.

6.1.2 Methodische Vorgehensweise

Zunächst wird auf die im Rahmen der Ausführungen zu Big Data (Kapitel 5) bereits vorgestellte Datenerhebung zurückgegriffen. Diese stellt die Grundlage dar, um eine Potenzialanalyse vornehmen zu können. Im Rahmen von zusätzlichen Interviews mit KI-Expert:innen haben sich

weitere vielversprechende Anwendungsmöglichkeiten gezeigt sowie erste Einschätzungen hinsichtlich ökologischer Chancen und Herausforderungen von KI-Anwendungen ergeben. Zusätzlich wurden weitere Interviews mit allen Vorhabens-Koordinatoren der im Sommer 2021 laufenden KI-Leuchtturm-Projekte geführt (BMU 2019), um auch aktuellste Forschungsbemühungen berücksichtigen zu können. Aufbauend auf den hier erzielten Erkenntnissen soll im Folgenden der Beitrag der KI-Anwendungen, insbesondere für die Umsetzung im Sinne einer Green Economy, in den Blick genommen werden.

Der Aufbau der weiteren Abschnitte ist dabei wie folgt gegliedert. Zunächst werden für Potenzialanalyse und Berücksichtigung von regulatorischen Hemmnissen und Risiken zu KI mit Hilfe unterschiedlicher Quellen und Daten die aktuellen Erkenntnisstände zusammengetragen. Hierbei erfolgt eine Berücksichtigung einer Vielzahl unterschiedlicher Datenquellen. Im Einzelnen wurden die folgenden Datenquellen verwendet:

- Plattformauswertungen und Literaturrecherchen:
  - Auswertung der 160 Beispiele der "Plattform Lernende Systeme",
  - Auswertung von 45 aktuellen Studien und Veröffentlichungen zu KI.
- Datenbankenauswertungen:
  - Auswertungen zu 33 deutschen und 101 US-amerikanischen KI-Startups,
  - Auswertungen zu 17 deutschen und 25 europäischen KI-Forschungsprojekten.
- Interviews:
  - Interviews mit 20 KI-Fachexpert:innen,
  - Interviews mit 13 Projektleitenden der KI-Leuchtturm-Vorhaben.

6.1.2.1 Plattformauswertungen

Die "Plattform Lernende Systeme" (PLS) wird vom BMBF gefördert und ist in Trägerschaft von Acatech, der deutschen Akademie der Technikwissenschaften, institutionalisiert. Die PLS unterhält im Rahmen ihres Internetauftrittes eine "KI-Landkarte", welche KI-Anwendungen in Deutschland sichtbarer machen soll. Herausgestellt wird dabei, wie KI die Wirtschaft und den Alltag bereits heute und künftig transformiert. Mit diesem Ziel bündelt die PLS auf der KI-Landkarte Anwendungen und Entwicklungsprojekte, in denen KI-Technologien in Deutschland heute und in naher Zukunft zum Einsatz kommen. Es erfolgt hierbei eine Zuordnung zu Branchen, Einsatzfelder und Unternehmensgrößen.

Zusätzlich existiert eine gesonderte Version der KI-Landkarte, die ausschließlich nachhaltige KI-Anwendungen aufnimmt. Für den Auswahlprozess nachhaltiger KI-Anwendungen wird dabei berücksichtigt, dass entweder soziale, ökonomische oder ökologische Nachhaltigkeitsaspekte zwingend berührt sein müssen. Die in der Landkarte Nachhaltigkeit aufgeführten KI-Anwendungen müssen dabei folgenden Grundsätzen entsprechen:

- Die KI-Anwendung unterstützt den Menschen in seiner individuellen Entfaltung.
- Die KI-Anwendung dient der Gesellschaft.
- Die KI-Anwendung dient dem Erhalt der natürlichen Lebensgrundlagen und steht diesem nicht entgegen.

Es werden folglich nur solche KI-Anwendungen in die nachhaltige KI-Landkarte aufgenommen, die sich eindeutig einer oder mehreren der genannten Nachhaltigkeitskriterien zuordnen lassen. Zu beachten ist dabei, dass sich die in der PLS aufgeführten KI-Anwendungen zu Teilen mit den gesondert ausgewerteten Startups und Forschungsprojekten überschneiden, da sich diese eigenständig in die Datenbank eintragen können.

6.1.2.2 Literaturrecherchen

Im Rahmen von umfangreichen Literaturrecherchen wurde nach wissenschaftlichen Veröffentlichungen gesucht, welche die Themen KI und Nachhaltigkeit bzw. Klima-, Umwelt- Natur- oder Ressourcenschutz vereinen. Aufbauend auf bereits vorliegenden Literaturquellen aus Vorgängerprojekten wurden diese um zwischenzeitlich neu erschiene Veröffentlichungen ergänzt, so dass letztendlich 45 Quellen vorrangig identifiziert und systematisch ausgewertet werden konnten. Dabei erfolgte eine Einteilung nach thematisierten KI-Technologien und möglichen Transformationsfeldern.

6.1.2.3 Datenbankenauswertungen

Im Rahmen der Datenbankauswertungen wird zwischen zwei verschiedenen Quellen unterschieden:

- Auswertungen mit deutschen und US-amerikanischen KI-Startups aus der Crunchbase-Datenbank,
- Auswertungen mit deutschen und europäischen KI-Forschungsprojekten aus dem Förderkatalog bzw. der Cordis-Datenbank.

Die ausführliche Systematik der Datenbankauswertungen wurde bereits im Abschnitt zu Big Data erläutert. Im Verlauf der KI-spezifischen Auswertungen haben sich dahingehend nur kleinere Änderungen ergeben. Anhand der hinterlegten Beschreibungen in den Datenbanken und ggf. vorhandener Websiten wurden Projekte und Anwendungen eingegrenzt, die KI verwenden.[71] Des Weiteren wurde jede KI-Anwendung bzw. jedes KI-Forschungsprojekt einem der fünf Transformationsfelder und mindestens einem der sieben KI-Technologiefelder zugeordnet.[72]

6.1.2.4 Interviews

Durchführung von KI-Experteninterviews

Die Auswahl der Expert:innen erfolgte unter Orientierung an den sechs Aufgabenbereichen des BMU. Zu jedem der sechs Aufgabenbereiche wurden jeweils 3 bis 4 Expert:innen befragt (insgesamt 20 Interviews), um deren Einschätzung hinsichtlich der Chancen und Herausforderungen im konkreten Anwendungsfeld erheben zu können (siehe Tabelle 10). Die identifizierten Expert:innen wurden kontaktiert, bei Einwilligung ein Interviewtermin vereinbart und anhand eines telefonischen Austausches durchgeführt. Die Grundlage für die Gespräche war dabei ein zuvor entwickelter Interviewleitfaden (siehe Anhang).

[71] Anwendungen bzw. Forschungsprojekte, in deren Beschreibung lediglich die Begriffe "smart" oder "intelligent" verwendet wurden, und der KI-Einsatz nicht plausibel aus der Beschreibung hervorging, wurden ausgeschlossen.

[72] KI-Anwendungen bzw. -Forschungsprojekte, die keinem der fünf Transformationsfelder zugeordnet werden konnten, wurden nicht weiter ausgewertet. Einige KI-Anwendungen und -Forschungsprojekte wurden zwei oder drei KI-Technologiefeldern zugeordnet, da eine eindeutige Zuordnung nicht möglich war. Einige ließen sich zudem keinem KI-Technologiefeld zuordnen, auch diese wurden nicht weiter ausgewertet.

Tabelle 10: Zuordnung der Expert:innen zu KI-Anwendungen und Aufgabenfeldern des BMU

Befragte Expert:innen	
1. Klimaschutz und Energie Energieangebot, Energienachfrage, Energiehandel und -netze, Klimaschutz • Dr. Ansgar Bernardi (DFKI) • Dr. Alexandra Pehlken (OFFIS) • Dr. Patrick Plötz (Fraunhofer ISI)	**2. Ressourcenschutz und Kreislaufwirtschaft** Produktion, Industrie, Supply Chain, Konsum, Handel, Abfall- und Kreislaufwirtschaft • Frederic Kerber (DFKI) • Felix Thiele (Remondis) • Jan Christian Polanía Giese (Adelphi)
3. Gewässerschutz und Wasserwirtschaft Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft, Gewässerschutz, Schutz der Ozeane, Anpassung an Wetter und Klima • Prof. Dr. Oliver Zielinski (DFKI) • Prof. Dr. Andre Niemann (Uni Duisburg) • Prof. Günther Müller- Czygan (Hochschule Hof) • Dr. Thomas Hillenbrand (Fraunhofer ISI)	**4. Immissionsschutz und Gesundheit** Luftqualität, Lärm und Erschütterungen, Verkehr, Sicherheit von Stoffen und Materialien • Prof. Dr. Christoph Lüth (DFKI) • Dr. Andreas Hamm (DLR) • Dr. Tanja Bratan (Fraunhofer ISI)
5. Nukleare Sicherheit und Strahlenschutz Sicherheit kerntechnischer Einrichtungen, Nukleare Entsorgung, Strahlenschutz, Katastrophenschutz • Prof. Dr. Frank Kirchner (DFKI) • Dr. Theo Köble (Fraunhofer INT) • Dr. Janko Petereit (Fraunhofer IOSB)	**6. Naturschutz und Landnutzung** Landnutzung und Ökosysteme, Artenschutz und biologische Vielfalt, Land- und Forstwirtschaft, Fischerei und marine Ökosysteme • Dr. Stefan Stiene (DFKI) • Prof. Dr. Sonoka Dorothea Bellingrath-Kimura (ZALF) • Ralf Kalmar (Fraunhofer IESE) • Professor Dr. J. Wolfgang Wägele (ZFMK)

Durchführung von Interviews mit den Vorhabens-Koordinatoren der KI-Leuchttürme

Die BMU-Förderinitiative „KI-Leuchttürme für Umwelt, Klima, Natur und Ressourcen“ (BMU 2019) mit einem Fördervolumen von bis zu 45 Millionen Euro wurde ebenfalls berücksichtigt. Hierzu wurde mit allen geförderten Vorhaben in Kontakt getreten, um diese in die Logik der Potenzialbestimmung einzubinden. Explizit wurden strukturierte Interviews mit allen beteiligten Vorhabens-Koordinatoren geführt, um deren Einschätzungen zusammentragen und aggregieren zu können. Da die einzelnen Leuchtturmprojekte zum Erhebungszeitpunkt im Sommer 2021 teilweise erst vor kurzem gestartet bzw. noch nicht abgeschlossen waren, handelt es sich jedoch nur um Einschätzungen und nicht um finale Ergebnisse.

Mit Hilfe des BMU und des Projektträgers ZUG wurden alle Vorhabens-Koordinatoren der KI-Leuchttürme kontaktiert und um ein telefonisches Interview gebeten. Die Interviews fanden im Frühsommer 2021 statt. Mit folgenden 13 Vorhabens-Koordinatoren wurden Interviews durchgeführt (siehe Tabelle 11). Der verwendete Interviewleitfaden befindet sich im Anhang.

Tabelle 11: Liste der befragten Vorhabens-Koordinatoren der KI-Leuchtturmprojekte

KI-Leuchtturmprojekt	Vorhabens-Koordinator	Institution
AI4Grids	Prof. Dr. Gunnar Schubert	Hochschule Konstanz
CO:DINA	Dr. Stephan Ramesohl	Wuppertal Institut
CRTX	Mario Malzacher	circular.fashion UG
GCA	Dr. Ruben Korenke (Vertretung Tilman Santarius)	TU Berlin
I4C	Prof. Dr. Bernhard Neumärker (Vertretung Thomas Brox)	Universität Freiburg
IsoSens	Prof. Dr. Marcus Wolff	HAW Hamburg
KI am Zug	Andreas Soehlke	DB Netz AG
KISTE	PD Dr. Martin Schultz	Forschungszentrum Jülich
NiMo	Dr. Andreas Abecker	Disy Informationssysteme GmbH
ReCircE	Dr. Andreas Ciroth	GreenDelta GmbH
SustAIn	Jens Ohlig	AW AlgorithmWatch gGmbH
KI-INSPIRE	Prof. Dr. Christoph Höschen	Universität Magdeburg
KInsekt	Prof. Dr. Frank Hausser	Ecocurious

6.2 KI - Definitionen und Typologien

6.2.1 Definition KI und Abgrenzung zu Big Data

Abgrenzung zu Big Data

Da insbesondere von KI sehr unterschiedliche Definitionen existieren, ist allein dadurch eine saubere Abgrenzung zu Big Data erschwert. Kurz gefasst ist KI die Eigenschaft eines IT-Systems, "menschenähnliche", intelligente Verhaltensweisen zu zeigen. Jedoch überschneiden sich KI- und Big Data-Anwendungen in der Analyse sehr großer Datensätze relativ stark. Dennoch ist z. B. für die Aufbereitung sehr großer Datensätze, z. B. deren Reduktion, nicht unbedingt eine KI-Methode erforderlich, sondern in vielen Fällen reichen "herkömmliche" statistische Methoden aus. Wird allerdings eine komplexe Auswertung erforderlich, wird sehr häufig die KI-Methode des Machine Learning (ML) angewendet.

In unserem Verständnis gibt es daher große Überschneidungen zwischen Big Data- und KI-Anwendungen. Wobei jedoch Big Data-Anwendungen mehr Anwendungen umfassen, da solche Auswertungen auch herkömmlich statistisch erfolgen können. Unabhängig von der Frage, welche KI-Methoden sich für den Übergang zu einer Green Economy besonders eignen und auch schon eingesetzt werden oder ob hier Big Data-Anwendungen vertreten sind, die ohne "KI auskommen", liegt das eigentliche Erkenntnisinteresse darin, inwiefern digitale Anwendungen insgesamt für eine Green Economy nutzbar gemacht werden können, wo sie es schon werden und wo noch Potenziale schlummern.

Definition KI

Aus heutiger Sicht lassen sich vier Phasen in der KI-Forschung erkennen: Heuristische Systeme, wissensbasierte Systeme, lernende Systeme und hybride kognitive Systeme. Hybride kognitive Systeme stellen dabei eine Kombination aus wissensbasierten und lernenden Systemen dar. Die Weltorganisation für KI (AAAI) hat diese Phase als Trend für die nächsten 20 Jahre der KI-Entwicklung und Forschung herausgearbeitet (Wahlster 2020). Nach Wahlster (2020) flacht der Hype um die lernenden Systeme, Machine und Deep Learning, aktuell wieder etwas ab. Etliche Projekte seien an überzogenen Erwartungen gescheitert, trotz riesiger Datenmengen zum Training der selbstlernenden KI-Systeme konnten teilweise keine erklärbaren und robusten Lösungen gefunden werden. Ziel ist daher, KI-Systeme zukünftig mit mehr Alltagsintelligenz auszustatten, bspw. sollte eine KI bereits bekannte Gleichungen aus einem Lehrbuch einfach auslesen können, statt sie aus hunderten von Experimentdaten selbst zu extrahieren. Denn ohne kausales Hintergrundwissen in Anwendungsdomänen können aus datengetriebenen Lernverfahren abgeleitete Scheinkorrelationen nicht als unsinnig erkannt werden.

Jedoch existiert keine einheitliche Definition des Begriffs Künstliche Intelligenz, auch deshalb, weil sich das Verständnis des Begriffs fortwährend verändert. Für den weiteren Verlauf erfolgt die Orientierung an der Definition der hochrangigen Expert:innengruppe für KI (2019):

- „KI-Systeme sind vom Menschen entwickelte Softwaresysteme (und gegebenenfalls auch Hardwaresysteme), die in Bezug auf ein komplexes Ziel auf physischer oder digitaler Ebene handeln, indem sie ihre Umgebung durch Datenerfassung wahrnehmen, die gesammelten strukturierten oder unstrukturierten Daten interpretieren, Schlussfolgerungen daraus ziehen oder die aus diesen Daten abgeleiteten Informationen verarbeiten, und über das bestmögliche Handeln zur Erreichung des vorgegebenen Ziels entscheiden.
- KI-Systeme können entweder symbolische Regeln verwenden oder ein numerisches Modell erlernen, und sind auch in der Lage, die Auswirkungen ihrer früheren Handlungen auf die Umgebung zu analysieren und ihr Verhalten entsprechend anzupassen.
- Als wissenschaftliche Disziplin umfasst die KI mehrere Ansätze und Techniken, wie z. B. maschinelles Lernen (Beispiele dafür sind „Deep Learning“ und bestärkendes Lernen), maschinelles Denken (es umfasst Planung, Terminierung, Wissensrepräsentation und Schlussfolgerung, Suche und Optimierung) und die Robotik (sie umfasst Steuerung, Wahrnehmung, Sensoren und Aktoren sowie die Einbeziehung aller anderen Techniken in cyber-physische Systeme).”

6.2.2 Entwicklung einer Taxonomie für KI

Im folgenden Abschnitt wird die Entwicklung einer KI-Taxonomie beschrieben, um darzustellen, was prinzipiell mit KI-Methoden möglich ist. Die KI-Taxonomie soll folgende Eigenschaften haben:

- Abbildung des aktuellen Standes angewandter KI-Methoden,
- Sinnvoller Abstraktionsgrad zwischen fertiger Endanwendung und einzelnen (wissenschaftlichen) KI-Methoden,
- Verwendung anwendungsorientierter Bezeichnungen (Verständnis und Nachvollziehbarkeit muss auch für „Nicht-KI-Expert:innen“ gegeben sein).

Zunächst wurden existierende KI-Taxonomien zusammengetragen. Hierzu wurde auf bereits bekannte KI-Taxonomien zurückgegriffen, eine Literaturrecherche durchgeführt und per Desk-

Research gesucht. Insgesamt wurden elf existierende KI-Taxonomien untersucht.[73] Diese unterschieden sich in ihrem Detailgrad, in ihrem Zuschnitt und in ihrer Anwendungsorientierung. Von diesen elf wurden acht vielversprechende ausgewählt[74]. Sie werden im Folgenden, eingeteilt in die drei Gruppen Allgemeine-, Umweltbezogene- und Sektorbezogene KI-Taxonomien, einzeln vorgestellt und in ihrer Eignung beurteilt.

Allgemeine KI-Taxonomien

Die **Hochrangige Expertengruppe für künstliche Intelligenz** der Europäischen Kommission teilt KI in drei zentrale Fähigkeiten[75] ein: 1) Schlussfolgern und Entscheiden, 2) Lernen und 3) Robotik (HEG-KI 2019).

- Innerhalb der Fähigkeit **Schlussfolgern und Entscheiden** geht es insbesondere darum, wie Daten in Wissen umgewandelt und modelliert werden (Wissensrepräsentation) und daraus Schlussfolgerungen gezogen werden können (Wissensverarbeitung). Dazu gehören z. B. die Bildung von Rückschlüssen durch symbolische Regeln, Planungs- und Terminierungsaktivitäten oder Optimierung unter allen Problemlösungsalternativen.
- Zur Gruppe **Lernen** zählen die Autoren maschinelles Lernen, neuronale Netze, Deep Learning, Entscheidungsbäume und viele weitere Lerntechniken. Sie erklären außerdem die drei unterschiedlichen Arten des Lernens: überwachtes, bestärkendes und unüberwachtes Lernen. Solche (maschinellen) Lernverfahren können nicht genau definierte Probleme und Probleme, die sich nicht durch symbolische Regeln abbilden lassen, lösen. Dies unterscheidet sie von den Techniken aus der Gruppe "Schlussfolgern und Entscheiden". Beide Techniken können jedoch kombiniert werden.
- **Robotik** definieren die Autoren als "eingebettete KI", da es sich um eine physische Maschine handelt, die die Dynamik, Ungewissheit und Komplexität der physischen Umwelt bewältigen muss. In der Robotik sind neben der KI noch viele andere Disziplinen wie Maschinenbau oder Steuerungstheorie beteiligt.

Die Einteilung der HEG in die drei Gruppen Schlussfolgern und Entscheiden, Lernen und Robotik (siehe Abbildung 23) bietet einen hilfreichen Einstieg, da sie drei (Haupt-) Disziplinen innerhalb der KI voneinander abgrenzt.[76] Die Einteilung ist jedoch noch zu wenig detailliert, um sie für eine Gegenüberstellung der KI-Methoden und der Herausforderungen der Green Economy verwenden zu können.

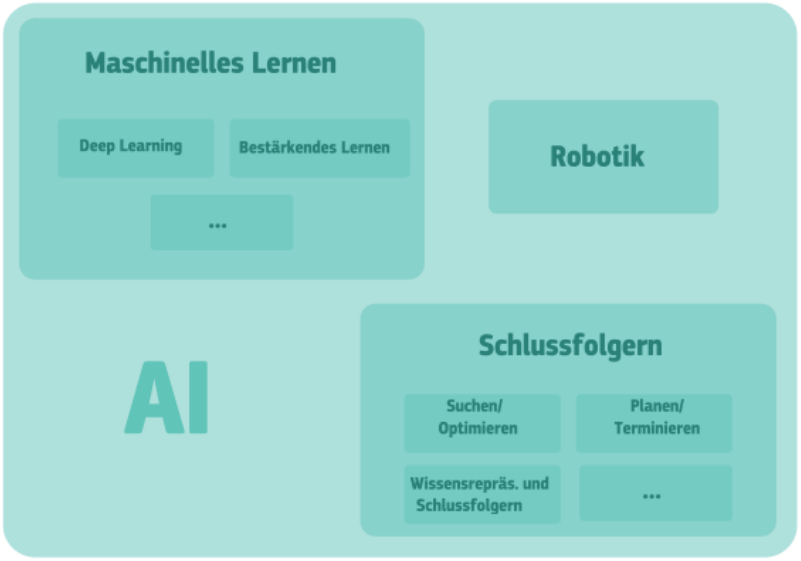
[73] Es handelt sich um die folgenden Quellen: (HEG-KI 2019; Die Bundesregierung 2018; Bitkom 2018; Döbel et al. 2018; Hecker et al. 2017; Lernende Syseme ohne Jahr; Rolnick et al. 2019; Gomes et al. 2019; Hatiboglu et al. 2019; iit 2018; Jetzke et al. 2019.

[74] Gomes et al. (2019) beschreiben, wie Informatik zur Lösung gesellschaftlicher und sozialer Herausforderungen beitragen kann, adressieren dabei aber nicht KI im engeren Sinne. iit (2018) führen ähnliche KI-Methoden auf wie Hatiboglu et al. (2019) und die Einteilung von Hecker et al. (2017) findet sich in anderen Quellen wieder.

[75] Die Autoren sind nicht stringent in der Verwendung des Begriffs "Fähigkeit" eines KI-Systems, sie verwenden ebenfalls die Bezeichnungen "KI-Technik", "KI-Disziplin" (HEG-KI 2019.

[76] Trennscharfe Abgrenzungen sind i. d. R. jedoch nicht möglich. So verwendet ein Roboter beispielsweise Spracherkennung zur Erfassung der Umwelt oder Cognitive Modeling und Affective Computing zur Emotionserkennung bei der Zusammenarbeit mit Menschen; dabei handelt es sich bei allen drei Methoden um Maschinelles Lernen (University of Helsinki, Reaktor Education ohne Jahr). Das Ziel der KI-Taxonomie und auch der Definition der HEG ist daher, nicht eine vollkommen trennscharfe Abgrenzung zu erreichen, sondern Diskussion und Austausch über KI-Methoden mit unterschiedlichen Akteuren zu ermöglichen HEG-KI 2019.

Abbildung 23: Überblick über die Teildisziplinen der KI und ihre Zusammenhänge



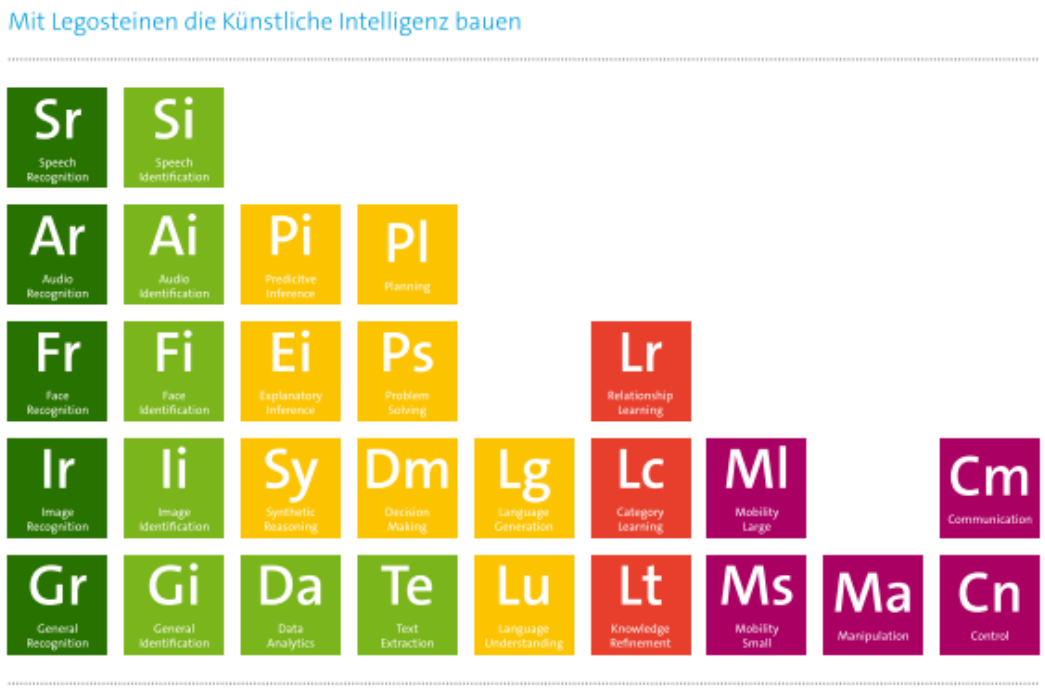
Quelle: HEG-KI (2019)

Die **Bundesregierung** (Die Bundesregierung 2018) unterscheidet fünf Gruppen in ihrer KI-Definition. Diese Einteilung ist ähnlich der von der HEG gewählten.[77] Sie führt noch zusätzlich die Gruppe "Mensch-Maschine-Interaktion" auf, welche zwischen den beiden HEG-Gruppen "Lernen" und "Robotik" liegt.

In **(Bitkom 2018)** wird das sogenannte Periodensystem der KI verwendet (siehe Abbildung 24), ein ursprünglich von Kristian Hammond entwickelter Ansatz, in der jedes KI-System als die Kombination verschiedener KI-Elemente aufgefasst wird. Hammond unterscheidet insgesamt 28 Elemente, die er in die drei Gruppen "**Assess**" (Wahrnehmen, bewerten), "**Infer**" (Schlussfolgern) und "**Respond**" (Handeln) einteilt. Dies ist die Abfolge eines typischen KI-Anwendungsfalls. Jedes KI-System besteht daher aus einem Triple von KI-Elementen, das jeweils mindestens ein Element aus jeder der drei Gruppen enthält. Bitkom (2018) schätzt das Periodensystem der KI folgendermaßen ein: Durch die Verwendung eines Baukastensystems, das stetig verändert und erweitert werden kann, sei es möglich, KI dynamisch zu definieren, statt sich auf eine statische Definition festzulegen. Jedoch fehlen auch Elemente, andere könnten zukünftig verschmelzen. Außerdem würden nicht alle Elemente mit KI-Produkten oder -Services korrespondieren, die beschaffbar sind (Bitkom 2018). Durch den modularen Aufbau kann das Periodensystem jedenfalls gut erweitert werden und die Einteilung in drei Gruppen ist auch für Laien leicht zugänglich. Teilweise sind die Elemente und deren Beschreibungen jedoch etwas abstrakt.

[77] Die beiden Gruppen "Deduktionssysteme und Maschinelles Beweisen" und "Wissensbasierte Systeme" lassen sich der Gruppe "Schlussfolgern und Entscheiden" der HEG zuordnen, "Musteranalyse und Mustererkennung" entspricht der Gruppe "Lernen". "Robotik" entspricht "Robotik".

Abbildung 24: KI-Periodensystem



Grün gefärbte Elemente: Gruppe Assess; gelb und orange gefärbte Elemente: Gruppe Infer; Violett: Gruppe Respond

Quelle: Bitkom (2018)

Döbel et al. (2018) ordnen einzelne Techniken innerhalb des Maschinellen Lernens (z. B. Tiefe neuronale Netze, bestärkendes Lernen) möglichen Anwendungen zu. Dabei ordnen sie nicht nur die Anwendungen zu, sondern erklären auch leicht verständlich, welche "Fähigkeit" die KI-Technik in einem Anwendungsfall übernimmt, z. B. "Gruppen ähnlicher Daten bilden" oder "Werte schätzen und vorhersagen". Sie bewerten außerdem den Reifegrad der jeweiligen KI-Technik. Da die Übersicht auch diese leicht verständlichen Fähigkeiten der KI enthält, ist sie auch für Laien gut nutzbar. Sie beschränkt sich allerdings auf Maschinelles Lernen.

Die Plattform **Lernende Systeme** hat eine KI-Landkarte entwickelt, in der sie KI-Anwendungen aus Deutschland zusammenträgt. Diese wird laufend erweitert. Die KI-Anwendungen lassen sich örtlich zuordnen. Man kann sich die KI-Anwendungen gefiltert nach KI-Technologiefeld, Anwendungsmarkt (Branche), Wertschöpfungsaktivität und Einsatzfeld anzeigen lassen. Für die Entwicklung der KI-Taxonomie ist insbesondere ihre Aufteilung in KI-Technologiefelder interessant. Die Plattform Lernende Systeme unterscheidet diese sieben KI-Technologiefelder: Bilderkennung und -verstehen, Datenmanagement und -analyse, Mensch-Maschine-Interaktion und Assistenzsysteme, Robotik und autonome Systeme, Sensorik und Kommunikation, Sprach- und Textverstehen sowie virtuelle und erweiterte Realität. Diese KI-Technologiefelder sind nicht trennscharf, oftmals werden einer KI-Anwendung mehr als ein KI-Technologiefeld zugeordnet. Die Einteilung in sieben KI-Technologiefelder, die die Plattform Lernende Systeme gewählt hat, trifft den anvisierten Abstraktionsgrad der KI-Taxonomie sehr gut.

Bisher wurden KI-Taxonomien vorgestellt, die KI im Allgemeinen definieren. Im Folgenden werden KI-Taxonomien vorgestellt, die KI-Methoden Umweltproblemen zuordnen, bei deren Lösung KI hilfreich sein könnte.

Umweltbezogene KI-Taxonomien

In ihrem Paper "Tackling Climate Change with Machine Learning" ordnen **Rolnick et al.** (2019) Lösungsbereiche des Klimawandels relevanten Bereichen des Maschinellen Lernens zu. Sie nehmen außerdem eine Einordnung ihrer Lösungsvorschläge in drei Gruppen vor: "High Leverage", "Long term", "Uncertain impacts". "High Leverage" wird dabei einer KI-Anwendung zugeordnet, wenn erstens, ein von Expert:innen hoch priorisierter Bereich im Kampf gegen den Klimawandelt betroffen ist und zweitens, Methoden des ML sehr gut geeignet sind, diesen Bereich zu adressieren. Tritt die primäre Wirkung einer Anwendung erst nach 2040 ein, wird "Long term" zugeordnet. Ist der Einfluss auf die Treibhausgasemissionen unsicher, wird "Uncertain Impact" angenommen, z. B. wenn es zu Reboundeffekten oder negativen externen Effekten kommen kann.

Die verwendeten Bezeichnungen für Bereiche des ML stammen aus der KI-Forschung und sind sehr technisch, sie sind daher für Laien schwerer zugänglich. Die Übersicht von (Rolnick et al. 2019) deckt zudem ausschließlich ML und keine weiteren Disziplinen der KI ab. Die Bewertung einzelner KI-Anwendungen als "High Leverage" ist jedoch sehr wertvoll und fließt in die Potenzialanalyse ein.

Jetzke et al. (2019) formulieren sechs Entwicklungskorridore, in denen KI nachhaltige Wirkungen entfalten kann und die durch Umweltpolitik gestaltet werden können: KI für eine ressourceneffizientere Industrie, KI und (IT-)Infrastruktur für KI, KI für einzelne Sektoren, KI als Sicherheits- und Warnsystem für den Umweltschutz, KI als Impulsgeber für die Umwelt- und Nachhaltigkeitsforschung, KI als Betriebssystem für das „Raumschiff Erde. (Jetzke et al. 2019) nehmen in ihrer Veröffentlichung jedoch keine Unterscheidung in einzelne KI-Methoden vor. Die Struktur kann daher nicht zur Entwicklung der KI-Taxonomie verwendet werden. Ihre Überlegungen bzgl. der Einsatzmöglichkeiten von KI im Sinne der Nachhaltigkeit können jedoch in die Potenzialanalyse einfließen.

Neben den KI-Taxonomien, die schon einen Bezug zu Umweltproblemen aufweisen, wird im Folgenden noch eine KI-Taxonomie vorgestellt, die KI-Methoden KI-Anwendungen eines bestimmten Sektors zuordnet.

Sektorbezogene KI-Taxonomien

(Hatiboglu et al. 2019) präsentieren sechs sog. KI-Werkzeuggruppen. Sie bewerten die Relevanz der sechs Werkzeuggruppen für acht Anwendungsfelder in der Produktion. Sie unterscheiden dabei sechs Werkzeuggruppen: Text- und Sprachverarbeitung, Bild- und Tonverarbeitung, Multidimensionale Mustererkennung, Wissensrepräsentation und -semantik, Aktionsplanung und Optimierung, Emotionserkennung und -absichtsanalyse. Die Bezeichnungen der Werkzeuggruppen sind verständlich gewählt, scheinen aber auch nicht alle Bereiche der KI abzudecken, z. B. wird der Bereich der Robotik nicht explizit erwähnt.

Nach Untersuchung der acht Taxonomien zeigt sich, dass drei verschiedene Typen von KI-Taxonomien unterschieden werden können:

- Orientierung an **KI-Forschung:** Erstens gibt es KI-Taxonomien, die sich stark an den Disziplinen der KI-Forschung orientieren, z. B. die KI-Taxonomie der (HEG-KI 2019) oder von (Rolnick et al. 2019).
- Orientierung am **Grundaufbau KI-System:** Es gibt zweitens Taxonomien, die sich an dem Grundaufbau eines jeden KI-Systems in drei Schritten orientieren: Infer, Assess, Respond und die KI-Methoden, wie Baukastenmodule diesen drei Schritten zuordnen, z. B. (Bitkom 2018).

- Orientierung an **KI-Anwendungen:** Drittens gibt es Taxonomien, die sich stark an den jeweiligen KI-Anwendungen orientieren, dadurch aber oftmals nicht trennscharf zwischen den KI-Methoden sind, z. B. (Lernende Syseme ohne Jahr).

Von den acht beschriebenen KI-Taxonomien erscheint abschließend die Taxonomie der Plattform Lernende Systeme am geeignetsten, da sie die drei Zielkriterien am besten erfüllt: Sie bildet den aktuellen Stand angewandter KI-Forschung ab, sie trifft den anvisierten Abstraktionsgrad sehr gut und verwendet anwendungsorientierte Bezeichnungen. Sie ist dem Typus der anwendungsorientierten KI-Taxonomie zuzuordnen.

Im Folgenden wird die Bezeichnung Technologiefeld der Plattform Lernende Systeme verwendet. Die sieben Technologiefelder, welche im Folgenden Verwendung finden, lauten:[78]

- **Bilderkennung und -verstehen**
  Auf Bildern und in Videos können Objekte lokalisiert und klassifiziert werden, ggf. können Individuen erkannt und Szenen können verstanden werden, z. B. wer mit wem interagiert oder was als nächstes geschehen könnte (Bitkom 2018; Döbel et al. 2018).

- **Datenmanagement und -analyse**
  Daten werden analysiert, um bestimmte Tatsachen oder Ereignisse zur erkennen, die diese Daten repräsentieren (Mustererkennung). Es werden Ereignisse oder Verhalten in der Zukunft vorhergesagt auf Grundlage des aktuellen Zustandes oder historischer Daten (Bitkom 2018).

- **Mensch-Maschine-Interaktion und Assistenzsysteme**
  Mensch und Maschine interagieren miteinander, die physische Interaktion kann mit einem personalisierten Dialog verbunden werden (DFKI ohne Jahr; Bendel ohne Jahra).

- **Robotik und autonome Systeme**
  Physische Maschinen, die die Dynamik, Ungewissheit und Komplexität der physischen Umwelt bewältigen und sich autonom verhalten können (HEG-KI 2019).

- **Sensorik und Kommunikation**
  Sensoren erfassen die Umwelt und die Sensordaten werden weitergegeben, teilweise werden die Daten vor der Weitergabe vorverarbeitet. (iit 2018; Bitkom 2018).

- **Sprach- und Textverstehen**
  Audiosignale werden als Sprache erkannt und in Text umgewandelt. Eine individuelle Stimme oder Gefühlszustände können erkannt werden. Aus Texten werden Informationen extrahiert, einfache Befehle und Fragen können erkannt werden. Texte können in Bezug zu früheren Äußerungen gesetzt und Dialoge fortgesetzt werden (Döbel et al. 2018; Bitkom 2018).

- **Virtuelle und erweiterte Realität**
  Computergenerierte Wirklichkeit mit Bild und Ton oder Erweiterung der Wirklichkeit mit Bild und Ton (Bendel ohne Jahrb).

6.2.3 Theoretische Potenziale, Hemmnisse und Risiken von KI-Anwendungen

Nachdem die Festlegung auf die zu verwendende KI-Taxonomie erfolgt ist, soll nun die Frage in den Vordergrund treten, welche genaue Rolle KI für eine Transformation hin zur Green

[78] Die Beschreibungen der Technologiefelder sind selbst entwickelt, da von der Plattform Lernende Systeme keine Beschreibungen zur Verfügung gestellt werden.

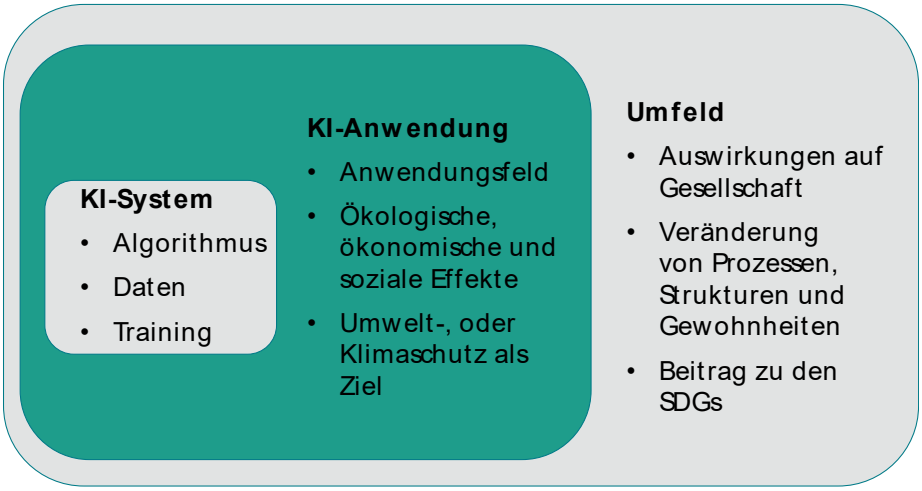
Economy spielen kann. Hierzu existieren bereits einige Argumentationsstränge, die zu beachten sind. So zeigen sich z. B. Witte/Hungerland (2020) sehr optimistisch, was die Einflüsse von KI anbelangt und nehmen gleichzeitig alle Akteure in die Pflicht: "Richtig genutzt eröffnet Maschinelles Lernen neue Möglichkeiten, den Klimawandel zu verlangsamen oder auch die Anpassung an Klimawandel voranzutreiben. Mittelständische Unternehmen sowie auch große Konzerne werden neben Privatpersonen, Nutzer:innen und Konsument:innen eine Schlüsselrolle in der Umsetzung ML-getriebener Klimaprojekte spielen."

Kettenburg (2020) dagegen will "die Beiträge von KI nicht per se schmälern, nur die Erwartungen in Bezug auf sozio-ökologische Probleme zurechtrücken. Es bleibt richtig und gut, die Nische zu stärken, nachhaltige KI-Anwendungen zu fördern und der öffentlichen Imagination Alternativen entgegenzusetzen, [...] ohne politisch durchgesetzte Änderungen unserer gesellschaftlichen Strukturen werden diese KI-Anwendungen ihr Potenzial nicht systematisch entfalten können."

Gleichzeitig fordern Santarius et al. (2020), "eine gesellschaftliche Debatte über die Notwendigkeit und den Einsatz von KI-Anwendungen zu führen und zu hinterfragen, in welchen Fällen eine „intelligente“, automatisierte Entscheidungsfindung überhaupt notwendig und [...] wünschenswert ist. [Es] müssen jene Einsatzzwecke herausgearbeitet werden, für die besonders große ökologische Chancen realisiert werden können. Dabei dürfen die inhärenten Risiken dieser Technologieentwicklung für Menschen, Umwelt und Gesellschaft nicht aus den Augen verloren werden. Flankierende Maßnahmen sind dementsprechend von vornherein mitzudenken."

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit soll dem letzten der drei Argumentationsstränge gefolgt werden und mit einer chancenbetonten Herangehensweise, insbesondere die KI-Anwendungen identifiziert werden, die das Potenzial haben, einen Beitrag zu leisten. Gleichzeitig werden dabei aber auch mögliche negative Folgen mit beachtet. Theoretische Potenziale, Hemmnisse und Risiken von KI-Anwendungen können sich in diesem Rahmen auf vielfältige Arten und Weisen und auf unterschiedlichen Analyseebenen ergeben (vergleiche Abbildung 25).

Abbildung 25: Analyseebenen der Potenziale, Hemmnisse und Risiken von KI-Anwendungen



Quelle: Rohde et al. (2021)

Sowohl die Ebene des eigentlichen **KI-Systems** (mit dem zugrundeliegenden Algorithmus, den verwendeten Daten und dem Training des Systems), als auch die daraus hervorgehende **KI-Anwendung** mit ihren meist zahlreichen ökologischen, ökonomischen und sozialen Effekten sowie das weitere gesellschaftliche **Umfeld** mit sich aus der KI-Anwendung ergebenden

Veränderungen in Prozessen, Strukturen und Gewohnheiten erscheinen dabei ein lohnenswertes Analyse- und Untersuchungsfeld.

Im Mittelpunkt unserer Untersuchungen stehen im Folgenden die **KI-Anwendungen als zentrale Analyseeinheit**. Die Grenzen zwischen den drei Bereichen sind dabei jedoch nicht statisch zu verstehen, sondern in Fällen, wo insbesondere auch das KI-System selbst oder die Auswirkungen auf das gesellschaftliche Umfeld von zentraler Bedeutung sind, werden diese ebenfalls thematisiert.

6.3 Potenzialanalyse zu KI

Unter einer Potenzialanalyse verstehen wir ein Verfahren der strategischen Situationsanalyse, bei dem das Potenzial einer neuen Technologie im Hinblick auf verschiedene Anwendungsmöglichkeiten überprüft wird. Hierzu erfolgt eine strukturierte Sammlung von referenzhaften Anwendungen, die nach Kriterien wie Entwicklungsstand, Verbreitung, zukünftiger Relevanz und Disruptionspotenzial betrachtet werden.

Die Potenzialanalyse wird für die jeweiligen Quellen zunächst separat vorgestellt. Innerhalb der unterschiedlichen Quellenzugänge erfolgt für die Darstellung der Ergebnisse sowohl eine Zuordnung jeweils zu den sieben KI-Technologiefeldern, als auch zu fünf eigenständigen Transformationsfeldern.

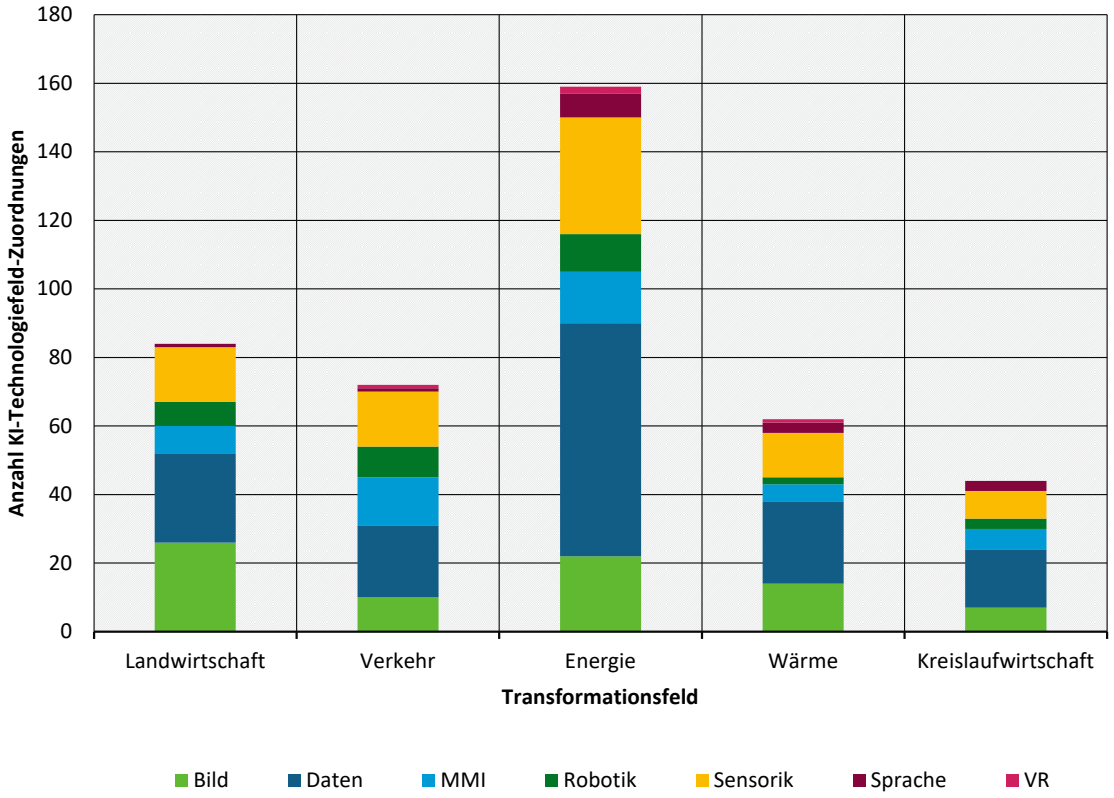
6.3.1 Ergebnisse der Plattformauswertungen

Die Ergebnisse der Auswertungen der Plattform Lernende Systeme zeigen ein erstes eindrückliches Bild der deutschen Landschaft bezüglich nachhaltiger KI-Anwendungen (vergleiche Abbildung 26).

Die in der PLS-Landkarte aufgeführten beispielhaften KI-Anwendungen kommen insbesondere aus dem Bereich der Energiewende. Die Bereiche Landwirtschaft, Verkehr, Wärme und Kreislaufwirtschaft sind in abnehmender Anzahl vertreten. Die dominierenden KI-Technologien sind Datenmanagement, Bildauswertung und Sensorik. Nahezu keine Rolle spielen Virtual Reality und Spracherkennung.

Es zeigt sich folglich, dass es große Unterschiede bezüglich der fünf Wendefelder gibt. Insgesamt waren zum Zeitpunkt der Datenerhebung 160 beispielhafte nachhaltige KI-Anwendungen in der PLS zu finden. Zu beachten ist hierbei, dass sich diese Beispiele, bei der Aufnahme in die Landkarte, mehreren KI-Technologien gleichzeitig zuordnen ließen und dass, zumindest teilweise, auch eine Zuordnung zu mehreren Wendefeldern parallel erfolgen konnte. Einzelne Beispiele tauchen in der Zählung also mehrfach auf.

Abbildung 26: Verteilung nachhaltige KI-Anwendungen innerhalb der Plattform Lernende Systeme



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer ISI

6.3.2 Ergebnisse der Literaturrecherchen

Im Rahmen einer umfangreichen Literaturrecherche wurden zahlreiche Beispiele gefunden, die Potenziale von KI-Anwendungen für die Transformation zu einer Green Economy erkennen lassen. Diese KI-Anwendungen wurden daraufhin den fünf Wendebereichen zugeordnet und gemäß des verwendeten KI-Technologiefeldes sortiert. Den jeweiligen Tabellen im Anhang kann entnommen werden, welche konkreten Potenziale identifiziert wurden.

Landwirtschaftswende

KI kann in verschiedenen Bereichen der Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft eingesetzt werden, um durch Verbesserung der Effizienz, der Genauigkeit, der Bewertung der Auswirkungen sowie der strategischen Planung eine nachhaltigere Lösung zu ermöglichen. Mehrere Anwendungsbereiche, die Themen aus den Bereichen Ackerbau, Tierhaltung, Fischerei und Waldschutz abdecken (siehe Anhang 11.4) werden im Folgenden kurz erläutert.

KI könnte z. B. eine nachhaltigere **Fischerei** unterstützen, indem sie die Überwachung und das Management von Fischbeständen durch die Erstellung von Datenbanken mit Bild- und Standortdaten der Fische ermöglicht. KI wird zu diesem Zweck bereits von Naturschutzorganisationen in Zusammenarbeit mit Unternehmen eingesetzt (Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz 2020).

Verschiedene Technologiefelder der KI wie Bildverarbeitung, Mustererkennung, Datenanalyse sowie autonome Systeme wie Drohnen und Roboter könnten für eine nachhaltige **Forstwirtschaft** sowohl auf lokaler und nationaler, als auch globaler Ebene genutzt werden. Für

die Erstellung einer globalen Waldkarte werden Satellitenbilder verwendet, die hochauflösende Bilder und große Datenmengen liefern, die eine Klassifizierung verschiedener Waldtypen anhand von Baumhöhen, -dichte und -struktur ermöglichen (Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz 2020). Die aus diesen Satellitenbildern gewonnenen Daten für die Überwachung der Wälder können mit Techniken des maschinellen Lernens analysiert werden, wobei die Baumarten und ihre Höhe als gute Indikatoren für den Kohlenstoffbestand betrachtet werden, um die Menge des in den Wäldern gespeicherten Kohlenstoffs zu schätzen (Rolnick et al. 2019).

Während die Analyse von Satellitenbildern bei der Erkennung von Abholzungen helfen könnte, können andere KI-Technologien wie die Audioverarbeitung auch für die bioakustische Überwachung tropischer Regenwälder eingesetzt werden, um den Einsatz von Kettensägen in Echtzeit zu erkennen und damit den Kampf gegen illegalen Holzeinschlag zu unterstützen (Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz 2020; Rolnick et al. 2019). KI-Methoden, wie maschinelles Lernen können zudem dabei helfen, die Aufforstung zu automatisieren, indem sie geeignete Pflanzstellen ausfindig machen, die Pflanzengesundheit überwachen und Unkräuter bewerten. Darüber hinaus ermöglicht der Einsatz von KI die Vorhersage von Trockenheit und die Abschätzung des Wassergehalts in Bäumen, was die Erkennung von Waldgebieten mit hohem Brandrisiko ermöglicht. Gleichzeitig kann KI zur Vorhersage des Brandverlaufs verwendet werden und hilft somit den Feuerwehrleuten bei der Entscheidungsfindung (Rolnick et al. 2019).

In der **Landwirtschaft** wird ein hohes ökonomisches und ökologisches Potenzial für den Einsatz von KI gesehen (Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz 2020). Hochentwickelte Werkzeuge werden zunehmend eingesetzt, da sie eine Präzisionslandwirtschaft durch optimiertes und automatisiertes Farmmanagement in großem Maßstab ermöglichen (Rolnick et al. 2019). Dazu gehören verschiedene Anwendungen, wie der Einsatz von Satellitenbildern zur globalen Überwachung der Pflanzenproduktion, die Ausrüstung von Maschinen wie Traktoren mit hochauflösenden Kameras zur automatischen Unkrautbeseitigung (Vandal et al. 2017), Bilderkennung zur Überwachung der Bodengesundheit (Ellen MacArthur Foundation 2019; Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz 2020), die Vorhersage von Ernteerträgen oder die Erkennung von Schädlingsbefall (Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz 2020).

Darüber hinaus könnten datengetriebene KI-Lösungen Landwirte bei der **Entscheidungsfindung** unterstützen. Zum Beispiel liefert KI durch die Analyse von Wetterdaten Vorhersagen für Stürme und Dürren oder hilft den Landwirten bei der Entscheidung (GeSI 2019), welche Pflanzen wo angebaut werden sollen, wie die Fruchtfolge optimiert werden kann und wann der richtige Zeitpunkt für Aussaat und Ernte gewählt wird (Ellen MacArthur Foundation 2019). Durch den Einsatz von KI erhalten Landwirte auch Informationen über die Marktbedarfe, die es ihnen ermöglichen, strategische Entscheidungen zu treffen und die Absatzmöglichkeiten zu verbessern sowie neue Geschäftsmodelle zu entwickeln (Ellen MacArthur Foundation 2019; Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz 2020).

Während bei den genannten Anwendungsfeldern eher der Einsatz von Bilderkennung und Datenanalyse dominiert, spielen weitere KI-Technologien wie Robotik und autonome Systeme sowie Sensorik ebenfalls eine Rolle, um die Transparenz, Effizienz und Kontrolle insbesondere im Pflanzenbau und in der Tierhaltung zu verbessern. Zum Beispiel erleichtern Drohnen den Landwirten die genaue Bestimmung der Bodengesundheit (Ellen MacArthur Foundation 2019), oder Roboter können zur automatischen Erkennung von Unkraut und dessen mechanischer oder elektrischer Beseitigung eingesetzt werden, was den Einsatz von Herbiziden bei Nutzpflanzen wie Mais oder Zuckerrüben schätzungsweise um bis zu 90 % reduzieren kann. Auch in der Tierhaltung ermöglichen Sensorik- und Kommunikationstechnologien

Videoüberwachung, besser messbare Futterleistungen und eine Reduzierung der Medikamentenverabreichung. (Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz 2020).

In den meisten der identifizierten Anwendungen ermöglicht der Einsatz von KI die Bereitstellung von Informationen sowie eine Verbesserung von Effizienz und Genauigkeit. Nur in wenigen Fällen kann der Einsatz von KI in der Land- und Forstwirtschaft zu disruptiven Innovationen und transformativen Verbesserungen beitragen.

Verkehrswende

KI kann für verschiedene Anwendungen zur Nachhaltigkeit im Mobilitätsbereich genutzt werden, indem mehr Transparenz und Effizienz hergestellt werden. Zum Beispiel hilft KI, die **komplexen Verkehrsdaten** durch Modellierung und Simulation zu verstehen und die Menge der Emissionen von Fahrzeugen abzuschätzen (Rolnick et al. 2019). Diese Informationen könnten für eine intelligente Koordination und Überwachung des Verkehrs mit Hilfe von Mustererkennung in größeren Maßstäben genutzt werden, was den Verkehrsfluss verbessert und somit den Energieverbrauch der Fahrzeuge reduziert.

Im **Personenverkehr** kann maschinelles Lernen für verschiedene Zwecke eingesetzt werden, z. B. für Navigationssysteme und Routenoptimierung, was letztendlich zu geringeren Treibhausgasemissionen beiträgt (Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz 2020). Der Einsatz von KI-Anwendungen im Pkw kann dazu beitragen, die Verkehrssicherheit zu erhöhen, und Brems- und Beschleunigungsvorgänge zu reduzieren. Dies macht den Verkehr flüssiger und reduziert damit auch den Energieverbrauch der Fahrzeuge (Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz 2020).

KI spielt eine wichtige Rolle bei der **intermodalen Vernetzung verschiedener Verkehrsmittel** und der **Shared Mobility** im nachhaltigen Kontext, wie z. B. beim Teilen von Fahrrädern, Elektro-Scootern und Elektrofahrzeugen (Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz 2020; Rolnick et al. 2019)[79]. Maschinelles Lernen kann Informationen über die Präferenzen der Fahrgäste bei der Wahl von langen Fahrten und Verkehrsmitteln liefern. Dies hilft, die Verkehrsnachfrage zu modellieren und neue Infrastruktur zu planen, indem neue Verkehrsmittel geschaffen werden, die die Treibhausgasemissionen reduzieren (Rolnick et al. 2019). ML-Algorithmen könnten auch eingesetzt werden, um die Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel für die Menschen einfacher und zuverlässiger zu machen, z. B. durch Schätzung der Ankunftszeiten von Bussen (Rolnick et al. 2019).

Die meisten der oben genannten Anwendungen wie multimodaler Transport, Überwachung und CO_2-Emissionsschätzung sind auch für den **Gütertransport** hilfreich. Darüber hinaus kann KI für die **Frachtkonsolidierung** eingesetzt werden, um den komplexen Entscheidungsraum über die Transportart, z. B. Schiene, See oder Luft, die Sendungsgrößen und die Kombination von Sendungen und Lieferanten auf der Grundlage der geografischen Regionen und gemeinsamen Ziele zu berücksichtigen (Rolnick et al. 2019).

Autonome Fahrzeuge sind ein weiteres Beispiel, bei dem der Einsatz von Algorithmen des maschinellen Lernens für die Entwicklung und Funktionalität, wie z. B. die Erkennung von Verkehrshindernissen auf der Straße und Fußgängern, von wesentlicher Bedeutung ist. Autonome Fahrzeuge könnten den Energieverbrauch senken, indem sie z. B. umweltfreundlich fahren und Verkehrsstaus reduzieren (Rolnick et al. 2019). Im **Güterverkehr** hilft KI auch bei der Reduzierung der Treibhausgasemissionen, indem sie den Einsatz kleiner autonomer Fahrzeuge wie Lieferroboter und Drohnen ermöglicht und den Energieverbrauch der Lkw durch

[79] Die Auswirkung der Shared Mobility auf die Nachhaltigkeit ist ungewiss, da sie die Nutzung von Fahrzeugen auf Basis fossiler Brennstoffe anstelle von öffentlichen Verkehrsmitteln erhöhen könnte (Rolnick et al. 2019).

Platooning reduziert (Rolnick et al. 2019). Autonome und intelligente Assistenzsysteme könnten auch die Effizienz des **Schiffsverkehrs** erhöhen, indem sie die Methoden der Schiffssteuerung verbessern. Fahrerlose Bahnsysteme, die in U-Bahnen oder Flughäfen eingesetzt werden, sowie der Einsatz von kleinen autonomen Bussen für kurze Strecken zum Zwecke der Nachfragesteuerung sind weitere Beispiele, bei denen der Einsatz von autonomen Systemen die Effizienz im Mobilitätssektor steigern kann (Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz 2020).

Methoden des maschinellen Lernens spielen eine wichtige Rolle bei verschiedenen Problemen im Zusammenhang mit **Elektroautos**, die als essenziell für die Dekarbonisierung des Verkehrs angesehen werden (Rolnick et al. 2019). Ladeplanung und Modellierung des Ladeverhaltens von Elektroautos, Analyse von fahrzeuginternen Sensor- und Kommunikationsdaten, Batteriemanagement wie Ladeschätzung, sowie die Vehicle-to-Grid-Technologie sind Beispielanwendungen für Elektroautos, bei denen die Anwendung von maschinellen Lernalgorithmen bereits heute die Effizienz verbessern kann (Rolnick et al. 2019). Im Bereich der Batterieforschung und -entwicklung bieten KI-Lösungen ebenfalls die Möglichkeit, bisherige Prozesse zu optimieren.

Zusammenfassend zeigt die Literatur (siehe Anhang 11.5), dass verschiedene KI-Technologiefelder wie Bilderkennung, Datenanalyse, autonome Systeme und Sensortechnologien[80] für Anwendungen im Mobilitätssektor genutzt werden können, indem sie Informationen bereitstellen, die Effizienz verbessern und zur Weiterentwicklung anderer Technologien zur Dekarbonisierung beitragen.

Energiewende

Laut der analysierten Literatur kann der Einsatz von KI in der Energiewirtschaft, die eine der Hauptquellen für Treibhausgas-Emissionen ist[81], in mehreren Anwendungen zur Nachhaltigkeit beitragen (siehe Anhang 11.6). Im Folgenden werden einige dieser Anwendungsbereiche erläutert.

KI-Algorithmen helfen bei der Vorhersage der schwankenden Energiemengen, die von Sonnenkollektoren und Windturbinen erzeugt werden, und verbessern damit das **Nachfragemanagement** (Rolnick et al. 2019; Kratochwill et al. 2020b). KI ermöglicht eine frühzeitige und genauere Abschätzung der erzeugten Strommenge und der Netzlast, was die Koordination zwischen Stromerzeugung und -verbrauch unterstützt. Dies verbessert die Vermarktung von **erneuerbaren Energien** (Kratochwill et al. 2020b), die als entscheidend für die Dekarbonisierung der Energiewirtschaft angesehen werden. Auch bei der **Optimierung und Überwachung des Netzbetriebs** kann KI eingesetzt werden. Beispielsweise können mit Hilfe von KI Wind- und Photovoltaikanlagen nach Windstärke und Einstrahlung ausgerichtet werden (Kratochwill et al. 2020b). KI-gestützte Analysemethoden können auch die Entscheidungsfindung bei der **Planung** von neuen Kraftwerken und Netzinfrastrukturen unterstützen (Kratochwill et al. 2020b).

Neben der Unterstützung bei der Umstellung auf erneuerbare und kohlenstoffarme Stromquellen hilft der Einsatz von KI auch bei der **Reduzierung von Emissionen** aus aktuellen Stromquellen. In diesem Zusammenhang kann maschinelles Lernen helfen, die Emissionen aus fossilen Brennstoffen zu reduzieren und den Stromverlust durch Widerstandswärme während des Transports zu senken, indem proaktive Netz-Upgrades empfohlen werden (Rolnick et al. 2019). Das **Management und die Optimierung von kohlenstoffarmen Technologien** zur

[80] Die genannten Anwendungen im Bereich Bilderkennung und autonome Systeme profitieren oft auch von Sensoren und Kommunikation.

[81] Jährliche Treibhausgas-Emissionen in Deutschland, Umweltbundesamt: Nationales Treibhausgasinventar 2021, 12/2020; Presseinformation 07/2021 vom 15.03.2021.

Energieerzeugung wie Geothermie, Kernspaltung und in einigen Fällen für dammbasierte Wasserkraft ist ein weiterer Bereich, in dem maschinelle Lernalgorithmen eine Rolle spielen könnten (Rolnick et al. 2019). Zum Beispiel kann maschinelles Lernen dabei helfen, Standorte für geothermische Energie zu identifizieren und zu verwalten, (Stau-)dämme so zu platzieren, dass sie sowohl energetische als auch ökologische Ziele erfüllen, und bei Optionen für die Entsorgung von Atommüll helfen (Rolnick et al. 2019).

Die **Wartung und Reparatur** der Netzinfrastruktur ist ein weiterer Anwendungsbereich, in dem KI höhere Effizienz und Genauigkeit bringen könnte. Die Erfassung und Verarbeitung von Sensordaten und die Bilderkennung ermöglichen es, fehlerhafte Teile der Anlagen zu identifizieren. KI ermöglicht auch ein vorausschauendes Wartungsschema der Infrastrukturen auf Basis der gesammelten Daten und empfiehlt Maßnahmen zur Vorbeugung sowie zur Reparatur. Drohnen, Roboter und KI-Assistenzsysteme ermöglichen auch die Fehlererkennung und unterstützen die Reparatur von Anlagen für gefährliche oder schwer zugängliche Teile des Netzes (Kratochwill et al. 2020b). KI-Methoden unterstützen zudem bei der Verstärkung von Sicherheitsmaßnahmen gegen feindliche Eingriffe in physischer oder virtueller Form durch Auswertung von Videoüberwachung und Cybersicherheit und tragen somit zur Energiewende bei, indem sie die Resilienz und das Vertrauen in den Systemwechsel verbessern (Kratochwill et al. 2020b).

Im Bereich **Vertrieb und Verbraucherservice** könnte KI individualisiertes Marketing und die Automatisierung von Zählung, Abrechnung und dem allgemeinen Vertrieb unterstützen. KI kann auch zur Analyse des Kundenverhaltens und zur Bereitstellung von Empfehlungen genutzt werden, die auf das Verbrauchsverhalten und die Präferenzen der Kunden zugeschnitten sind. Diese Maßnahmen könnten dazu beitragen, Effizienzpotenziale zu identifizieren und bei der Lastverschiebung zu helfen (Kratochwill et al. 2020b).

Die meisten der genannten Anwendungen profitieren von KI-Methoden der Bilderkennung, der Datenanalyse, von Robotik und autonomen Systemen sowie von Sensorik und Kommunikation[82]. In der Regel sind mehrere KI-Technologiefelder an einer Anwendung beteiligt.

Wärmewende

Laut der analysierten Literatur kann KI zu einigen Anwendungen im Wärmesektor beitragen. Diese Anwendungen beziehen sich hauptsächlich auf die Analyse des Energieverbrauchs in Gebäuden und Konzepten zur Verbesserung der Effizienz sowie auf Stadtplanung und neue Geschäftsmodelle. Im Folgenden werden einige dieser Anwendungen vorgestellt und ihre Auswirkungen auf Nachhaltigkeitsaspekte diskutiert.

Algorithmen des maschinellen Lernens helfen, die Energieverbrauchsdaten eines einzelnen Gebäudes zu verstehen. KI-gestützte Analysen können die Geräte mit hohem **Energieverbrauch identifizieren**, was für die Ergreifung von **Optimierungsmaßnahmen** unerlässlich ist (Rolnick et al. 2019). Darüber hinaus ermöglichen **KI-gestützte intelligente Gebäudemanagementsysteme** die Einbeziehung verschiedener Datenquellen wie **Heiz- und Kühlungsnutzungsmuster** und Wetterdaten zur **Optimierung des Energieverbrauchs** (Rolnick et al. 2019; The Royal Society 2020). Diese Systeme tragen mit Hilfe von KI-Lösungen für die Datenanalyse, Sensoren sowie Kommunikationssystemen für den Austausch von Signalen zwischen verschiedenen Teilen der Managementsysteme, einschließlich Sensoren, Aktoren, Steuerungs- und Softwareeinheiten, zur Effizienz von Heizung und Kühlung in Haushalten und im Industriesektor bei.

[82] Assistenzsysteme können auch für die Wartung und Reparatur von Netzinfrastrukturen eingesetzt werden.

Über die in Gebäuden ermöglichte Effizienz hinaus unterstützt der Einsatz von KI auch nachhaltige Lösungen im Wärmesektor in größerem Maßstab. Maschinelles Lernen kann auf Energiemodelle für städtische Gebäude[83] angewendet werden, um den **Energieverbrauch** und das **Treibhausgasminderungspotenzial auf städtischer Ebene** vorherzusagen (Rolnick et al. 2019). Auf diese Weise können Gebäude beispielsweise auf der Grundlage ihrer Energieeffizienz oder ihres Fernwärmepotenzials in Gruppen klassifiziert werden, was für die **Planung von Stadtteilen** genutzt werden könnte. Hochauflösende Satellitenbilder sind eine weitere Möglichkeit, mit der KI Informationen über den **CO^2-Fußabdruck von Gebäuden** und andere energetische Eigenschaften, wie das Vorhandensein von Photovoltaikanlagen, in großem Maßstab liefern kann. Auf diese Weise lässt sich beispielsweise eine globale Karte des Fußabdrucks menschlicher Siedlungen mit metergenauer Auflösung erstellen (Rolnick et al. 2019).

KI könnte auch nachhaltige Strukturen in der Wärmeverteilung unterstützen. So hilft KI beispielsweise bei der **Verbesserung der Koordination und Effizienz von Fernwärme- und Fernkältenetzen** (Rolnick et al. 2019), die als Schlüsselfaktoren der Wärmewende gelten. Darüber hinaus trägt KI dazu bei, die **Entwicklung von Wärmepumpen** durch Verbesserung ihrer Energieeffizienz und Funktionalität zu fördern (Violette et al. 2018).

KI kann auch als Teil digitaler Technologien zur **Unterstützung neuer Geschäftsmodelle wie "Wärme als Dienstleistung"** eine Rolle spielen. Bei diesem Geschäftsmodell profitieren die Anbietenden von einem geringeren Energieverbrauch und könnten daher die Kundschaft dabei unterstützen, die Energieeffizienz durch Dämmung sowie die Installation von Energiemanagementsystemen und intelligenten Heizungssteuerungen zu verbessern (The Royal Society 2020).

Es fällt auf, dass nahezu alle der gefundenen Anwendungen aus dem Bereich Datenmanagement und Datenanalyse stammen (siehe Anhang 11.7). Wie bereits erwähnt, werden jedoch in Anwendungsfällen wie der Analyse des Energieverbrauchs und intelligenten Energiemanagementsystemen auch Sensoren und Kommunikationstechnologien eingesetzt.

Kreislaufwirtschaft

Der Einsatz von KI ist prinzipiell in allen Phasen einer Kreislaufwirtschaft möglich. Mithilfe der Literaturrecherche wurden hauptsächlich KI-Anwendungen für die Phasen Produktion und Entsorgung identifiziert, zudem für die Phasen Design, Nutzung und Logistik (siehe Anhang 11.8). Die meisten Anwendungen zielen dabei auf Effizienzsteigerungen ab, indem sie eine stärkere Präzision ermöglichen. Dadurch ergeben sich Potenziale für Energie- und Ressourceneinsparungen.

Bilderkennungsverfahren können die optische Qualitätskontrolle in der Produktion verbessern. Sie können beispielsweise "bei passenden Eingangsdaten Muster erkennen, die auf Abweichungen hinweisen und damit die Suche nach Ursachen für Qualitätsschwankungen erleichtern" (Hatiboglu et al. 2019). Im Bereich Datenmanagement und -analyse kann die Verknüpfung und Auswertung vieler Daten über Maschinengruppen und Produktionssysteme hinweg zu geringeren Ausschussraten führen (GeSI 2019; Hatiboglu et al. 2019). Mittels großer Datenmengen können auch die Absatzprognosen deutlich verbessert werden, so lässt sich die Überproduktion reduzieren und übermäßige Lagerhaltung vermeiden (Rolnick et al. 2019; Hatiboglu et al. 2019; Bitkom 2017). Laut Bitkom und DFKI ermittelte zum Beispiel Blue Yonder, dass sich Bedarfsprognosen zwischen 20 % und 40 % verbesserten (Bitkom 2017). Sehr viele Quellen beschrieben Potenziale im Bereich prädiktive Wartung von Maschinen, Anlagen und

[83] Urban Building Energy Models (UBEM).

Produkten mithilfe von Sensorik und Kommunikation (GeSI 2019; Ellen MacArthur Foundation 2019; Rolnick et al. 2019; Hatiboglu et al. 2019). Dadurch lässt sich zum Beispiel die Lebensdauer der Maschinen und Anlagen verlängern. Außerdem kann der Energieverbrauch in der Produktion optimiert werden, was insbesondere für energieintensive Herstellungsverfahren relevant ist (Rolnick et al. 2019; Friedrich et al. 2021).

Im Bereich Entsorgung können mithilfe von Bilderkennung und Robotik gemischte Materialströme besser sortiert werden (Ellen MacArthur Foundation 2019). Insbesondere für die Sortierung von Abfällen und Wertstoffen gibt es für eine KI, die Bilder erkennt und lernt, vielfältige Einsatzmöglichkeiten. Mit entsprechender Sensortechnik und einer Technik zum Ausschleusen kombiniert, können Fremdstoffe und Fehlwürfe aus einem Abfallstrom, z.B. auf einem Sortierband, entfernt werden. Dies funktioniert bei der Sortierung von Verpackungsabfällen oder Bioabfällen, kann aber auch zur Sortierung von Restabfällen aus der grauen Tonne genutzt werden. Lernende Algorithmen können zudem eingesetzt werden, um Entscheidungsmodelle für die nächste Nutzungsphase zurückgegebener Produkte zu generieren (Ellen MacArthur Foundation 2019).

In der Designphase können KI-Algorithmen für das Design zirkulärer Materialien genutzt werden, beispielsweise kann durch die Analyse großer Datenmengen die Toxizität von Materialien vorhergesagt werden (Ellen MacArthur Foundation 2019; Rolnick et al. 2019; Gomes et al. 2019). Zudem kann anhand verschiedenster Daten, z. B. Kundenfeedback, die Produkt- und Retrofitplanung verbessert werden (Friedrich et al. 2021). In der Nutzungsphase können KI-Algorithmen Produkte zirkulärer Geschäftsmodelle dynamisch bepreisen und mit der Nachfrage matchen (Ellen MacArthur Foundation 2019).

Die meisten der beschriebenen Anwendungen nutzen das KI-Technologiefeld Datenmanagement und -analyse, gefolgt von Sensorik und Kommunikation. Die drei Technologiefelder Sprach- und Textverstehen, Mensch-Maschine-Interaktion sowie virtuelle und erweiterte Realität spielen in den untersuchten Literaturquellen keine Rolle.

6.3.3 Ergebnisse der Datenbankenauswertungen

6.3.3.1 Datenbankanalysen zu Startups mit KI-Bezug

Insgesamt wurden 33 deutsche und 101 US-amerikanische Startups mit KI-Bezug identifiziert und ausgewertet. Mithilfe der Datenbankauswertungen lassen sich folgende Informationen ableiten:

- Anzahl KI-Startups je Transformationsfeld,
- Anteile der KI-Technologiefelder in einem Transformationsfeld,
- Beschreibung der KI-Anwendungen und ihres möglichen Beitrags zum Umweltschutz und zur Green Economy.

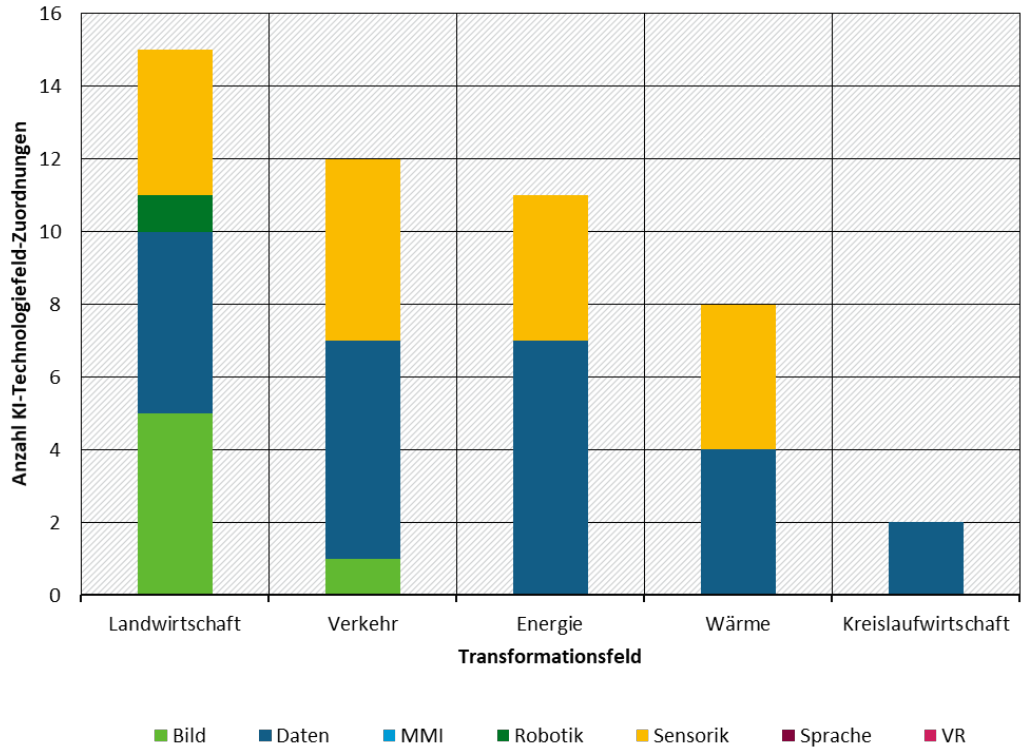
Tabelle 12 zeigt die Aufteilung der deutschen und amerikanischen KI-Startups auf die fünf Transformationsfelder.

Tabelle 12: Anzahl ausgewerteter KI-Startups je Transformationsfeld in Deutschland und den USA

Transformationsfeld	Landwirtschaft	Verkehr	Energie	Wärme	Kreislaufwirtschaft	Summe
Deutsche KI-Startups	11	10	7	3	2	33
US-KI-Startups	44	18	17	8	14	101

Bei den deutschen Startups ist auffällig, dass Wärmewende und Kreislaufwirtschaft mit Abstand am wenigsten adressiert werden, die amerikanischen Startups adressieren am stärksten die Landwirtschaftswende. Die folgende Abbildung 27 zeigt die Zuordnung der 33 deutschen KI-Startups zu den sieben KI-Technologiefeldern je Transformationsfeld.

Abbildung 27: Anzahl der KI-Technologiefeld-Zuordnungen deutscher KI-Startups je Transformationsfeld

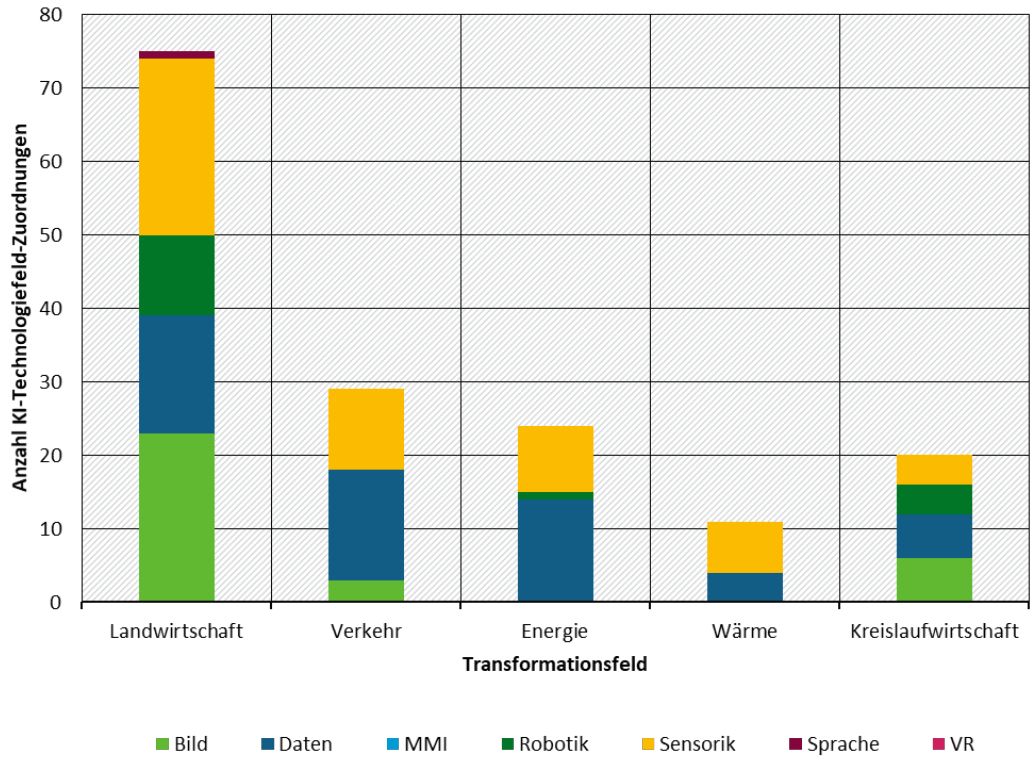


Anm.: Abkürzungen der sieben KI-Technologiefelder: Bild - Bilderkennung- und verstehen, Daten: Datenmanagement und --analyse, MMI: Mensch-Maschine-Interaktion und Assistenzsysteme, Robotik - Robotik und autonome Systeme, Sensorik - Sensorik und Kommunikation, Sprache - Sprach- und Textverstehen, VR - Virtuelle und erweiterte Realität
Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer ISI

Da einige Startups mehrfach zugeordnet sind, ergeben sich insgesamt 48 Zuordnungen. Auffällig ist, dass die Technologiefelder Daten und Sensorik in allen Transformationsfeldern stark dominieren und zu jeweils gleichen Anteilen verwendet werden, außer im Bereich Kreislaufwirtschaft. Das Technologiefeld Bilderkennung wird nur im Bereich Landwirtschaft und marginal im Bereich Verkehr angewendet. Das Technologiefeld Robotik ist lediglich zweimal im Bereich Landwirtschaft vertreten. Die Technologiefelder MMI, Spracherkennung und VR werden überhaupt nicht angewendet.

Abbildung 28 zeigt die Zuordnung der 101 amerikanischen KI-Startups zu den sieben KI-Technologiefeldern je Transformationsfeld. Da einige Startups mehrfach zugeordnet worden sind, ergeben sich insgesamt 163 Zuordnungen.

Abbildung 28: Anzahl der KI-Technologiefeld-Zuordnungen amerikanischer KI-Startups je Transformationsfeld



Anm.: Abkürzungen der sieben KI-Technologiefelder: Bild - Bilderkennung- und verstehen, Daten: Datenmanagement und --analyse, MMI: Mensch-Maschine-Interaktion und Assistenzsysteme, Robotik - Robotik und autonome Systeme, Sensorik - Sensorik und Kommunikation, Sprache - Sprach- und Textverstehen, VR - Virtuelle und erweiterte Realität
Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer ISI

Wie schon zuvor ersichtlich, dominiert die Landwirtschaftswende deutlich bei den amerikanischen KI-Startups. Im Vergleich zu den deutschen Startups wenden amerikanische Startups häufiger Robotik und Bilderkennung, insbesondere im Bereich Landwirtschaft an. Aber auch im Bereich Kreislaufwirtschaft finden sich Anwendungen aus Bilderkennung und Robotik. MMI, VR und Spracherkennung sind jedoch ebenfalls (fast) nicht vertreten. In Tabelle 11.9 im Anhang sind kurze Beschreibungen der KI-Anwendungen und des möglichen Beitrags zu Umweltschutz und Green Economy aufgeführt. Die KI-Anwendungen sind gruppiert nach KI-Technologiefeld und Transformationsfeld, ähnliche Anwendungen wurden zudem zusammengefasst. Es wird nicht zwischen KI-Anwendungen deutscher und amerikanischer Startups unterschieden, da der Beitrag der Anwendungen im Fokus steht.

6.3.3.2 Datenbankanalysen zu Forschungsprojekten mit KI-Bezug

Insgesamt wurden 17 deutsche und 25 europäische Forschungsprojekte mit KI-Bezug ausgewertet. Mithilfe der Datenbankauswertungen lassen sich folgende Informationen ableiten:

- Anzahl KI-Forschungsprojekte je Transformationsfeld,
- Anteile der KI-Technologiefelder in einem Transformationsfeld,
- Beschreibung der KI-Forschungsprojekte und ihres möglichen Beitrags zum Umweltschutz und zur Green Economy.

Von den ausgewerteten deutschen Forschungsprojekten adressieren die meisten die Landwirtschaftswende und keines die Kreislaufwirtschaft (siehe Tabelle 13). Bei den europäischen Forschungsprojekten handelt es sich nicht um eine repräsentative Abbildung der geförderten Projekte. Es wurden gezielt Projekte aus den Transformationsfeldern Landwirtschaftswende und Kreislauwirtschaft ausgewählt.[84] Daher ist kein Vergleich zwischen deutschen und europäischen Forschungsprojekten anhand der Häufigkeit möglich.

Tabelle 13: Anzahl ausgewerteter KI-Forschungsprojekte je Transformationsfeld in Deutschland und Europa

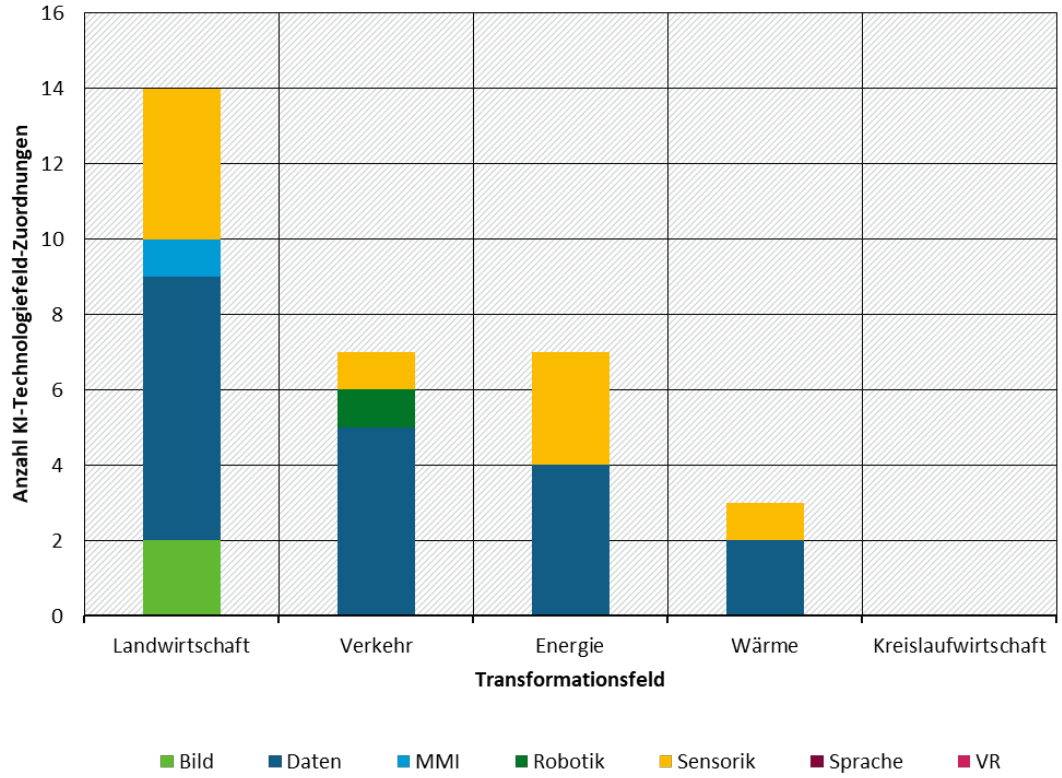
Transformationsfeld	Landwirtschaft	Verkehr	Energie	Wärme	Kreislaufwirtschaft	Summe
Deutsche Forschungsprojekte	7	4	4	2	0	17
Europäische Forschungsprojekte	19	0	0	0	6	25

Abbildung 29 zeigt die Zuordnung der 17 deutschen Forschungsprojekte zu den sieben KI-Technologiefeldern je Transformationsfeld. Da einige Forschungsprojekte mehrfach zugeordnet worden sind, ergeben sich insgesamt 33 Zuordnungen.

Anhand der Abbildung wird deutlich, dass das Technologiefeld Daten mit mehr als 50 % Zuordnungen in jedem Transformationsfeld dominiert. Sensorik wird auch in jedem Transformationsfeld eingesetzt, aber weniger häufig. Bilderkennung, MMI und Robotik wird vereinzelt eingesetzt; Spracherkennung und VR werden gar nicht eingesetzt.

[84] Der Auswahlprozess ist detailliert in Kapitel 5 zu Big Data beschrieben.

Abbildung 29: Anzahl der KI-Technologiefeld-Zuordnungen deutscher Forschungsprojekte je Transformationsfeld



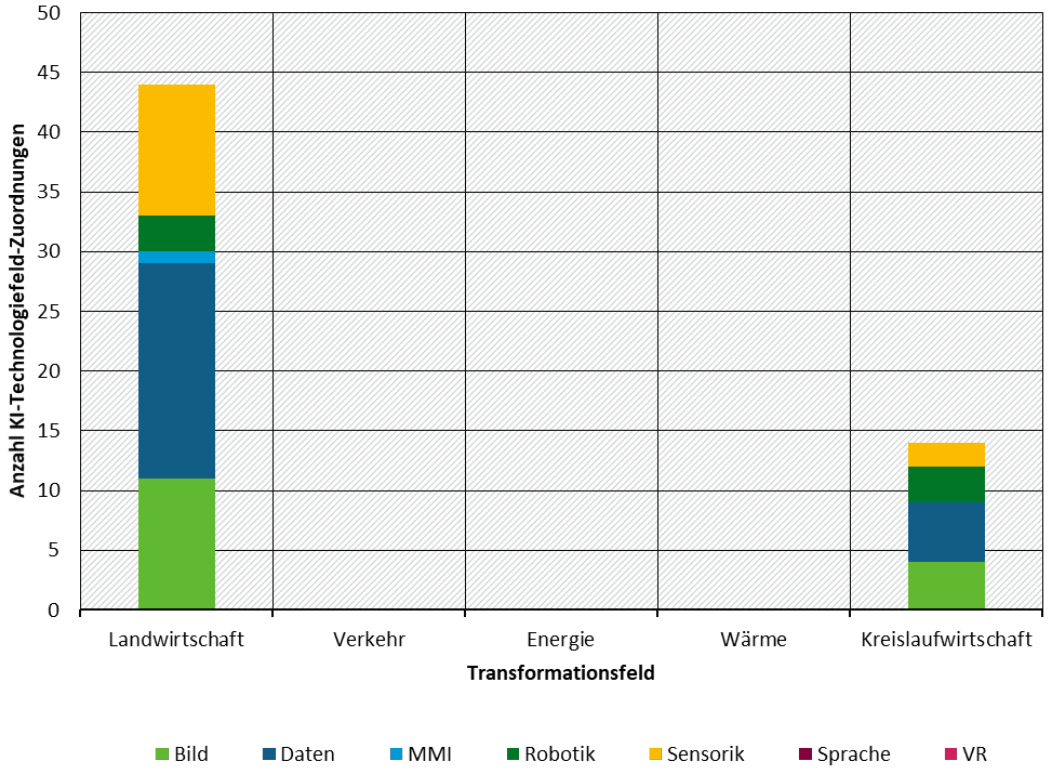
Anm.: Abkürzungen der sieben KI-Technologiefelder: Bild - Bilderkennung- und verstehen, Daten: Datenmanagement und --analyse, MMI: Mensch-Maschine-Interaktion und Assistenzsysteme, Robotik - Robotik und autonome Systeme, Sensorik - Sensorik und Kommunikation, Sprache - Sprach- und Textverstehen, VR - Virtuelle und erweiterte Realität
Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer ISI

Anhand Abbildung 30 ist ersichtlich, dass in beiden Transformationsfeldern die gleichen vier Technologiefelder (Daten, Sensorik, Bild und Robotik) eingesetzt werden, nur mit etwas unterschiedlichen Anteilen. Zudem wird im Transformationsfeld Landwirtschaftswende einmal MMI eingesetzt. Erneut werden weder Spracherkennung noch VR eingesetzt.

Vergleicht man die deutschen und europäischen Forschungsprojekte im Transformationsfeld Landwirtschaftswende, fällt auf, dass die Anteile der vertretenen Technologiefelder relativ ähnlich sind.

Im Anhang sind kurze Beschreibungen der KI-Forschungsprojekte und des möglichen Beitrags zu Umweltschutz und Green Economy aufgeführt (siehe Tabelle 11.10). Die Forschungsprojekte sind gruppiert nach KI-Technologiefeld und Transformationsfeld. Es handelt sich hierbei um eine Auswahl, ähnliche Projekte wurden zusammengefasst. Es wird nicht zwischen deutschen und europäischen KI-Forschungsprojekten unterschieden, da der Beitrag des Forschungsprojektes im Fokus steht.

Abbildung 30: Anzahl der KI-Technologiefeld-Zuordnungen europäischer Forschungsprojekte je Transformationsfeld



Anm.: Abkürzungen der sieben KI-Technologiefelder: Bild - Bilderkennung- und verstehen, Daten: Datenmanagement und --analyse, MMI: Mensch-Maschine-Interaktion und Assistenzsysteme, Robotik - Robotik und autonome Systeme, Sensorik - Sensorik und Kommunikation, Sprache - Sprach- und Textverstehen, VR - Virtuelle und erweiterte Realität
Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer ISI

6.3.4 Ergebnisse der Interviews

Im Rahmen der Interviews mit den KI-Expert:innen und den Vorhabens-Koordinatoren der KI-Leuchtturmprojekte wurden unter anderem die Potenziale für KI-Anwendungen im spezifischen Aufgabenfeld abgefragt. Die erwähnten KI-Anwendungen wurden anhand zweier Dimensionen eingeordnet:

- Zuordnung zu einem der fünf Transformationsfelder,
- Zuordnung zu einem der sieben KI-Technologiefelder.

Im Folgenden werden Beispiele zusammengetragen, wie die verschiedenen KI-Technologiefelder die fünf Wendebereiche exemplarisch unterstützen können. Eine Übersicht über die identifizierten Potenziale zeigt zudem Tabelle 11.11 im Anhang.

Verkehrswende

Eine **Verbesserung des Schienenverkehrs,** durch das von der Deutschen Bahn verfolgte Vorhaben der Digitalen Schiene Deutschland, könnte den Neubau von Schienen überflüssig werden. Durch die beabsichtigte Ertüchtigung der Streckentechnologie, durch z. B. digitale Stellwerke und KI-Verwendung soll die Kapazität des bestehenden Schienennetzes ohne nennenswerte Neubauten erweitert werden. Da die Züge dann in kürzeren Abständen verkehren könnten, würde die Attraktivität der Schiene hierdurch erhöht werden. Damit wäre wiederum

eine Reduktion von CO_2 verbunden, jedenfalls dann, wenn bisheriger motorisierter Individualverkehr durch Schienenverkehr ersetzt würde.

Eine **verbesserte Verkehrssteuerung** durch KI könnte Umweltaspekte (wie z. B. Luftverschmutzung) besser in die Planung und Überwachung integrieren. Hierfür wäre allerdings ein Perspektivenwechsel bei der Entwicklung „intelligenter Autos" nötig. Der Fokus müsste, von der individuellen Intelligenz hin zu einem intelligenten Netzwerk, welches den gesamten Verkehrsstrom im Blick hat, verschoben werden. Weitere Aspekte wären eine verbesserte Logistikplanung, um Lieferverkehre zu vermeiden und Auslieferungen besser zu bündeln.

Eine bessere KI-unterstützte Vernetzung von Akteuren und Mobilitätsanbietern im Individualverkehr wäre möglich anhand von Bedarfsprognosen, die Bedarfe und Angebote besser aufeinander abstimmen. Eine KI-Lösung könnte insbesondere die Untersuchung und Modellierung multifaktorieller Situationen, wie z. B. die kombinierte Nutzung von Verkehrsmitteln, weiter verbessern.

Landwirtschaftswende

In der Landwirtschaft könnte man kurzfristig durch **Kopplung von Sensorik und online-durchgeführten KI-gestützten Prognosen eine bessere Entscheidungsunterstützung** der Landwirte realisieren, die z. B. zu Einsparungen von Düngemitteln (Präzisionsdüngung) und Pflanzenschutzmittel beitragen und den Nitrathaushalt des Bodens besser in den Griff bekommen. Einzelne Elemente einer KI-gestützten ressourceneffizienten Landwirtschaft sind unter anderem die Mustererkennung von Daten aus Hyperspektralkameras zur Bestimmung von Pflanzenwachstum und Reifegrad, genauere Erntevorhersagemodelle, maschinelles Lernen zur Optimierung von Düngemitteleinsatz und Pflanzenschutz. Die genannten Parameter ergeben ein komplexes systemisches Bild, welches in integrative KI-Entscheidungsunterstützungssysteme überführt werden müsste.

Ebenfalls kurzfristig erscheint ein **besseres Monitoring und genauere Prognose** von invasiven Arten und von Krankheiten und Schädlingen durch KI-Lösungen möglich. Mittel- bis langfristig können diverse weitere Anwendungen die Landwirtschaftswende unterstützen, die im Folgenden ausgeführt werden.

Die **selektive mechanische Unkrautbekämpfung** könnte eine umwelt- und naturverträgliche Landwirtschaft unterstützen Sie wird insbesondere dazu entwickelt und eingesetzt, um gleichzeitig sowohl die Biodiversität zu fördern, als auch Verringerungen des Ertrags zu minimieren. Hierbei geht es darum, durch KI-basierte Bildverarbeitung Unkräuter und Beikräuter zu erkennen und zu differenzieren, damit erstere mechanisch selektiv entfernt und letztere für Insekten und Pflanzenvielfalt am Standort erhalten bleiben können.

Eine **KI-gesteuerte Robotik** sollte es langfristig ermöglichen, automatisierte Feldarbeit auch in Mischkulturen durchzuführen, wodurch vor allem eine stark verbesserte Bodenpflege möglich wird. Das Ziel wäre die Entwicklung kleiner, intelligenter Roboter, anstelle riesiger Landmaschinen. Eine individuelle Pflanzenpflege (ähnlich dem Trend zur personalisierten Medizin) wäre damit möglich.

Landmaschinen und autonome Feldroboter können im Systemverbund als **autonome und synergetische Systemlösungen** eine Vielzahl ökologisch relevanter Funktionen ausführen und selbst ökologisch optimiert werden. Die Energieversorgung dieser Einheiten kann mit erneuerbaren, vor Ort verfügbaren Energieträgern erfolgen, sie können als Speicher für Elektrizität im Stromnetz dienen und ermöglichen zudem eine systemische Energieoptimierung. Die Datensammlung und das Trainieren von Algorithmen mit Realweltdaten sind jedoch

langsame Prozesse, die autonome Operationen auf dem Feld mit minimaler menschlicher Überwachung vor Ort erfordern. Derartige Systemlösungen bieten langfristig gesehen Potenziale für einen ressourceneffizienten Betrieb (Landmaschinen, autonomen Feldroboter und ihre Versorgungsstationen).

Der Einsatz von ML-Verfahren kann helfen, **genauere Informationen zur Verteilung von Nitrat im Grundwasser** zu erhalten und, auch bei dünner Datenlage hinsichtlich Messinfrastruktur und Basisdaten, besser die räumliche und zeitliche Verteilung von Nitrat zu verstehen. Das könnte sowohl die Planung und Bewertung von Maßnahmen des Grundwasserschutzes vereinfachen, als auch die Messnetzoptimierung ermöglichen und Wasserversorgungsunternehmen bei ihren Aufgaben helfen. Langfristig könnten auch Erkenntnisse zur prinzipiellen Anwendbarkeit von ML-Verfahren im Wasserbereich entstehen, was insbesondere auch das Monitoring anderer Schadstoffe im Wasser angeht.

Die **Zählung und Bestimmung von Insekten** kann, entgegen der traditionellen Methode, bei dem Insekten sterben, durch Verwendung neuer Apparaturen, durch die Insekten krabbeln und fliegen, revolutioniert werden. Mit Hilfe von Kameras werden Bilder des Insekts und die charakteristischen Flügelschlagmuster erfasst. Dann erfolgt die Verwendung eines KI-Algorithmus, der in der Lage ist, die Insekten mithilfe von Trainingsdaten zum Aussehen und Flügelschlagmuster bestimmen zu können. Ein automatisiertes Monitoring von Insekten zur Erfassung der Artenvielfalt und Evaluierungen lassen sich dadurch leichter und kostengünstig durchführen.

Auch **alternative Formen der Landwirtschaft** mit Entlohnung der Bauern für Ökosystem-Dienstleistungen könnten durch KI einfacher umgesetzt werden. Hierzu wäre die Entwicklung von auf KI basierenden Systemen notwendig, die eine automatisierte, kostengünstige und quantifizierbare Überwachung der Landwirtschaft ermöglichen. Auf dieser Basis könnte dann die Entlohnung der Landwirte automatisiert anhand von Umweltschutz-Kriterien erfolgen. Dies wäre ein durchaus disruptiver Ansatz im Sinne einer Konsistenz-Lösung.

Energiewende

Der **Einsatz von KI als Vorhersagetool** erscheint vorteilhaft und realistisch. Der große Vorteil von KI-Anwendungen gegenüber klassischen Simulationsmodellen ist der wesentlich geringere Rechenaufwand, wodurch höher aufgelöste Vorhersagen in kürzerer Zeit möglich werden, die dann z. B. zu einer zielgenaueren Steuerung der Energiesysteme führen können. Allerdings ist die KI bisher nur bei Kurzfristvorhersagen (wenige Stunden) zuverlässig, so dass z. B. für die Steuerung des Einsatzes von Energiespeichertechnologien noch Weiterentwicklungen stattfinden müssten.

Eine **Optimierung des bestehenden Stromnetzes mit KI ist möglich.** Durch die Einspeisung von Erneuerbaren Energien in die Stromnetze und die anstehende Elektrifizierung des Wärmesektors entstehen enorme Herausforderungen für gewachsene und bestehende Stromnetze, da fluktuierende Einspeisung, Elektromobilität und Wärmepumpen sowie Solarenergieerzeuger für neue Lastspitzen, speziell im Niederspannungsnetz, sorgen. Dies führt zu einem großen Druck auf das Mittel- und Niederspannungsnetz. Anstelle eines aufwändigen und ressourcenverbrauchenden Netzausbaus könnte stattdessen eine Optimierung des bestehenden Stromnetzes mit KI erfolgen. Beispielsweise durch die Entwicklung eines KI-gestützten Reglers und über KI-gestützte intelligente Vorhersage könnte das Mittel- und Niederspannungsnetz wirkungsvoll entlastet werden. Die KI steckt hierbei also sowohl im Regler, um Echtzeitfähigkeit zu gewährleisten, da mit einem trainierten Algorithmus in Echtzeit der Regler geschaltet werden kann. Gleichzeitig ist der Einsatz von KI notwendig, um die Vorhersage von Lasten und Verbräuchen optimieren zu können.

Der Einsatz von KI-Lösungen erscheint zudem grundsätzlich immer dann sinnvoll, wenn **Steuerungs- und Regelungstechnik zu optimieren ist** (Energie, Strom, Gas, industrielle Prozesse). In solchen Fällen, in denen kleinteilige Informationen schnell und effizient verarbeitet werden müssen und dies durch eine KI unterstützt werden kann, erscheint insbesondere der Einsatz von "reinforcemet learning" sinnvoll.

Wärmewende

Im Bereich der Wärmewende konnten durch die geführten Interviews nur vergleichsweise wenige Beispiele gefunden werden. Es scheint, dass KI-Lösungen insbesondere eine **optimierte Energiesystemplanung für Wärme und Strom** gekoppelt auf regionaler Ebene unterstützen können. KI kann zudem, wie bereits unter dem Stichpunkt Energiewende ausgeführt, mit z. B. Heuristiken und Bilderkennung, die **Bedarfserkennung** vereinfachen.

Kreislaufwirtschaft

KI kann gewinnbringend in der **Material- und Stofferkennung** eingesetzt werden, da Materialien und Stoffe als Inputs, Zwischenprodukte und Outputs einer großen Breite an Umwandlungs-, Verarbeitungs-, Produktions-, Recycling- und Verwertungsprozessen ausgesetzt sind. Mit KI-basierter Mustererkennung, beispielsweise in optischen Daten und maschinellem Lernen, kann schneller und genauer als bisher erkannt werden, was in einem Gebinde für Materialfraktionen, Materialien und Stoffgemische enthalten sind. Durch Kombination von Datensätzen aus verschiedenen Stationen in den Anlagen und über Prozessketten hinweg können die Trenngüte und damit auch die Produktqualität bzw. Sortenreinheit des gewonnenen Sekundärrohstoffs verbessert und damit auch die Akzeptanz des Sekundärrohstoffeinsatzes erhöht werden.

Eine Vorbereitung zur **Wiederverwendung von Altkleidern** könnte anhand von Bilderkennung erfolgen. Im Rahmen einer KI-basierten Bilderauswertung werden Attribute der Altkleider (z. B. Farbe, Kapuze, usw.) abgeleitet. Damit erfolgt eine Zuordnung zu Kundengruppen (demographisch und geografisch). Damit könnte der gegenwärtige Status Quo (ausschließlich die Qualität ist Kriterium und die Verwertung erfolgt nur über Secondhand-Geschäfte) beendet werden, da um Kleidung länger zu nutzen, Secondhand eine größere Rolle spielen müsste und dafür kundengruppenspezifische Mode und Läden zukünftig vonnöten wären.

Wenn die oben beschriebene Wiederverwendung von Altkleidern nicht möglich erscheint, kann KI auch ein **besseres Recycling von Altkleidern** ermöglichen. Im Kleidungsbereich gibt es eine Vielzahl neuer Recyclinginnovationen, aber mit teils sehr genauen Anforderungen, welche Stoffe verarbeitet werden können und was nicht. Die Herausforderung ist daher: Was genau steckt in der Kleidung? Die Ergebnisse einer Spektroskopie (Infrarotlicht wird von Kleidung reflektiert) können mit Hilfe von KI ausgewertet werden. Derart ist die stoffliche Zusammensetzung eindeutig bestimmt und eine optimale Zuordnung zu passendem Recycling-Verfahren ist möglich.

KI könnte einen **grüneren Konsum** ermöglichen, wobei es hierbei das Ziel sein müsste, die Konsumentinnen und Konsumenten dabei zu unterstützen, nachhaltiger zu konsumieren, indem ihnen die konkreten Auswirkungen von Konsumentscheidungen angezeigt werden. Hierzu gehören etwa CO_2-Emissionen, Herstellungsbedingungen oder der ökologische Fußabdruck. Diese Informationen müssten vor der Kaufentscheidung verfügbar gemacht sowie nachhaltigere Alternativen vorgeschlagen werden. Die KI unterstützt dabei das Erkennen von Nutzerinteressen zum richtigen Zeitpunkt. Sobald die Absicht des/der potenziellen Konsument:in erkannt ist und Nachhaltigkeitsinformationen in einer verfügbaren Datenbank

vorhanden sind, kann eine automatisierte Ausgabe an den/die Nutzer:in mit alternativen nachhaltigeren Konsumlösungen erfolgen.

6.4 Potenziale von KI-Anwendungen in den Transformationsfeldern

Nachdem, anhand der geschilderten Primär- und Sekundärdaten (Literaturrecherchen, Datenbankauswertungen zu Forschungsprojekten und Startups, Interviews), eine grundsätzliche und übergreifende KI-Potenzialanalyse erfolgt ist, werden im vorliegenden Kapitel die erzielten Ergebnisse nun den eingangs identifizierten Transformationsfeldern zugeordnet, um abschließend für die Felder erste Einschätzungen treffen bzw. ein erstes Zwischenfazit ziehen zu können.

Die Vielzahl der im Rahmen der unterschiedlichen methodischen Zugänge gefundenen KI-Anwendungen erschweren die Erstellung einer umfassenden Übersicht, da eine nicht unbeträchtliche Anzahl von identifizierten Anwendungen in mehreren Quellen parallel bzw. in leichten Variationen gefunden wurde. Daher wurde in einem Prozess des Zusammenführens und Abgleichens eine zusammengefasste und konsolidierte Liste erstellt, die letztendlich aus 150 unterscheidbaren KI-Anwendungen besteht. Diese Liste - wiederum aufgeteilt in die fünf Wendefelder - wird in diesem Abschnitt vorgestellt und gleichzeitig einer abschließenden Einschätzung bzw. Bewertung unterzogen, inwieweit die gefundenen KI-Anwendungen einen Beitrag zur Transformation zur Green Economy leisten können.

Die Bewertung der Anwendung zeigt die Bedeutung ihrer Wirkung für die Nachhaltigkeit. Zu beachten ist, dass die Bewertung in erster Linie den Beitrag der Anwendungen zur Erreichung der Nachhaltigkeitsziele unter Berücksichtigung des technologischen Potenzials berücksichtigt. Die Auswirkungen anderer Faktoren wie dem zukünftigen Agieren von Regulierungsbehörden und politischen Entscheidungsträger werden zunächst nicht berücksichtigt. Zudem müssten einzelne KI-Anwendungen einer umfangreicheren vollständigen Umweltbewertung unterzogen werden, um die tatsächliche positive Umweltwirkung sicherzustellen bzw. die erforderlichen Rahmenbedingungen für eine insgesamt positive Bilanz herauszuarbeiten. Im Falle solcher Abhängigkeiten könnte die negative oder positive Unterstützung durch die genannten Faktoren das Beitragsniveau zur Nachhaltigkeit beeinflussen.

Die Bewertung hinsichtlich der Einschätzung, um welche Transformationsstufe (1, 2 oder 3) es sich handelt, und die damit einhergehende Bedeutung bezüglich Verfestigung, Verbesserung oder Gelegenheitsfenster, wird dabei in einer Verknüpfung von quantitativer und qualitativer Einschätzung getroffen.

- Quantitative Betrachtung, die alle erhobenen methodischen Zugänge berücksichtigt und die absoluten sowie relativen Zahlen der gefundenen Anwendungen beachtet,
- Qualitative Einteilung der Anwendungen in Stufe 1, 2 oder 3,
- Einschätzung der Marktreife der betrachteten Anwendungen,
- Übergreifende Betrachtung zur finalen Einschätzung, welche Anwendungen in welchen Feldern einen relevanten Einfluss auf die Transformation nehmen können.

Dabei gelten grundsätzlich die in Abschnitt 4.2 erläuterten Verständnisse der drei Transformationsstufen.

6.4.1 Verkehrswende

Einführung

Das Transformationsfeld Verkehr befindet sich bereits seit einiger Zeit in einer Umbruchsphase. Neue, individuelle Mobilitätslösungen erfahren an Bedeutung. Gleichzeitig nehmen aber die Zulassungszahlen neuer Pkw nicht ab und der Anteil des Verkehrssektors an den Treibhausgasemissionen wird nicht kleiner. Der dennoch notwendige Beitrag des Mobilitätssektors zur Erreichung der Klimaschutzziele und zum Übergang in eine grünere Ökonomie muss daher über mehrere Ansätze parallel erfolgen. So ist ein größer werdender Anteil an Elektrofahrzeugen bei PKW und der Bau von Oberleitungen für elektrifizierte LKW an Autobahnen sinnvoll, gleichzeitig kann aber auch durch den Einsatz digitaler Technologien, wie z. B. KI, eine sogenannte Smart Mobility unterstützt werden. Die Digitalisierung der Mobilität mithilfe von KI bietet somit einen möglichen Hebel für eine umweltfreundliche Verkehrswende.

Auch für Bahn, Fernbus und ÖPNV bietet die KI-Technologie Chancen, wie z. B. eine optimierte Organisation komplexer Mobilitätsketten mit größerer Flexibilisierung oder Effizienzsteigerungen durch eine verbesserte Verknüpfung von verschiedenen Verkehrsmitteln, verbunden mit einfacheren Abrechnungsmöglichkeiten und kundenfreundlicheren Services (Beckert et al. 2020). Entscheidend ist, wie die technologischen Lösungen gestaltet werden und welche Rahmenbedingungen in rechtlicher und finanzieller Hinsicht beachtet werden müssen.

In folgende Anwendungsbereiche kann das Transformationsfeld Verkehr unterschieden werden:

- **Verkehrsüberwachung und -steuerung**: Innovative Verfahren zur Erhebung von Verkehrsflüssen bedienen sich der Mobilfunkdaten an Verkehrswegen. Mittels der Kenntnis weniger Metadaten, der in den Funkzellen registrierten Endgeräte lassen sich neben einfachen Verkehrsstärken auch komplette Bewegungsprofile erzeugen. Die Menge der durch die unterschiedlichen Kanäle anfallenden Daten ist enorm. Mittels KI-Analyseverfahren werden hieraus Verkehrszustandsmeldungen für Rundfunk und mobile Endgeräte erzeugt. Verkehrsleitzentralen nutzen die Daten z. T. für belastungsabhängige Ampelsteuerungen, Geschwindigkeitsregelungen, die Freigabe von Standstreifen auf Autobahnen oder sonstige Maßnahmen zur Verkehrssteuerung. Für die Verkehrsplanung stellen flächendeckende und zeitlich aufgelöste Nachfragedaten eine wichtige Ressource dar, welche so vor der Digitalisierung der Infrastrukturüberwachung nicht existierte. Datenschutzprobleme entstehen durch die Möglichkeit, einzelne Nutzer:innen anhand von Bewegungsprofildaten zu identifizieren.

- **Automatisiertes Fahren**: Die Unterstützung von Fahrer:innen in allen Verkehrsmitteln durch elektronische Hilfsmittel nimmt mit der Entwicklung von Sicherheitsstandards und der technischen Möglichkeiten an Bedeutung zu. Autonomes Fahren beschreibt dabei eine graduelle Entwicklung. Durch die schrittweise Übernahme von Fahrfunktionen durch Assistenzsysteme wird der Grad der Autonomie von Fahrzeugen auf öffentlichen Straßen bis hin zum vollständig autonomen Fahren langsam zunehmen. In anderen Bereichen, wie dem ÖPNV, der Luftfahrt und der Seeschifffahrt, sind autonome Fahrzeugsteuerungen längst Alltag. Ferner wird der Zustand von Straßenfahrzeugen, Zügen, Flugzeugen und Schiffen permanent und mit großer Genauigkeit überwacht. Diese Überwachung erlaubt eine schnelle Diagnose des Zustands der Verkehrsmittel bei der Inspektion oder bei Fehlern. Die Datenmengen sind jedoch mitunter so umfangreich, dass nur KI- bzw. Big Data-Methoden in der Lage sind, potenzielle Probleme rechtzeitig zu diagnostizieren.

- **Vernetztes Fahren** entsteht, wenn sich (teil-)autonome oder vernetzte Fahrzeuge mit einer "intelligenten" Infrastruktur verknüpfen. Dadurch kann ein kooperatives, intelligentes

Verkehrssystem geschaffen werden, in welchem sowohl eine Kommunikation der Fahrzeuge zu diversen Infrastrukturen(Vehicle-to-X), als auch eine Kommunikation von Fahrzeug zu Fahrzeug (Vehicle-to-Vehicle) möglich ist. Ein derartiges Verkehrsmanagement, welches als kooperativ und intelligent bezeichnet werden kann, ermöglicht eine optimierte Nutzung des Verkehrsraums und kann der Verkehrssicherheit dienen. Somit erscheinen Beiträge zur Absenkung von Umwelt- und Klimabelastungen, in Form von positiven Einflüssen auf die Kraftstoffeffizienz und einer Verminderung von Treibhausgasemissionen nicht unrealistisch. Diese lassen sich dabei sowohl auf Ebene des einzelnen Autos (z.B. durch eine Optimierung von Motorsteuerung und Fahrverhalten), als auch auf Ebene des Gesamtverkehrs (z.B. durch Verstetigung von Verkehrsflüssen) realisieren (Köppl-Turyna 2021).

- **Multimodale Mobilität und Sharing Economy**: Durch die mittlerweile nahezu flächendeckende Verbreitung von leistungsfähigen Smartphones und anderweitigen mobilen Endgeräten sowie das Schließen letzter Lücken in den Mobilfunknetzen, ist das Aufkommen von sogenannten Sharing-Diensten ermöglicht worden. Insbesondere im urbanen Verkehr spielen diese mittlerweile eine wichtige Rolle und haben zu großen Veränderungen der "Mobilitätskultur" beigetragen. Eine Marktdurchdringung von Car- und Bike-Sharing-Systemen erfolgt durch Buchungs- und Abrechnungssysteme mit hoher Nutzerfreundlichkeit (Usability) und deren digitalen Verknüpfung mit öffentlichen Verkehrssystemen. Diese öffentlichen Verkehrssysteme könnten dann als Alternative zum privaten Pkw angesehen werden, da sie von einer verbesserten Verfügbarkeit und Flexibilität profitieren, da potentielle Nutzer ihre Routenplanung und Buchungsvorgänge von jedem beliebigen Standort und in Echtzeit durchführen können. Aber auch im Fernverkehr sind, neben den geschilderten intermodalen Auskunfts- und Buchungssystemen, weitere neue Lösungen denkbar, wie z.B. eine Peer-to-Peer-Vermittlung von Mitfahrmöglichkeiten oder ein digital ermöglichtes privates Teilen von Autos (Köppl-Turyna 2021).

Inwieweit die hier beschriebenen - vor allem positiven ökologischen Wirkungen einer durch KI-Lösungen unterstützten fortschreitenden Digitalisierung im Verkehr - tatsächlich realisiert werden, ist unklar. Zu beachten sind auch mögliche negative Wirkungen, die durch eine zunehmende Automatisierung des Straßenverkehrs erfolgen können. Dabei ist in erster Linie zu beachten, dass ein (teil-)autonomes bzw. weitestgehend automatisiertes Fahren die eigentlichen Kernvorteile des öffentlichen Verkehrs (wie z.B. der Zeitgewinn für andere, nicht dem Fahren gewidmete Tätigkeiten, wie Lesen oder Arbeiten) für den Individualverkehr übernimmt. Somit ist es auch denkbar, dass Nutzer von ÖPNV und Bahn wieder zum motorisierten Individualverkehr zurückkehren (Köppl-Turyna 2021).

KI-Potenziale

Um die konkreten Potenziale von KI-unterstützten Lösungen für die skizzierte Verkehrswende zu untersuchen, soll im Folgenden eine Betrachtung der identifizierten KI-Anwendungen, die sich der Verkehrswende zurechnen lassen, erfolgen (siehe Tabelle 14). Dabei wird offensichtlich, dass im Bereich der Verkehrswende sowohl eine in absoluten Zahlen, als auch in Relation zu den anderen Wendefeldern, relativ große Anzahl von KI-Anwendungen gefunden wurde. Dies weckt natürlich berechtigte Hoffnung auf einen möglichen Beitrag der KI zur Transformation hin zu einer Green Economy. Es zeigt sich, dass insbesondere die Bereiche des Datenmanagements und der Datenanalyse eine entscheidende Rolle zu spielen scheinen. Zwar lassen sich weder hier, noch bei den anderen KI-Technologiefeldern, Anwendungen der höchsten Transformationsstufe finden, jedoch gibt es eine ganze Reihe von interessanten KI-Anwendungen, die sich der zweiten Stufe, und damit einer durchaus relevanten Verbesserung des Status Quo, zuordnen lassen. Stellvertretend hierfür seien genannt:

- Bessere KI-unterstützte Planung und Modellierung des Reisebedarfs und sich daraus ergebende bessere Auslastung bestehender Infrastrukturen sowie optimierte Planung von neu zu bauender Verkehrsinfrastruktur,
- Verkehrsverlagerung durch Ermöglichung von kohlenstoffarmen Transportoptionen sowohl für den Personen- als auch für den Güterverkehr, z. B. durch die bessere Integration von Bike-Sharing- oder Elektroroller-Diensten für die intermodale Mobilität und Ermöglichung einer schnelleren, zuverlässigeren, effizienteren und einfacheren Nutzung von kohlenstoffarmen Verkehrsmitteln,
- Steigerung der Attraktivität und Alltagstauglichkeit von Elektrofahrzeugen durch KI-Lösungen, wie z. B. Verbesserung der Algorithmen für eine optimierte Ladeplanung, Engpassmanagement und Vehicle-to-Grid-Kommunikation oder auch Unterstützung bei der Entwicklung von Antriebsbatterien,
- KI-gestützte Steigerung der Leistungsfähigkeit bestehender Schieneninfrastrukturen durch bessere Auslastung der vorhandenen Schieneninfrastruktur sowie vorbeugende Instandhaltung im Schienenverkehr.

Neben diesen vergleichsweise hoch eingeschätzten Anwendungsbeispielen der zweiten Stufe findet sich jedoch auch eine beachtliche Anzahl von KI-Lösungen, die eher nur einen Effekt auf der untersten Stufe der hier verwendeten Transformationsskala erzeugen und damit voraussichtlich keinen substanziellen Beitrag zu einer tatsächlichen Wende im Verkehrsbereich leisten können. Auffällig ist hierbei, dass die KI-Technologiefelder "Sprach- und Textverstehen" sowie "Mensch-Maschine-Interaktion" und "Virtuelle Realität" nahezu keine Rolle zu spielen scheinen. Im Bereich "Bilderkennung", "Datenmanagement", "Robotik" und "Sensorik" sind jedoch einige Anwendungen zu finden, die z. B. zu einer Reduktion von Fahrtstrecken (durch KI-gestützte Parkplatzsuche oder Routenoptimierung) führen. Einen ähnlichen Effekt erzielen KI-Algorithmen, die ein verbessertes Matching von Fracht- und Logistikanbietern ermöglichen und somit eine höhere Auslastung unterstützen bzw. Leerfahrten vermeiden.

Die Automatisierung des Fahrens in allen Bereichen (Straße, Schiene, Wasser, Luft) wird ebenfalls durch KI erst entscheidend ermöglicht. Die sich ergebenden Vorteile liegen insbesondere in einer effizienteren und energieträgerschonenderen (da vorausschauenden) Fahrweise und in einer Optimierung der Kapazität der Straßeninfrastruktur. Bei Mischverkehr zwischen automatisierten und menschlich gesteuerten Fahrzeugen ist jedoch mit Einbußen der Kapazität zu rechnen. Allen diesen Beispielen der ersten Stufe ist jedoch gemein, dass hier nur an vergleichsweise kleinen Stellschrauben gedreht wird bzw. nur leichte Verbesserungen an grundsätzlich nicht nachhaltigen Vorgehensweisen erzielt werden, so dass sie, wenn überhaupt, nur mit Einschränkungen bei einer wirklichen Transformation hilfreich sein werden.

Spezifische Hemmnisse und Risiken

Im Bereich der Verkehrswende scheinen es unter anderem staatliche und regulatorische Einschränkungen (wie z. B. das Personenbeförderungsgesetz) zu sein, die es innovativen KI-gestützten Mobilitätskonzepten erschweren, sich erfolgreich am Markt zu positionieren. Andere Hemmnisse, wie z.B. fehlende Daten oder fehlende Geschäftsmodelle scheinen im Verkehrsbereich, in dem viele Daten standardmäßig erfasst werden und der Bedarf nach neuen Mobilitätslösungen groß ist, weniger ein Problem.

In Bezug auf Risiken stellen sich an KI-Lösungen im Verkehr generell sehr hohe Anforderungen an sämtliche Sicherheitsaspekte, angefangen bei den möglichen Folgen einer Fehlfunktion (z. B. im Rahmen des autonomen Fahrens) bis hin zu redundanten Lösungen, die für den Ausfall der

KI vorgehalten werden müssen. Risiken zeigen sich zudem durch die latente Gefahr des Missbrauchs, beispielweise von Reisedaten von Individuen, die im schlechtesten Fall zu Bewegungsprofilen einzelner Personen führen könnten. Alleine die Angst derartiger Auswertungsmöglichkeiten könnte wiederum zu einer sinkenden Akzeptanz auf Seiten der potenziellen Nutzer:innen führen. Speziell im Verkehrsbereich sind aber auch nicht zu begrüßende Verlagerungseffekte zu nennen, die im Gesamteffekt sogar zu einer Zunahme der individuellen motorisierten Mobilität beitragen könnten, wenn zukünftig nicht Formen der geteilten Mobilität attraktiver gestaltet werden.

Marktreife der Anwendungen

Bezüglich der Marktreife bzw. Marktnähe der gefundenen Anwendungen fällt auf, dass nahezu alle Anwendungen, die von Startups bereits im Markt umgesetzt werden, nur der ersten Transformationsstufe zuzurechnen sind. Dies bedeutet, es existiert zwar eine Vielzahl beispielhafter Anwendungen bereits in der Realität, diese sind jedoch voraussichtlich für sich genommen nicht in der Lage, die Transformation einzuläuten. Die in Stufe 2 eingegliederten Beispiele dagegen werden (bis auf eine Ausnahme im Schienenverkehr) erst theoretisch diskutiert bzw. derzeit im Rahmen von Forschungsprojekten untersucht. Inwieweit diese dann auch in marktreife Anwendungen überführt werden können, ist größtenteils noch nicht absehbar. Daher scheinen die oben beschriebenen großen Potenziale der KI-Technologie im Verkehrsbereich eher nicht kurzfristig, sondern vielmehr erst in mehreren Jahren erschließbar.

Fazit

Zusammenfassend lässt sich zwar das Fehlen einer tatsächlichen Konsistenz-Lösung mit großer transformativer Kraft konstatieren, jedoch konnten eine ganze Reihe individueller und vergleichsweise wirkmächtiger KI-Anwendungen identifiziert werden, die im Zusammenspiel durchaus ihren Beitrag zu einer Verkehrswende leisten können. Zumindest scheinen sie das Einleiten dieser Wende stärker zu unterstützen, denn zu konterkarieren (z.B. durch große Reboundeffekte), so dass insgesamt ein positiver Beitrag der KI zur Verkehrswende festgehalten werden kann.

Tabelle 14: Landkarte vermuteter KI-Einflüsse auf die Verkehrswende

	Anwendungen Verkehrswende	Möglicher Effekt	Stufe	Quellen
Bilderkennung und -verstehen	Personalisierte Navigationssysteme für Routenempfehlungen	Baustein für Nachhaltigkeits-transformation (Personen Navigation)	2	Enquete-Kommission (2020); Interview Fraunhofer Allianz Big Data
	Strategische Koordination von Verkehrssteuerung und -informationssystemen	Baustein für Nachhaltigkeits-transformation	2	
	Verkehrsüberwachung (Modellierung, Simulation, Erkennung von Verkehrsmustern und Abschätzung der Treibhausgasemissionen von Fahrzeugen)	Geringe Nachhaltigkeits-wirkung	1	Rolnick et al. (2019)
	Schnelleres Parkplatzfinden	Effizienzgewinne	1	Startup
	Analyse von Park-, Fahr-, und Halteverhalten	Informationsgewinne	1	Startup
	Ersatz oder Reduzierung von Transporten durch die Bereitstellung von Alternativen zum Transport	Effizienzsteigerung	1	Rolnick et al. (2019)

Sprach- und Textverstehen				
Daten-management und -analyse	Verkehrsverlagerung durch Ermöglichung von kohlenstoffarmen Transportoptionen sowohl für den Personen- als auch für den Güterverkehr	Baustein für Nachhaltigkeits-transformation	2	Rolnick et al. (2019); Interviews Enquete-Kommission
	Vernetzung und Intermodalität in der Mobilität (Finden der optimalen Mobilitätslösung für intermodale Reisen)	Baustein für Nachhaltigkeits-transformation	2	2020; Forschungs-projekt
	Modellierung des Reisebedarfs und Planung neuer Verkehrsinfrastruktur zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen	Baustein für Nachhaltigkeits-transformation	2	Rolnick et al (2019); Forschungs-projekt
	Verbesserungen bei Elektrofahrzeugen (Verbesserung der Algorithmen für Ladeplanung, Engpassmanagement und Vehicle-to-Grid, Forschung und Entwicklung von EV-Batterien)	Baustein für Nachhaltigkeits-transformation	2	Rolnick et al. (2019)
	Bessere Auslastung der vorhandenen Schieneninfrastruktur	Baustein für Nachhaltigkeits-transformation	2	Interview
	Verbesserung der Forschung und Entwicklung von alternativen Kraftstoffen, die zu weniger THG-Emissionen beitragen, wie z. B. Elektrokraftstoffe, Solarkraftstoffe, Biokraftstoffe, Wasserstoff	Geringe Nachhaltigkeits-wirkung	1	Rolnick et al. (2019)
	Analyse Fahrer- und Fußgängerverhalten für sicheres autonomes Fahren	Geringe Nachhaltigkeits-wirkung (Prognose Verkehrsverhalten)	1	Fraunhofer Allianz Big Data
	Matching von Fracht- und Logistikanbietern	Effizienzgewinne	1	Forschungs-projekt
	Frachtrouting und -konsolidierung durch Optimierung des Zusammenspiels von Sendungsgrößen, Verkehrsträgern, Start-Ziel-Paaren und Serviceanforderungen sowie durch Vorhersage von Ankunftszeiten oder Nachfrage	Effizienzsteigerung	1	Rolnick et al. (2019)

	Identifizierung und Planung von Transportstörungen und Gruppierung von Lieferanten nach ihrer geografischen Lage und gemeinsamen Versandzielen	Effizienzsteigerung	1	Rolnick et al. (2019)
	Lernender digitaler Fahrassistent	Effizienzsteigerung	1	Fraunhofer Allianz Big Data
	Fahrerzustandserkennung	Effizienzsteigerung	1	Fraunhofer Allianz Big Data
	Effiziente Fahrzeuggestaltung mit ML	Effizienzsteigerung	1	Rolnick et al. (2019)
	Prozessoptimierung in der Luftfahrtindustrie	Effizienzsteigerung	1	Enquete-Kommission (2020)
	Analyse der Einflüsse der Zersiedelung auf den Energieverbrauch des Verkehrs (Smart Cities)	Informations-bereitstellung	1	Rolnick et al. (2019)
	Optimierung des Bahnverkehrs und Anpassung an die Kundenbedürfnisse	Effizienzsteigerung	1	Enquete-Kommission (2020), Interviews
Mensch-Maschine-Interaktion und Assistenz-systeme	Analyse Verkehrsdaten zur Erkennung von Mobilitätsmustern, Nutzung zur Planung von ÖPNV, EV-Ladestationen, etc.	Informationsgewinne	1	Forschungs-projekt
	Autonomes Fliegen	Effizienzsteigerung	1	Fraunhofer Allianz Big Data
	Flexible Nachfragesteuerung durch Anwendung von autonom fahrenden Kleinbussen für kurze Entfernungen	Effizienzsteigerung	1	Enquete-Kommission (2020)
Robotik und autonome Systeme	Automatisierte, fahrerlose Schienensysteme	Effizienzsteigerung	1	Enquete-Kommission (2020)
	Autonome und intelligente Assistenzsysteme für Schiffsführung	Effizienzsteigerung	1	Enquete-Kommission (2020)
	Autonome PKW	Effizienzsteigerung	1	Fraunhofer Allianz Big Data
	Vorbeugende Instandhaltung im Schienenverkehr	Informations- und Effizienzgewinne	2	Startup
Sensorik und Kommu-nikation	Analyse Verkehrsdaten zur Erkennung von Mobilitätsmustern, Beleuchtungssteuerung	Effizienzgewinne	1	Startup
	Analyse und Optimierung Geschwindigkeit bei Hochseetankern	Effizienzgewinne	1	Startup

Virtuelle und erweiterte Realität	Optimierung und Synchronisation von Ampeln für besseren Verkehrsfluss	Informations- und Effizienzgewinne	1	Startup
	Mobilitätsübergreifende Kommunikation durch Schienenvernetzung	Effizienzsteigerung	1	Enquete-Kommission (2020)
	Flottenversuche zur Erprobung autonomer Fahrzeuge	Enabling	1	Forschungs-projekt
	Luftfahrzeug-Instandhaltung (sogenannter Flugzeug-/Mechanik-Check)	Effizienzsteigerung	1	Enquete-Kommission (2020)

6.4.2 Landwirtschaftswende

Einführung

Die Notwendigkeit im Bereich der Landwirtschaft, einen neuen Weg einzuschlagen und damit eine Landwirtschaftswende einzuleiten, ist, zumindest in Deutschland im Jahr 2021, nahezu Konsens. Die zeigt sich durch die gemeinsame Erklärung der "Zukunftskommission Landwirtschaft", die aus einem breiten Bündnis von zahlreichen Akteuren und Stakeholdern aus Landwirtschaft, Umwelt- und Tierschutz, Wissenschaft und Wirtschaft besteht. Diese gemeinsame Erklärung von Vertretern von Umweltverbänden und Landwirten über die künftige Ausrichtung der Landwirtschaft stellt fest, dass die deutsche Landwirtschaft insgesamt circa 90 Milliarden Euro pro Jahr an ökologischen Folgekosten generiert. Die zeigt sich z.B. in stärker belastetem Grundwasser, in zunehmender Luftverschmutzung oder aber durch Verluste in der Biodiversität. Dieses gemeinsame Verständnis kann als erster wichtiger Schritt auf dem Weg zu einer Wende aufgefasst werden.

Demgegenüber stehen jedoch die Beschlüsse auf europäischer Ebene zur Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP), die eine Fortsetzung der traditionellen Agrarpolitik darzustellen scheinen. Bis 2027 sollen im Rahmen der GAP nur maximal 25 % der jährlichen 270 Milliarden Euro an EU-Agrar-Subventionen nach ökologische Kriterien vergeben werden. Der Hauptanteil von 75 % würde nach wie vor ausschließlich nach Fläche ausgerichtet. Ob derart die oben definierte Landwirtschaftswende tatsächlich und wirkungsvoll unterstützt wird, ist fraglich. Gerade deshalb scheint es umso wichtiger zu sein, die Rolle von KI im Bereich einer möglichen Landwirtschaftswende explizit zu untersuchen beziehungsweise zumindest Beiträge von neuartigen KI-Anwendungen dahingehend in Augenschein zu nehmen, inwieweit hier vollständig neue Möglichkeiten oder zumindest Unterstützungshilfen für Fortschritte erzielt werden können.

KI-Potenziale

Bei einer Beurteilung der Potenziale der KI-Technologie wird offensichtlich, dass im Bereich der Landwirtschaftswende eine vergleichsweise große Anzahl von unterschiedlichsten KI-Anwendungen gefunden wurde, die einen möglicherweise zur Transformation hin zu einer Green Economy beitragen können. Es zeigt sich, dass insbesondere KI-Technologien aus vier Bereichen (Bilderkennung, Datenmanagement, Robotik, Sensorik) eventuell in der Lage sein könnten, die Landwirtschaftswende wirkungsvoll zu unterstützen (siehe Tabelle 15). Zwar konnten in diesen Bereichen keine Beispiele identifiziert werden, die sich in der Logik der verwendeten Transformationsskala auf der höchsten Stufe wiederfinden (und damit ein Gelegenheitsfenster zur Transformation öffnen würden), jedoch ließen sich zumindest jeweils zwei bis drei Beispiele finden, die der zweiten Stufe zugeordnet werden können.

Unter diesen Anwendungen der Stufe 2 erscheinen insbesondere folgende vielversprechend:

- Ermöglichung einer präziseren Form der Landwirtschaft (sogenannte Präzisionslandwirtschaft), in welcher autonome Roboter zur selektiven mechanischen Unkrautentfernung eingesetzt werden. Die KI ermöglicht die Identifikation und Unterscheidung von Unkraut und Beikräutern und macht so einen (flächendeckenden) Einsatz von schädlichen Pestiziden und Herbiziden unnötig.
- Unterstützung in der Pflanzenzüchtung, z. B. durch genauere Bewertung der Leistungen von Pflanzensorten. Die KI ermöglicht eine Vorhersage und Analyse von Pflanzeneigenschaften zur optimalen Züchtung, Aussaat und Aufzucht. Der Bedarf an Dünger könnte auf diese Weise zurückgehen und damit auch die Nitratbelastung des Grundwassers.
- Optimiertes Forst- und Wald-Management mit KI-Unterstützung, durch präzisere Schätzung des Kohlenstoffbestands, ein proaktives Management von Waldbränden sowie durch die frühzeitige Erkennung von Entwaldung und als Reaktion darauf eine automatisierte Aufforstung mithilfe von Drohnen.
- Dynamische, bedarfsgerechte und automatische Prozesssteuerung beim Indoorfarming. KI ermöglicht ein Indoorfarming mit Robotern, welche sich autonom bewegen, den Reifegrad der verschiedenen Pflanzen erkennen und den optimalen Erntezeitpunkt bestimmen können. Dies erhöht die Wirtschaftlichkeit der Lebensmittelproduktion.

Diese vier beschriebenen, sowie weitere vergleichbare potenzielle KI-unterstützte Anwendungen in der Landwirtschaft, können für sich genommen vielleicht keine Revolution im Agrarbereich auslösen, haben aber doch das Potenzial, relevante Verbesserungen auf den Weg zu bringen bzw. können den Weg hin zu einer "grüneren" Wirtschaftsweise (im Konsens der zuvor aufgeführten Stakeholder) technologisch unterstützen.

Der Großteil der gefundenen KI-Anwendungen, die der Landwirtschaft zugeordnet werden können, sind jedoch im Bereich der untersten Transformationsstufe zu verorten. Beispiele hierfür sind unter anderem ein verbessertes Monitoring bzw. eine optimierte Überwachung von z. B. landwirtschaftlichen Flächen, Getreidelagerung, Milchviehhaltung, Insektenbeständen oder Fischbeständen. Zudem können verschiedenste Prognoseverfahren geschärft werden, wie z. B. die Prognose landwirtschaftlicher Risiken oder Bedarfe.

Spezifische Hemmnisse und Risiken

Hemmnisse, welche die Verbreitung von nachhaltigen KI-Anwendungen zur Unterstützung der Landwirtschaftswende verhindern, finden sich in erster Linie in den oft nicht kompatiblen Datenformaten, die für einen hersteller- und betriebsübergreifenden Datenaustausch sowie die Integration von staatlichen und privaten Daten aber vonnöten wäre. Für die Speicherform müssten Normen und Standards vorgegeben sein, um einen Durchbruch der KI-unterstützten Lösungen zu ermöglichen. Andere der beschriebenen Hemmnisse treffen zwar ebenfalls größtenteils zu, sind aber nicht auffallend stärker ausgeprägt als in den anderen untersuchten Gebieten.

Die größten Hauptrisiken liegen vermutlich im steigenden Ressourcenbedarf der KI-Anwendungen, der in manchen Fällen, wie oben beschrieben, nur einen relativ kleinen Mehrwert generiert, so dass das Verhältnis von Aufwand zu Ertrag teilweise auch kritisch gesehen werden kann. Eine in diesen Fällen übertriebene Technologiegläubigkeit könnte dann zu höhere Energieverbräuchen und Lock-In-Effekten führen.

Marktreife der Anwendungen

Die meisten der in Transformationsstufe 2 eingeordneten KI-Anwendungen befinden sich derzeit im Stadium eines Forschungsprojektes und sind damit noch nicht gänzlich marktreif. Aber es gibt auch Beispiele für bereits funktionierende Geschäftsmodelle von Startups, z. B. im Bereich Indoor-Farming und in der Ermöglichung einer Präzisionslandwirtschaft durch die KI-ermöglichte Identifikation und Unterscheidung von Unkraut und Beikräutern. Um die weltweit steigende Nachfrage nach Lebensmitteln erfüllen zu können, müssen im Bereich der Lebensmittelerzeugung zukünftig zwangsweise neue Wege gegangen werden, daher erscheint, bei einer Rahmensetzung mit den richtigen Anreizen, eine rasche Marktreife und Diffusion der beschriebenen KI-Anwendungen durchaus realistisch.

Fazit

Was alle gefundenen Beispiele eint, ist die Tatsache, dass durch den KI-Einsatz traditionelle Anwendungen verbessert und optimiert werden sollen, jedoch keine grundsätzlichen Änderungen herbeigeführt werden. Dies lässt den Rückschluss zu, dass die hier zu erzielenden Effizienzsteigerungen zwar grundsätzlich begrüßenswert und realistisch, aber vergleichsweise gering sind und so wahrscheinlich eher zu einer Verfestigung der bestehenden, nicht unbedingt nachhaltigen Strukturen in der Landwirtschaft beitragen.

Vor dem Hintergrund der eingangs thematisierten Notwendigkeit einer grundlegenden Veränderung im Landwirtschaftssektor müssen solche KI-unterstützten Verbesserungen also auch kritisch hinterfragt werden bzw. sollte sich zumindest der Einsatz von öffentlichen Fördermitteln insbesondere auf derartige Anwendungen konzentrieren, die tatsächlich das Potenzial haben, eine Landwirtschaftswende einzuleiten.

Tabelle 15: Landkarte vermuteter KI-Einflüsse auf die Landwirtschaftswende

	Potenzielle Anwendungen Landwirtschaftswende	Möglicher Effekt	Stufe	Quellen
Bilderkennung und -verstehen	Wald-Management: Schätzung des Kohlenstoffbestands, Automatisierung der Aufforstung, Management von Waldbränden, Erkennung und Reduzierung der Entwaldung	Wissensmanagement + Biodiversitätsziel	2	Enquete-Kommission (2020); Bandura (2018); Rolnick et al. (2019)
	Pflanzenzüchtung, z. B. Bewertung der Leistung von Pflanzensorten	Effizienzgewinn	2	Forschungsprojekt
	Zählung und Bestimmung von Insekten	Baustein für Nachhaltigkeitstransformation	2	Interview
	Nachhaltige Ressourcennutzung durch weniger und effizienteren Einsatz von Saatgut, Düngemitteln und anderen Substanzen	Informationsbereitstellung, Effizienzsteigerung Herstellung von übergreifenden Daten, Datenmanagement	1	Enquete-Kommission (2020)
	Monitoring von Fischbeständen, mit Erstellung von Datenbanken zu Bild- und Standortdaten von Fischen	Informationsbereitstellung, Datenbanken zu Bild- und Standortdaten von Fischen	1	Enquete-Kommission (2020); Forschungsprojekt
	Monitoring und Auswertung der landwirtschaftlichen Flächen, Bestimmung der Bodenfeuchte, Prognosen zum Ernteertrag, oder	Effizienzsteigerung	1	Enquete-Kommission (2020)

Sprach- und Text-verstehen	Erkennung von Schädlingsbefall durch Satellitenaufnahmen			Joppa (2017); Enquete-Kommission (2020);
	Automatisches Unkrauterkennungs- und Unkrautbeseitigungssystem	Informationsbereitstellung	1	Forschungs-projekt
	Reduzierung von Ernteverlusten durch frühzeitige Erkennung von Schädlingen und Krankheiten	Informationsbereitstellung und Effizienzsteigerung	1	Interview
	Identifikation, Kartierung und Management der Variabilität von Ackerland, vom Feuchtigkeitsgehalt des Bodens bis zur allgemeinen Gesundheit der Pflanzen	Informationsbereitstellung und Effizienzsteigerung	1	Mc Arthur foundation (2019); Startup
	Erkennen von Krankheitsbefall von Pflanzen	Informationsgewinne	1	Forschungs-projekt
	Berechnung der Nachhaltigkeitsauswirkungen von Landwirtschaftspraktiken	Informationsgewinne	1	Startup
	Fernerkundung und Echtzeitüberwachung von Treibhausgasen aus land- und forstwirtschaftlichen Praktiken sowie aus anderen Sektoren	Informationsbereitstellung	1	Rolnick et al. (2019); Startup
	Überwachung von Torfgebieten	Informationsbereitstellung	1	Rolnick et al. (2019)
	Bestimmung von Pflanzenwachstum und –reifegrad	Information, Effizienz	1	Interview
	Klassifikation von Baumarten und –merkmalen	Informationsgewinn	1	Forschungs-projekt
	Vorhersage und Analyse von Pflanzeneigenschaften zur Züchtung	Informations- und Effizienzgewinn	2	Forschungs-projekt; Startup
	Identifikation und Klassifikation von Pflanzen und Tieren	Wissensmanagement + Biodiversitätsziel	2	Fraunhofer Allianz Big Data
Daten-management und -analyse	Kampf gegen illegale Abholzung in tropischen Regenwäldern	Informationsbereitstellung, Effizienzsteigerung, Herstellung von übergreifenden Daten, Datenmanagement	1	Enquete-Kommission (2020)
	Prognose von landwirtschaftlichen Risiken wie Dürre und Ertragsverluste auf Basis von Wetterdaten mit Hilfe von maschinellem Lernen und Erntemodellierungssimulationen	Effizienzsteigerung	1	GeSI (2019)
	Globales Klimamodell zur Beurteilung der Auswirkungen des Klimawandels	Informationsbereitstellung	1	Voosen (2020)

	auf die Landwirtschaft und die Abholzung von Wäldern			
	Entscheidungshilfe für Landwirte, welche Pflanzen wo angebaut werden sollen, wie die Fruchtfolge optimiert werden kann und um den richtigen Zeitpunkt für Aussaat, Kompostierung und Ernte vorherzusagen	Informationsbereitstellung und Effizienzsteigerung	1	Mc Arthur foundation (2019); APRU (2020); Forschungs-projekt
	Förderung der Verwendung von organischem Kompost	Informationsbereitstellung und Effizienzsteigerung	1	Mc Arthur foundation 82019)
	Bedarfsprognose auf Basis von historischen und Echtzeitdaten zur Reduzierung von Überproduktion und Überbeständen	Informationsbereitstellung und Effizienzsteigerung	1	Mc Arthur foundation (20199
	Modellierung des individuellen Landwirtverhaltens zur Ableitung von Interventionen	Informationsgewinne	1	Forschungs-projekt
	Nachfrageprognose vergänglicher Lebensmittel	Informations- und Effizienzgewinne	1	Startup
Mensch-Maschine-Interaktion und Assistenz-systeme				
	Präzisionslandwirtschaft mit Robotor zur selektiven mechanischen Unkrautentfernung	Informations- und Effizienzgewinne, Enabling	2	Forschungs-projekt; Interview
	Indoorfarming mit Robotern, Roboter erkennt Reifegrad dere Pflanzen, bewegt sich autonom, Robotereinsatz erhöht Wirtschaftlichkeit	Enabling, Effizienz	2	Forschungs-projekt
	Automatische Wiederaufforstung mit Luftfahrzeugen, effizienter und an schwer erreichbaren Orten	Effizienzgewinn, Enabling	2	Forschungs-projekt
Robotik und autonome Systeme	Autonome Drohnen zur Datensammlung für Präzisionslandwirtschaft	Informations- und Effizienzgewinne	1	Forschungs-projekt
	Autonome Drohnen sprühen Herbizide/Pestizide	Effizienzgewinne	1	Forschungs-projekt
	Autonomer Roboter sammelt Daten über Bodenbeschaffenheit	Informationsgewinne	1	Forschungs-projekt
	Autonomer Roboterfisch sammelt Daten zur Erfassung des Umweltzustandes des Meers	Informationsgewinne	1	Forschungs-projekt
	Multifunktionale Agrarroboter-Plattform mit Reihenerkennung und Navigation	Effizienzsteigerung	1	Fraunhofer Allianz Big Data; Interview
Sensorik und Kommu-nikation	Identifikation und Unterscheidung von Unkraut und Beikräutern zur Ermöglichung der Präzisionslandwirtschaft	Informations- und Effizienzgewinne	2	Forschungs-projekt; Startup

	Dynamische, bedarfsgerechte und automatische Prozesssteuerung beim Indoorfarming	Starke Effizienzgewinne	2	Forschungs-projekt; Startup
	Optimierung von Dünger aus Bioabfall um Eigenschaften der damit gedüngten Pflanzen zu verbessern	Effizienzgewinne und Enabling	2	Startup
	Dynamische Vorhersage des Haltbarkeitsdatums von Lebensmitteln	Effizienzgewinn	1	Forschungs-projekt
	Monitoring Bienen und Pollenstimulierung für mehr Honig	Informations- und Effizienzgewinne	1	Startup
	Monitoring der Getreidelagerung	Informations- und Effizienzgewinne	1	Startup
	Kontrolle der Lebensmittelqualität während Produktion	Informations- und Effizienzgewinne	1	Forschungs-projekt Enquete-Kommission (2020);
	Monitoring und Mustererkennung in Milchviehhaltung	Informations- und Effizienzgewinne	1	Forschungs-projekt
Virtuelle und erweiterte Realität	Bestimmung von Pflanzenwachstum und –reifegrad	Information, Effizienz	1	Interview

6.4.3 Energiewende

Einführung

Die energiebedingten Emissionen tragen zu etwa 85 % der Treibhausgasemissionen in Deutschland bei, wovon der größte Teil von 37 % von der Energiewirtschaft verursacht wird.[85] Der Energiebereich unterliegt dementsprechend in Deutschland einem Wandel, der sich an Zielen der Dekarbonisierung und Nachhaltigkeit orientiert und dem Konzept folgt, Energie zunehmend aus erneuerbaren Quellen zu erzeugen und effizienter zu verbrauchen.

Die Nutzung erneuerbarer Energien und dezentraler Energiesysteme als zentrale Elemente der Energiewende profitieren in hohem Maße von digitalen Technologien zur Überwachung, Steuerung und Optimierung der Schwankungen von Stromangebot und -nachfrage. Insbesondere Sensoren und Steuerungssysteme, Echtzeitdatenverarbeitung, Netzwerke und Kommunikation sowie Softwarelösungen unterstützen die Umsetzung der für die Energiewende erforderlichen Prozesse und Maßnahmen, wobei KI eine wichtige Rolle zur Verbesserung der Genauigkeit und Funktionalität spielen kann.

KI-Potenziale

Die meisten gefundenen Anwendungen werden auf Stufe 1 eingestuft (siehe Tabelle 16), da sie hauptsächlich zur Effizienz bestehender Funktionen beitragen oder im Vergleich zu konventionellen Methoden, die keine KI nutzen, detailliertere Informationen liefern. Die mit Stufe 2 bewerteten Anwendungen hingegen leisten einen wesentlichen Beitrag zur nachhaltigen

[85] https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energiebedingte-missionen#energiebedingte-treibhausgas-emissionen.

Energiewende, da sie die weitere Nutzung erneuerbarer oder kohlenstoffarmer Energiequellen unterstützen, indem sie die Zuverlässigkeit und Leistung der entsprechenden Infrastrukturen verbessern. Wir konnten zahlreiche Anwendungen aus verschiedenen Bereichen der KI-Technologie finden, mit Ausnahme von Sprach- und Textverarbeitung. Diese spielt jedoch in einigen Anwendungen im Bereich des Kundenservice durchaus eine Rolle.

Unter den identifizierten KI-Anwendungen sind die folgenden Anwendungen vielversprechend für eine nachhaltige Energiewende:

- KI ist in der Lage, aus vielfältigen und komplexen Datenquellen genauere Vorhersagen über Angebot und Nachfrage im Netz zu treffen. Dies verbessert die Vorhersagbarkeit und das Management des Energiesystems bei wetterbedingten und sonstigen Versorgungsschwankungen und ermöglicht so die weitere Integration erneuerbarer Energien. Neben den Vorteilen für die Analyse von Wind- und Solaranlagen hilft die analytische Leistung der KI, auch das Potenzial der Installation von Photovoltaik für Haushalte besser einzuschätzen.

- Sensorik und Kommunikationstechnologien ermöglichen eine intelligente Überwachung und Steuerung der Netze und des Anlagenbestandes und spielen damit eine wichtige Rolle im Konzept "Smart Grid" als Teil der Energiewende. Darüber hinaus sind Kommunikationstechnologien ein zentrales Element für virtuelle Kraftwerke durch die Vernetzung von kleineren oder mittleren dezentralen Stromerzeugungseinheiten. Dies kann die Nutzung und Integration dezentraler erneuerbarer Quellen auf Mikroebene verbessern und bietet die Möglichkeit, Strom- und Wärmenetze zu kombinieren.

- KI verbessert die Nutzung und das Management von kohlenstoffarmen Energiequellen wie Geothermie, Kernspaltung und in einigen Fällen von Wasserkraft aus Staudämmen. So kann insbesondere ML dabei helfen, Standorte für geothermische Energie zu identifizieren und zu verwalten, Wasserkraftdämme so zu platzieren, dass sowohl energetische als auch ökologische Ziele erfüllt werden, und bei der Verwaltung von Optionen für die Entsorgung von Atommüll helfen.

- KI kann die Forschung und Entwicklung von Batterietechnologien beschleunigen, die die Speicherung variabler Energiemengen und damit eine effiziente und zuverlässige Nutzung erneuerbarer Energien ermöglichen.

Spezifische Hemmnisse und Risiken

Die Digitalisierung des Energiebereichs beruht auf der **Integration umfangreicher Daten** aus Steuer- und Messgeräten wie Smart Meter sowie aus anderen Quellen wie Wetterdaten und Strukturdaten (Kratochwill et al. 2020b). Die Verfügbarkeit von Daten ist für die Entwicklung und das Training von KI-Algorithmen notwendig und es wird erwartet, dass die Abhängigkeit von Daten in Zukunft noch zunehmen wird. Allerdings sind die **erforderlichen Daten** von Verbrauchern, Erzeugern, Speichern und den unteren Netzebenen oft **nicht verfügbar**. Darüber hinaus sind viele der verfügbaren Daten urheberrechtlich geschützt, von geringer Qualität oder beziehen sich nur auf einzelne Maschinen oder Prozesse (Rolnick et al. 2019). Die Abhängigkeit der KI von großen Datenmengen erfordert auch **hohe Ressourcen und Energie** durch Training und Betrieb (Crawford et al. 2019; The Royal Society 2020; Kratochwill et al. 2020b). Außerdem könnte eine KI durch gefälschte oder verzerrte Daten manipuliert werden, was die Sicherheit des Energiesystems gefährdet (Kratochwill et al. 2020b). **Sicherheit und Datenschutz** sind ein wesentlicher Aspekt für die Energiewirtschaft. Es müssen stärkere Maßnahmen zum Schutz vor **Cyberangriffen** im Energiebereich ergriffen werden, um die Datensicherheit im Netz, bei den Betreibern und den Verbrauchern zu gewährleisten.

Ein weiteres Hindernis ist der **hohe Investitionsbedarf** für einige KI-Technologien, wie z. B. autonome Systeme. Der Einsatz von KI-Technologien für die vorausschauende Wartung und Reparatur wird in den kommenden Jahren wahrscheinlich zunehmen. Derzeit stützt sich diese Anwendung auf KI-Methoden wie Regression, Klassifizierung und Sensorlösungen. Allerdings sind für den Einsatz von Wartungsrobotern und Drohnen hohe Investitionen erforderlich, was die Entwicklung ihrer Anwendung verlangsamen kann (Kratochwill et al. 2020b). Ein Vorteil des Einsatzes von KI in Prozessen der Energiewirtschaft ist, dass aktive Kunden in die Energieerzeugung und -verteilung eingreifen können, was langfristig zu neuen Geschäftsfeldern führen kann. Der **eingeschränkte Zugang zu steuerbaren Kunden und unzureichende hochleistungsfähige Mess- und Steuerungsinfrastrukturen** behindern jedoch die Erforschung der Möglichkeiten dieses Anwendungsbereichs (Kratochwill et al. 2020b).

Marktreife der Anwendungen

Mehrere Anwendungen, die verschiedene KI-Technologiefelder erfordern, werden durch Startups realisiert. Zu diesen Anwendungen gehören Datenanalyse-, Modellierungs- und Simulationswerkzeuge, Softwarelösungen für Bewertung, Optimierung, Planung und Entscheidungsfindung, auf Bilderkennung basierende Lösungen und autonome Systeme für Fehlerdiagnose, Reparatur und vorausschauende Wartung. Startups bieten auch Sensorlösungen, intelligente Werkzeuge für Messung und Steuerung sowie Kommunikationstechnologien für die Vernetzung in Smart Grid und virtuellen Kraftwerken an. Diese Lösungen werden von Startups und in einigen Fällen auch von etablierten Industrieunternehmen angeboten und sind somit für Netzanbieter und -betreiber zugänglich. Dies bedeutet, dass diese KI-gestützten Technologien die Marktreife bereits erreicht haben, was für ihre Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit spricht. Dennoch kann die technologische Reife dieser Lösungen nur eingeschränkt bewertet werden, da sie möglicherweise noch nicht lange im Einsatz sind und ihre Nutzung noch nicht weit verbreitet ist.

Fazit

Die oben genannten Anwendungen revolutionieren den Energiebereich nicht, sind aber hilfreich für den Übergang zu einem nachhaltigen und emissionsarmen Energiesystem, indem sie die Effizienz steigern und entsprechende Lösungen, wie die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien, unterstützen. Der Einsatz von KI leistet in den meisten Anwendungen einen Beitrag zur Nachhaltigkeit durch Optimierung und Bereitstellung von Informationen in Bereichen wie Wartung, Reparatur, Sicherheit und Kundendienst, was zu einem geringeren Verbrauch und einer Verlagerung der Stromlastspitzen führt. In Anbetracht der Vielfalt der Anwendungsbereiche und Möglichkeiten für den Einsatz von KI und ihrer Auswirkungen auf die Nachhaltigkeit kann die Rolle der KI bei der Energiewende insgesamt als positiv bewertet werden.

Tabelle 16: Landkarte vermuteter KI-Einflüsse auf die Energiewende

	Potenzielle Anwendungen Energiewende	Möglicher Effekt	Stufe	Quellen
Bilderkennung und -verstehen	Predictive Maintenance durch Erkennung von Korrelationen zwischen den Sensormessdaten und Anlagenausfällen oder Verschleiß	Effizienz-steigerung	1	(Kratochwill et al. 2020b) Startup
	Auswertung von Kameraüberwachungen für Schutz gegen feindliche Eingriffe, die zu Sachschäden führen	Effizienz-steigerung	1	(Kratochwill et al. 2020b)

Sprach- und Textverstehen				
	KI-unterstützte Netzprognose für Erzeugung und Nachfrage zur Ermöglichung von variablem kohlenstoffarmen Strom (erneuerbare Energien und andere variable Stromerzeuger (Mix mit Erdgas))	Baustein für Nachhaltig-keitstrans-formation (intelligente Netze)	2	(Kratochwill et al. 2020b; Rolnick et al. 2019) Startup Interview
	Beschleunigung der Entwicklung von Batterietechnologien, die die Speicherung von erneuerbaren Energien ermöglichen	Baustein für Nachhaltig-keitstrans-formation	2	(Rolnick et al. 2019)
	Management und Kontrolle bestehender kohlenstoffarmer Stromquellen (z. B. Geothermie, Kernspaltung und Wasserkraft aus Staudämmen)	Baustein für Nachhaltig-keitstrans-formation	2	(Rolnick et al. 2019)
	Analyse des Photovoltaik-Potenzials eines Haushalts, Match mit Installateuren	Informations-gewinne, Enabling	2	Startup
Daten-management und -analyse	Software-Assistenzsystem zur Digitalisierung, Automatisierung und Optimierung des Netzbetriebs und Energiesystemmodelle sowie strategische Planung für Erzeugungsanlagen und Netzinfrastruktur	Effizienz-steigerung	1	(Kratochwill et al. 2020b; Rolnick et al. 2019) Startup Interview
	Erkennung und Schutz vor Cyberangriffen	Effizienz-steigerung	1	(Kratochwill et al. 2020b)
	Ermöglichung der Betriebs- und Bestandsoptimierung für den Verbrauchenden unter Berücksichtigung benutzerspezifischer Vorlieben, des historischen Verbrauchsverhaltens sowie Mustererkennung in Energieverbrauchsdaten	Effizienz-steigerung	1	(Kratochwill et al. 2020b) Startup
	Individualisierung von Produkten und Marketingmaßnahmen durch Kundschaftclustering und personalierte Werbung	Effizienz-steigerung	1	(Kratochwill et al. 2020b)
	Ermöglichung einer effizienteren Interaktion und Koordination der emissionsarmen Energie-infrastruktur für Elektrofahrzeuge und Fahrräder	Effizienz-steigerung	1	(Rolnick et al. 2019)

	Beschleunigung der Fusionsforschung zur Erzeugung von sicherem und kohlenstofffreiem Strom	Effizienz-steigerung	1	(Rolnick et al. 2019)
	Reduzierung der Emissionen fossiler Brennstoffe über den gesamten Lebenszyklus	Effizienz-steigerung	1	(Rolnick et al. 2019)
	Reduzierung der Energieverluste auf Stromleitungen	Effizienz-steigerung	1	(Rolnick et al. 2019)
	Verständnis und Modellierung der Emissionen im Stromnetz	Informations-Bereitstellung	1	(Rolnick et al. 2019) Startup
	Modellierung und Vergleich von Smart Home-Optionen (Solaranlage, Batterie, Ladestation, Heizen, Fenster, ...)	Informations- und Effizienz-gewinne	1	Startup
	Prozessautomatisierung für Messungen, Abrechnungen und allgemeines Vertriebsgeschäft	Effizienz-steigerung	1	(Kratochwill et al. 2020b)
Mensch-Maschine-Interaktion und Assistenz-systeme				
Robotik und autonome Systeme	Fehlerdiagnosen und Anlagenreparaturen in Umgebungen, die für Menschen unwirtlich oder schwer zugänglich sind	Effizienz-steigerung	1	(Kratochwill et al. 2020b) Startup Interview
Sensorik und Kommunikation	Konstruktion virtueller Kraftwerke	Enabling Baustein für Nachhaltig-keitstrans-formation (intelligente Netze)	2	Startup Interview
	Intelligente Steuerung der Netze und des Anlagenbestandes		2	Interview
	Ausrichtung Windräder nach Windrichtung	Effizienz-steigerung	1	Interview
	Systemanalyse, Fehlerfrüherkennung und -diagnose von Anlagen und Stromverteilnetzen	Informations- und Effizienz-gewinne	1	Forschungsprojekt
Virtuelle und erweiterte Realität	Softwareanwendungen im Bereich Wartung und Reparatur	Informations- und Effizienz-gewinne	1	Interview

6.4.4 Wärmewende

Einführung

Der Wärmesektor beansprucht mehr als die Hälfte des Gesamtenergiebedarfs in Deutschland und ist daher von großer Bedeutung für den Übergang zu nachhaltigen kohlenstoffarmen

Infrastrukturen. Erneuerbare Energien werden zunehmend für Wärme und Kälte genutzt, wobei die feste Biomasse neben der Solarthermie und der Geothermie den größten Anteil hat (UBA 2021). Die weitere Nutzung von erneuerbaren Energiequellen wie fester Biomasse, Solarthermie und Geothermie für Wärme und Kälte ist ein wichtiger Aspekt zur Erreichung dieses Ziels. Darüber hinaus sind die nachhaltige Energieversorgung der Haushalte und der Industrie aus anderen Quellen, wie der Abwärme von Kraftwerken, die durch Wärmenetze ermöglicht wird, sowie die Verbesserung der Effizienz der Heiz- und Kühlinfrastrukturen durch intelligente Steuer- und Messeinheiten weitere Schlüsselaspekte der Wärmewende, die von KI- gestützten Technologien in verschiedenen relevanten Anwendungen profitieren können.

KI-Potenziale

Es gibt verschiedenste Anwendungen aus unterschiedlichen Bereichen der KI-Technologie, die durch Analyse, Steuerung und Messung, Optimierung und Koordination sowie Planung in größerem Maßstab zur Wärmewende beitragen können (siehe Tabelle 17). Diese Anwendungen wurden aus den verschiedenen Quellen zusammengetragen und werden im Folgenden anhand ihrer Auswirkungen auf die Nachhaltigkeit im Wärmesektor bewertet. Die meisten Anwendungen tragen dazu bei, Informationen und Effizienz beim Energieverbrauch im Zusammenhang mit Heizung und Kühlung zu gewinnen, und werden daher mit Stufe 1 bewertet.

Unter den KI-Anwendungen werden im Folgenden die Anwendungen erläutert, die als Stufe 2 bewertet werden, da sie eine strukturelle Verbesserung bieten, die zu einer wesentlichen Verbesserung der Effizienz und Nachhaltigkeit führt.

- Intelligente Systeme für die Steuerung und das Management von Heiz- und Kühlsystemen nutzen verschiedene Datenquellen wie Verbrauch und Wetter, um Empfehlungen für die Temperatur zu geben oder sie automatisch anzupassen, was sowohl die Effizienz als auch den Komfort der Bewohner gewährleistet. Der Einsatz von KI-Technologien wie Sensoren und Verbrauchsdatenanalyse kann die Energieverluste in Gebäuden erheblich reduzieren, wenn sie zusammen mit Renovierung und Dämmung eingesetzt werden (The Royal Society 2020). Intelligente Energiemanagementsysteme reduzieren die Emissionen von Heizung und Kühlung, indem sie die Effizienz steigern und so den Energieverbrauch senken. Maschinelles Lernen kann den Energieverlust verringern, indem es Heizgeräte und -systeme in die Lage versetzt, sich an die Nutzungsmuster anzupassen. KI trägt auch zu einer besseren Integration nachhaltiger Energieversorgung in den Wärmesektor bei, da Gebäude auf Signale aus dem Stromnetz reagieren können, was die Flexibilität der Netzbetreiber erhöht (Rolnick et al. 2019) und es ihnen so ermöglicht, schwankende erneuerbare Energien besser zu nutzen.

- KI-Algorithmen können dazu beitragen, die Koordinierung zwischen den Infrastruktursektoren in intelligenten Städten zu verbessern, was durch die Schaffung emissionsarmer Infrastrukturen zur Nachhaltigkeit beiträgt. So hilft KI beispielsweise bei der Koordinierung von Fernwärme- und Fernkältenetzen, was die effiziente Nutzung der Abwärme von Kraftwerken verbessert (Rolnick et al. 2019).

- KI-Algorithmen können zur Vorhersage des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen aus Energiemodellen für städtische Gebäude verwendet werden. Das maschinelle Lernen kann die Energieverbrauchsdaten einzelner Gebäude verarbeiten, um daraus Muster im größeren Maßstab abzuleiten. Politische Entscheidungsträger könnten diese Informationen nutzen, um die Koordinierung auf städtischer Ebene zu verbessern und Strategien zur Verringerung der Treibhausgasemissionen zu entwerfen, z. B. die Planung von Stadtvierteln und Fernwärme- und Fernkältenetzen (Rolnick et al. 2019).

Spezifische Hemmnisse und Risiken

Der Einsatz intelligenter Energiemanagementsysteme in Haushalten ist ein wichtiger Aspekt der Digitalisierung des Wärmesektors auf der Ebene der Endverbraucher, der zu Energieeinsparungen und geringeren Emissionen beitragen könnte. Allerdings gibt es Hindernisse, die die Einführung dieser Systeme verlangsamen. Ein Hindernis ergibt sich z. B. aus der Tatsache, dass Investor und Nutzer meist verschiedene Personen sind. Bei den Investoren handelt es sich meist um die Vermieter, welche die Kosten tragen, während die Nutzer, in den meisten Haushalten die Mieter, von der Senkung der Heizkosten profitieren. Ein weiteres Hindernis ist die unzureichende IT-Infrastruktur für die Integration von intelligenten Geräten in vielen Gebäuden. Eine weitreichende Integration intelligenter Geräte erfordert eine bessere Bandbreitenversorgung und höhere Netzstandards wie 5G (Wirtschaftsinitiative Smart Living 2020).

Intelligente Energiemanagementsysteme könnten als Teil eines größeren Pakets des Smart Home angeboten werden. In diesem Fall werden weitere persönliche Daten gespeichert, die sensibler sein könnten als Energieverbrauchsdaten. Daher besteht die Gefahr von Datenlecks und Cyberangriffen, die robuste Datenschutz- und Cybersicherheitsstrategien erfordern. Darüber hinaus erschwert das Fehlen von Energieverbrauchsdaten einzelner Gebäude in den meisten Regionen den Einsatz von KI in Anwendungen, wie der Stadtplanung, die Entscheidungsträger bei der Entwicklung von Strategien zur Verringerung der Treibhausgasemissionen auf Bezirks- und Stadtebene unterstützt.

Marktreife der Anwendungen

Sowohl etablierte und große Unternehmen als auch Startups entwickeln bereits Lösungen für ein intelligentes Energiemanagement in Gebäuden, das durch vernetzte Sensoren, Kontrollsysteme und Softwareeinheiten ermöglicht wird. Von diesen Lösungen unterstützen einige eine breitere Palette von Anwendungen als Gesamtpaket für ein Smart Building, die hauptsächlich von großen Technologieunternehmen angeboten werden. Aber auch Startups bieten Produkte wie sensorische und intelligente Steuerungssysteme für Heizung und Kühlung, Kommunikationstechnologien für die Vernetzung sowie Softwarelösungen und ML für die Analyse und Optimierung an, die zu intelligenten Energiemanagementsystemen beitragen.

Im Bereich der Fernwärmenetze haben einige Energieversorger bereits erfolgreich KI-basierte Software eingesetzt, um die Effizienz zu steigern, den CO_2-Fußabdruck zu verringern und die Kundenzufriedenheit zu verbessern, was letztendlich zu einer besseren Vermarktung und damit zur Verbreitung der Fernwärme als nachhaltigere Lösung beiträgt. KI-basierte Lösungen für die Fernwärme sind also bereits entwickelt worden und befinden sich auf dem Weg zur Marktreife.

Fazit

Die meisten KI-Anwendungen haben zwar eine vergleichsweise hohe Marktnähe, sind aber nur auf der untersten Transformationsstufe zu verorten, da sie insbesondere dazu beitragen, Informationen und Effizienz beim Energieverbrauch im Zusammenhang mit Heizung und Kühlung zu verbessern. Zwar ist dies noch keine große Transformation, aber immerhin könnten derart deutliche Verbesserungen gegenüber dem Status Quo realisiert werden.

Tabelle 17: Landkarte vermuteter KI-Einflüsse auf die Wärmewende

	Potenzielle Anwendungen	Möglicher Effekt	Stufe	Quellen
Bilderkennung und -verstehen	Identifizierung energiebezogener Gebäudeeigenschaften, wie z. B. Vorhandensein von Photovoltaikanlagen	Information Bereitstellung	1	(Rolnick et al. 2019)
Sprach- und Textverstehen				
Daten-management und -analyse	Intelligente Gebäudemanagementsysteme für effiziente Heiz- und Kühlmusterempfehlungen (smart building)	Baustein für Nachhaltigkeits-transformation (Energiemanagement-system)	2	(The Royal Society 2020; Rolnick et al. 2019)
	Urbane Planung durch städtische Gebäudeenergiemodelle	Baustein für Nachhaltigkeits-transformation	2	(Rolnick et al. 2019)
	Bessere Interaktion und Koordination der emissionsarmen Heizungsinfrastruktur für Fernwärmenetze	Baustein für Nachhaltigkeits-transformation	2	(Rolnick et al. 2019)
	Modellierung, Analyse und Optimierung des Energieverbrauchs in Gebäuden	Informationsbereitstellung und Effizienzsteigerung	1	(The Royal Society 2020; Rolnick et al. 2019) Forschungsprojekt
	Software für Hausmodelle, um Alternativen hinsichtlich Energieeffizienz vergleichen zu können	Informationsbereitstellung	1	Startup
	Neue Geschäftsmodelle, wie z. B. dezentraler Wärmeverkauf, Wärme als Dienstleistung	Geringe Nachhaltigkeitswirkung	1	(The Royal Society 2020)
Mensch-Maschine-Interaktion und Assistenzsysteme				
Robotik und autonome Systeme				
Sensorik und Kommunikation	Analyse und Optimierung der Energieflüsse in Gebäuden, z. B. über Smart Meter (Strom, Beleuchtung, Wärme, Kälte, Wasser)	Effizienzsteigerung	1	Startup
	Intelligente Heizungssteuerung (z. B. Selbstlernendes Heizkörper-Thermostat)	Effizienzsteigerung	1	(The Royal Society 2020) Startup
Virtuelle und erweiterte Realität				

6.4.5 Kreislaufwirtschaft

Einführung

Der sogenannte "Circular Economy Action Plan" ist Teil des europäischen Green Deal. Das Ziel ist eine klimaneutrale, ressourceneffiziente und wettbewerbsfähige Wirtschaft. Denn laut EU-Kommission sind die Hälfte der Treibhausgasemissionen und mehr als 90 % des Biodiversitätsverlusts auf die Extraktion und die Verarbeitung von Ressourcen zurückzuführen (European Commission 2020). Um das beabsichtigte Ziel erreichen zu können, ist folglich eine Transformation der bestehenden Produktions- und Konsumpraktiken unbedingt erforderlich. Bisherige Maßnahmen adressierten oftmals lediglich den Produktionsprozess, z. B. Prozessoptimierungen, Brennstoffwechsel etc. (Pfaff und Ostertag 2021). Das Ziel einer Kreislaufwirtschaft im Sinne einer Circular Economy adressiert dagegen alle Produktlebenszyklusphasen gleichermaßen. Insbesondere geht es darum, den "Wert von Produkten, Stoffen und Ressourcen innerhalb der Wirtschaft so lange wie möglich zu erhalten und möglichst wenig Abfall zu erzeugen“ (European Commission 2015, S. 2).

Damit der Wert der Produkte möglichst lange erhalten bleibt, strebt die Circular Economy eine hierarchische Ordnung von folgenden Strategien an: 1) Reduce, 2) Maintain/Repair/Upgrade, 3) Reuse, 4) Remanufacture, 5) Recycle (Pfaff und Ostertag 2021; Kadner et al. 2021, SRU (2020)). Hinzu kommt noch die übergreifende Strategie "Design for Circularity", die bereits in der Phase des Produktdesigns ansetzt, um im weiteren Produktlebenszyklus mindestens eine der zuvor aufgezählten Strategien zu adressieren. In Deutschland wird das Thema politisch insbesondere im Ressourceneffizienzprogramm "ProgRess", als Maßnahmenprogramm des Bundeskabinetts, adressiert. Im Zuge dessen ist "(...) die Kreislaufwirtschaft weiterzuentwickeln und auszubauen" ein elementarer Teil der vier Leitideen, auf denen ProgRess basiert (BMU 2020).

KI-Potenziale

Welchen Beitrag KI-Anwendungen im Rahmen der notwendigen Transformation der Industrie leisten können, soll im Folgenden qualitativ bewertet werden. Insgesamt wurden im Rahmen unserer Suche jedoch deutlich weniger Anwendungen für die Kreislaufwirtschaft gefunden als beispielsweise für die beiden Transformationsfelder Landwirtschaft und Verkehr. Für jede Anwendung ist folgend dargestellt, in welcher Produktlebenszyklusphase sie vorranging eingesetzt wird und welche der hierarchischen Circular Economy Strategien sie adressiert (siehe Tabelle 18). Die identifizierten KI-Anwendungen entfalten ihre Wirkungen meist durch Effizienz- und Informationsgewinne, teilweise ermöglichen sie auch ganz neue Anwendungen. Die allermeisten KI-Anwendungen wurden der Transformationsstufe 1 zugeordnet, den folgenden Anwendungen wird ein größeres Potenzial zugeschrieben, sie wurden daher Stufe 2 zugeordnet:

- Sortierung von gemischten Materialströmen und -fraktionen zur Erhöhung der Sortenreinheit von Sekundärrohstoffen mithilfe von Bilderkennungsverfahren und Sensorik und Kommunikation,
- Sortierung und automatisierte Demontage mithilfe von Robotik und autonomen Systemen,
- Digitaler Zwilling eines Gebäudes, der Optimierung, Monitoring und die Wiederverwendung von Bauteilen mithilfe von Datenmanagement und -analyse, ermöglicht,
- Design zirkulärer Materialien, ein Algorithmus analysiert große Datenmengen, dadurch Vorhersage der Toxizität von Materialien möglich,
- Qualitätsprognose von Zement, um schon in der Herstellungsphase mithilfe von Datenmanagement und -analyse das mögliche Einsatzgebiet abzuleiten.

Die meisten der **Stufe 2-Anwendungen** finden sich in der letzten Produktlebensphase, der Entsorgung. KI soll hier insbesondere die Materialerkennung und Automatisierung des Recyclings verbessern. Dadurch sollen Materialien noch spezifischer erkannt werden und das Recycling soll zielgerichteter, schneller und dadurch effizienter werden und reinere Sekundärrohstoffqualitäten ermöglichen. Ebenso scheinen digitale Abbilder mithilfe von KI relevante Potenziale zu haben (hier am Beispiel Zementherstellung und Gebäudemanagement).

Der Großteil der **KI-Anwendungen** wurde jedoch der **Stufe 1** zugeordnet. Diese Anwendungen ermöglichen eher kleine Verbesserungen und Optimierungen. So können präzisere Vorhersagen der Kleidungsgröße anhand von Kundendaten Retouren reduzieren, zirkuläre Materialien gestaltet werden[86], die Lagerhaltung optimiert sowie Maschinen und Anlagen prädiktiv gewartet werden. Ob solch kleine Verbesserungen aber den ökologischen Fußabdruck der KI-Anwendung überwiegen, müssen noch in separaten Umweltbewertungen (z. B. mit LCA) gezeigt werden. Kleine Verbesserungen können außerdem dazu verleiten, keine grundlegenden Veränderungen anzustreben. So reduziert eine präzise Vorhersage der Kleidungsgröße zwar den Anteil an den Retouren, führt aber allein noch nicht zu einem geringeren Konsumniveau.

Die meisten KI-Anwendungen finden sich im Technologiefeld Datenmanagement und -analyse. Es folgen die Technologiefelder Sensorik und Kommunikation, Bilderkennung und -verstehen sowie Robotik und autonome Systeme. Bislang fast (keine) Rolle spielen die Technologiefelder Sprach- und Textverstehen, Mensch-Maschine-Interaktion sowie virtuelle und erweiterte Realität.

Anhand der Zuordnung der KI-Anwendungen zu den Lebenszyklusphasen wird offensichtlich, dass bislang die Phasen Produktion und Entsorgung am stärksten vertreten sind. Design- und Nutzungsphase werden deutlich seltener adressiert, Logistik und Rohstoffgewinnung sind nur vereinzelt vertreten. Auffällig ist, dass Anwendungen im Technologiefeld Robotik und autonome Systeme bislang ausschließlich die Phase Entsorgung adressieren und Sensorik und Kommunikation fast ausschließlich die Phase Produktion.

Spezifische Hemmnisse und Risiken

Fehlende Daten, insbesondere in ausreichender Menge und gut aufbereitet, sind aktuell ein Hemmnis für den Einsatz von KI-Anwendungen im produzierenden Gewerbe. Der Wert eigener Daten könnte durch den Einsatz zusätzlicher Daten anderer Unternehmen gesteigert werden, hier existieren allerdings noch Ängste, dass durch die Datenfreigabe Geschäftsgeheimnisse freigegeben werden könnten (Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz 2020). Zudem fehlt es an Bewusstsein und Demonstrationen des Potenzials von KI-Anwendungen für die betriebliche Ressourceneffizienz. Erzielte Einsparungen werden oftmals noch nicht von Unternehmen quantifiziert, da die Hauptmotivation für den Einsatz Kosten- und Zeitersparnisse sind (Friedrich et al. 2021).

Die größten Risiken liegen vermutlich in möglichen Lock-In-Effekten, da geringe Verbesserungen und Optimierungen mithilfe von KI-Anwendungen das Verfolgen grundlegender Veränderungen verhindern. Zudem muss untersucht werden, ob es auch Fälle gibt, in welchen die Ressourcenbedarfe der KI-Anwendungen deren Potenziale deutlich übertreffen und damit eine Anwendung sogar negativ zu beurteilen wäre. Auch kann es zu Reboundeffekten kommen, insbesondere da viele der beschriebenen KI-Anwendungen auf Effizienzeffekte abzielen, welche erwiesenermaßen oftmals Mehrverbräuche induzieren statt absoluten Reduktionen. Daneben kann beispielsweise eine Individualisierung von Produkten

[86] Damit sind Materialien gemeint, die mit einem hohen Wert in der Wirtschaft zirkulieren können oder auch die Produktlebensdauer verlängern können (Ellen MacArthur Foundation (2019).

mithilfe von KI-Anwendungen auch einheitliche Verfahren zur Demontage/Reparatur oder zum Recycling erschweren.

Marktreife der Anwendungen

Bezüglich der Marktreife der KI-Anwendungen im Wendefeld Kreislaufwirtschaft zeigt sich ein gemischtes Bild. Viele der beschriebenen Anwendungen werden schon durch Startups realisiert, sowohl in Stufe 1 als auch in Stufe 2. Nur zwei Anwendungen sind "reine" Forschungsprojekte, bei denen noch nicht klar ist, ob diese Ideen in die Anwendung kommen und weiter in den Markt diffundieren werden. Viele Anwendungen wurden unabhängig voneinander gleichzeitig in unterschiedlichen Literaturquellen aufgegriffen; dies spricht tendenziell dafür, dass sie zeitnah auch am Markt realisiert werden oder es schon sind.

Fazit

Die meisten KI-Anwendungen adressieren die Circular Economy Strategie "Recycle", nur vereinzelt werden die anderen Strategien adressiert, und zwei Anwendungen adressieren die Strategien eher übergreifend. Viele der KI-Anwendungen können jedoch keiner der genannten Circular Economy Strategien zugeordnet werden, da sie vielmehr auf Energie- und Ressourceneffizienzsteigerung abzielen. Diese reduzieren und optimieren lediglich den Energie- und Ressourcenaufwand.[87] Sie sind damit nicht geeignet, die Transformation zur Circular Economy zu verstärken, sondern setzen eher an den etablierten Produktionsstrukturen an.

Insgesamt können KI-Anwendungen somit einen gewissen Beitrag für den Übergang zur Green Economy und damit auch zur Circular Economy leisten. Sie müssen allerdings von weiteren Maßnahmen flankiert werden. Es ist daher sinnvoll, KI-Anwendungen im Bündel mit weiteren Maßnahmen (Veränderung der Anreizsysteme und Regulierungen) im Rahmen von alternativen Szenarien zu untersuchen und eine Bewertung ihres Potenzials vorzunehmen. Um eine hohe transformative Wirkung zu haben, sollten sie insbesondere mehrere Produktlebensphasen gleichzeitig adressieren; dadurch könnte sich dann tatsächlich ein relevantes Optimierungspotenzial entfalten. Zudem sollte vorrangig erforscht werden, inwiefern KI-Anwendungen vermehrt auch früher ansetzende Circular Economy Strategien adressieren können.

Tabelle 18: Landkarte vermuteter KI-Einflüsse auf die Kreislaufwirtschaft

KI-Technologiefeld	Phase	Strategie	Anwendungen Kreislaufwirtschaft	Möglicher Effekt	Stufe	Quellen
Bilderkennung und -verstehen	Entsorgung	Recycle	Sortierung von gemischten Materialströmen und -fraktionen, Erhöhung der Sortenreinheit von Sekundärrohstoffen und Vermeidung einer energetischen Verwertung[88]	Effizienzgewinne und Enabling	2	Ellen MacArthur Foundation (2019), Startup, Interview
	Produktion	-	Optische Qualitätskontrolle	Effizienzgewinne	1	Hatiboglu et al. (2019)

[87] Je nach Zieldefinition der Circular Economy ist nicht ganz klar ob Maßnahmen zur Ressourcen- und Energieeffizienzsteigerung als Bestandteil gelten oder nicht. Sie führen zwar nicht direkt dazu, dass der Wert eines Produktes lange im Kreislauf erhalten bleibt. Sie können aber dazu beitragen, dass insgesamt möglichst wenig Materialien im Kreislauf zirkulieren (Circle Economy 2021).

[88] Für diese Anwendungen ist in gleichem Maße das Technologiefeld Sensorik und Kommunikation erforderlich.

Sprach- und Text-verstehen	Logistik	-	Optimierung der Lagerhaltung	Effizienz-gewinn	1	Interview
	Rohstoff-gewinnung	-	Monitoring von Bergbauaktivitäten mit Erdobservationsdaten	Informations-gewinne	1	Forschungs-projekt
	Entsorgung	-	Kamera in Mülleimer analysiert Inhalt und Füllgrad, Info über Ort, dadurch Routenoptimierung und Abholung, nur wenn gefüllt	Effizienz-gewinn	1	Startup
	Entsorgung	Recycle	Erkennen der stofflichen Zusammensetzung von Altkleidern, dadurch Zuordnung des passenden Recyclingverfahrens	Informations-gewinn	1	Interview
	Nutzung	-	Unterstützung eines grüneren Konsums	Informations-gewinn und Enabling	1	Interview
Daten-mana-gement und -analyse	Nutzung	-	Qualitätsprognose des Zements während Herstellung gibt Aufschluss über Einsatzgebiet	Informations- und Effizienz-gewinne	2	Startup
	Nutzung, Entsorgung	Reuse, Rema-nufact-ure, Recycle	Digitaler Zwilling eines Gebäudes ermöglicht Optimierung, Monitoring, Wiederverwendung von Bauteilen	Informations-, Effizienz-gewinne, Enabling	2	Startup
	Design/ Produktion	-	Datengetriebene Produkt- und Retrofitplanung	Effizienz-gewinne	1	VDI ZRE (2021)
	Design/ Produktion	Design for Circulari ty-	Design zirkulärer Materialien, Algorithmus analysiert große Datenmengen, Vorhersage der Toxizität von Materialien möglich	Informations-, Effizienz- und Enabling-gewinne	2	Ellen MacArthur Foundation (2019), Rolnick et al. (2020), Gomes et al. (2019)
	Produktion	-	Geringere Ausschussraten durch Verknüpfung und Auswertung zahlreicher Daten über Maschinengruppen und Produktionssysteme, Produktionsoptimierung	Effizienz-gewinne	1	GeSI (2019), Hatiboglu et al. (2019), Start-Up

	Produktion	-	Analyse und Vorhersage von Industrieunfällen	Informations-gewinne	1	Startup
	Produktion/ Logistik	-	Absatzprognose zur Reduktion von Überproduktion und übermäßiger Lagerhaltung	Effizienz-gewinne	1	Rolnick et al. (2020), Hatiboglu et al. (2019), DFKI und Bitkom (2017)
	Nutzung	-	Vorhersage der passenden Kleidungsgröße mit wenigen Kundenangaben, 20 % weniger Retouren	Informations- und Effizienz-gewinne	1	Startup
	Nutzung	Reuse	Dynamische Bepreisung und Matching Algorithmen für zirkuläre Geschäftsmodelle, z. B. Autos und Fahrräder	Effizienz-gewinne und Enabling	1	Ellen MacArthur Foundation (2019)
	Entsorgung	Über-greifend	Entscheidungsmodelle für nächste Nutzungsphase zurückgegebener Produkte	Informations- und Effizienz-gewinne	1	Ellen MacArthur Foundation (2019), Startup
	Über-greifend	Über-greifend	Lieferkettenmodellierung	Effizienz-gewinne	1	Startup
	Entsorgung	Recycle	Sortierung von gemischten Materialströmen	Effizienz-gewinne	1	Ellen MacArthur Foundation (2019)
Mensch-Maschine-Inter-aktion	Nutzung/ Entsorgung	Repair/ Recycle	Analyse von Produkten/Abfällen sowie Entscheidung und Anleitung des Personals zu Reparatur-/Zerlegeschritten z.B. mit Smart Glasses	Enabling und Effizienz-gewinne	2	UBA (2020)[89]
Robotik und autonome Systeme	Entsorgung	Recycle	Sortierung und automatisierte Demontage mit Robotern, dadurch schneller, Erkennen spez. Fraktionen, z.B. Zerlegung von Elektrogeräten	Effizienz-gewinne und Enabling	2	Forschungs-projekt[90]
	Entsorgung	Recycle	Roboter erkennt und greift Recyclingmaterial, Recycling wird günstiger	Effizienz-gewinn	1	Startup

[89] KI-Anwendung wurde nachträglich hinzugefügt.
[90] KI-Anwendung des Forschungsprojektes wurde nachträglich hinzugefügt.

Sensorik und Kommunikation	Entsorgung	Recycle	Roboter in Mülltonne sortiert Abfall, Vorbereitung Müll durch z. B. Zermahlen, Erfassung Füllgrad Mülltonne	Effizienz-gewinn	1	Startup
	Entsorgung	Recycle	Essensrestekonvertierung in Biogas, Sensor trackt und optimiert Wasserzufuhr	Effizienz-gewinne	1	GeSI (2019)
	Produktion	Main-tain	Prädiktive Wartung von Maschinen, Anlagen und Produkten	Effizienz-gewinne	1	GeSi (2019), Ellen MacArthur Foundation (2019), Rolnick et al. (2020), Hatiboglu et al. (2019)
	Produktion	-	Optimierung des Energieverbrauchs in der Produktion	Effizienz-gewinne	1	Rolnick et al. (2020), VDI ZRE (2021)
	Produktion	-	Prozessoptimierung und -automatisierung durch "Lernen" der Prozesse und anschließender Optimierung (effizienterer Verbrauch Energie, Wasser)	Informations- und Effizienz-gewinne	1	Startup
	Produktion	-	Detektion von Rohrlecks in Firmen, autom. Abschaltung	Informations- und Effizienz-gewinne	1	Startup
	Über-greifend	-	Berechnung des CO_2-Fußabdrucks von Lieferketten	Informations-gewinne	1	Kettenburg (2019)
Virtuelle und erweiterte Realität						

6.5 Transformationsfeld-spezifische Handlungsempfehlungen

Abgeleitet aus den in Abschnitt 6.4 vorgestellten transformationsfeldspezifischen Potenzialen und Hemmnissen können folgende spezifische Handlungsempfehlungen genannt werden. Übergreifende und generelle Handlungsempfehlungen finden sich in Abschnitt 9.

Verkehr

Im Bereich der Verkehrswende scheinen es unter anderem staatliche und regulatorische Einschränkungen (wie z. B. das Personenbeförderungsgesetz) zu sein, die es innovativen KI-gestützten Mobilitätskonzepten erschweren, sich erfolgreich am Markt zu positionieren. Daher müssten hier in erster Linie regulatorische Sandkästen, z. B. umgesetzt in Form von Reallaboren, geschaffen werden, die es innovativen Konzepten erlauben, im Rahmen von Tests unter

Realbedingungen erste Gehversuche zu unternehmen und derart ihr Geschäftsmodell zu erproben. Im Erfolgsfall könnte dann eine Anpassung der einschlägigen Gesetze und Regularien erfolgen.

Landwirtschaft

Für die KI-Anwendungen in der Landwirtschaft wird eine bessere Infrastruktur benötigt. KI vernetzt Informationen aus verschiedenen Datenschichten (Klima, Biotope, Landkarten, Satellitenbilder, etc.), um beispielsweise Auswirkungen von Temperatur- oder Niederschlagsänderungen auf die Vegetation zu prognostizieren und geeignete Maßnahmen zum Artenschutz zu entwickeln. KI-Werkzeuge mit ihren Algorithmen müssen zum einen von der Infrastruktur auf die Landmaschinen oder autonomen Feldroboter gelangen und trainierte Algorithmen müssen auf die Infrastruktur zurückkommen. Die interessierten potenziellen KI-Anwender erhoffen sich dabei eine prototypische Implementierung von maschinellem Lernen auch in vergleichsweise langwierigen landwirtschaftlichen Prozessen (z. B. mit Fruchtfolgewechsel alle 3-4 Jahre), wo entsprechend erst mittelfristig mit Ergebnissen gerechnet werden kann.

Energie

Der Einsatz von KI in der Energiewirtschaft geht mit extrem hohen Rechenanforderungen einher, was bedeutet, dass für eine verstärkte Nutzung die technischen Infrastrukturen auch durch Investitionen des öffentlichen und privaten Sektors verbessert werden könnten. Die künftige Förderung von KI und analytischen Ansätzen in der Energiewende sollte auch den hohen Energiebedarf dieser digitalen Prozesse berücksichtigen. Daher sollten Unternehmen ermutigt werden, die für ihre Rechenzentren benötigte Energie in erster Linie aus erneuerbaren Quellen zu beziehen. Zusätzlich sollte ein möglichst energieeffizienter Rechenzentrumsbetrieb angestrebt werden, welcher im Idealfall durch ein Zertifikat des Blauen Engels dokumentiert und zertifiziert wurde. In diesem Zusammenhang könnten auch Förder- und Beratungsprogramme für KI-Startups in Betracht gezogen werden, um ein Bewusstsein für die Probleme und Herausforderung im Energiebereich zu schaffen und Anreize für die Entwicklung entsprechender Lösungen zu bieten. Darüber hinaus müssen die unterschiedlichen Perspektiven und widersprüchlichen Interessen der beteiligten Akteure, wie z. B. der Technologieanbieter, die Daten sammeln müssen, und der Kunden, die daran interessiert sind, ihre Daten privat zu halten, durch die Förderung des Austauschs und der öffentlichen Diskussion angegangen werden (Kratochwill et al. 2020a).

Wärme

Im Bereich der Wärmewende könnten einerseits Investitionen zur Beseitigung unzureichender IT-Infrastrukturen (z.B. mangelnder Breitbandanschluss, usw.) die breite Einführung KI-einsetzender und damit intelligenter und lernender Energiemanagementtechnologien in den Haushalten ermöglichen. Andererseits könnten Anreize gesetzt werden, z. B. in Form von Bonusprogrammen auf kommunaler Ebene, um die Renovierung und Installation der oben beschriebenen, vergleichsweise kostspieligen, intelligenten Energiemanagementsysteme in möglichst vielen Haushalten zu fördern. Kommunen könnten auch den Einsatz von KI im Wärmesektor fördern, indem sie öffentliche Modellprojekte für entsprechende Anwendungen initiieren (z. B. Fernwärme mit Hilfe von KI). Darüber hinaus könnte die Initiierung eines öffentlichen Austauschs von Vorteil sein, um Technologieanbieter zu ermutigen, mit KI-Lösungen in den Wärmemarkt einzusteigen, und die Bürger über Datensicherheit und Datenmanagement zu informieren, was zum Aufbau von Vertrauen und einer verbesserten Technologieakzeptanz führen könnte.

Kreislaufwirtschaft

KI-Anwendungen können, wie zuvor gezeigt, die Material- und Stofferkennung revolutionieren und somit eine Vielzahl bisher ungenutzter Sekundärrohstoffe verfügbar machen. Der Gesetzgeber sollte daher vermehrt Anreize zum Einsatz von Sekundärrohstoffen setzen. Hierbei sind die gesamten Prozessketten, Inputs, Outputs, Trennung und Akzeptanz von Sekundärrohstoffen in den Blick zu nehmen. Ziel ist die Erhöhung von Recyclingquoten. Die Detektion einzelner Fraktionen im Hausmüll, beispielsweise von Plastik im Biomüll, erfordert jedoch, dass kommunale Satzungen dies unter Einhaltung des übergeordneten Bundes- und Landesdatenschutzrechts auch ausdrücklich zulassen. Unter dieser Voraussetzung könnte dann z. B. in kommunalen Ausschreibungen festgelegt werden, das Entsorgungsbetriebe Müll-Scanner in einem bestimmten Umfang unveränderlich einzusetzen haben.

6.6 Vertiefende Untersuchung zur Kreislaufwirtschaft

Im Folgenden wird der Einsatz von KI-Anwendungen vertiefend im Transformationsfeld Kreislaufwirtschaft untersucht. Der Fokus liegt dabei insbesondere auf dem Beitrag, den KI *zukünftig* in der Gestaltung von *Produktionsprozessen* leisten könnte. Hierzu soll die Frage beantwortet werden, wie *Produktionsprozesse der Zukunft* (Horizont bis 2030) mit *KI* aussehen und wie sie zu einer *Kreislaufwirtschaft beitragen* können. Zur Beantwortung dieser Frage werden vier Studien mit Zukunftsszenarien im Themenkomplex Produktionsprozesse mit KI und Kreislaufwirtschaft untersucht. Es wird herausgearbeitet, wie Produktionsprozesse mit KI zukünftig aussehen könnten und es wird bewertet, inwiefern die Potenziale einen konkreten Beitrag zur Kreislaufwirtschaft leisten. Die vier untersuchen Quellen werden zunächst kurz vorgestellt.

Friedrich et al. (2021) haben mithilfe einer Literaturrecherche acht Anwendungsszenarien für den Einsatz von KI für die betriebliche Ressourceneffizienz zusammengetragen. Hierbei handelt es sich um KI-Anwendungen, die bereits in einzelnen Unternehmen eingesetzt werden und zukünftig auf andere Unternehmen und Anwendungsfälle übertragen werden können. Adressaten der Studie sind insbesondere KMU, die mithilfe der Anwendungsfälle die Relevanz für ihr eigenes Unternehmen einschätzen können.

Kadner et al. (2021) entwerfen das Zielbild einer Circular Economy für Deutschland im Jahr 2030. Der Bericht basiert auf den Ergebnissen dreier Teilberichte zu den Themen Zirkuläre Geschäftsmodelle, Verpackungen und Traktionsbatterien. Es werden Handlungsempfehlungen für die drei Akteursgruppen Politik, Industrie und Wirtschaft für drei Zeithorizonte (kurz-, mittel- und langfristig) formuliert.

Die E**nquete-Kommission Künstliche Intelligenz** hat sich mit KI und ihren gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und ökologischen Folgen auseinandergesetzt (Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz 2020). Im Kapitel "Künstliche Intelligenz und Wirtschaft" entwickeln die Autor:innen eine Vision für Deutschland in 2030. Außerdem wird eine Stärken-/Schwächen-Analyse für ausgewählte Branchen und die drei Akteursgruppen Startups, KMUs und Konzerne durchgeführt und Handlungsempfehlungen gegeben.

Burmeister et al. (2019) entwerfen sechs Szenarien, um mögliche Entwicklungen der Arbeitswelt mit Fokus auf die Entwicklung und den Einsatz von KI in Deutschland zu erfassen. Bei den Szenarien handelt es sich um begründete Zukunftsbilder, deren Plausibilität auf der Identifikation von Schlüsselfaktoren, die die Entwicklung der Arbeitswelt beeinflussen, beruht.

Eine Zusammenfassung der vier Quellen kann anhand verschiedener Kriterien erfolgen, die Rückschlüsse auf den Zuschnitt, auf Gemeinsamkeiten und Unterschiede der vier Studien ermöglichen (siehe Tabelle 19). Die wesentlichen Punkte werden im Folgenden kurz skizziert.

Tabelle 19: Zusammenfassung der vier Quellen

Quelle	Friedrich et al. (2021)	Kadner et al. (2021)	Enquete Kommission KI (2020)	Burmeister et al. (2019)
Titel	"Potenziale der schwachen künstlichen Intelligenz für die betriebliche Ressourceneffizienz"	"Circular Economy Roadmap für Deutschland"	"Künstliche Intelligenz und Wirtschaft"	"Szenario-Report: KI-basierte Arbeitswelten 2030"
Aggregations-ebene	Mikro	Meso	Makro	Makro
Zeithorizont	- [91]	2030	2030	2030
Ort	- [92]	Deutschland	Deutschland	Deutschland[93]
Methodik	Literaturrecherche, Expertenbefragung	Modellierung, Literaturrecherche	Literaturrecherche, Beiträge durch externe Sachverständige, Workshops	Szenario-technik[94]
Anzahl Szenarien	8	2	1	6
Szenariotyp	-[95]	Normativ	Normativ	Explorativ
Quantifizierung KI-Potenzial	Teilweise	Nein[96]	Nein	Nein

Die Studie von Friedrich et al. (2021)entwirft kein(e) Szenario(en) wie die anderen, stattdessen liegt der Fokus hier auf konkreten KI-Anwendungsfällen, u. a. werden die technologische Umsetzung und Wirkungen auf die Ressourceneffizienz qualitativ und wenn möglich quantitativ berichtet. Die Studie wird daher dem Aggregationslevel Mikro zugeordnet.

(Kadner et al. 2021) entwerfen zwei Szenarien, ein Circular-Economy-Szenario und ein Businus-as-usual-Szenario (Referenzszenario). Für das Circular-Economy-Szenario definieren sie als Zielbild die Halbierung des Verbrauchs natürlicher Ressourcen in 2050 (Zwischenziele für 2030 werden mitmodelliert). Es entspricht dem Referenzszenario, ergänzt um sogenannte "Circular-Economy Hebel". Anschließend werden auf Basis der Ergebnisse der drei Teilberichte Handlungsempfehlungen gegeben, wie das definierte Zielbild erreicht werden kann. Es handelt

[91] Die Anwendungsszenarien werden bereits in einzelnen Unternehmen eingesetzt. Zukünftig geht es um die Übertragbarkeit auf und Anwendung durch weitere Unternehmen; dafür wird kein Zeithorizont benannt.

[92] Die Studie nimmt keine regionale Eingrenzung vor. Vielmehr beziehen sich die vorgestellten Anwendungsszenarien auf spezifische, aber unterschiedliche Unternehmen.

[93] Burmeister et al. (2019) betrachten Deutschland in seiner" ökonomischen und politischen Verflechtung mit der Europäischen Union".

[94] Die Szenarienentwicklung gliederte sich in drei Schritte: 1. Identifikation und Auswahl von Schlüsselfaktoren innerhalb von fünf vernetzten "Systemebenen", 2. Entwicklung von Zukunftsprojektionen für jeden Schlüsselfaktor, 3. Bildung konsistenter Szenarien aus den Zukunftsprojektionen für jeden Schlüsselfaktor.

[95] Die acht Anwendungsszenarien lassen sich nicht direkt einem der drei Szenariotypen nach Börjeson et al. (2006) zuordnen, da sie in dem Sinne keine Szenarien entwerfen, sondern existierende Anwendungsfälle von KI darstellen, die wahrscheinlich in Zukunft breiter angewendet werden. Insofern sind die Anwendungsszenarien dem Szenariotyp "prediction" am nächsten.

[96] Es wurden keine KI-Potenziale quantifiziert, allerdings enthält die Studie eine Modellierung des Zielbildes. Zur genutzten Methodik und bzgl. verwendeter Variablen werden keine weiteren Informationen gegeben.

sich daher um den normativen Szenariotyp nach Börjeson et al. (2006). Innerhalb der drei Teilstudien wird immer wieder auf die zentrale Rolle digitaler Technologien (inklusive KI-Anwendungen) für die Transformation hingewiesen. Es findet aber keine detaillierte Erläuterung und Bewertung einzelner KI-Anwendungen wie bei (Friedrich et al. 2021) statt; daher wird die Aggregationsebene Meso zugeordnet.

Die Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz entwirft ebenfalls eine Vision für Deutschland in 2030. Wie bei Kadner et al. (2021) handelt es sich hier um den normativen Szenariotyp. Das Zielbild wird auf einem hohen Aggregationslevel (Makro) formuliert und nicht weiter auf einzelne Anwendungen heruntergebrochen; konkrete (KI-)Anwendungen werden höchstens beispielhaft erwähnt.

Burmeister et al. (2019) entwickeln sechs explorative Szenarien, die einen Möglichkeitsraum aufspannen mit einem eindeutig negativen, einem eher utopischen und vier dazwischen liegenden Szenarien. Sie betten damit die Entwicklung der Arbeitswelt und des KI-Einsatzes in gesellschaftliche Zusammenhänge ein und ermöglichen es, Haupttreiber für die jeweiligen Entwicklungen zu identifizieren. Die sechs Szenarien sind auf einem hohen Aggregationslevel (Makro) angesiedelt, und adressieren nicht ausschließlich, aber insbesondere eine KI-basierte/digitale Produktion als Teil KI-basierter Arbeitswelten. Die Transformation zur Circular Economy wird nur in einem Szenario (Transformationsszenario) erreicht.

Aus den vier vorgestellten Quellen können eine mögliche Ausgestaltung und die Potenziale eines zukünftigen KI-gestützten Produktionssystems in einer Kreislaufwirtschaft herausgearbeitet werden (siehe Tabelle 20).[97] Die Ergebnisse werden drei Gruppen zugeordnet, abhängig vom Abstraktionslevel der Informationen aus den Szenarien:

- Vision 2030,
- Universell einsetzbare Anwendungen,
- Spezifische Anwendungen.

Welchen Beitrag die Ausgestaltung und die Potenziale eines zukünftigen KI-gestützten Produktionssystems zu einer Kreislaufwirtschaft tatsächlich leisten können, wird anhand von vier übergeordneten Maßnahmengruppen bewertet. Pfaff und Ostertag (2021)) teilen Maßnahmen zur Erreichung der Kreislaufwirtschaft hierzu in vier Gruppen ein: Begrenzung von Materialflüssen, Verlangsamung von Materialflüssen, Regenerierung von Materialflüssen und Zirkulation von Materialflüssen.[98]

Tabelle 20: Zukünftige Produktionssysteme mit KI

Ebene	KI-gestützte Produktion	Beitrag zur Kreislaufwirtschaft	Quelle
Vision 2030	Einigung auf ethische, soziale und ökologische Leitplanken zum Einsatz von KI	-	Enquete Kommission KI (2020)

[97] Die dargestellten Informationen aus Burmeister et al. (2019) stammen im Wesentlichen aus dem Transformationsszenario (Szenario 5). Friedrich et al. 2021 geben an, dass die beschriebenen Potenziale nur für den spezifischen Anwendungsfall gelten.

[98] Die Begrenzung von Materialfüssen zielt auf die Reduktion der Menge an Materialien bei der Produktherstellung und der Bereitstellung von Dienstleistungen ab, z. B. durch zirkuläres Design oder erhöhte Benutzungsquoten. Die Verlangsamung von Materialflüssen zielt auf eine optimierte Nutzung von Materialien und Produkten, z. B. durch Lebensdauerverlängerungen ab. Dadurch kann dann die Geschwindigkeit der Gewinnung von Primärmaterial verringert werden. Die Regenerierung zielt auf den Ersatz nicht-erneuerbarer durch erneuerbare Materialien ab. Bei der Erzeugung muss jedoch der Wert natürlicher Ökosysteme erhalten bleiben. Die Zirkulation von Materialien wird durch eine optimierte Nutzung am Lebensende ermöglicht, z. B. durch verbesserte Sammlungen Pfaff und Ostertag (2021).

	KI-basierte Umwelt- und Effizienztechnologie wird zum Exportschlager für Deutschland	Begrenzung von Materialflüssen	Enquete Kommission KI (2020)
	Aus Ingenieur:innen werden Ressourceneffizienzmanager:innen, die mit KI einzelne Fertigungsinseln optimieren und dezentrale autonom gesteuerte Produktionszellen ermöglichen	Begrenzung von Materialflüssen	Burmeister et al. (2019), Enquete Kommission KI (2020)
	Unternehmen arbeiten in crossfunktionalen Teams aus Datenanalytiker:innen, Planer:innen, Controller:innen und Vertriebler:innen, Produktionsmanager:innen und Ökosystem-Expert:innen interdisziplinär zusammen	-	Burmeister et al. (2019)
	Überbetriebliche Integration von Logistikprozessen, die ressourcen- und energieeffizienten Prinzipien einer Circular Economy folgen, KI ermöglicht Beherrschung der Komplexität	Begrenzung von Materialflüssen	Burmeister et al. (2019)
	Digitale Technologien (inklusive KI) ermöglichen Vernetzung "smarter" CE-Strategien (z. B. rückblickende Auswertung oder KI-gestützte Vorhersage von Daten), gezielte Bereitstellung relevanter Informationen ermöglichen zirkuläre Geschäftsmodelle	Begrenzung, Verlangsamung und Zirkulation von Materialflüssen	Kadner et al. (2021)
	Automatisierung kann fast alle Arbeiten ersetzen/ergänzen, auch komplexe Tätigkeiten, ERP-Systeme übernehmen die durchgängige Steuerung aller Geschäftsprozesse	Begrenzung von Materialflüssen	Burmeister et al. (2019)
Universell einsetzbare Anwendungen	Maschinendaten werden per Cloudservice und mittels KI vorausschauend ausgewertet	Begrenzung und Verlangsamung von Materialflüssen	Burmeister et al. (2019)
	Einsatz von Sensorik und Kommunikation (Industrie 4.0) u. Machine Learning zur Umsetzung von CE-Strategien (digitale Produktpässe, Sammeln von Informationen entlang des Produktlebenszyklus, etc.)	Begrenzung, Verlangsamung und Zirkulation von Materiaflüssen	Kadner et al. (2021)
	Industrial Internet Plattformen (von Siemens, Bosch, Trumpf, SAP) zur Bereitstellung von KI-Services für intelligente Steuerung und zur Prozessoptimierung (Auswertung von Daten, die durch umfassende Vernetzung der Produktion entstehen)	Begrenzung und Verlangsamung von Materialflüssen	Enquete Kommission KI (2020)
	Vertikale und horizontale Industrieplattformen zum Austausch segmentspezifischer Daten zwischen	-	Enquete Kommission KI (2020)

	Unternehmen als Basis für KI-Anwendungen		
	Entwicklung modellbasierter Entscheidungsplattformen, Simulationen und Big-Data-Analysen zur Verbesserung der Entscheidungsfindung, Entwicklung modellbasierter Entscheidungsplattformen für die zirkuläre Nachnutzung von Produkten	Zirkulation von Materialflüssen	Kadner et al. (2021)
	Automatisierte Demontagesysteme (für Traktionsbatterien, aber auch für andere Produkte)	Zirkulation von Materialflüssen	Kadner et al. (2021)
	Materialerkennung- und Sortierung mithilfe von Marker-Technologien oder KI, ermöglichen eindeutige technische Detektierbarkeit, z. B. von Verpackungen, auch Mischmaterialien	Zirkulation von Materialflüssen	Kadner et al. (2021)
	KI-Prozessinnovationen zur besseren Koordination von Abläufen und Neugestaltung von Prozessen	Begrenzung von Materialflüssen	Enquete Kommission KI (2020)
	KI-Prozessinnovationen zur Prognose von Materialflüssen	-	Enquete Kommission KI (2020)
	KI-Prozessinnovationen zur Anpassung der Produktion an Nachfrage	Begrenzung von Materialflüssen	Enquete Kommission KI (2020)
	Überwachung des Zustands von Produkten, um z. B. präventive Wartung einzuleiten	Verlangsamung von Materialflüssen	Kadner et al. (2021)
Spezifische Anwendungen	Vorausschauende Wartung einer Fräsmaschine	Verlangsamung von Materialflüssen	Friedrich et al. (2021)
	Optimierung der Prozesskette in der Wafer-Produktion	Begrenzung von Materialflüssen	Friedrich et al. (2021)
	Optische Fehlererkennung durch Echtzeitanalyse von Bildmaterial bei der Spritzgussfertigung	Begrenzung von Materialflüssen	Friedrich et al. (2021)
	Fehlervorhersagen bei der Umformung von Blechschnitten zu Karosserieteilen	Begrenzung von Materialflüssen	Friedrich et al. (2021)
	Planung der Prozesskette durch Simulation und Modellierung von Betriebszuständen in der Mikrofertigung	Begrenzung von Materialflüssen	Friedrich et al. (2021)
	Produktoptimierung durch datengetriebene Produkt- und Retrofit-Planung	Begrenzung von Materialflüssen	Friedrich et al. (2021)
	Automatisierung in der Produktionslinie durch fahrerlose Transportsysteme	Begrenzung von Materialflüssen	Friedrich et al. (2021)
	Sustainability Analytics zur CO_2-Flottenoptimierung	Begrenzung von Materialflüssen	Friedrich et al. (2021)

Die Ergebnisse der ersten Gruppe **Vision 2030** beschreiben auf einem relativ hohen Abstraktionslevel ein mögliches Zielbild in 2030. So könnten aus Ingenieur:innen Ressourceneffizienzmanager:innen geworden sein und KI-basierte Umwelt- und Effizienztechnologien sind zum Exportschlager Deutschlands geworden. Mithilfe von Automatisierung könnten fast alle Geschäftsprozesse gesteuert werden, sodass fast alle Tätigkeiten ersetzt bzw. mindestens durch KI ergänzt und unterstützt werden. Insbesondere könnten Produktions- und Logistikprozesse überbetrieblich integriert und an ressourcen- und energieeffizienten Circular Economy-Prinzipien ausgerichtet sein. Die entstehende Komplexität kann nur mithilfe von KI-Systemen beherrscht werden. Die meisten Elemente dieser Vision scheinen jedoch auf nur eine der vier Maßnahmen, nämlich die Begrenzung von Materialflüssen, abzuzielen. Lediglich die Bereitstellung relevanter Informationen zur Ermöglichung zirkulärer Geschäftsmodelle, insbesondere durch KI-Technologien, könnte auch die Verlangsamung und die Zirkulation von Materialflüssen adressieren. Somit sollte dieses Zielbild noch um Elemente ergänzt werden, welche die drei anderen Maßnahmen Verlangsamung, Regenerierung und Zirkulation von Materialflüssen adressieren.

In der zweiten Gruppe sind auf einem mittleren Abstraktionslevel **universell einsetzbare Anwendungen** zusammengefasst. Die Beschreibungen sind im Vergleich zur Vision 2030 deutlich konkreter und spezifischer. So könnten europäische vertikale und horizontale Industrieplattformen zum Austausch segmentspezifischer Daten zwischen Unternehmen aufgebaut und modellbasierte Entscheidungsplattformen für die zirkuläre Nachnutzung von Produkten entwickelt werden. Zusätzlich könnten automatisierte Demontagesysteme eingesetzt werden. Einige der aufgeführten Anwendungsarten würden zudem mehrere Maßnahmengruppen gleichzeitig unterstützen, außerdem kommen die drei Maßnahmengruppen Begrenzung, Verlangsamung und Zirkulation von Materialflüssen etwa gleich häufig vor. Es fehlen jedoch Anwendungsarten, die die Regenerierung von Materialflüssen unterstützen könnten.

In der dritten Gruppe sind die **spezifischen Anwendungen** aus Friedrich et al. (2021) aufgeführt. Es handelt sich hierbei meist um Beispiele für einen konkreten Anwendungsfall, z. B. die vorausschauende Wartung einer Fräsmaschine oder die Automatisierung einer Produktionslinie durch fahrerlose Transportsysteme. Da die Studie nur KI-Anwendungen zur Förderung der betrieblichen Ressourceneffizienz untersucht, können sieben der acht Anwendungen einen Beitrag zur Begrenzung der Materialflüsse leisten, eine Anwendung ermöglicht die Verlangsamung von Materialflüssen. Friedrich et al. (2021) schätzen für alle KI-Anwendungen die Ressourceneffizienzwirkung ab. Die Autor:innen geben dabei jeweils an, ob eine geringe, mittlere oder hohe Einsparung erzielt werden kann. Für zwei Anwendungen können sie auch quantitative Angaben machen: Die Optimierung der Prozesskette in der Wafer-Produktion ermöglicht eine Energieeinsparung von bis zu 17 %. Diese 17 % sind laut den Autor:innen als bemerkenswert hoch einzuschätzen, da die Produktion schon nahe am Optimum operiere. Insbesondere beträgt die zur Wafer-Fertigung benötigte Energie 41 % des Gesamtenergieverbrauchs des Unternehmens. Die Fehlervorhersage bei der Umformung von Blechschnitten reduziert die Ausschussrate von 3,6 % auf 0,2 %. Diese Einsparung wird von den Autor:innen als gering eingestuft. Insgesamt liegen die meisten Einsparungen im geringen und mittleren Bereich. In dieser Gruppe fehlen daher KI-Anwendungen, welche die drei anderen Maßnahmengruppen Verlangsamung, Regenerierung und Zirkulation von Materialflüssen adressieren.

Insgesamt zeigt sich, dass mithilfe von KI, sowohl auf der Ebene "Vision 2030" als auch auf der spezifischen Anwendungsebene, in erster Linie Effizienzsteigerungen zur Begrenzung der Materialflüsse adressiert werden. Dies deckt sich mit den Ergebnissen im Transformationsfeld

Kreislaufwirtschaft. Dieser Befund kann verschiedene Gründe haben: Entweder lassen sich mit KI-Anwendungen Effizienzsteigerungen besonders gut und mit vergleichsweise geringem Aufwand adressieren, sog. "low hanging fruits". Oder mögliche Verbesserungen in den anderen Circular Economy Maßnahmengruppen (Verlangsamung, Regenerierung oder Zirkulation von Materialflüssen) lassen sich eventuell nicht so gut beziehungsweise nur mit höherem Aufwand adressieren. Oder aber es existieren zwar relevante Potenziale, die aber erst bei entsprechenden (finanziellen) Anreizen, durch unterschiedliche Akteure adressiert werden.

Es erscheint daher dringend notwendig, Ideen zur Verlangsamung, Regenerierung und zur Zirkulation von Materialflüssen mithilfe von KI stärker zu forcieren, um mögliche Potenziale zu heben und um ein besseres Verständnis dafür zu entwickeln, für welche dieser Maßnahmengruppen KI-Systeme besonders gut eingesetzt werden könnten. In den untersuchten Szenarien wurden weitere Potenziale für KI-Systeme insbesondere in den zwei folgenden Bereichen gesehen: Beherrschung komplexer Zusammenhänge (z. B. überbetriebliche Integration von Produktions- und Logistikprozessen) sowie der Bereitstellung von Informationen entlang des Produktlebenszyklus (z.B. durch Vernetzung der Produktion und damit zu realisierender Optimierungen).

Es fehlt insbesondere an Zukunftsszenarien, welche die drei Themenkomplexe KI, zukünftige Produktion und Kreislaufwirtschaft gleichzeitig adressieren. Solche Szenarien sollten die Bestandteile der hier verwendeten Studien kombinieren und ergänzen: Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz (2020)und Burmeister et al. (2019) geben ein bzw. mehrere mögliche Zielbild(er) als Rahmen vor. Kadner et al. (2021) geben Aufschluss über Anwendungsgruppen und Friedrich et al. (2021) stellen spezifische Anwendungen bereit. Insbesondere auf dieser Ebene sind Ergänzungen weiterer KI-Anwendungen nötig. Solche Szenarien würden es dann auch möglich machen, Maßnahmen aus systemischer Sicht zu bewerten, um mögliche Zielkonflikte zwischen Maßnahmen zu identifizieren und ihnen proaktiv zu begegnen.

7 Digitale Plattformen - Einsatzbereiche und mögliche Transformationseinflüsse

7.1 Einleitung und Vorgehen

7.1.1 Einleitung[99]

Shopping bei Amazon, Übernachtungen bei Airbnb oder Instant Messaging über Twitter – digitale Plattformen prägen unsere Gesellschaft. In immer heterogeneren Sektoren der Wirtschaft werden in der Tendenz immer mehr Transaktionen über Plattformen abgewickelt (Kenney u. a. 2019). In der Tourismusbranche etwa beläuft sich der Anteil des über Plattformen abgewickelten Marktvolumens bereits auf über 40 Prozent (Poleshova 2020). Andere Branchen – wie bspw. die sozialen Medien oder Streaming – sind ohne Plattformen grundsätzlich nicht denkbar. Die Corona-Pandemie hat diese Dynamik der zunehmenden ‚Plattformisierung' (Helmond 2015) weiter verstärkt. Während Großunternehmen wie die Lufthansa zu Hochzeiten der Pandemie zum Überleben auf staatliche Finanzspritzen angewiesen waren und Indizes wie Dax 30 oder Dow Jones leicht sanken, legte der Plattform-Index – ein Aktienindex der 15 relevantesten Plattformunternehmen – von Jahresbeginn bis Anfang Dezember 2020 um über 50 Prozent zu (Schmidt 2021).

Die wachsende ökonomische und gesellschaftliche Relevanz digitaler Plattformen wird zunehmend auch wissenschaftlich untersucht. So hat sich in den vergangenen Jahren ein eigener Forschungsstrang herausgebildet, der die vielfältigen Funktions- und Wirkungsweisen des Plattformmodells in den Blick nimmt. Während die wissenschaftliche Debatte dabei anfänglich vorrangig durch wirtschaftswissenschaftliche (D. S. Evans und Schmalensee 2007) und medienwissenschaftliche (Gillespie 2010) Perspektiven strukturiert wurde, haben in den vergangenen Jahren verstärkt auch rechtswissenschaftliche (Lobel 2016) und politikwissenschaftliche (Pentzien 2019; Kenney und Zysman 2016; Pentzien 2020) Analysen an Gewicht gewonnen.

In der wissenschaftlichen Auseinandersetzung bisher nur unzureichend in den Blick genommen wurden jedoch die ökologischen Implikationen und Effekte des Plattformmodells. So existieren nur wenige Studien, die explizit versuchen zu verstehen, ob und inwiefern digitale Plattformen zu einem Übergang in eine Green Economy beitragen können. Ähnlich verhält es sich mit Studien, die darauf abzielen, die Handlungsmöglichkeiten zu identifizieren, die politischen Entscheidungsträger:innen zur Verfügung stehen, um eine nachhaltigkeitsorientierte Steuerung der Plattformökonomie zu realisieren. Hinzu kommt, dass sich die wenigen bisher durchgeführten Studien zu den plattformbasierten Umweltpotenzialen primär auf die Potenziale endnutzerorientierter Modellen fokussiert haben, bspw. auf die von Peer-to-Peer-Sharing-Plattformen wie Airbnb oder BlaBlaCar (Behrendt, Henseling, und Scholl 2019) oder Transaktionsplattformen im eCommerce-Sektor wie Amazon oder ebay (Peuckert und Pentzien 2019; Zarra u. a. 2019). Das Ergebnis: plattformspezifische Umweltpotenziale werden in der Regel auf individuelle Verhaltensweisen enggeführt. Dies führt dazu, dass in der Regel vor allem mögliche Effizienzsteigerungen – die sich im Kontext von Sharing-Plattformen bspw. über die intensivierte Nutzung von Gütern (Peuckert und Pentzien 2019) und im Kontext von Marktplatzplattformen über Umweltfilter realisieren lassen – herausgestellt werden.

[99] Die Autor:innen der Teilstudie danken Julian Kilchling und Eva Knor für ihre Unterstützung bei der Recherche und der Fertigstellung der Studie.

Problematisch an dieser Engführung auf individuelle Verhaltensweisen ist, dass sie die Vielfalt an plattformbasierten Geschäftsmodellen sowie die Heterogenität der Sektoren, in denen Plattformen zur Anwendung kommen, nur unzureichend widerspiegelt. So liegt es aufgrund der schieren Breite an Plattformanwendungen nahe, dass neben Effizienzpotenzialen noch weitere, möglicherweise sogar transformativere Umweltpotenziale gehoben werden könnten. Eine zentrale Rolle kommt dabei der Fähigkeit digitaler Plattformen zuteil, Transparenz über die durch die sie vermittelten Inter- und Transaktionen zu schaffen. Da sich Plattformen als Intermediäre zwischen heterogene Informationsquellen schalten, könnte einer ihrer Beiträge für den Umweltschutz darin bestehen, Informationen über Umwelteffekte zu erhöhen – und durch diese Transparenzschaffung, je nach Branche und Anwendungsfeld, nicht nur Effizienz, sondern auch Suffizienz- oder Konsistenzpraktiken zu befördern (Gossen und Frick 2018).

Des Weiteren werden Plattformen in den letzten Jahren zunehmend auch in industriellen Produktionsprozessen eingesetzt, siehe bspw. SIMATIC von Siemens oder die Volkswagen Industrial Cloud (Srnicek 2017). Auch an dieser Stelle lassen sich Potenziale für eine grundlegendere systemische Transformation in Richtung einer Green Economy vermuten, bspw. über die Wiederaufbereitung knapper Ressourcen. Aufgrund des gegenwärtigen Mangels an vergleichender und branchenübergreifend vorgehender Forschung bleibt jedoch offen, welche konkreten Umweltpotenziale das Plattformmodell in welchen Sektoren mit sich bringt – und unter welchen Bedingungen Plattformen auf eine Hebung dieser Umweltpotenziale für den Übergang in eine Green Economy abzielen. Ebenso unklar bleibt, welche Politikmaßnahmen herangezogen werden könnten, um eine nachhaltige Steuerung der Plattformökonomie in unterschiedlichen Sektoren sicherzustellen.

Um dies zu ändern, wird im Rahmen dieser Teilstudie eine vergleichende Analyse der Umweltpotenziale unterschiedlicher Plattformtypen über Branchen hinweg durchgeführt. Ziel ist es, zu verstehen, in welchen Branchen digitale Plattformen bereits für den Umweltschutz genutzt werden, welche Potenziale dabei sichtbar werden und welche Hemmnisse vorliegen, die einer umweltorientierten Anwendung entgegenstehen. Auf dieser Grundlage werden Regulierungsvorschläge, die Hemmnisse für nachhaltigkeitsorientierte digitale Plattformen im Umweltschutz abbauen können, entwickelt.

7.1.2 Vorgehen

Die Teilstudie ist wie folgt strukturiert: in Abschnitt 7.2 wird sich dem Plattformmodell definitorisch genähert und ein differenziertes Analyseraster entwickelt, welches eine systematische Erfassung und Analyse der Umweltpotenziale heterogener Plattformtypen in unterschiedlichen Sektoren ermöglicht. Differenziert wird dabei in zweierlei Hinsicht: in Bezug auf die durch die Plattform vermittelten Nutzungsgruppen (bspw. C2C, B2C und B2B) und in Bezug auf die Funktionsweise der Plattform (bspw. Transaktionsplattformen, Innovationsplattformen oder integrierte Plattformen).

Die Abschnitte 7.3 und 7.4 verfolgen beide das Ziel, die Umweltpotenziale digitaler Plattformen zu identifizieren. Damit stellen sie den Kern der Teilstudie dar. Beide Abschnitte gehen jedoch auf unterschiedliche Art und Weise vor. So werden in Abschnitt 7.3 (analog zu der Teilstudie zu Big Data) Startup-Daten aus der Crunchbase-Datenbank ausgewertet und hierauf aufbauend die Hauptanwendungsfelder und die propagierten Potenziale von nachhaltigkeitsorientierten digitalen Plattformen identifiziert. Fokussiert wird dabei auf Deutschland als potenziellem Vorreiterland einer Green Economy. In Abschnitt 7.4 wiederum wird eine schlaglichtartige Literaturstudie durchgeführt, im Rahmen derer der aktuelle Forschungsstand (in konzeptioneller wie auch in empirischer Hinsicht) zu den Umweltpotenzialen digitaler Plattformen systematisiert wird. Da die tatsächlichen Potenziale der heterogenen

Plattformtypen für die Transformation zu einer Green Economy und den Umweltschutz nur im Kontext konkreter Branchen beschrieben werden können, wird hierfür auf die zuvor eingeführten Differenzierungskriterien zurückgegriffen. Die Kombination beider Herangehensweisen erlaubt es, sowohl die Potenziale von explizit nachhaltigkeitsorientierten Plattform-Startups (Abschnitt 7.3) wie auch die Potenziale bereits etablierter Plattformunternehmen (Abschnitt 7.4) zu identifizieren.

In Abgrenzung zu den vorangegangenen Abschnitten, in denen branchenübergreifend vorgegangen wird, zielt Abschnitt 7.5 darauf ab, im Sinne eines Case Study-Ansatzes eine vertiefende Untersuchung zweier als besonders relevant einzustufender Plattformtypen durchzuführen. Konkret werden für B2C-eCommerce-Plattformen sowie für B2B-Informationsplattformen sowohl Potenziale und Hemmnisse skizziert sowie danach gefragt, wie die durch diese Plattformtypen ermöglichten Inter- und Transaktionen reguliert oder politisch adressiert werden können. In diesem Zusammenhang werden konkrete Maßnahmen- und Instrumentenempfehlungen für die Umweltentlastung entwickelt (u. a. in Bezug zu Regulierung, Entwicklung von Kriterien der Nutzung der Plattformen, Bereitstellung umweltrelevanter Daten), die das Potenzial haben, Hemmnisse für nachhaltigkeitsorientierte digitale Plattformen im Umweltschutz und eine Green Economy abzubauen. Im abschließenden Gesamtfazit (Abschnitt 7.6) werden die Erkenntnisse der vorangegangenen Abschnitte zusammengebracht und übergreifende Empfehlungen abgeleitet.

7.2 Definition und Typologie

7.2.1 Definition: Plattform als Sammelbegriff

Trotz vielfältiger Versuche, den Begriff der digitalen Plattform trennscharf von verwandten Technologien, Dynamiken und Entwicklungen (wie bspw. Industrie 4.0, der Sharing Economy oder der digitalen Ökonomie) abzugrenzen (P. C. Evans und Gawer 2016; Gawer 2014; Srnicek 2017), hat sich eine allgemein akzeptierte Definition bisher nicht durchsetzen können. Gemeinhin wird der Begriff in der Literatur als Sammelbegriff verwendet, unter dem äußerst heterogene Organisationsformen, Geschäftsmodelle und technologische Artefakte gefasst werden. Die enorme Breite der mit dem Plattformbegriff assoziierten Formen und Praktiken wird bspw. in den Arbeiten von Kenney & Zysman deutlich, die digitale Plattformen als "*complicated mixtures of software, hardware, operations, and networks*" beschreiben, deren zentrales Element darin bestehe, „[*to provide] a set of shared techniques, technologies, and interfaces to a broad set of users who can build what they want on a stable substrate*" (2016). So überrascht es nicht, dass unter dem Sammelbegriff der digitalen Plattform in der Literatur sowohl eCommerce-Unternehmen wie Zalando, Cloud-Anbieter wie AWS als auch Arbeitsvermittler wie Uber untersucht werden.

In Ermangelung einer trennscharfen Definition kommt der Identifikation verbindender Merkmale eine zentrale Bedeutung zu. Im Rahmen dieser Teilstudie werden Plattformen entlang drei geteilter Merkmale charakterisiert.

Erstens nutzen Plattformen Technologien (in Form von Protokollen, Websites oder Apps), um die Koordination von Interaktionen oder Transaktionen zwischen zwei (oder mehreren) unterschiedlichen Nutzungsgruppen zu ermöglichen (D. S. Evans und Schmalensee 2007). Die Lieferplattform Deliveroo beispielsweise verbindet Restaurants, Verbraucher:innen und Fahrer:innen in der Gastronomiebranche. Als digitale Intermediäre strukturieren Plattformen somit die Schaffung und den Austausch von Wert, der durch Netzwerke von Einzelpersonen, formalisierten Gruppen (wie Unternehmen) oder anderen Informationsquellen (wie bspw. Datenströme) innerhalb bestimmter Branchen erzeugt wird (Moazed und Johnson 2016).

Gelingt es den Plattformen genügend Nutzer:innen für die jeweiligen Seiten ihres Marktes zu gewinnen, werden sie zu florierenden Marktplätzen, für die das Unternehmen, das die Plattform betreibt, die Interaktionsregeln festlegen und durchsetzen kann (Bratton 2016).

Zweitens bildet die Plattform aufgrund ihrer Positionierung zwischen mehreren Informationsinhabern – den Seiten ihres Marktes – das primäre Geschäftsmodell für die Gewinnung von Daten, dem Rohstoff, der die digitale Wirtschaft antreibt (Zuboff 2019). So sammelt Deliveroo nicht nur Informationen über die Essenspräferenzen seiner Verbraucher:innen, sondern auch über den Ort, von dem aus diese auf die Plattform zugreifen, über die Geschwindigkeit, mit der die Fahrer:innen das Essen ausliefern, und die Beliebtheit jedes auf der Plattform eingestellten Restaurants. Die extrahierten Daten können anschließend analysiert und als Ware verkauft oder zur Steuerung der Interaktionsmöglichkeiten und zur Gestaltung des Marktverhaltens (bspw. auch in Hinblick auf Nachhaltigkeit) verwendet werden (Staab und Geschke 2019). Im Falle Deliveroos wird die Flexibilität eines Fahrers, seine Arbeitszeit selber auszuwählen, dabei an die Anzahl der zuvor abgeschlossenen Lieferungen gekoppelt: je mehr Lieferungen, desto höher die Flexibilität.

Hinzukommen, drittens, bestimmte ökonomische Effekte, von denen Plattformen in besonderem Maße profitieren können. Primär hervorzuheben sind hier Skalen- und Netzwerkeffekte. (Positive) Skaleneffekte treten immer dann auf, wenn eine größere Zahl an produzierten bzw. verkauften Einheiten mit sinkenden Stückkosten einhergeht. Im Kontext der Plattformökonomie ist der Aufbau einer Plattform zwar kostspielig, wachsende Nutzer:innenzahlen sorgen jedoch nur in begrenztem Maße für zusätzliche Kosten (Srnicek 2017). Der (indirekte) Netzwerkeffekt wiederum beschreibt, dass eine Plattform für Nutzende auf der einen Seite des mehrseitigen Marktes umso wertvoller wird, je mehr Nutzende auf der anderen Seite aktiv sind (Belleflamme und Peitz 2016). So sind Uber-Fahrer:innen davon abhängig, dass Individuen einer Beförderung bedürfen – und umgekehrt. Je mehr Fahrer:innen und Konsument:innen bereits auf der Plattform sind, desto wahrscheinlicher ist es, dass die nächste Fahrerin, die einen Auftrag sucht, und die nächste Person, die eine Fahrt buchen will, ebenfalls der Plattform beitreten werden. Da Netzwerkeffekte eine wichtige Quelle für Marktmacht darstellen, subventionieren Plattformen in einer frühen Entwicklungsphase häufig einzelne Seiten ihres Marktes (bspw. über die Bereitstellung von kostenfreien Services oder über explizite finanzielle Anreize), um die Gesamtnutzerbasis zu vergrößern (Tucker 2018).[100]

Zusammengenommen werden digitale Plattformen im Rahmen dieser Teilstudie somit entlang folgender Eigenschaften charakterisiert:

- **Intermediation & Markthaftigkeit**: Digitale Plattformen sind materielle Infrastrukturen, die Wert schaffen, indem sie Inter- und Transaktionen zwischen mindestens zwei unterschiedlichen Nutzungsgruppen koordinieren. Plattformen setzen Regeln für die durch sie vermittelten Interaktionen und Transaktionen. Somit fungieren sie verstärkt selber als Märkte, die in Konkurrenz zu traditionellen Marktanbietern treten.
- **Datengewinnung**: Plattformen eignen sich aufgrund ihrer Positionierung zwischen unterschiedlichen Informationsquellen besonders zur Gewinnung von Daten. Die gewonnenen Daten können durch Plattformunternehmen analysiert und im Anschluss als Ware verkauft und somit für Big Data-Anwendungen nutzbar gemacht werden.

[100] In diesem Zusammenhang muss darauf verwiesen werden, dass Netzwerkeffekte auch für nicht-plattformbasierte Unternehmen eine zentrale Rolle spielen. Jedoch erlaubt es das Plattformmodell, (indirekte) Netzwerkeffekte verstärkt auch auf globaler Ebene zu realisieren.

- **Netzwerk- und Skaleneffekte**: Digitale Plattformen profitieren von diversen ökonomischen Effekten, die eine hohe Konzentration von Marktmacht und das Entstehen sogenannter *winner-takes-it-all*-Märkte begünstigen. Um von diesen Effekten profitieren zu können, wenden Plattformen Strategien wie Subventionierung an, um ihre Gesamtnutzendenbasis zu vergrößern.

Sprachlich an Srnicek (2017) und die OECD (2019) anknüpfend, können Plattformen somit als eine neue Art von Unternehmen definiert werden, das eine digitale Infrastruktur besitzt und verwaltet, die zwischen verschiedenen Nutzungsgruppen vermittelt und deren Interaktionsmöglichkeiten basierend auf Datenextraktion und -verarbeitung steuert.[101]

7.2.2 Typologie: Ausdifferenzierung des Feldes der Plattformökonomie

Obwohl sich auf konzeptioneller Ebene somit verbindende Merkmale identifizieren lassen, entlang derer der Begriff der Plattform von verwandten Dynamiken abgegrenzt werden kann, unterscheiden sich Plattformanwendungen in der Praxis in Hinblick auf Funktionsweise und Geschäftsmodell stark. Je nach konkreter Ausgestaltung und Zielsetzung können dabei einzelne der drei skizzierten Merkmale in den Vorder- oder Hintergrund treten. So ist es für eine Lieferdienstplattform wie Deliveroo vor allem die Fähigkeit, die unterschiedlichen Seiten ihres Marktes in Einklang zu bringen. Für eine Innovationsplattform wie Microsoft Azure wiederum ist die Frage der Datengewinnung und -verarbeitung von zentraler Bedeutung.

Eine ähnliche Ausdifferenzierung lässt sich auch in Hinblick auf Umweltpotenziale erwarten. So liegt es nahe, dass diese nicht nur von der jeweiligen Branche abhängen, in der die Plattform agiert, sondern auch von der Funktionsweise der Plattform selbst. Anders ausgedrückt lassen sich unterschiedliche Potenziale vermuten, je nachdem, welche Akteure durch die Plattform miteinander in Verbindung gesetzt werden und welches Geschäftsmodell diesen Interaktionen zugrunde liegt. Um das Feld der Plattformökonomie auf differenzierte Art und Weise betrachten zu können, ist es demnach unabdingbar, die Plattform nicht als homogene *Blackbox* zu behandeln, sondern unterschiedliche Ausprägungen in den Blick zu nehmen. Um eine so gelagerte Typologie zu entwickeln, bieten sich zwei Kriterien an: eine Differenzierung nach der durch die Plattform vermittelten Nutzungsgruppen auf der einen Seite und eine Differenzierung nach der Funktionsweise der Plattform auf der anderen.

7.2.2.1 Nach Nutzungsgruppen

Der Begriff der Nutzungsgruppe rekurriert auf die durch eine Plattform vermittelten Akteure, d. h. auf die Seiten des Plattformmarktes. Die drei prominentesten Plattformentypen, die nach diesem Differenzierungskriterium identifiziert werden können, sind die folgenden (siehe auch Codagnone und Martens 2016):

- **Consumer-to-Consumer (C2C)-Plattformen:** Diese Plattformen ermöglichen Geschäftsbeziehungen zwischen Privatpersonen. Vor allem bei Produkttest-, Handels-, und Tauschplattformen spielen C2C-Plattformen eine zunehmend größer werdende Rolle. Als Beispiele können Plattformen wie Airbnb, ebay oder Etsy genannt werden.

[101] Die OECD definiert eine digitale Plattform als einen *„digital service that facilitates interactions between two or more distinct but interdependent sets of users (whether firms or individuals) who interact through the service via the Internet*" (2019). Srnicek wiederum definiert die Plattform *„as a new kind of firm that owns and manages a computational infrastructure which intermediates between different user-groups and governs their interaction possibilities, while displaying monopoly tendencies driven by network effects"* (2017). Während beide Definitionen das Kriterium der Intermediation deutlich herausstellen, wird die zentrale Stellung der Datengenerierung und der ökonomischen Effekte nur implizit angeführt. Die hier vorgeschlagene Definition zielt darauf ab, alle drei Kriterien zu integrieren.

- **Business-to-Consumer (B2C)-Plattformen**: Diese Plattformen ermöglichen Kommunikations- und Geschäftsbeziehungen zwischen Unternehmer:innen und Privatpersonen. B2C-Plattformen spielen derzeit vor allem im Kontext des privatkundenorientierten Online-Handels (eCommerce) eine zentrale Rolle. Prominente Beispiele sind der Versandhandel von Amazon oder Zalando.

- **Business-to-Business (B2B)-Plattformen:** Bei der Charakterisierung von B2B-Plattformen muss beachtet werden, dass der B2B-Begriff derzeit sehr weit gefasst wird. So werden in der Literatur in der Regel sowohl Transaktionsplattformen, auf denen Unternehmen Produkte für andere Unternehmen bereitstellen, sowie Innovationsplattformen, im Rahmen derer physische Produktionsprozesse verbunden werden (eng verknüpft mit dem Industrial Internet of Things, IIoT), als B2B-Plattformen bezeichnet. Um dieser Sachlage gerecht zu werden, werden im Rahmen dieser Teilstudie unter dem B2B-Begriff sowohl Plattformen analysiert, die auf die Ermöglichung von Geschäftsbeziehungen zwischen zwei oder mehr Unternehmen, sowie auf Plattformen, die auf die Vernetzung von Industrieprozessen abzielen. Als Beispiel für eine B2B-Transaktionsplattform kann Global Sources, als Beispiel für eine B2B-Innovationsplattform Siemens Mindsphere herangezogen werden. Die unterschiedlichen Ausprägungen von B2B-Plattformen werden im Rahmen der Case Study in Abschnitt 5 weiter spezifiziert.

7.2.2.2 Nach Funktionsweise

Der Begriff der Funktionsweise verweist auf die Aktivitäten, die eine Plattform ausübt, sowie auf das Geschäftsmodell, das diesen Aktivitäten zugrunde liegt – unabhängig von den Nutzungsgruppen, die über die Plattform vermittelt werden. In der Literatur findet sich eine Vielzahl an Typologien, die das Feld der Plattformökonomie in diesem Sinne ausdifferenzieren. Als grundlegend kann die Typologie von Evans & Gawer (2016) erachtet werden, die u. a. die folgenden drei Typen differenziert:

- **Transaktionsplattformen**: Unter diesem Begriff werden alle Plattformen gefasst, die als mehrseitige Marktplätze fungieren. Primärer Fokus dieser Plattformen liegt auf der Entwicklung und Bereitstellung einer digitalen Infrastruktur, über die Angebot und Nachfrage für bestimmte Güter und Dienstleistungen koordiniert werden kann. Unter dem Dach der Transaktionsplattformen werden heterogene Plattformen wie Amazon (Produkte), Uber (Dienstleistungen) oder Facebook (Werbung) gefasst.

- **Innovationsplattformen**: Innovationsplattformen stellen eine technologische Grundlage bereit, häufig einschließlich einer Reihe gemeinsamer Standards, auf der ein Ökosystem von Dritten ergänzende Produkte und Dienstleistungen entwickeln kann. Diese Produkte können in einem nächsten Schritt an Verbraucher:innen und andere Unternehmen weiterverkauft werden. Sowohl platform as a service-Anwendungen (PaaS) wie auch infrastructure as a service-Anwendungen (IaaS) können dem Typ der Innovationsplattform zugeordnet werden. Heterogene Plattformen wie Microsoft Azure, Salesforce oder Amazon Web Services lassen sich als Beispiele heranziehen.

- **Integrierte Plattformen**: Der Begriff der integrierten Plattformen verweist darauf, dass Plattformen häufig mehrere Funktionen innerhalb eines Unternehmens zusammenführen. So stellt BMW bspw. eine Innovationsplattform bereit, auf Basis derer unterschiedliche Produktionsstandorte vernetzt werden sollen. Gleichzeitig sollen die im Rahmen dieser Plattform gewonnen Daten mittelfristig über eine eigene transaktionszentrierte Datenplattform transparent aufbereitet und über Betriebsgrenzen zur Verfügung gestellt

werden. Integrierte Plattformen zielen häufig darauf ab, Synergien aus der Kombination von Transaktions- und Innovationsplattformen zu generieren.

Eine andere Herangehensweise verfolgt Srnicek (2017). Im Rahmen seiner Typologie werden Plattformen nach der Art und Weise der Mehrwertgenerierung differenziert. Dabei unterscheidet Srnicek fünf Plattformtypen: industrielle Plattformen generieren Mehrwert, indem sie die die Hard- und Software bereitstellen, auf Basis derer traditionelle industrielle Produktionsprozesse effizienter gestaltet werden können – ein bekanntes Beispiel ist Siemens MindSphere. Cloud-Plattformen wie Amazon Web Services verfolgen das Ziel, eine grundlegende Infrastruktur für die digitale Ökonomie aufzubauen und diese anderen Unternehmen gegen Bezahlung zur Verfügung zu stellen. Produktplattformen wiederum bieten physische oder immaterielle Waren als Dienstleistung an – bekannte Beispiele sind Carsharing-Plattformen wie Car2Go. Der Mehrwert wird hierbei über die Leihgebühr generiert. Hinzu kommen Werbeplattformen (wie Facebook und Google) und sogenannte ‚schlanke' Plattformen. Während erstere den Mehrwert darüber generieren, dass sie targeted ad space an interessierte Kund:innen zur Verfügung stellen, generieren ‚schlanke' Plattformen wie Airbnb und Uber, die bis auf die Plattform keinerlei Güter zur Verfügung stellen, Mehrwert ausschließlich über ihre Rolle als vermittelnde und regelsetzende Instanz.

Trotz der unterschiedlichen Herangehensweisen ergänzen sich beide Typologien. In der Tat ließen sich die von Srnicek identifizierten Typen fast reibungslos in die Typologie von Evans & Gawer integrieren: so könnten Cloud- und Industrieplattformen als zwei spezifische Ausprägungen von Innovationsplattformen verstanden werden, Produkt-, Werbe- und schlanke Plattformen wiederum als Ausprägungen von Transaktionsplattformen. Auch die beiden in diesem Abschnitt voneinander abgegrenzten Differenzierungskriterien – Nutzungsgruppen und Funktionsweise – können im Sinne einer integrativen Typologie komplementär gedacht werden. So finden sich in der Praxis sowohl B2C-Transaktionsplattformen (bspw. Amazon), B2B-Transaktionsplattformen (bspw. GlobalSources), wie auch C2C-Transaktionsplattformen (bspw. eBay). In Kombination mit einer sektoralen Eingrenzung, d. h. einer Spezifizierung des Sektors in dem die Plattform agiert, lassen sich auf Basis dieser Überlegungen klar abgrenzbare Plattformtypen charakterisieren.

7.3 Umweltpotenziale digitaler Plattformen für den Übergang in eine Green Economy: Crunchbase-Auswertung

7.3.1 Untersuchungsgegenstand und Vorgehen

Abschnitt 7.3 nähert sich der Frage der Umweltpotenziale digitaler Plattformen für den Übergang in eine Green Economy auf induktive Art und Weise, d. h. auf Basis der Selbstdarstellung von Plattform-Unternehmen. Dabei wird ein besonderer Fokus auf durch deutsche Startups entwickelte und bereitgestellte Plattformen mit explizitem Nachhaltigkeitsanspruch gelegt.

7.3.1.1 Verständnis von „Startups"

Der Begriff „Startup" ist in der Wissenschaft unscharf definiert. Allgemein wird mit dem Begriff ein junges, technologisch innovatives und/oder wachstumsstarkes Unternehmen verbunden, in Abgrenzung zu Existenzgründungen, welche alle Formen beruflicher Selbstständigkeit umfassen. Diese Arbeit schließt sich jenem Verständnis an. Die hier verwendete Definition eines „Startups" basiert auf der des Bundesverbands Deutscher Startups, gemäß welcher Startups

- jünger als zehn Jahre sind,

- (hoch) innovative Produkte, Dienstleistungen, Geschäftsmodelle oder Technologien entwickeln UND/ODER
- Mitarbeitenden- oder Umsatzwachstum anstreben.

Da sich das Kriterium des angestrebten Wachstums jedoch nur schwer beobachten und/oder empirisch erfassen lässt, wurde für die Erhebung der Nachhaltigkeitspotenziale von Startups in Deutschland vor allem das Auswahlkriterium der Entwicklung (hoch) innovativer Produkte, Dienstleistungen, Geschäftsmodelle oder Technologien in den Mittelpunkt gestellt.

7.3.1.2 Erhebungsmethode und Auswertung

Erhebung

Um Startups mit diesem Anspruch zu identifizieren, wurde die Datenbank Crunchbase (www.crunchbase.com) ausgewertet. Crunchbase gilt als international umfassendste Startup-Datenbank und wird neben Investoren und Finanzanalysten zunehmend auch von der Wissenschaft genutzt.[102] Für die Anforderung der Daten zu deutschen Startups wurde folgender Schlüsselwörter-basierter Search-String eingesetzt:

Headquarters Location: *Germany*

AND

Full Decription contains any: (*platform* OR *plattform*)

AND

Full Description contains any: (sustainable OR sustainability OR green OR environment OR environmental OR climate OR carbon OR CO2 OR emission OR emissions OR energy efficiency OR energy efficient OR mobility OR fuel efficiency OR fuel efficient).

Der Search-String war folglich so konzipiert, dass alle auf Crunchbase gelisteten Unternehmen mit Hauptsitz in Deutschland identifiziert wurden, deren Beschreibung sowohl Begriffe umfasst, die nahelegen, dass das jeweilige Unternehmen erstens eine Plattform betreibt und die Anwendungslösungen des Unternehmens zweitens Nachhaltigkeitspotenziale besitzen. Um eine ausreichend große Stichprobe für die Erfassung nachhaltigkeitsrelevanter Anwendungen von digitalen Plattformen gewährleisten zu können, wurden entgegen der oben genannten Startup-Definition alle Unternehmen mit in das Sample aufgenommen, die in den letzten 20 Jahren gegründet wurden.

Der Suchbefehl lieferte eine Auflistung von 245 Unternehmen. Da manche der verwendeten Schlüsselwörter auch in Kontexten ohne Bezug zur ökologischen Nachhaltigkeit verwendet werden, wurden diese Suchergebnisse als nächstes manuell gesichtet und falsch-positive Ergebnisse aussortiert.[103] In einem nächsten Schritt wurde das Sample unter Zuhilfenahme der Crunchbase-Beschreibungen sowie der auf den Unternehmenswebseiten auffindbaren Informationen bereinigt. Konkret wurden Unternehmen, die eines oder mehrere der folgenden Kriterien erfüllen, aussortiert:

[102] Dalle, J.-M.; den Besten, M.; Menon, C. (2017): Using Crunchbase for Economic Research. OECD Science, Technology and Industry Working Papers. https://doi.org/10.1787/6c418d60-en.

[103] Beispielsweise tauchte der Begriff „environment“ in vielen Firmenbeschreibungen im Sinne von „(Software) Umgebung“, nicht von „Umwelt/Natur“, auf. „Sustainable“ wurde vielfach im Sinne von „sustainable competitive advantage/nachhaltiger Wettbewerbsvorteil“ u. ä. gebraucht, etc.

- Unternehmen, bei denen zweifelsfrei ausgeschlossen werden konnte, dass diese noch aktiv sind.[104]
- Unternehmen, die zwar angaben, ein „grünes" Geschäftsmodell o. ä. zu verfolgen, bei denen aber keine konkreten Nachhaltigkeitspotenziale in ihren weiteren Angaben zu Produkt/Technologie, Geschäftsmodell, Use Cases o. ä. erkennbar waren.
- Unternehmen, für die Nachhaltigkeitspotenziale identifiziert werden konnten, diese jedoch nicht direkt auf die digitale Plattform zurückgeführt werden konnten.[105]

Da auf Basis der in Abschnitt 7.2 entwickelten konzeptionellen Überlegungen davon ausgegangen werden konnte, dass zwischen Plattform-Startups und Big Data-Startups gewisse Schnittmengen bestehen, wurde in einem weiteren Schritt das plattformspezifische Sample mit dem Big Data-Sample abgeglichen. Hierbei wurde explizit nach Unternehmen gesucht, deren Nachhaltigkeitspotenziale sich neben der Anwendung von Big Data und/oder Datenwissenschaften auch auf die Nutzung digitaler Plattformen zurückführen lassen. Von den 245 Unternehmen konnten sieben Unternehmen identifiziert werden, die in beiden Samples auftauchen. Des Weiteren wurden zwölf Unternehmen aus dem Big Data-Sample, die noch nicht im Sample für digitale Plattformen gelistet waren, dem Plattform-Sample hinzugefügt. Hierbei handelte es sich um Plattformen, deren Nachhaltigkeitspotenziale (auch) auf die Verwendung der Plattform zurückgeführt werden können. Zuletzt wurden dem Sample sieben weitere Unternehmen hinzugefügt, die zwar nicht in der Crunchbase-Auswertung auftauchten, über die aber auf Basis vorhergehender wissenschaftlicher Arbeiten bereits Kenntnis bestand.[106] Nach den diversen Datenbereinigungen und Zusatzrecherchen wurde ein insgesamt 80 Startups umfassendes Sample finalisiert.

Auswertung

Um ein umfassendes Bild der durch diese 80 Plattformen geschaffenen Potenziale für den Übergang in eine Green Economy gewinnen zu können, wurden die auf den jeweiligen Firmenwebseiten präsentierten Informationen über die Funktionsweise der Plattform ein zweites Mal ausgewertet. Diese Auswertung wurde hinsichtlich folgender übergeordneter Kriterien strukturiert:

- Charakterisierung des **Plattformunternehmens**, wobei nach den durch die Plattform adressierten (1) **Kund:innen** (bspw. Nutzer:innen, Regierungen, Unternehmen), dem (2) **Plattformtyp** (Innovationsplattform, Transaktionsplattform, integriert) sowie – im Falle von Transaktionsplattformen – den (3) durch die Plattform in Verbindung gesetzten **Nutzungsgruppen** (bspw. B2B, B2C, C2C) differenziert wurde.
- Charakterisierung der (4) **Branchen**, in denen die Plattform zur Anwendung kommt (bspw. Energie, Verkehr, Landwirtschaft).

[104] Entweder, weil die Unternehmensschließung in Crunchbase eingetragen war oder weil weder eine unternehmenseigene Webseite noch Social Media Accounts existierten. Unternehmen, bei denen aufgrund der Webseite vermutet werden konnte, dass das Unternehmen nicht mehr aktiv ist, wurden im Sample behalten, solange Nachhaltigkeitspotenziale identifiziert werden konnten. Die Erhebung wurde im 4. Quartal 2020 finalisiert, so dass etwaige Veränderungen im Status der Plattformen seit diesem Zeitraum nicht mehr erfasst werden konnten.

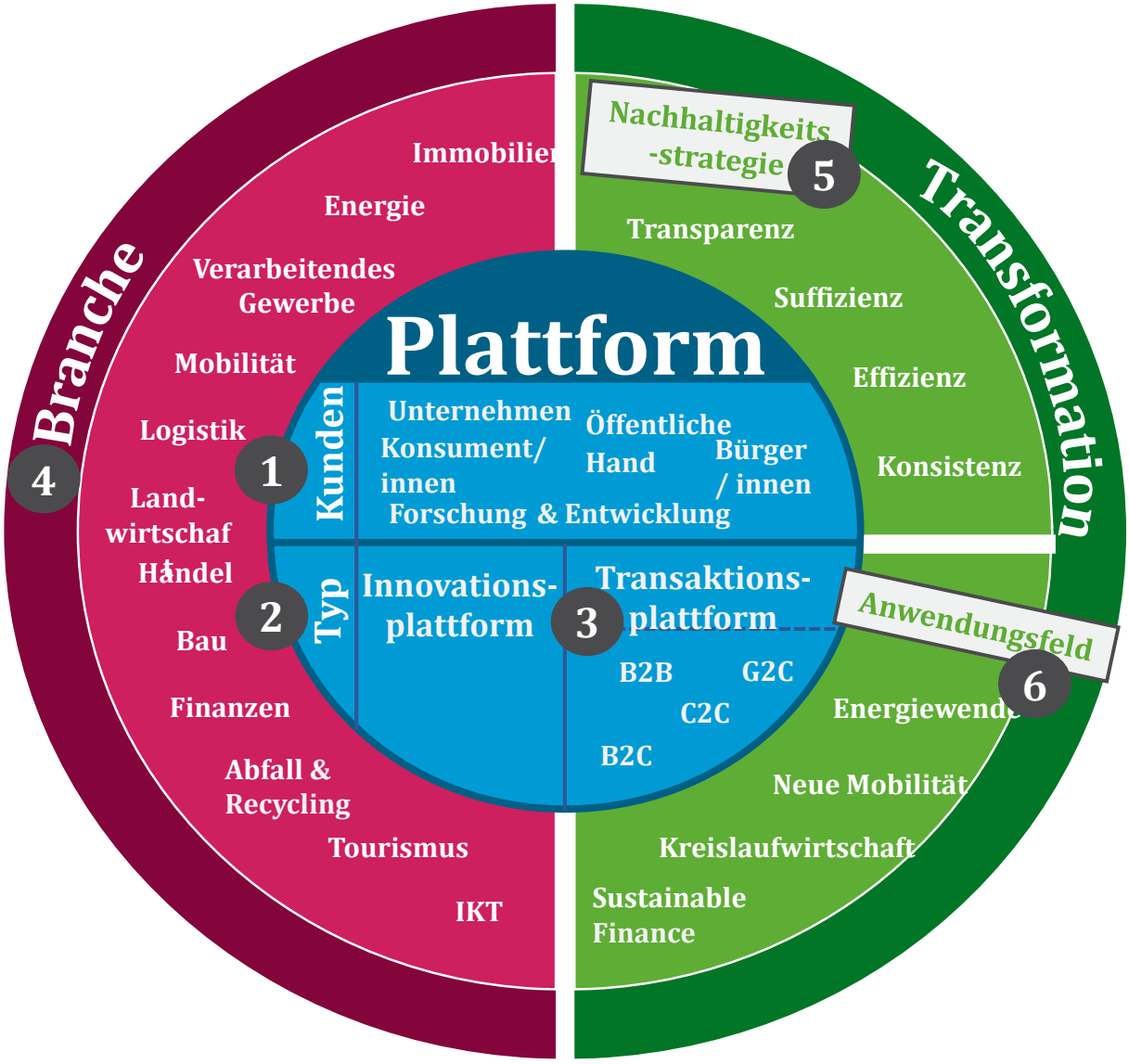
[105] Beispielsweise Betreiber:innen von Rechenzentren, deren beworbene (Kühl-)Energieeffizienz auf ihren Standort im hohen Norden oder unter Wasser zurückgeht – und nicht auf z. B. innovative *datenbasierte* Kühlsysteme.

[106] Ein Grund hierfür könnte sein, dass eine geringe Anzahl an Unternehmen in der Crunchbase-Datenbank nicht mit vollständiger Beschreibung gelistet sind oder dass diese in ihrer Selbstbeschreibung nicht spezifisch auf Nachhaltigkeitspotenziale ihrer Anwendungen eingehen.

- Charakterisierung des **transformativen Charakters** der Plattform, wobei nach den durch die Plattform verfolgten (5) **Nachhaltigkeitsstrategien** (Transparenz-, Effizienz-, Suffizienz- oder Konsistenzstrategien) sowie dem (6) **Anwendungsfeld** der Plattform, d. h. den konkreten Transformationsdynamiken, zu denen die mit der Plattform verbundenen Nachhaltigkeitspotenziale beitragen (bspw. Energiewende, Neue Mobilität, Kreislaufwirtschaft), differenziert wurde.

Abbildung 31 fasst das Verhältnis dieser Kriterien auf schematische Art und Weise zusammen. Im Folgenden wird der analytische Gehalt dieser drei übergeordneten Auswertungskriterien noch einmal vertiefend plausibilisiert.

Abbildung 31: Schematische Darstellung der Beziehung zwischen den Auswertungskriterien



Quelle: eigene Darstellung, IÖW

Das erste Auswertungskriterium verweist auf alle Aspekte, die die Strukturierung und Funktionsweise der Plattformunternehmen selber betreffen (blauer Kern in Abbildung 31). Um sich den Plattformunternehmen zu nähern, wurde im Sinne der in den Teilstudien zu Big Data und KI eingeführten Begrifflichkeiten in einem ersten Schritt nach den (1) **Kunden** einer Plattform gefragt, wobei unter dem Begriff Kunde die Akteursgruppe verstanden wurde, auf die

das Startup seine Plattform primär zuschneidet. Hierbei kann u. a. zwischen Unternehmen, Konsument:innen, der öffentlichen Hand, Bürger:innen und Forschung & Entwicklung unterschieden werden. Zentral ist das Kriterium Kunde vor allem dann, wenn das Startup die Plattform nicht selber betreibt, sondern diese im Sinne von Platform-as-a-Service-Lösungen an Dritte, wie bspw. Kommunen oder Unternehmen, bereitstellt.

In einem zweiten Schritt wurde im Anschluss an die in Abschnitt 7.2.2.2 eingeführte Typologie der (2) **Plattformtyp** differenziert. Um der Heterogenität an Geschäftsmodellen und Funktionsweisen im Kontext der Plattformökonomie analytisch gerecht zu werden, wurde im Rahmen der Auswertung auf Basis der Funktionsweise einer Plattform bestimmt, ob es sich um eine Transaktionsplattform, eine Innovationsplattform oder eine integrierte Plattform handelt. Wie in Abschnitt 7.2.2.2 dargelegt, besteht die zentrale Funktion von Innovationsplattformen in der (meist durch künstliche Intelligenz gestützten) Zusammenführung und Auswertung von Daten. Innovationsplattformen vermitteln also nicht zwischen physischen Akteuren, sondern zwischen heterogenen Datenquellen (im Sinne des Internet of Things, IoT) oder zwischen einem physischen Akteur, in den meisten Fällen Unternehmen, und datenbasierten Informationsquellen (sowohl unternehmenseigene als auch externe). Transaktionsplattformen wiederum lassen sich vor allem dadurch charakterisieren, dass sie Inter- und Transaktionen zwischen Rechtssubjekten wie Unternehmen und Konsument:innen vermitteln und dabei unterschiedliche Gruppen von Nutzenden miteinander in Verbindung setzen. Um dieser besonderen Eigenschaft von Transaktionsplattformen im Rahmen der Auswertung gerecht werden zu können, wurden für die im Sample enthaltenen Transaktionsplattformen zuletzt noch die relevanten (3) **Nutzungsgruppen** herausgearbeitet. Konkret wurde untersucht, ob durch die Plattformen Unternehmen (B2B), Unternehmen und Konsument:innen (B2C) oder Konsument:innen untereinander (C2C) in Verbindung gesetzt werden.

Das zweite Auswertungskriterium verweist auf die (4) **Branchen**, in denen die Plattform zur Anwendung kommt. Der Fokus richtet sich mit diesem Kriterium somit weg von der Plattform selber und hin zum ökonomischen Kontext, in den diese eingebettet ist. Um Plattformen bestimmten Branchen zuordnen zu können, wurde sich am System der Wirtschaftszweigklassifikationen von DeStatis orientiert. In den Fällen, in denen der relevante DeStatis-Wirtschaftszweig jedoch zu ungenau erschien (z. B. „Erbringung freiberuflicher, wissenschaftlicher und technischer Dienstleistungen“), wurden weitere „Branchen“ hinzugefügt (z. B. „Modellierung und Vorhersage von Klimawandel, -risiken und -resilienz“ oder „Naturschutz“). Zu beachten ist, dass in der Zuordnung sowohl die Branchen angegeben werden, auf die das Startup mit seinen Produkten/Dienstleistungen explizit abzielt, wie auch die Branchen, in denen die tatsächlichen Nachhaltigkeitspotenziale liegen. Beispielsweise wird ein Startup, das Datenauswertungen von Energieverbräuchen in Immobilien vornimmt, sowohl den Branchen „Energie“ sowie „Immobilien/Bauwirtschaft“ zugeordnet. Entsprechend wurde ein Großteil der analysierten Startups mehreren Branchen zugeordnet.

Das dritte Auswertungskriterium zielt zuletzt darauf ab, den transformativen Charakter der Plattform zu erfassen. Somit wird nicht nur deskriptiv geschaut, in welcher Branche die Plattform aktiv ist, sondern vielmehr danach gefragt, welche Umweltpotenziale sich in diesen Branchen durch die Aktivitäten der Plattform ergeben könnten. Um sich dem transformativen Charakter zu nähern, wurde in einem ersten Schritt darauf fokussiert, die durch die Plattform verfolgten (5) **Nachhaltigkeitsstrategien** (Effizienz-, Suffizienz- oder Konsistenzstrategien) zu identifizieren. Um dabei die in Abschnitt 2 identifizierten strukturellen Besonderheiten der Plattform in Hinblick auf ihre Fähigkeit, heterogene Informationsquellen zusammenzubringen, adäquat in der Auswertung berücksichtigen zu können, wurde die für die Auswertung von Big Data erstellte Analysematrix um die übergeordnete Kategorie Transparenzschaffung erweitert.

Die Schaffung von Transparenz über Inter- und Transaktionen sowie über Produktionsprozesse wird im Rahmen dieser Teilstudie als ein zentraler Hebel dafür verstanden, dass in einem nachgelagerten Schritt Nachhaltigkeitseffekte realisiert werden können (entweder über Verhaltensänderungen im Kontext von endkundenorientierten Plattformen oder über vollautomatisierte Anpassungen von Produktionsprozessen im Kontext von Innovationsplattformen). Transparenz ist somit im Kontext der Plattformökonomie als einer der zentralen Mechanismen für die Realisierung herkömmlicher Nachhaltigkeitsstrategien wie Effizienz, Suffizienz und Konsistenz zu verstehen.

Im Rahmen der Teilstudie wurde zwischen zwei Formen der Transparenzschaffung differenziert: einer produktions- und prozessorientierten und einer konsumorientierten Form. Während erstere auf einen Informationszugewinn für die durch die Plattform adressierten Nutzungsgruppen über Prozesse und Produktion abzielt (bspw. entlang der Lieferkette) und damit die Basis für nachhaltigkeitsorientierte Umstrukturierungen von plattformbasierten Inter- und Transaktionen schafft, ermöglicht letztere einen Informationszugewinn für Konsument:innen. Dieser Zugewinn kann beispielsweise als Grundlage für nachhaltigkeitsorientierte Konsumentscheidungen fungieren. Dass eine Plattform Transparenz schafft, bedeutet jedoch nicht, dass auch tatsächlich nachhaltige Prozesse angestoßen werden. Andersherum kann es auch Plattformen geben, die zwar nachhaltige Prozesse anstoßen, jedoch nicht explizit auf eine Transparenzschaffung abzielen.

In einem abschließenden Schritt wurde das (6) **Anwendungsfeld** der Plattform identifiziert, d. h. der Fokus wurde darauf gelegt, die konkreten Transformationsdynamiken, zu denen die mit der Plattform verbundenen Nachhaltigkeitspotenziale beitragen, zu differenzieren. Transformationsspezifische Anwendungsfelder umfassen dabei bspw. das Feld der Energiewende, der Neuen Mobilität oder der Kreislaufwirtschaft. Indem sowohl die verfolgten Nachhaltigkeitsstrategien wie auch der konstatierte Beitrag zu konkreten Transformationsfelder erfasst werden, ist die Studie in der Lage, Umwelteffekte nicht nur in Bezug auf die intendierten Strategien (bspw. Effizienzsteigerung) zu erfassen, sondern vor allem auch hinsichtlich des Beitrags, den Plattformen zu den diversen gesellschaftlichen Transformationsfeldern zu leisten vorgeben (für eine ausführlichere Beschreibung der Transformationsfelder, siehe auch die Einleitung des Berichts). Anders ausgedrückt: die Studie zielt nicht nur darauf ab, das W*ie* des Beitrages zu einer Green Economy zu erfassen, sondern auch das W*o.* In konzeptioneller Hinsicht bedeutet dies, dass der Nachhaltigkeitseffekt einer Plattform bspw. allein darin bestehen könnte, dass sie zu einem der konkreten Transformationsfelder, wie bspw. der Energiewende, beiträgt, ohne selber – im Rahmen der Plattform – explizit Nachhaltigkeitsstrategien zu implementieren. Der Fokus der Untersuchung liegt somit nicht nur auf den Nachhaltigkeitseffekten, die *auf* Plattformen realisiert werden, sondern auf denen, die *durch* Plattform in bestimmten Anwendungsbereichen geschaffen werden.

7.3.2 Ergebnisse: Potenziale von Plattform-Startups in Deutschland für eine Green Economy

7.3.2.1 Kund:innen, Plattformtyp und Nutzungsgruppen

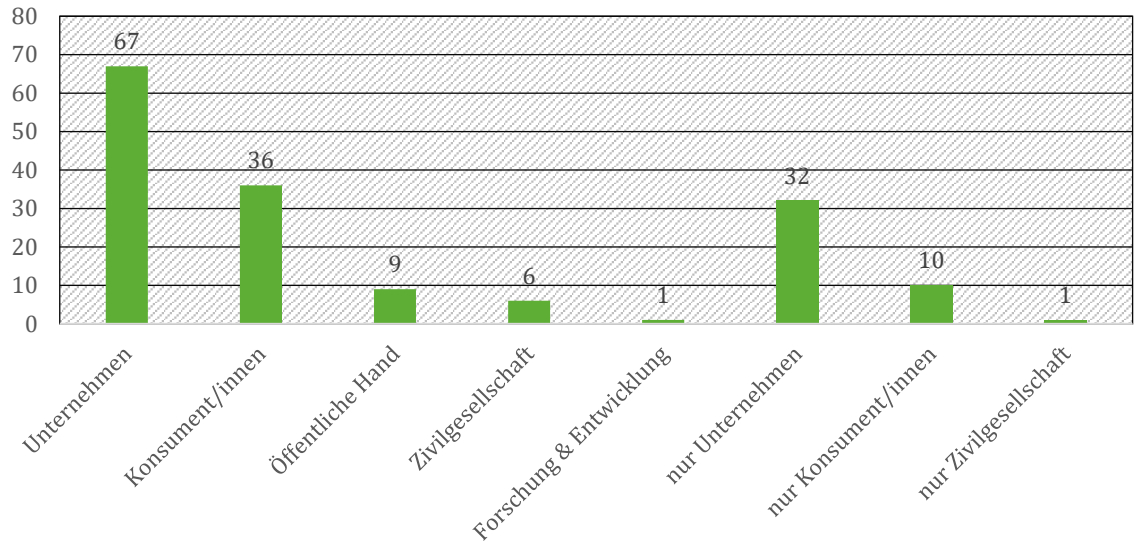
Kund:innen

Von den insgesamt 80 identifizierten Startups mit Nachhaltigkeitspotenzialen stellt der Großteil, insgesamt 67 Startups, Plattformen für Unternehmen bereit. Wie in Kapitel 2 dargelegt, inkorporieren Firmen in ihren Plattformen jedoch häufig mehr als nur ein Geschäftsmodell. Demnach überrascht es nicht, dass sich nur 32 dieser 67 Startups *ausschließlich* auf Unternehmen als ihre Zielgruppe beschränken. Neben der Bereitstellung für Unternehmen

spielen vor allem auch Endkonsument:innen eine zentrale Rolle, sprich: Startups, die mit ihrer Plattform Unternehmen ansprechen, bieten vielfach parallel auch Lösungen für Privatkund:innen an.

Insgesamt 39 Startups adressieren explizit Konsument:innen, wobei sich zehn davon *ausschließlich* auf die Bereitstellung von Lösungen für Konsument:innen fokussieren. Eine kleinere Anzahl an Startups zielt mit ihren Plattformen auch auf staatliche Träger (insg. 9 von 80 Startups), Akteure in Forschung & Entwicklung (insgesamt 1 von 80) oder die Zivilgesellschaft ab, etwa für die Durchführung sogenannter Citizen Science-Projekte (insg. 6 von 80 Startups) (vgl. Abbildung 32).

Abbildung 32: Auswertung nach den durch die Plattformen im Sample adressierten Kunden



Quelle: eigene Darstellung, IÖW

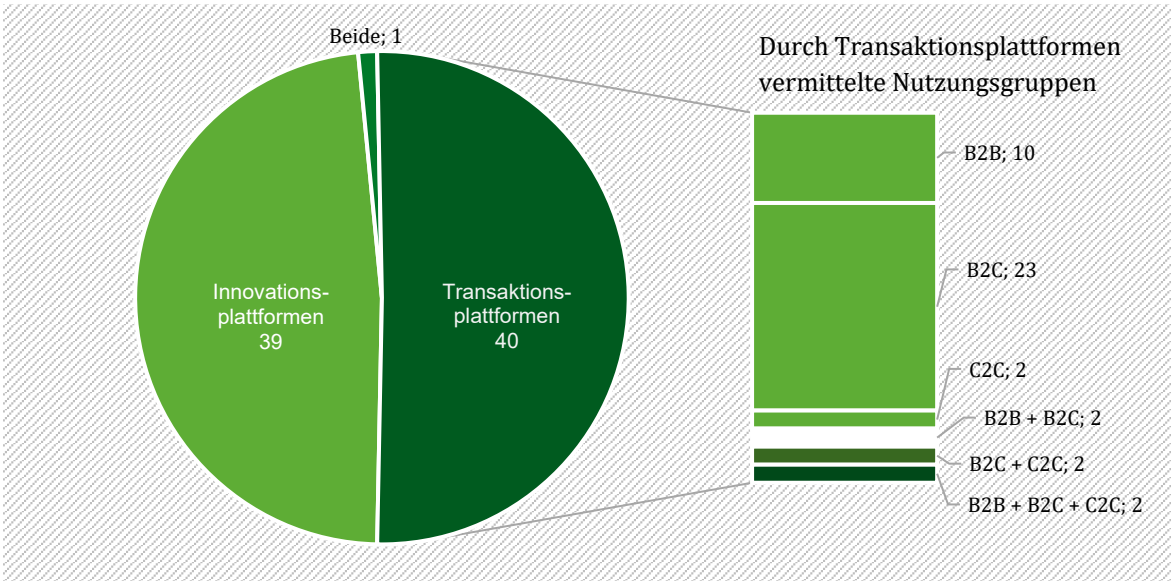
Aus ökonomischer Perspektive überrascht die starke Konzentrierung von nachhaltigkeitsorientierten Plattformen, die primär Unternehmen ansprechen, nicht. So lassen sich durch die Heterogenität der Branchen eine Vielzahl an spezialisierten plattformbasierten Anwendungen entwickeln, was Chancen eröffnet, die eigene Plattform erfolgreich am Markt zu positionieren und dabei Unternehmen im Sinne des *first mover*-Vorteils frühzeitig zu binden.

Plattformtyp & Nutzungsgruppen

Von den 80 untersuchten digitalen Plattformen mit Nachhaltigkeitspotential konnten 40 anhand ihrer Funktionsweise als Transaktionsplattform charakterisiert werden, sie agieren also als mehrseitiger Intermediär zwischen (mindestens) zwei Nutzungsgruppen. Im Gegensatz dazu können 39 Plattformen als Innovationsplattformen beschrieben werden, bei denen die Zusammenführung und Auswertung von Daten im Mittelpunkt steht. Dabei ist zu beachten, dass auch Transaktionsplattformen Datenanalysen betreiben, diese aber vorrangig dem Ziel dienen, das Matching zwischen den Seiten der Plattform zu optimieren. Bei lediglich einer Plattform im Sample konnten beide Ansätze, also sowohl eine Intermediärsfunktion zwischen physischen Akteuren als auch eine davon abgetrennte Anwendung, bei der die Datenanalyse zu Optimierungszwecken im Vordergrund steht, vorgefunden werden (vgl. Abbildung 33). Im Sinne

der Definition von Evans & Gawer könnte diese Plattform als integrierte Plattform bezeichnet werden.[107]

Abbildung 33: Auswertung nach Plattformtyp und den durch die transaktionszentrierten Plattformen vermittelten Nutzungsgruppen



Quelle: eigene Darstellung, IÖW

Wie in Kapitel 7.3.1.2 beschrieben, ermöglichen Transaktionsplattformen Beziehungen zwischen heterogenen Nutzungsgruppen. Von den insgesamt 41 Plattformen, die in diesem Sinne als Intermediär fungieren, vermittelt der Großteil zwischen Unternehmen und Konsument:innen (B2C). Insgesamt 29 Plattformen agieren im B2C-Sektor, 23 davon konzentrieren sich *ausschließlich* auf die Vermittlung zwischen Unternehmen und Konsument:innen (vgl. Abbildung 32). Zehn Plattformen vermitteln ausschließlich zwischen Unternehmen (B2B), zwei Plattformen nur zwischen Konsument:innen. Der Rest der Plattformen spricht Nutzungsgruppen in mehreren Sektoren, etwa im B2B-, als auch im B2C-Sektor an.

Die in Abbildung 32 grafisch dargestellte Verteilung der Plattformtypen wirft ein neues Licht auf die Frage, an welcher Stelle im Kontext der Plattformökonomie Umweltpotenziale zu vermuten sind. Während der primäre Fokus in der bisherigen Literatur auf den Potenziale von C2C- und B2C-Plattformen lag (siehe auch Abschnitt 7.2), verdeutlicht die nutzungsgruppenorientierte Auswertung des Samples, dass Plattform-Startups in Deutschland vermehrt auch darauf abzielen, Nachhaltigkeitspotenziale über B2B-Lösungen zu heben. Diese bisherige Forschungslücke kann u. a. darauf zurückgeführt werden, dass sich die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit B2B-Plattformen im Vergleich zu B2C- und C2C-Plattformen noch in einem Frühstadium befindet. So haben u. a. gesellschaftlich breit geführte Debatten um die Vor- und Nachteile sogenannter Sharing-Plattformen dazu geführt, dass die Umwelteffekte von B2B-Plattformen bisher nur vergleichsweise geringe Aufmerksamkeit erhalten haben. Dies ist einer

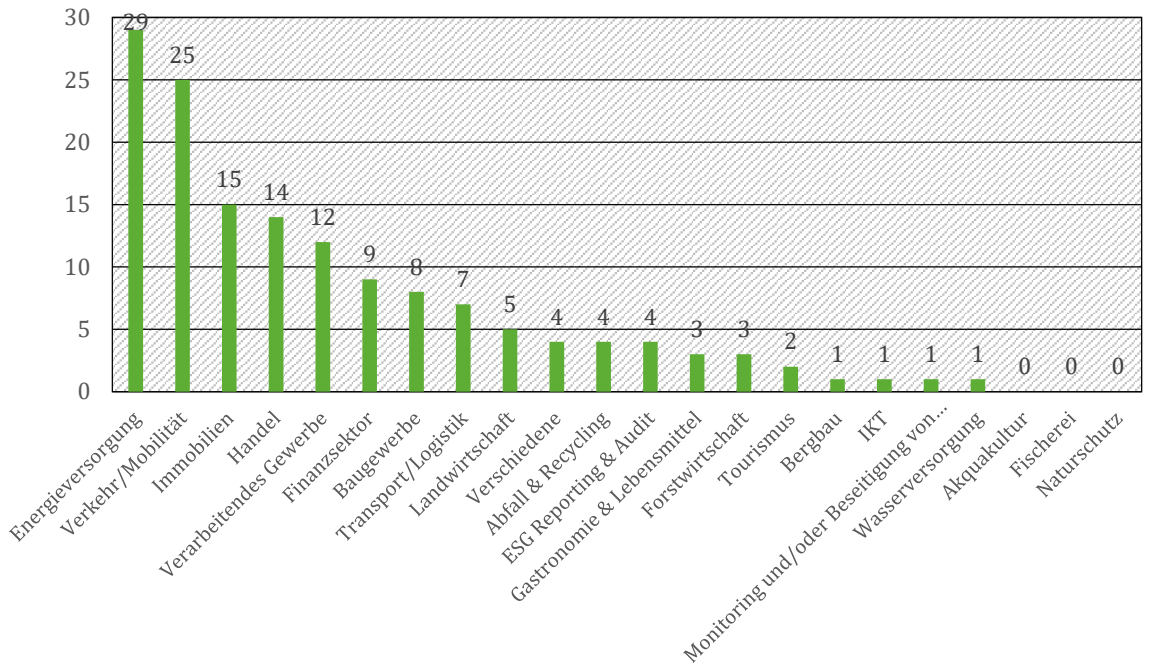
[107] Wie schon in Abschnitt 2.2.2 dargelegt, muss hierbei beachtet werden, dass viele Studien zu B2B-Plattformen den B2B-Begriff sehr weit fassen. So werden Innovationsplattformen, wie bspw. IIoT-Plattformen, häufig automatisch als B2B-Plattformen charakterisiert, auch wenn diese Plattformen nicht primär auf die Vermittlung von Unternehmen, sondern auf eine datenbasierte Vernetzung der Produktion abzielen. Würde dieser Logik gefolgt, wiese das Sample hier 49 B2B-Plattformen auf (10 B2B-Transaktionsplattformen plus 39 Innovationsplattformen), nicht 39. Für die Auswertung in Hinblick auf Umweltpotenziale bietet sich die in Abschnitt 2 skizzierte feingliedrigere Vorgehensweise aber besser an, da über sie deutlicher gemacht werden kann, welche Akteursgruppen genau miteinander in Verbindung gesetzt werden.

der Gründe, warum B2B-Plattformen im Rahmen dieser Teilstudie einer vertieften Untersuchung unterzogen werden (siehe Abschnitt 5).

7.3.2.2 Branchen, Anwendungsfelder und Nachhaltigkeitsstrategien

Abbildung 34 stellt die Verteilung der ausgewerteten Unternehmen nach den Branchen dar, in denen diese tätig sind und/oder in denen diese laut Selbstdarstellung Nachhaltigkeitspotenziale heben. Bei der Darstellung kommt es zu Überlappungen, da die Nachhaltigkeitspotenziale und Tätigkeitsfelder vieler ausgewerteter Unternehmen mehreren Branchen zugeordnet werden können und damit in der Darstellung mehrfach auftauchen, etwa in den Branchen Energieversorgung und Immobilien.

Abbildung 34: Branchenverteilung von digitalen Plattformen mit Nachhaltigkeitspotenzialen



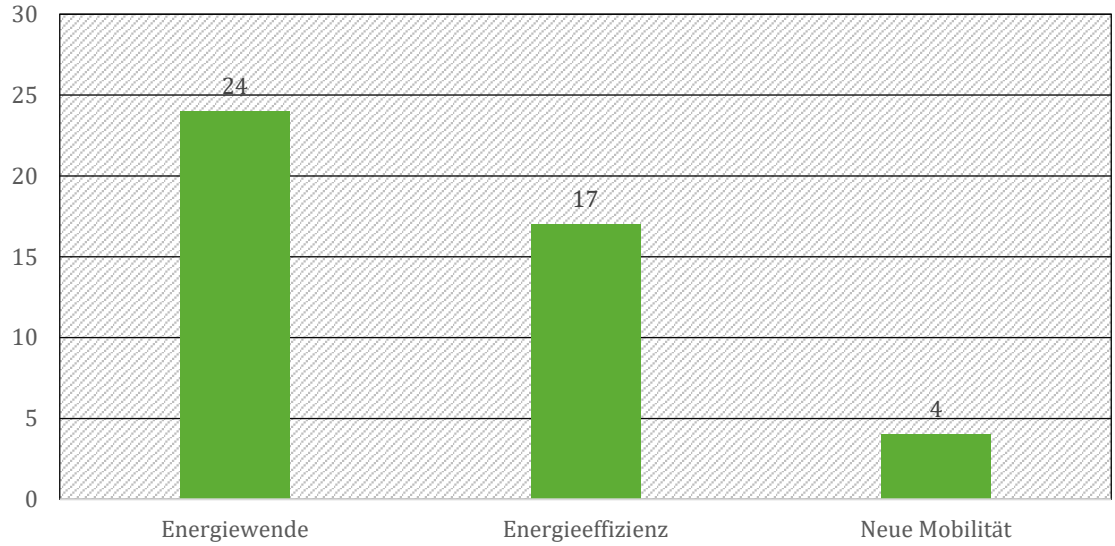
Quelle: eigene Darstellung, IÖW

Da die Aussagekraft von Nachhaltigkeitspotenzialen für Branchen, in denen lediglich ein oder zwei Startups tätig sind, beschränkt ist, wird im Folgenden nur auf die Branchen näher eingegangen, in denen drei oder mehr Startups tätig sind.

Energie

29 der 80 Unternehmen des Samples stellen digitale Plattformen für eine Anwendung in der Energiebranche bereit. Damit sind in dieser Branche mit 36 % prozentual die meisten Unternehmen tätig. Um einen detaillierteren Einblick in die Nachhaltigkeitspotenziale dieser Plattformen zu bekommen, muss der Bereich entlang der verschiedenen mit ihm assoziierten Anwendungsfelder differenziert werden. Die zwei größten Anwendungsfelder, in denen sich Nachhaltigkeitspotenziale identifizieren lassen, sind die Energiewende (mit 24 Unternehmen) und Energieeffizienzsteigerungen (mit 17 Unternehmen) (vgl. Abbildung 35).

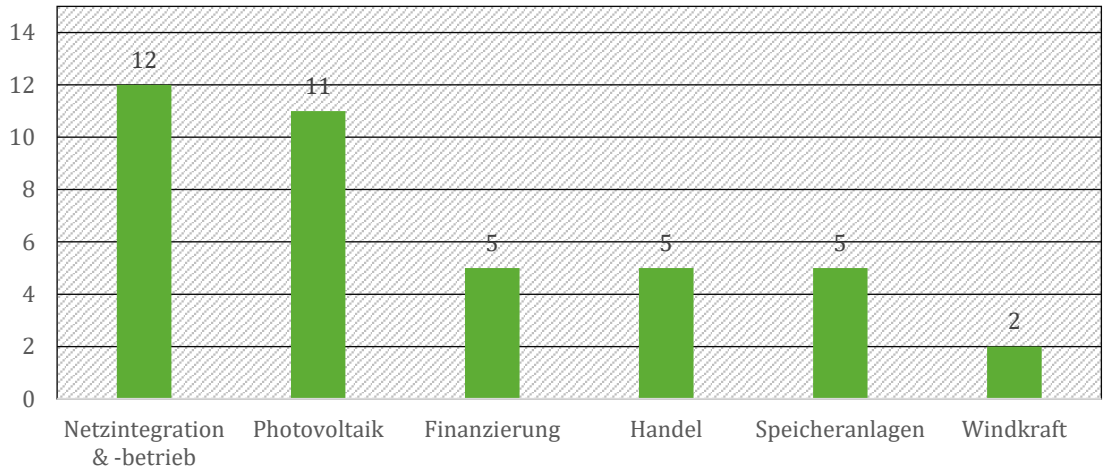
Abbildung 35: Nachhaltigkeitspotenziale in der Energiebranche



Quelle: eigene Darstellung, IÖW

Da es sich bei der Energiewende um einen komplexen Prozess handelt, zu dem Plattformen auf höchst heterogene Art und Weise beitragen können, ist eine weitere Differenzierung nach konkreten Anwendungsfeldern im Bereich der Energiewende unumgänglich, um Nachhaltigkeitspotenziale digitaler Plattformen identifizieren zu können (vgl. Abbildung 36).

Abbildung 36: Anwendungsfelder im Bereich der Energiewende



Quelle: eigene Darstellung, IÖW

Die hier vollzogene Ausdifferenzierung des Nachhaltigkeitspotenzials Energiewende zeigt, dass digitale Plattformen derzeit vor allem im Kontext der **Netzintegration** von erneuerbaren Energien und des Netzbetriebes eingesetzt werden. Insgesamt 12 Unternehmen bieten Lösungen in diesem Bereich an, unter ihnen die hier beispielhaft heranzuziehende Plattform *Next Kraftwerke*, die als ‚virtuelles' Kraftwerk sowohl Stromproduzent:innen, Stromspeicher wie auch Stromverbraucher:innen vernetzt und Interaktionen zwischen ihnen koordiniert. Diese intelligente Vernetzung von Strombedarf und Nachfrage hat das Potenzial, die Netzstabilität zu erhöhen. So könnte ein an die Plattform angebundenes Pumpspeicherkraftwerk beispielsweise die Stromüberproduktion eines angebundenen Solarkraftwerks ausgleichen. Dies erlaubt es der

Plattform, dazu beizutragen, den Anteil erneuerbarer Energieträger am Stromverbrauch zu erhöhen.

Neben der Netzintegration zielen 11 Plattformen im Anwendungsfeld Energiewende auf den Aufbau, Betrieb und die Instandhaltung von **Photovoltaikanlagen** ab. Beispielhaft kann hier die Plattform *Enercast* herangezogen werden, die lokale und globale Wetterdaten automatisiert auswertet und daraus anlagenspezifische Leistungsprognosen erstellt. So sollen nach eigenen Angaben der Plattform Effizienzsteigerungen für Solar- und Windkraftanlagen erreicht und Wartungskosten reduziert werden können. Zudem sollen Energieverbrauchslasten von lokalen Energieversorgern durch den Einsatz der Plattform besser prognostiziert werden, was die Netzintegration der Solar- und Windkraftanlagen erleichtern würde.

Ein genauerer Blick auf die 17 Plattformen, die Nachhaltigkeitspotenziale über eine Steigerung der **Energieeffizienz** erzielen wollen, erlaubt es, zwei heterogene Ansätze zu differenzieren. Während der erste Typ von Plattformen darauf abzielt, den Energieverbrauch von Produktions- und Fertigungsstätten bei gleicher Leistung zu senken, etwa indem die Auslastung von Produktionsmaschinen optimiert wird, soll der zweite Ansatz eine Steigerung der Energieeffizienz auf Basis der Integration intelligenter Geräte und digitaler Messgeräte (z. B. Smart Meter) über IoT-Plattformen in Bürogebäuden und Privathaushalten ermöglichen.

Neben den bis hierhin diskutierten Hauptanwendungsfeldern Energieeffizienzsteigerungen und Energiewende lassen sich in der Energiebranche auch Plattformen mit Nachhaltigkeitspotenzialen im Bereich **Neue Mobilität** identifizieren. Diese Potenziale können dabei primär darauf zurückgeführt werden, dass über die Plattformen eine technologische Basis für den Aufbau und die Integration von Ladeinfrastrukturen für Elektrofahrzeuge bereitgestellt wird (für eine vertiefte Betrachtung siehe den folgenden Abschnitt zu Mobilität).

Häufig schaffen Plattformen in der Energiebranche Potenziale in mehreren Anwendungsfeldern gleichzeitig. Das Unternehmen *gridX* etwa trägt mit seiner Plattform *Xenon* sowohl zu der Energie- als auch der Mobilitätswende bei. In Bezug auf die Energiewende stellt *Xenon* eine Anwendung für das Energiemanagement in Gebäuden bereit, anhand derer die Energieeffizienz gesteigert und erneuerbare Energieträger integriert werden können. In Bezug auf die Mobilitätswende wird eine Lösung für intelligentes Lastmanagement für das Laden von Elektrofahrzeugen bereitgestellt, über die Spitzenlasten vermieden und so Kosten gesenkt werden sollen.

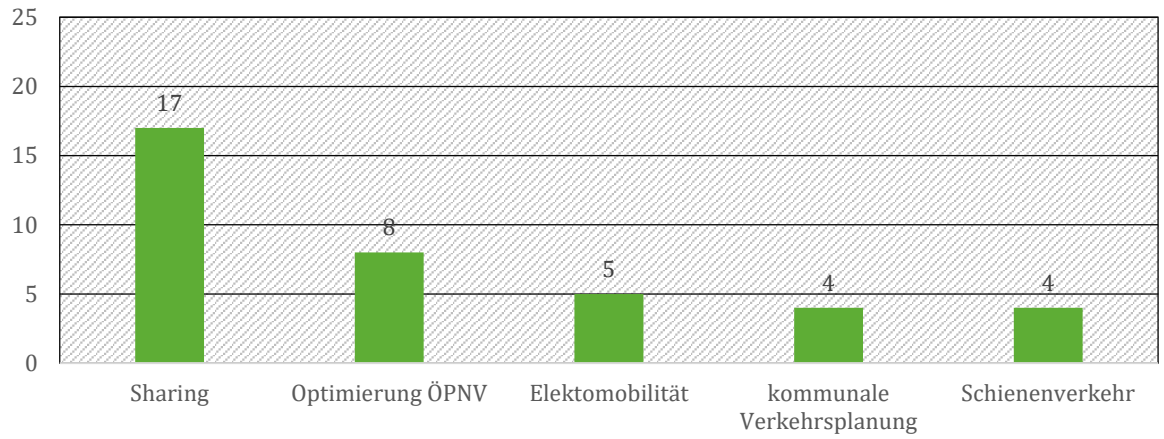
Zusammenfassend lässt sich konstatieren, dass plattformbasierte Nachhaltigkeitspotenziale im Kontext der Energiebranche dazu beitragen, gesellschaftliche Transformationsbewegungen wie die **Energiewende** (und in kleineren Teilen auch die Mobilitätswende) zu unterstützen. Darüber hinaus werden Potenziale vor allem durch **Effizienzsteigerungen** erreicht. Diese Steigerungen werden dabei primär dadurch ermöglicht, dass Informationen zum Energiekonsum und Energiebedarf transparent bereitgestellt werden. Diese Transparenzschaffung erlaubt es dann in einem zweiten Schritt, Lösungen zur Optimierung und **Reduktion des Energieverbrauchs** anzubieten.

Verkehr/Mobilität

Die Verkehrs- und Mobilitätsbranche stellt mit 25 Unternehmen und damit 31 % aller untersuchten Unternehmen die zweitwichtigste Branche für plattformbasierte Nachhaltigkeitspotenziale dar. Ein Großteil dieser Potenziale lässt sich dabei auf den Beitrag dieser Plattformen zur Mobilitätswende zurückführen. Insgesamt 24 der 25 Unternehmen zielen auf dieses Anwendungsfeld ab. Die konkreten Ansätze sind vielfältig: während einzelne Plattformen den Umstieg vom motorisierten Individualverkehr auf ÖPNV und alternative

Verkehrsmittel vorantreiben, fokussieren andere auf das Teilen von Fortbewegungsmitteln über Sharing-Plattformen oder den Aufbau von Ladeinfrastruktur für EVs (Electronic Vehicles) (vgl. Abbildung 37).

Abbildung 37: Nachhaltigkeitspotenziale im Bereich Neue Mobilität



Quelle: eigene Darstellung, IÖW

Eine besondere Rolle im Kontext der Verkehrs- und Mobilitätsbranche spielt das **Sharing**, d. h. das Überlassen von Dingen an Dritte zu deren Nutzung beziehungsweise des Erhalts von Dingen von Dritten zur eigenen Nutzung (Belk 2010). Der weltweite Siegeszug von C2C-Sharing-Plattformen wie Airbnb hat dazu geführt, dass sich mehr und mehr Individuen befähigt sehen, selten genutzten Ressourcen auf Online-Plattformen einzustellen oder diese über Plattformen nachzufragen. Aus Umweltperspektive wird die hieraus resultierende intensivere Nutzung von Überschusskapazitäten häufig mit der Hoffnung assoziiert, dass **suffizienzorientierte Konsumpraktiken** befördert würden (Gossen, Pentzien, und Peuckert 2019) (für eine vertiefte Betrachtung des Sharing siehe auch Abschnitt 4). Von den 24 Unternehmen der Verkehrs- und Mobilitätsbranche lassen sich insgesamt 17 diesem Anwendungsbereich zuordnen. Hierbei handelt es sich sowohl um Unternehmen, die im Sinne einer Innovationsplattform die Infrastruktur für den Aufbau von Sharing-Plattformen bereitstellen, als auch um Unternehmen, die diese selber betreiben und/oder die Nutzung von Sharingangeboten inzentiveren.

Sharing-Innovationsplattformen wie *Wunder Mobility und MOQO* stellen eine Art technologisches Ökosystem dar, im Rahmen dessen Drittunternehmen Car- oder Ridesharing-Applikationen entwickeln können. Das Nachhaltigkeitspotenzial dieser Plattformen besteht vor allem darin, dass sie als Ermöglicher für Sharing-basierte Mobilität fungieren, d. h., dass sie die technologische Basis bereitstellen, auf die andere Entwickler aufbauen. Diese Infrastrukturen werden somit durch andere Unternehmen genutzt, um endkundenorientierte Plattformen, beispielsweise in der Ride-, Car-, oder Bikesharingbranche, bereitzustellen. Sharingangebote, wie bspw. die von den Berliner Verkehrsbetrieben entwickelte App *Jelbi*, basieren auf solchen Innovationsplattformen.[108]

Ein Großteil der Mobilitäts-Startups im Sample zielt explizit auf Marktnischen in der Mobilitätsbranche ab. So entwickelt das im Sample enthaltene Unternehmen *flinc GmbH* eine

[108] Apps wie Jelbi können auch selber als Sharingplattform verstanden werden. Da es sich hierbei aber größtenteils nicht um (deutsche) Startups handelt (Jelbi beispielsweise wird von der litauischen Firma Trafi entwickelt), tauchen sie nicht im Sample auf. Darüber hinaus werden diese Plattformen für Endkund:innen auch meist nur für Nutzer:innen in bestimmten Städten und Regionen entwickelt. Da sie letztendlich die gleichen Umweltpotenziale besitzen wie die übergeordneten Innovationsplattformen, auf denen sie aufbauen, können ihre Umweltpotenziale über das Sample nichtsdestotrotz eingefangen werden.

Ridesharing-Plattform speziell für Berufspendler. *Free2Move* wiederum betreibt eine Art Meta-Plattform, die eine Vielzahl an Sharing-Anbieter:innen integriert und ihren Nutzer:innen die in ihrer Nähe zur Verfügung stehenden Anbieter:innen übersichtlich anzeigt. Hierdurch soll auch eine schnelle Registrierung bei den einzelnen Sharing-Anbieter:innen sowie eine Anmietung der Fahrzeuge verschiedener Anbieter:innen über die Plattform möglich gemacht werden. Dies soll die Nutzung für Endkund:innen vereinfachen und damit den hohen Aufwand, der normalerweise mit der parallelen Nutzung mehrerer Plattformen verbunden ist, gesenkt werden. Dieser Fokus auf Marktnischen kann u. a. darauf zurückgeführt werden, dass die Mobilitätsbranche bereits durch einzelne global orientierte Plattformen (wie bspw. Uber) dominiert wird und es demnach für Startups schwieriger ist, Netzwerkeffekte zu mobilisieren.

Aufgrund der großen Anzahl an Sharing-Plattformen verwundert es nicht, dass Nachhaltigkeitspotenziale im Mobilitätssektor primär auf individueller Ebene ansetzen und **Emissionsreduktion** eröffnen. So betreiben viele der Plattformen im Sample eine Art **Nudging**, d. h. sie versuchen, ihre Nutzer:innen zu einer Veränderung des eigenen Lebensstils anzuregen, etwa zum Verzicht auf die Anschaffung eines eigenen PKWs. Auch die vor dem Hintergrund der Corona-Pandemie gescheiterte Vermittlungsplattform *FromAtoB*, auf der Konsument:innen verschiedene Arten von Verkehrsmitteln für Reisen vergleichen und buchen konnten, versuchte, durch Nudging nachhaltigere Konsumentscheidungen vorzubereiten. Zu diesem Zweck zeigte die Plattform Konsument:innen bei der Buchung die mit den jeweiligen Verkehrsmitteln verbundenen Emissionen an, sodass diese Informationen in die Konsumentscheidung mit einbezogen werden können.

Jenseits des Sharing spielen vor allem die Plattformen eine Rolle, die auf die **Optimierung des öffentlichen Personennahverkehrs** (ÖPNV) abzielen. Insgesamt acht Unternehmen stellen Plattformen bereit, über die ÖPNV und andere Mobilitätsdienstleister wie Car- oder Ridesharing-Anbieter:innen intermodular miteinander verbunden werden.[109] Für Konsument:innen geht dies mit einer vereinfachten integrativen Nutzung verschiedener Mobilitätsanbieter:innen einher, was potenziell zur Stärkung einer nicht individualisierten Tür-zu-Tür-Mobilität beitragen kann.

Auch im **Schienenverkehr** finden Plattformen verstärkt Anwendung. Hier kann das Unternehmen *Konux* als Beispiel herangezogen werden, welches eine IoT-Plattform bereitstellt, mit der die Robustheit des Schienennetzes gestärkt werden soll. So werden über die Plattform datenbasierte Analysen über Zustand des Schienennetzes erstellt, die eine Predictive Maintenance ermöglichen, also eine vorausschauende Wartung der Komponenten. Dies soll zum einen eine ressourcenschonende Instandhaltung ermöglichen, da die Lebensdauer von Komponenten (wie bspw. Weichen) durch frühzeitige Wartung verlängert wird. Zum anderen soll das Schienennetz als Ganzes an Stabilität gewinnen, was eine Kapazitätssteigerung für den Schienenverkehr nach sich ziehen könnte.

Lediglich eine der 25 Plattformen in der Verkehrs- und Mobilitätsbranche ist nicht im Anwendungsbereich Neue Mobilität zu verorten, sondern im Bereich **smarte Parksysteme**. Diese Plattform ermöglicht es ihren Nutzer:innen, Parkplätze online einzustellen. Hierüber soll die Dauer der Parkplatzsuche verringert und dadurch auch der damit verbundene Treibhausgasausstoß reduziert werden. Da eine Verringerung des mit der Parkplatzsuche einhergehenden Zeitaufwandes aber auch zu einer verstärkten Nutzung des Autos in urbanen Kontexten beitragen könnte, müssen die tatsächlichen Umweltpotenziale solcher auf eine

[109] Inter- und Multimodalität wird verstärkt auch in der Wissenschaft diskutiert, siehe diesbezüglich u. a. Alexander Spickermann, Volker Grienitz, Heiko A. von der Gracht (2014): Heading towards a multimodal city of the future?: Multi-stakeholder scenarios for urban mobility, Technological Forecasting and Social Change, Volume 89, Seiten 201-221, https://doi.org/10.1016/j.techfore.2013.08.036.

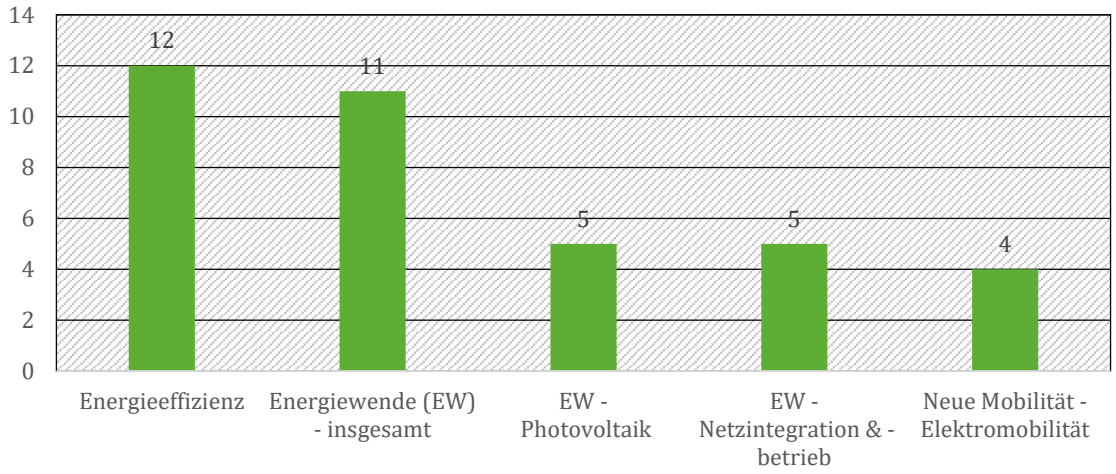
effizientere Gestaltung des motorisierten Individualverkehrs abzielende Plattformen vor allem vor dem Hintergrund etwaiger Rebound-Effekte betrachtet werden. Ein automatischer Beitrag zu einem Übergang in eine Green Economy kann nicht angenommen werden.

Zusammengefasst schaffen die digitalen Plattformen in der Mobilitäts-/Verkehrsbranche Potenziale für Nachhaltigkeit vor allem dadurch, dass sie die Mobilitätswende als Transformationsbewegung unterstützen. Das größte Anwendungsfeld ist dabei die Sharing-Mobilität, die durch digitale Plattformen auf verschiedenen Ebenen unterstützt wird. Nachhaltigkeitspotenziale bestehen aber auch durch die Anwendung zur Optimierung des ÖPNV, zur Unterstützung der Elektromobilität, in der kommunalen Verkehrsplanung wie auch bei der Stärkung des Schienenverkehrs.

Immobilien

15 der 80 ausgewerteten Startups entwickeln Plattformen für den Einsatz in der Immobilienbranche. Dabei existieren große Schnittmengen zur Energiebranche, de facto sind viele Unternehmen simultan in beiden Branchen aktiv. Dies zeigt sich auch bei genauerer Betrachtung der sich stark ähnelnden Nachhaltigkeitspotenziale dieser Unternehmen (vgl. Abbildung 38.[110]

Abbildung 38: Ausgewählte Nachhaltigkeitspotenziale in der Immobilienbranche



Quelle: eigene Darstellung, IÖW

80 % der in der Immobilienbranche tätigen Unternehmen bieten Plattformen an, die einen positiven Beitrag zur **Energieeffizienz** leisten sollen. Dazu zählen etwa solche Innovationsplattformen, über die Bestandsimmobilien mit smarten Geräten und Sensorik vernetzt werden können. Angebunden an die Plattform ermöglicht die Vernetzung dieser Geräte die automatische Erfassung von Nutzungsdaten wie beispielsweise Strom-, Wasser-, und Gasverbrauch. Die Zusammenführung und Auswertung dieser Daten über Plattformen soll zum einen Energieeffizienzmaßnahmen begünstigen, zum anderen aber auch Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten effizienter und kostengünstiger gestalten (da notwendige Arbeiten, bspw. aufgrund von Verschleiß, früher identifiziert werden können).

Wie in Abbildung 37 zu sehen, besitzen viele dieser Innovationsplattformen gleichzeitig das Potenzial, auch einen positiven Beitrag zur Energiewende und zur Neuen Mobilität zu leisten. So

[110] Hier werden nur ausgewählte Potenziale betrachtet, die durch die Anwendung der Plattform im Bereich Immobilien Relevanz haben. Es ist auch möglich, dass die digitale Plattform in anderen Bereichen Potenziale entwickelt, diese aber durch die Anwendung der Plattform in einer anderen Branche, z. B. der Energiebranche, entstehen.

erlauben viele der explizit auf die Nutzung smarter Geräte und Sensorik abzielender Plattformen die Integration von Photovoltaikanlagen, Stromspeichern und Elektroladesäulen. Dies kann nicht nur zu Energieeffizienzsteigerung führen, sondern auch den Aufbau sogenannter **Smart Grids** erleichtern. Als Smart Grids werden intelligente Stromnetze bezeichnet, die Leistungsschwankungen im Stromnetz, bedingt durch einen höheren Anteil erneuerbarer Energie, ausgleichen können.[111] Über die Vernetzung von Smart Grids über Plattformen könnte somit die Grundlage für eine weitere **Reduzierung des Anteils fossiler Brennstoffe im Stromnetz** geschaffen werden.

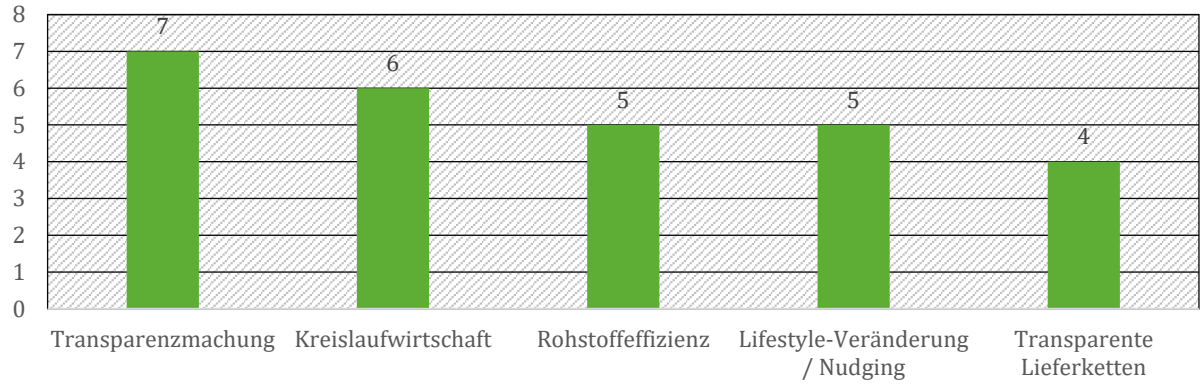
Ein weiterer Typ von im Immobiliensektor tätigen Unternehmen spezialisiert sich auf den Betrieb von **B2B-Transaktionsplattformen** speziell für den Bereich Photovoltaik. Geschäftskund:innen auf diesen Plattformen können auf eine große Auswahl von Photovoltaikanlagen verschiedener Hersteller:innen zurückgreifen, was den Aufbau neuer Anlagen für Bestandsimmobilien erleichtert. Ein weiterer Plattformanbieter arbeitet derzeit daran, die Ersatzteilsuche für bestehende Anlagen zu erleichtern. Da das Fehlen solcher Teile oft zum Ausfall ganzer Bestandsanlagen führt, lassen sich Nachhaltigkeitspotenziale vermuten.

Zusammengefasst entwickeln Plattformen in der Immobilienbranche vor allem dahingehend Nachhaltigkeitspotenziale, dass sie **Transparenz** über Bedarfe und Verbräuche herstellen und daraus abgeleitete **Ressourcen- und Energieeffizienzsteigerungen** ermöglichen. Innovationsplattformen in der Immobilienbranche können zudem einen positiven Beitrag zur Energie- und Mobilitätswende leisten, da Komponenten wie Solaranlagen, Stromspeicher oder Ladesäulen über sie intelligent verbunden werden.

Handel

14 der 80 untersuchten Unternehmen stellen digitale Plattformen bereit, die im Handelssektor angewandt werden und dort verschiedene Nachhaltigkeitspotenziale entfalten können. Das zentrale Nachhaltigkeitspotenzial dieser Plattformen besteht in der **Transparenzschaffung**. Unter diesem Begriff wird die Fähigkeit von Plattformen verstanden, den durch sie vermittelten Nutzungsgruppen (Produzent:innen wie auch Konsument:innen) zusätzliche Informationen bereitzustellen, bspw. in Bezug auf Transportwege, verarbeitete Einzelteile oder auch Umweltkosten. Die Nachhaltigkeitspotenziale der Hälfte der in der Handelsbranche verorteten Plattformen können auf diesen Ansatz zurückgeführt werden (vgl. Abbildung 39).

Abbildung 39: Nachhaltigkeitspotenziale in der Handelsbranche



Quelle: eigene Darstellung, IÖW

[111] Umweltbundesamt 2013. https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/was-ist-ein-smart-grid.

Die Schaffung von Transparenz auf Plattformen kann entweder konsum- oder produktions- und prozessorientiert sein. Durch einen produktions- und prozessorientierten Informationszugewinn, wie sie zwei der sieben Plattformen ermöglichen, werden vor allem **Ressourceneffizienzsteigerungen** im Bereich der Fertigung und Logistik eröffnet. Bei einer konsumorientierten Transparenzschaffung hingegen, die auf eine Darstellung relevanter Informationen abzielt, kann die Plattform **nachhaltige Konsumpraktiken** befördern. Fünf Plattformen bieten eine solche Funktion.

Das Unternehmen *Retraced* kann als Beispiel für eine Plattform herangezogen werden, im Rahmen derer beide Potenziale verbunden werden. Die durch *Retraced* bereitgestellte Plattform hilft anderen Unternehmen dabei, alle **Fertigungsschritte** in der Herstellung nachhaltiger und fairer Produkte **auf Blockchain-Basis zu verifizieren** und diese Verifizierung den Endverbraucher:innen und den Unternehmen selber sichtbar zu machen. So können sich Konsument:innen über einen QR-Code oder NFC-Chip über die Herstellungsprozesse eines Produkts informieren. Somit lassen sich zwei Nachhaltigkeitspotenziale identifizieren: Auf der einen Seite kann ein Beitrag zu **transparenten Lieferketten** geleistet werden. Aufgrund der Fähigkeit der Plattform, die zusätzlich gewonnenen Informationen im Sinne einer erhöhten Transparenz auch an Endkonsument:innen weiterzugeben, kann auf der anderen Seite aber Grundlage für **nachhaltige Konsumentscheidungen** geschaffen werden.

Jenseits der Transparenzschaffung eröffnen die Plattformen sechs weiterer Unternehmen Potenziale im Bereich **Kreislaufwirtschaft**. So arbeitet das Unternehmen *SPRK.global* an einer Plattform zur Redistribution überschüssiger Lebensmittel in der Nahrungsmittelindustrie. Unter Rückgriff auf künstliche Intelligenz soll ein effizientes Matching von Angebot und Nachfrage ermöglicht werden. Und *Rebolet* betreibt eine Plattform, über die Restposten und Retouren aus dem Onlinehandel effizienter weiterverkauft werden sollen. Hierdurch soll dem unnötigen Wegwerfen dieser Waren entgegengewirkt werden. Lösungen für kreislaufförmige Wirtschaftsformen in der Modebranche wiederum werden von einem Unternehmen entwickelt, das über seine Plattform Miet- und Wiederverkaufsmodelle für Kleidung anbietet.

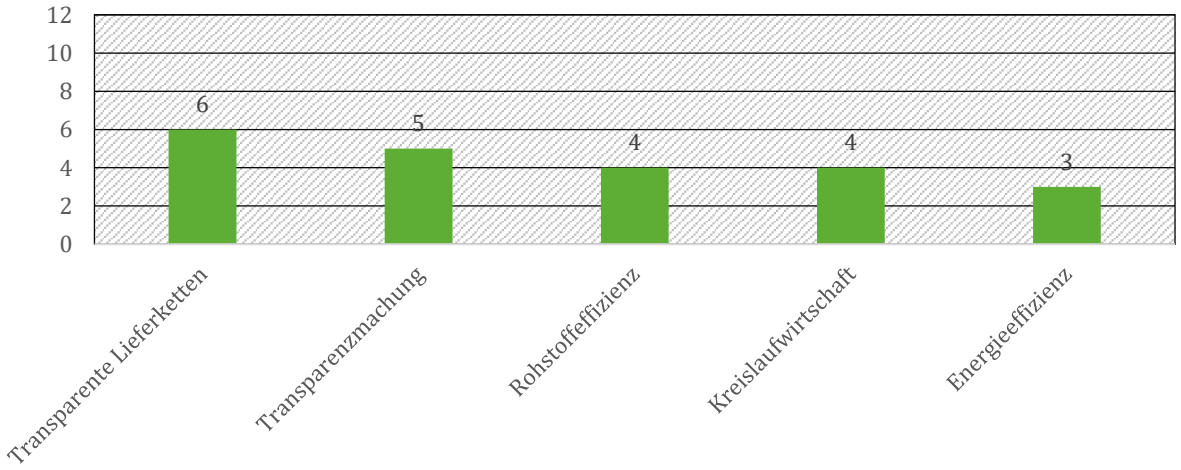
Im Vergleich zu den anderen Branchen fungieren viele Plattformen im Handel als transaktionsorientierte **Marktplätze**. Neben zwei Unternehmen, die B2B-Marktplätze für nachhaltige Produkte und Rohstoffe anbieten, können hier drei B2C-Marktplätze hervorgehoben werden, die sich entweder ausschließlich dem Verkauf nachhaltiger Produkte verschreiben oder es ihren Konsument:innen ermöglichen, das über die Plattform bereitgestellte Angebot durch die Anwendung bestimmter Nachhaltigkeitsfilter zu sortieren. Die Praktik des **Nudging** spielt somit auf diesen Plattformen eine zentrale Rolle. Das Unternehmen *Staiy* etwa betreibt einen Onlinehandel für nachhaltige Mode, auf dem Produkte auf einer Nachhaltigkeitsskala bewertet werden. Je höher die Nachhaltigkeit, desto größer der Betrag, den *Staiy* beim Verkauf des Produkts an Wiederaufforstungsprojekte spendet.

Ein großes Nachhaltigkeitspotenzial digitaler Plattformen in der Handelsbranche besteht demnach darin, Transparenz zu erhöhen. Informationen über den Fertigungsprozess oder die Lieferkette eines bestimmten Guts können gesammelt, verifiziert, und integriert präsentiert werden. Zusammen mit einem Nudging von Konsument:innen können so nachhaltigkeitsorientierte Entscheidungen befördert werden. Produktionsseitig kann die Transparenzschaffung in einer Steigerung der Ressourceneffizienz resultieren. Zudem zeigt sich, dass digitale Plattformen im Handel die Transformation hin zu kreislaufförmigen Wirtschaftsformen unterstützen können. Die Nachhaltigkeitspotenziale digitaler Plattformen im eCommerce werden in Abschnitt 7.5.3. tiefergehend behandelt.

Verarbeitendes Gewerbe

Im Verarbeitenden Gewerbe können 12 Plattformen mit expliziten Nachhaltigkeitspotenzialen identifiziert werden. Analog zu den Erkenntnissen aus dem Abschnitt zum Handel besteht das primäre Nachhaltigkeitspotenzial dieser Plattformen darin, die **Transparenz über Lieferketten und Produktionsprozesse** zu erhöhen. Ein Zugewinn an Transparenz kann unter gewissen Bedingungen eine gesteigerte **Ressourcen- und Energieeffizienz** mit sich bringen. Insgesamt bieten 6 dieser 12 Plattformen Lösungen an, die explizit auf die Erhöhung der Transparenz von Lieferketten abzielen (vgl. Abbildung 40).

Abbildung 40: Nachhaltigkeitspotenziale im Verarbeitenden Gewerbe



Quelle: eigene Darstellung, IÖW

Beispielhaft für den Prozess der Transparenzschaffung kann das Unternehmen *Makersite* herangezogen werden, deren Produktentwicklungsplattform es Nutzer:innen ermöglicht, die potenziellen **Umwelteffekte** ihrer Produkte über den **gesamten Produktzyklus** auszuwerten und in die Produktentwicklung mit einfließen zu lassen. Zu diesem Zweck bezieht die Plattform externe Datenpunkte mit ein, was eigenen Angaben zufolge eine detaillierte Überprüfung von Lieferketten entlang von Faktoren wie Compliance, Umwelt und Gesundheit ermöglichen soll. Neben einer klassischen Life-Cycle-Analyse ist es auf Basis der Plattform auch möglich, eine Produktentwicklung speziell in Hinblick auf Nachhaltigkeits- und Zirkularitätskriterien zu forcieren.

Neben den großen Potenzialen im Bereich Transparenz entwickeln Unternehmen im Verarbeitenden Gewerbe auch Plattformen, die explizit darauf abzielen, die **Energieeffizienz von Industrie- und Fertigungsunternehmen** zu steigern. Das Unternehmen *Qinous* etwa ermöglicht den Aufbau lokaler Microgrids direkt in Produktionsstätten. So können erneuerbare Energien wie Wind und Solar in Kombination mit Speicherbatterien als zentrale Energiequellen für die Produktion eingesetzt werden, was die Abhängigkeit von konventionellen Energieträgern verringern kann.

Insgesamt ist die Branche des verarbeitenden Gewerbes durch sehr vielfältige Plattformmodelle mit heterogenen Nachhaltigkeitspotenzialen geprägt. **Low-Code Plattformen** beispielsweise zielen auf eine vereinfachte Entwicklung von IIoT-Anwendungen in der Produktion ab. Über **On-Demand-Beschaffungsplattformen**, die spezielle Bauteile für den Maschinenbau effizient und zielgenau fertigen und dabei ihre Emissionen berechnen und ausgleichen, sollen nicht-notwendige Serienproduktionen, die unter gegenwärtigen Bedingungen häufig kostengünstiger sind, überflüssig gemacht werden.

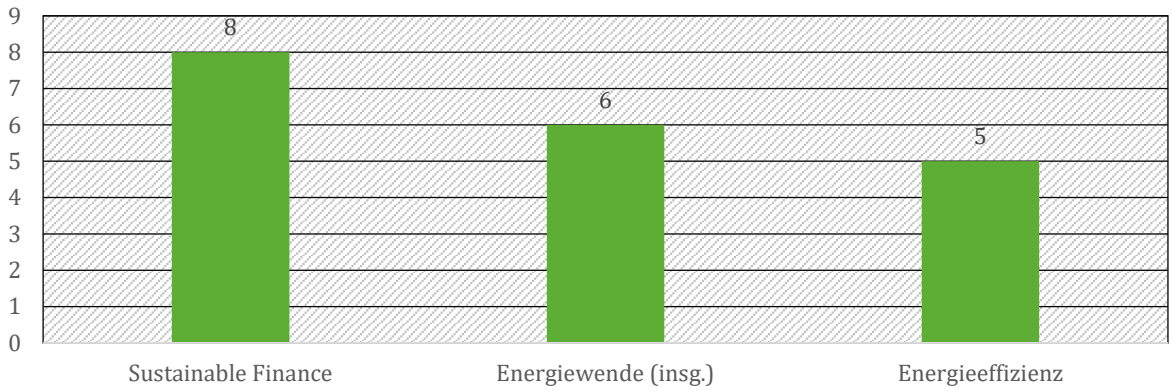
Grundsätzlich resultieren die Nachhaltigkeitspotenziale beim Einsatz digitaler Plattformen im Verarbeitenden Gewerbe vor allem daher, dass Abläufe und Prozesse in der Fertigung und entlang der Lieferketten transparenter gestaltet werden können. Digitale Plattformen wie *Makersite* bieten die Möglichkeit, Abläufe und Prozesse anhand von Nachhaltigkeits- und Ressourceneffizienzkriterien zu optimieren. Andere Plattformen tragen zur Steigerung der **Energieeffizienz** und zur **Integration erneuerbarer Energiequellen** bei.

Finanzsektor

Auch im Finanzsektor existieren Unternehmen, die mit ihren Plattformen Potenziale für Nachhaltigkeit und Umwelt eröffnen. Insgesamt neun Unternehmen können diesem Sektor zugerechnet werden. Eine Großzahl dieser Unternehmen betreibt Plattformen für **Crowdinvestment**. Hierbei handelt es sich um eine neue Art der Projektfinanzierung, bei der die Mittelvergabe nicht an die Entscheidung klassischer Finanzinstitutionen (wie Banken), sondern an die Menge der durch das Projekt akkumulierten Beiträge von Investor:innen geknüpft wird. Im Gegensatz zu klassischen Crowdfunding-Plattformen erhalten Investor:innen bei Crowdinvestment-Plattformen eine Rendite auf ihren Investitionsbetrag, der als Risikokapitalanlage gilt. Plattformen für nachhaltiges Crowdinvestment wie *Wiwin* oder *Bettervest* eröffnen die Möglichkeit, speziell in Projekte im Bereich **erneuerbare Energien** oder **energieeffiziente Gebäudesanierungen** zu investieren. Eine Crowdinvestmentplattform hat sich dabei auf die Projektfinanzierung im globalen Süden spezialisiert.

Neben den Crowdinvestmentplattformen findet sich im Sample mit *Arabesque S-Ray* auch ein Unternehmen, welches auf Aspekte der **(finanziellen) Berichterstattung** abzielt. So bietet das Unternehmen mit seiner Plattform die Möglichkeit, öffentlich gelistete Unternehmen nach ihrer Nachhaltigkeit zu bewerten. Da Unternehmen mit ihren Plattformen im Finanzsektor insbesondere Investitionen in erneuerbare Energien und energetische Gebäudesanierungen vorantreiben, liegen die Nachhaltigkeitspotenziale hier vor allem in der **Förderung der Energiewende** und der **Energieeffizienzsteigerung** (vgl. Abbildung 41).

Abbildung 41: Nachhaltigkeitspotenziale in der Finanzbranche



Quelle: eigene Darstellung, IÖW

Baugewerbe

Von den 80 untersuchten Unternehmen sind acht in der Baubranche tätig. Die Anwendungsbereiche der von den Unternehmen bereitgestellten digitalen Plattform sind vielfältig. So zielen die als **Marktplätze** organisierten Plattformen primär auf eine **effiziente Allokation von Waren und Dienstleistungen** ab. Dabei haben sich die zwei Unternehmen *SecondSol* und *Solartraders* mit ihren Plattformen insbesondere auf die Solarbranche spezialisiert. Über die Marktplätze können neue und gebrauchte Solarmodule und -zubehör

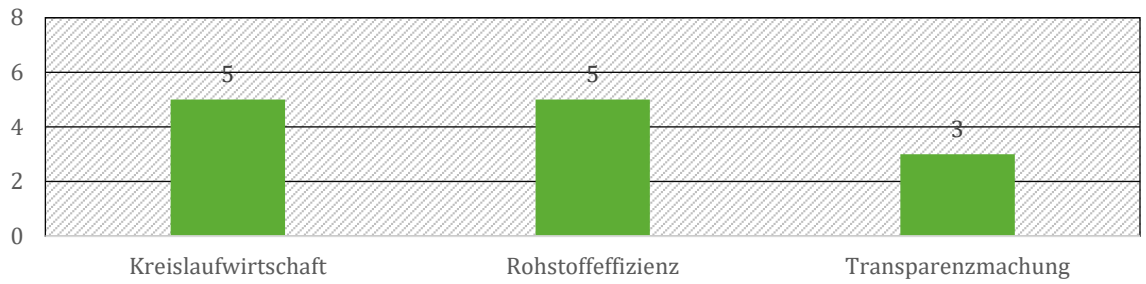
sowie Dienstleistungen angeboten werden. Ein anderes Unternehmen, *Restado*, hat eine Plattform entwickelt, die Baustoffe aus Überbestellung oder auch aus Rückbauvorhaben über einen B2C-Marktplatz an Konsument:innen vermittelt.

Das Unternehmen *Concular*, welches von den Gründern von Restado entwickelt wird und auf den Erfahrungen von Restado aufbaut, hat die Etablierung von **kreislaufförmigen Wirtschaftsformen in der Baubranche** zum Ziel. Dabei ermöglicht die *Concular*-Plattform ein Matching von Rückbau- und Neubauprojekten, um wiederverwendbare Baustoffe direkt zu vermitteln. Dafür werden Materialien wie Baustoffe und -teile anhand ihres finanziellen Werts und ihrer Umweltbilanz bewertet, um so ihr Potenzial für ihre Wiederverwendung zu evaluieren. Dies inkludiert Berechnungen zum Nachhaltigkeitspotenzials einer solchen Wiederverwendung, inklusive Berechnungen zu Emissionseinsparungen im Vergleich zur Neuproduktion und durch verkürzte Transportwege. Zudem können wiederverwendete Baustoffe durch *Concular* rezertifiziert werden.

Das Unternehmen *Leaftech* zielt mit seiner Plattform darauf ab, bereits während der Gebäudeplanung die spätere Sonnen- und Wärmeeinstrahlung durch eine Virtualisierung zu beurteilen und darauf aufbauend eine Sonnenschutzautomatisierung, die **Einsparungen in Energie und Wärme** verspricht, erstellen zu können.

Zusammengefasst zielen Plattformen in der Baubranche also vor allem auf eine **Steigerung der Rohstoffeffizienz** ab (vgl. Abbildung 42), beispielsweise indem sie die Wiederverwendung von Materialien ermöglichen oder indem sie eine Berechnung von Energieeinsparpotenzialen bereits während der Planung von Gebäuden ermöglichen. Fünf Unternehmen entwickeln dabei auch Lösungen, die explizit darauf abzielen, kreislaufförmige Wirtschaftsformen zu etablieren. Hier kann ein hohes Transformationspotenzial vermutet werden.

Abbildung 42: Nachhaltigkeitspotenziale in der Baubranche



Quelle: eigene Darstellung, IÖW

Transport/Logistik

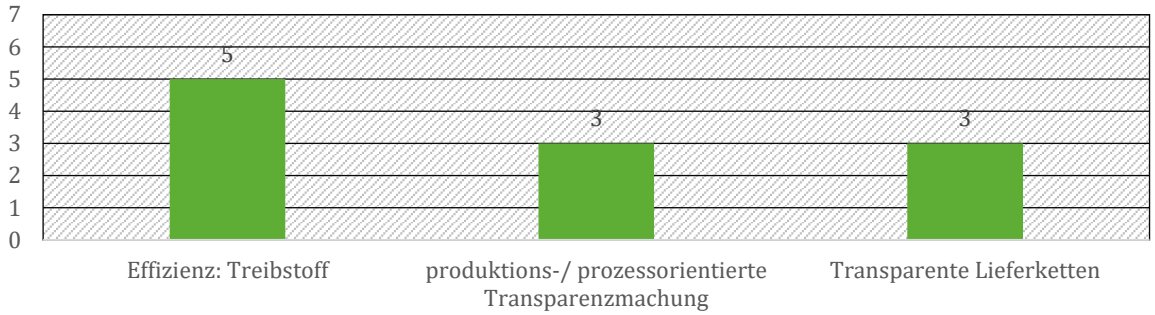
Insgesamt sieben Unternehmen haben Plattformen entwickelt, die (auch) in der Transport- und Logistikbranche Nachhaltigkeitspotenziale entfalten. Diese Lösungen zielen vor allem auf **Effizienzsteigerungen** und damit eine **Reduktion von Treibhausgasemissionen** durch die Optimierung von bisher bestehenden Prozessen ab. Gleichzeitig besteht ein positiver Nebeneffekt dieser plattformbasierten Prozessoptimierung darin, Prozesse und Lieferketten transparenter zu machen. Dies kann auch die Identifikation von noch nicht genutzten Potenzialen erleichtern.

Das Unternehmen *Forto* etwa hat eine B2B-Plattform für **digitales Supply Chain Management** entwickelt, die es Unternehmen erlaubt, sich direkt mit Logistikdienstleistern vernetzen zu können. Neben der vereinfachten Einholung von Angeboten können sich dabei auch **Effizienzgewinne** eröffnen. Diese lassen sich auf den Informationszugewinn über den Status einzelner Transportaufträge und der damit verbundenen Möglichkeit für Unternehmen,

Logistikprozesse auch anhand von Emissionsreduktionskriterien zu optimieren, zurückführen. Auch das Unternehmen *Tracks* erlaubt über seine Plattform ein **Echtzeit-Monitorings und der Analyse von Flottenperformance von LKWs** auf Basis von Emissionswerten. Speziell den ineffizienten Transport von Baustoffen für Baustellen versucht das Unternehmen *Kamioni* mit seiner Plattform zu verbessern.

Zentrale Nachhaltigkeitspotenziale von digitalen Plattformen in der Transport- und Logistikbranche bestehen also zum einen in Effizienzsteigerungen spezifisch durch Emissionsreduktionen und allgemein durch einen Informationszugewinn über Prozesse, die nachhaltigkeitsorientierte Optimierungen ermöglichen können (vgl. Abbildung 43).

Abbildung 43: Nachhaltigkeitspotenziale in der Transport- und Logistikbranche



Quelle: eigene Darstellung, IÖW

Landwirtschaft

In der Landwirtschaftsbranche bieten insgesamt fünf Unternehmen explizit nachhaltigkeitsorientierte Plattform-Lösungen an. Generell ist darauf hinzuweisen, dass die Plattformisierung in der Landwirtschaft extrem stark voranschreitet, worauf auch die Erkenntnisse aus dem Kapitel zu Big Data hinweisen. Diese Entwicklung scheint jedoch länderabhängig, was die geringe Zahl an Unternehmen im Sample erklären könnte. Der Großteil der Plattformen in der Branche wird durch globale Konzerne bereitgestellt. Dennoch sollen hier kurz prägnante Beispiele von Unternehmen aufgezeigt werden, die besondere Nachhaltigkeitspotenziale mit sich bringen.

Hervorzuheben ist das Unternehmen *Trecker*, welches mit seiner Plattform eine Lösung zur digitalen Erfassung von landwirtschaftlichen Prozessen darbietet, sodass Arbeitsabläufe zeitsparend erfasst und durch die Auswertung Erkenntnisse zur Optimierung gewonnen werden können. Dies erreicht das Unternehmen vor allem durch die Bereitstellung einer digitalen Ackerschlagkartei, in der Maßnahmen wie die Anwendung von Düngemitteln unkompliziert beispielsweise über eine App eingetragen werden können.

Neben diesen Unternehmen im Bereich der digitalen Datenerfassung für den Einsatz direkt in der Landwirtschaft stellt *o-tx.com* einen digitalen Marktplatz für den Handel von Bio-zertifizierten Rohstoffen wie Roggen, Kartoffeln oder auch Früchten, auf dem Bauern, Händler und weiterverarbeitende Betriebe handeln können, bereit. Eine weitere Plattform erlaubt es Landwirten, Daten zur Tierfütterung digital erfassen und auswerten zu können. Dadurch entstehen Potenziale zur **Effizienz- und Ressourcennutzungssteigerung**.

Abfall & Recycling

Insgesamt vier Unternehmen stellen Lösungen für die Abfall- & Recyclingbranche bereit. Dabei lassen sich vor allem bei einem Unternehmen hohe Nachhaltigkeitspotenziale vermuten. Das Unternehmen *Resourcify* spezialisiert sich mit seiner Plattform auf das **Sichtbarmachen von**

Abfall & -Recyclingströmen über Branchen hinweg. Eine Anwendung besteht darin, Erzeuger:innen und Entsorger:innen effizient miteinander zu vernetzen und damit gleichzeitig die Entsorgungsabläufe der Unternehmen zu dokumentieren. Daneben bietet *Resourcify* auch eine Anwendung, bei der Potenziale für die Wiederverwendung und den Wiederverkauf von Materialien über Branchen hinweg identifiziert werden, sodass Unternehmen ihre Abfallströme weg von einer Entsorgung hin zu Recycling optimieren. So werden durch die Nutzung der Plattform Anreize zur **Steigerung der Ressourceneffizienz** gesetzt, da Wege aufgezeigt werden, wie die Einsparung und der Wiederverkauf von Abfallstoffen einen finanziellen Nutzen schaffen.

Neben *Resourcify* bieten zwei bereits beschriebene Startups aus der Baubranche, *Restado* und *Concular*, ebenfalls Potenziale, Abfallströme zu reduzieren und zu einem höheren Recyclinganteil beizutragen. Zudem erlaubt eine Crowdinvestmentplattform Investitionen auch speziell in nachhaltige Projekte in der Abfall & Recyclingbranche.

ESG Reporting & Audit

Vier der 80 ausgewerteten Unternehmen bieten Lösungen im Bereich ESG Reporting & Audit an. Die Plattform *Plan A* beispielsweise bietet Unternehmen die Möglichkeit, anhand einer umfassenden Analyse der durch das Unternehmen ausgestoßenen Treibhausgasemissionen eine Transformation hin zur **Klimaneutralität** zu vollziehen. Dazu wird der Emissionsausstoß des Unternehmens berechnet, Reduktionspotenziale identifiziert und Möglichkeiten zur Kompensierung gegeben. Die Plattform *IntegrityNext* wiederum ermöglicht die Überwachung von Lieferketten auf Nachhaltigkeits- und Compliance Standards. Dabei basiert *IntegrityNext* auf der einen Seite auf der Überwachung von Selbstauskünften und Zertifikaten von Lieferanten sowie auf einem datengestützen Social Media Monitoring von nach eigenen Angaben rund einer Milliarde Nachrichten pro Tag auf der anderen.

Gastronomie & Lebensmittel

Drei Unternehmen bieten Lösungen für die Gastronomie & Lebensmittelbranche an. So findet sich eine Plattform im Sample, die es Supermärkten erleichtern möchte, Waren, die kurz vor dem Ablaufdatum stehen, automatisch im Preis zu reduzieren. Die zwei anderen Unternehmen im Sample, eine Handelsplattform für Bio-zertifizierte Rohstoffe und eine Plattform zur Redistribution von Lebensmittelüberproduktion, wurden bereits respektive in den Abschnitten Handel und Landwirtschaft besprochen.

Forstwirtschaft

In der Forstwirtschaft können drei Unternehmen aus dem Sample Nachhaltigkeitspotenziale entfalten. Dazu gehört etwa *Embever*, welches eine Plattform betreibt, die als Basis für den Aufbau eines stromsparenden IoT Netzwerkes fungiert. Die Plattform ermöglicht es, Daten über große Distanzen kosten- und energieeffizient zu sammeln und auszuwerten. Dafür kann ein Netzwerk zur Datenerfassung aufgebaut werden, welches keine externe Stromquelle benötigt, sondern auch batteriebetrieben funktioniert. Der Fokus auf **Energieeffizienz** ermöglicht dabei den Einsatz solcher Netzwerke zur Überwachung großer Landflächen wie etwa Wäldern (bekannt auch unter dem Begriff Smart Forest Management). Auch *Ecosia*, eine Internet-Suchplattform die in Konkurrenz zu Marktführer Google tritt, zeigt Nachhaltigkeitspotenziale in der Forstwirtschaft auf. So hat sich das Unternehmen dazu verpflichtet, einen Großteil der durch Plattformnutzer:innen generierten Gewinne in Wiederaufforstungsprojekte fließen zu lassen.

7.3.3 Diskussion

7.3.3.1 Umweltpotenziale nach Branchen und Plattformtypen

Tabelle 21 synthetisiert die in der vorangegangenen Analyse identifizierten Umweltpotenziale für die fünf relevantesten Branchen (Kriterium: mindestens 10 Plattformen). Die systematische Darstellung verdeutlicht, dass sich Umweltpotenziale, wie in Abschnitt 1 vermutet wurde, nach Plattformtyp unterscheiden. Besonders groß ist dabei der Unterschied zwischen den mit Transaktions- und Innovationsplattform assoziierten Potenzialen. So findet sich im Verkehrssektor, im Handel und im verarbeitenden Gewerbe eine große Anzahl an Transaktionsplattformen, genauer genommen Marktplätze, auf denen vor allem über die Bereitstellung von Umweltinformationen und über Praktiken des Nudging auf die Stärkung nachhaltiger Praktiken abgezielt wird. Während diese Marktplatz-Plattformen im Handel dabei im Sinne sogenannter Umweltfilter darauf abzielen, Transparenz über Fertigungsschritte in der Herstellung von Produkten zu schaffen, zielen die Marktplätze im Verkehrssektor primär auf ein effizientes *matching* von Angebot und Nachfrage ab, bspw. im Kontext multi-modaler Mobilitätslösungen.

Innovationsplattformen hingegen finden sich vorrangig in der Energie- und der Immobilienbranche (und mit Abstrichen auch im verarbeitenden Gewerbe). Im Gegensatz zu den oben genannten Marktplätzen zielen diese Plattformen aber größtenteils auf die automatische Erfassung von Nutzungsdaten oder die Vernetzung unterschiedlicher Datenquellen ab. Über die Integration intelligenter Geräte und digitaler Messgeräte (z. B. Smart Meter) wollen die sogenannten IoT-Plattformen zu einer Reduktion des Energie- und Ressourcenverbrauchs beitragen. Damit wird sowohl in der Energie- wie auch in der Immobilienbranche ein Beitrag zum Transformationsprozess der Energiewende geleistet, primär über die Eröffnung von Effizienzsteigerungen. Zwar finden sich auch im Kontext dieser Branchen Marktplätze, diese zielen aber größtenteils auf eine effiziente Bereitstellung der für die Herstellung bestimmter nachhaltiger Güter (bspw. Solarpanels) benötigten Einzelteile.

Tabelle 21: Umweltpotenziale differenziert nach den relevantesten Branchen

Branche (Auswahl)	Anwendungsfeld (Auswahl)	Konkrete Umweltpotenziale (Auswahl)
Energie	Energiewende	Erhöhung der Netzstabilität über intelligente Vermittlung von (Strom-)Bedarf und Nachfrage Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energieträger am allgemeinen Stromverbrauch
	Energieeffizienz	Reduktion des Energieverbrauches auf Basis der Integration intelligenter Geräte und digitaler Messgeräte (z. B. Smart Meter) über IoT-Plattformen Optimierung der Auslastung von Produktionsmaschinen
Verkehr/-Mobilität	Sharing & Neue Mobilität	Reduktion von Emissionen über intensivierte Nutzung einzelner Güter und Nudging in Richtung nachhaltiger Konsumentscheidungen

	Optimierung ÖPNV	Stärkung einer nicht individualisierten Tür-zu-Tür Mobilität über vereinfachte integrative Nutzung verschiedener Mobilitätsanbieter:innen innerhalb einer Plattform Vorantreiben des Umstiegs vom motorisierten Individualverkehr auf ÖPNV
Immobilien	Energieeffizienz	Reduktion des Energieverbrauches über automatische Erfassung von Nutzungsdaten wie beispielsweise Strom-, Wasser-, und Gasverbrauch Effizientere Gestaltung von Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten auf Basis von Transparenzschaffung
	Energiewende	Reduzierung des Anteils fossiler Brennstoffe im Stromnetz über den Aufbau von Smart Grids, die Leistungsschwankungen im Stromnetz, bedingt durch einen höheren Anteil erneuerbarer Energie, ausgleichen Erleichterung des Aufbaus neuer Photovoltaikanlagen über spezifische B2B-Ersatzteilmarktplätze
Handel	Transparenz-machung	Schaffung von Transparenz über Fertigungsschritte in der Herstellung nachhaltiger und fairer Produkte legt Grundlage für nachhaltige Konsumentscheidungen Förderung nachhaltiger individueller Konsumentscheidungen über Nudging-Ansätze auf Marktplätzen
	Kreislaufwirtschaft	Abfallvermeidung und reduzierter Ressourcenverbrauch über effizientes Matching von Angebot und Nachfrage (bspw. im Kleidungs- oder Ernährungssektor)
Verarbeitendes Gewerbe	Transparenz-machung	Gesteigerte Ressourcen- und Energieeffizienz über Erhöhung der Transparenz über Umwelteffekte im gesamten Produktzyklus (Lieferketten und Produktionsprozesse)
	Energieeffizienz	Verringerung der Abhängigkeit von konventionellen Energieträgern über den Aufbau lokaler Microgrids direkt in Produktionsstätten

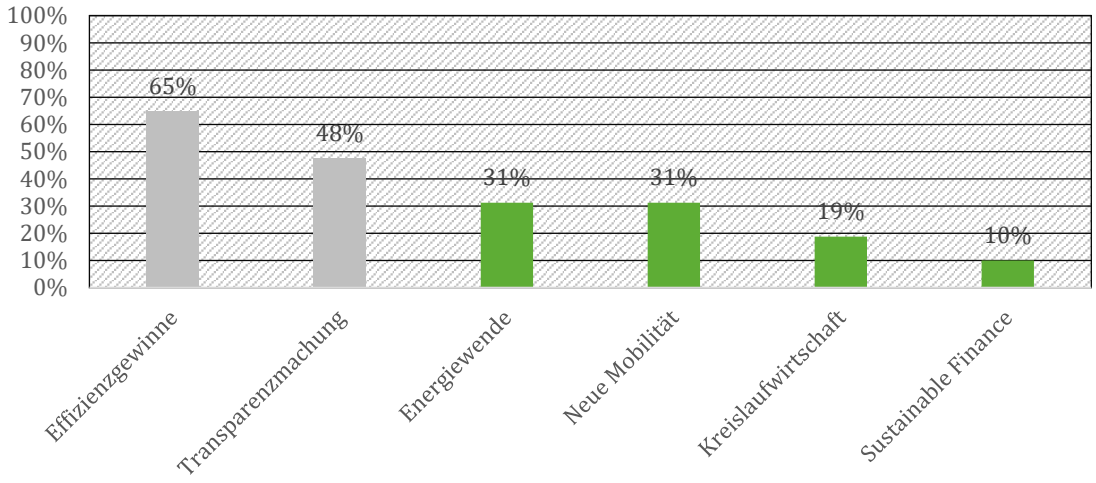
7.3.3.2 Umweltpotenziale nach Anwendungsfeldern und Nachhaltigkeitsstrategien

Abbildung 44 zeigt die Verteilung der Umweltpotenziale differenziert nach Anwendungsfeldern (grau) und Nachhaltigkeitsstrategien (grün) über das Gesamtsample hinweg. In Bezug auf die Nachhaltigkeitsstrategien bestätigt sich der Eindruck aus dem vorherigen Abschnitt: mit 65 % zielt der Großteil aller Plattformen auf Effizienzsteigerungen ab. Vor allem in der Energiebranche, der Immobilienbranche und dem verarbeitenden Gewerbe findet sich eine Vielzahl an Plattformen, die bspw. über den Aufbau lokaler Microgrids oder über die Integration intelligenter Geräte und digitaler Messgeräte (z. B. Smart Meter) über IIoT-Plattformen, zu einer Reduktion des Energie- und Ressourcenverbrauches beitragen wollen.

Wie aufgrund der strukturellen Eigenheiten der Plattformen zu vermuten war, spielt jedoch auch die Transparenzschaffung eine zentrale Rolle: 48 % der Plattformen im Sample zielen explizit darauf ab, Informationen über die Umwelteffekte der durch die Plattform vermittelten Inter- und Transaktionen auf eine transparente Art und Weise bereitzustellen. Ob eine in diesem Sinne erhöhte Transparenz aber tatsächlich herkömmliche Nachhaltigkeitsstrategien (wie Effizienz, Suffizienz und Konsistenz) nach sich zieht, und ob das im vorherigen Absatz charakterisierte Abzielen auf Effizienzsteigerung tatsächlich zu positiven Umwelteffekten führt, kann nur auf Basis nachfolgender Case Studies evaluiert werden.

In Bezug auf die Anwendungsfelder wird deutlich, dass Plattformen auf vielfältige Art und Weise zu aktuellen gesellschaftlichen Transformationsprozessen *beitragen*. So stärken 31 % der Plattformen im Sample die Energiewende, weitere 31 % den Transformationsprozess hin zu einer Neuen Mobilität. Auch die Kreislaufwirtschaft wird durch 19 % der Plattformen explizit vorangetrieben. Somit eröffnen Plattformen neben den eingangs skizzierten Effizienzgewinnen in der Tat auch andere, potenziell transformativere Dynamiken. Wie genau dieser Beitrag in der Praxis jedoch aussieht, müsste ebenfalls in nachfolgenden empirischen Fallstudien identifiziert werden.

Abbildung 44: Umweltpotenziale im Gesamtsample



Quelle: eigene Darstellung, IÖW

7.3.3.3 Transformationswirkung

Die hier vorgenommene Beschreibung der Umweltpotenziale digitaler Plattformen wirft schlussendlich die Frage nach der Stärke der Transformationswirkung auf, die mit diesen Umweltpotenzialen verbunden sind. Ebnen sie letztlich den Weg in eine Green Economy oder handelt es sich lediglich um marginale Verbesserungen des Status Quo? Um eine solche Bewertung der Transformationswirkung für das Plattformmodell durchzuführen, wird auf die in Kapitel 4.2 eingeführte dreistufige Skala zur Definition der Green Economy zurückgegriffen. Die drei Stufen enthalten dabei verschiedene Kategorien:

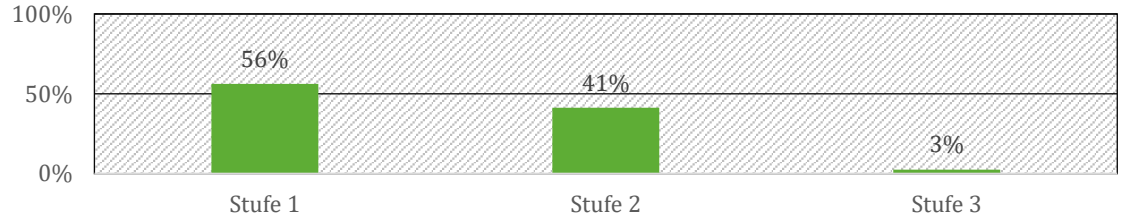
- **Stufe 1** umfasst insbesondere die Plattformen, die einen indirekten Beitrag zum Übergang in eine Green Economy leisten, bspw. indem sie zusätzliche Informationen bereitstellen und/oder auf eine Transparenzschaffung abzielen, bspw. indem sie umweltrelevante Informationen (über Produktionsprozesse oder Produkte selber) bereitstellen und/oder auf eine gesteigerte Transparenzschaffung abzielen, ohne diese jedoch an explizite Verhaltensänderungen zu koppeln. Wie bereits angemerkt, darf diese

Informationsbereitstellung/Transparenzschaffung jedoch nicht mit der Realisierung tatsächlicher Umwelteffekte verwechselt werden. Über die Transparenzschaffung hinaus werden unter Stufe 1 auch die Plattformen gefasst, die zwar Effizienzsteigerungen ermöglichen, diese Steigerungen aber in Branchen/Sektoren erzielen, die selbst für eine Green Economy grundlegend transformiert werden müssten. Als Beispiel ließen sich Carsharing-Plattformen nennen, die eine Optimierung des Individualverkehrs anstreben.

- **Stufe 2** umfasst insbesondere die Plattformen, die bestehende Transformationsprozesse in Richtung einer Green Economy (wie bspw. die Mobilitätswende oder die Energiewende) direkt unterstützen, bspw. indem sie kritische Daten und Informationen für den zu transformierenden Sektor bereitstellen oder verarbeiten. Als Beispiel könnte die ÖPNV-Optimierung für die Verkehrswende genannt werden. Des Weiteren werden die Plattformen unter Stufe 2 gefasst, die die technische Funktionalität oder die Umweltfreundlichkeit ihrer Branche explizit steigern. Beispiele sind die Abfallvermeidung und der reduzierte Ressourcenverbrauch über effizientes Matching von Angebot und Nachfrage.
- **Stufe 3** umfasst zuletzt die Plattformen, die einen Schlüsselbeitrag zur Transformation leisten können, bspw. bestehende Transformationsdynamiken durch neue Technologien wesentlich vorantreiben oder gänzlich neue Transformationsdynamiken initiieren. Ansätze im Bereich der sektorenübergreifenden Kreislaufwirtschaft können als Beispiel für Ersteres herangezogen werden.

Ordnet man die 80 Plattformen des Samples anhand der mit ihnen assoziierten Potenziale in diese Skala ein, ergibt sich ein ähnliches Bild wie in der vorangegangenen Teilstudie zu Big Data. So ist das Gros der Anwendungen (56 %) auf der niedrigsten Stufe anzusiedeln, weitere 41 % auf Stufe 2. Lediglich 3 % lassen sich der Stufe 3 zuordnen (siehe Abbildung 45).[112]

Abbildung 45: Stufenbasierte Auswertung der Transformationswirkungen digitaler Plattformen



Quelle: eigene Darstellung, IÖW

7.4 Umweltpotenziale digitaler Plattformen für den Übergang in eine Green Economy: Literaturstudie

7.4.1 Untersuchungsgegenstand und Vorgehen

Abschnitt 7.4 nähert sich der Frage der Umweltpotenziale digitaler Plattformen für den Übergang in eine Green Economy auf Basis einer Literaturstudie. Ziel ist es, die bisher in der wissenschaftlichen Literatur herausgearbeiteten Umweltpotenziale systematisch darzustellen und damit die auf (deutsche) Startups begrenzte Crunchbase-Analyse zu erweitern. Durch diese heterogenen, sich jedoch ergänzenden Zugänge kann ein umfassenderes Bild

[112] Hierbei muss jedoch beachtet werden, dass die zwangsläufig qualitative Natur der getroffenen Einordnung und die begrenzte Informationslage prinzipiell auch andere Einschätzungen, mit entsprechend anderen Verteilungen, erlauben.

plattformspezifischer Umweltpotenziale gezeichnet werden, eines das sowohl nachhaltigkeitsorientierte Startups wie auch Großkonzerne miteinschließt.

7.4.1.1 Methodisches Vorgehen

Um die relevanten wissenschaftlichen Fachartikel zu den Umweltpotenzialen und Umwelteffekten digitaler Plattformen zu identifizieren, wurde auf die Google Scholar-Suchmaschine/Datenbank zurückgegriffen. Diese nutzt maschinell automatisierte Kriterien, um Google-Suchergebnisse auf wissenschaftliche Quellen einzugrenzen. Google Scholar gilt gemeinhin als die umfassendste akademische Suchmaschine (Gusenbauer 2019). Aufgrund ihrer großen Reichweite eignet sie sich in besonderem Maße für Literaturstudien, die darauf abzielen, Erkenntnisse aus unterschiedlichen Feldern und Disziplinen zu vereinen.

Da ein Großteil der plattformspezifischen Fachliteratur in englischer Sprache verfasst wird, wurden im Suchprozess die englischsprachigen Search-Strings „Digital Platform & Sustainability“, „Platform & Sustainability“ und „Digital Platform & Environment“ verwendet. Ein erstes Screening der Literatur, die auf Basis dieser Search-Strings identifiziert werden konnte, verdeutlichte, dass der Plattformbegriff im B2B-Kontext kaum Verwendung findet. Stattdessen wird größtenteils mit konkurrierenden Begriffen wie IIoT oder„Industry 4.0 operiert (siehe auch Case Study in Abschnitt 7.5). Um diesem Sachverhalt gerecht zu werden, wurden die Search Strings in einem zweiten Durchlauf um „IIoT & Sustainability“ und „Industry 4.0 & Sustainability“ erweitert.

Auf Basis dieser Suchkriterien wurden mehr als 60 wissenschaftliche Forschungsartikel identifiziert. Um den Inhalt dieser Texte einordnen und auf ihre thematische Relevanz hin prüfen zu können, wurden in einem nächsten Schritt sowohl der Abstract wie auch die jeweiligen Schlussfolgerungen gesichtet. In diesem Prozess wurden alle die Artikel aussortiert, die zwar auf das Plattformmodell (und verwandte Begrifflichkeiten) rekurrieren, den Fokus aber auf die Umweltpotenziale von Teiltechnologien legen, wie bspw. der additiven Fertigung, dem 3D-Druck oder der RFID-Technologie. Durch diesen Schritt wurde das Sample auf 52 als relevant einzustufende Fachartikel reduziert. Anschließend wurden diese Texte entlang der Kriterien ‚Erscheinungsjahr‘, ‚akademischer Charakter‘ (empirisch oder konzeptionell), ‚Plattformtyp‘ (B2C, C2C, B2B) und ‚Nachhaltigkeitsstrategie‘ (Transparenz, Effizienz, Suffizienz, Konsistenz) codiert und abschließend die konkreten Nachhaltigkeits*effekte* erfasst und systematisiert, insofern diese in den jeweiligen akademischen Texten benannt wurden.

Die verhältnismäßig kleine Zahl der als relevant einzustufenden Artikel kann vor allem darauf zurückgeführt werden, dass sich das Feld der Plattformforschung begrifflich noch nicht konsolidiert hat. So steht der Begriff der ‚Plattform‘ weiterhin in Konkurrenz zu anderen verwandten Begrifflichkeiten, wie bspw. der 'Sharing Economy' oder dem ‚kollaborativen Konsum‘. Ähnlich verhält es sich mit den Begriffen ‚sustainability‘ und ‚environment‘. So werden die Umweltpotenziale- und Effekte digitaler Plattformen vielfach auch vor dem Hintergrund anderer anwendungsfeldspezifischer Aspekte wie bspw. dem ‚green supply chain management‘ diskutiert. Eine erschöpfende Literaturstudie müsste sowohl auf begrifflicher Ebene weiter ausdifferenzieren, wie auch in Hinblick auf die konkreten Anwendungsfelder (bspw. Mobilität, Energie, Logistik) in die Tiefe gehen. Eine solche vertiefte Untersuchung würde das Ziel dieser Studie – die Umweltpotenziale des Plattformmodells auf einer möglichst abstrahierten Ebene zu fassen – jedoch verfehlen.

7.4.1.2 Datenlage und Charakter der Quellen

Unter den 52 als relevant eingestuften Veröffentlichungen fanden sich 45 Journal-Artikel (Kriterium: Peer-Reviewed), fünf Konferenz-Papiere und zwei Buchkapitel. Nicht berücksichtigt

wurde sogenannte ‚graue Literatur', d. h. Working Paper und Arbeitsberichte. Empirische Studien (22 Texte) stellen in der wissenschaftlichen Auseinandersetzung das am häufigsten gewählte Vorgehen dar. Als empirisch wurde ein Artikel dann eingestuft, wenn bspw. über die Methode der Ökobilanz oder eine nutzerbasierte Modellierung versucht wurde, konkrete Umwelteffekte des Plattformmodells zu differenzieren. Demgegenüber stehen 15 Fachartikel, die sich im Sinne eines Literaturüberblicks an einer Verhältnisbestimmung der Aspekte Nachhaltigkeit und digitale Plattformen versuchen; zehn Artikel, die den Zusammenhang aus einer rein konzeptionellen Perspektive adressieren; sowie drei Fachartikel, die einen Case Study-orientierten Ansatz verfolgen und sich einzelnen Plattformunternehmen widmen.

Über die vergangenen Jahre hinweg lässt sich nicht nur eine allgemeine Zunahme an wissenschaftlichen Publikationen zum Themenkomplex beobachten (mehr als die Hälfte aller Publikationen wurden in 2020 veröffentlicht), sondern auch eine Zunahme an empirisch ausgerichteten Fachartikeln. Während 2017 nur ein in diesem Sinne (1) empirisch-gelagerter Artikel veröffentlicht wurde, verzeichnen die Jahre 2018 und 2019 jeweils acht (8) empirische Veröffentlichungen. Im Jahr 2020 erreicht diese Entwicklung mit der Veröffentlichung zwölf (12) empirisch ausgerichteter Fachartikel ihren (vorläufigen) Höhepunkt.

Wie im methodischen Vorgehen erläutert, wird im B2B-Bereich nur selten auf den Plattform-Begriff rekurriert. Von den zwölf Artikeln, die den Plattform-Begriff explizit im Titel führen, fokussieren neun auf B2C- und C2C-Plattformen, und nur drei auf B2B-Plattformen. Stattdessen stehen konkurrierende Begriffe wie „IIoT" (3x im Titel) und „Industry 4.0" (17x im Titel) im Fokus. Ebenfalls auffällig ist, dass im Titel oft bereits auf eine bestimmte *Funktion* oder Zielstellung der Plattform rekurriert wird, wie beispielsweise die „Sharing Economy" (9 x im Titel) oder die „Circular Economy" (3 x im Titel) (zur Differenzierung der konkurrierenden Begrifflichkeiten siehe auch Abschnitt 2).

7.4.1.3 Differenzierung nach Plattformtyp und Branche

Im Hinblick auf den Plattformtyp und die Nutzungsgruppen, die in der Literatur betrachtet werden, besteht ein relatives Gleichgewicht zwischen Artikeln, die sich mit Plattformen beschäftigen, die auf Endkonsument:innen abzielen (B2C/C2C), und denen, die auf die Vernetzung von Unternehmen und/oder Datenquellen fokussieren (B2B). Von den 52 Fachartikeln beschäftigen sich 28 mit B2B-Plattformen, 20 mit B2C-, oder C2C-Plattformen, nur drei Artikel lassen sich nicht eindeutig zuordnen. Im Hinblick auf die Branchen, die im Rahmen der Artikel einer vertieften Betrachtung unterzogen werden, können vier größere Cluster identifiziert werden:

- Verkehr/Mobilität (8 Artikel) (Car Sharing (2), Bike Sharing (2), Ride Sharing (1), Mobility Industry (1), Bike/Vehicle Sharing (1), Mobility Sector (1)),
- Verarbeitendes Gewerbe (7 Artikel) (Stahl (1), Zement (1), Mechanical/ Plant engineering companies (1), Plastik (1), Herstellender Sektor (2), Industrieller Sektor (1)),
- Sharing Economy (5 Artikel),
- Kreislaufwirtschaft (4 Artikel).

Im Folgenden wird die Fachliteratur zu den Umweltpotenzialen digitaler Plattformen in diesen vier Branchen einer tieferen Betrachtung unterzogen. Ziel ist es, sowohl die konstatierten Umweltpotenziale wie auch die Nachhaltigkeitseffekte darzulegen, insofern diese im Rahmen der Artikel konkretisiert werden.

7.4.2 Ergebnisse: In wissenschaftlichen Fachartikeln identifizierte Potenziale von Plattformen für eine Green Economy

7.4.2.1 Verkehr und Mobilität

Primärer Fokus der Fachartikel zu den Umweltpotenzialen von Plattformen in der Branche Verkehr/Mobilität liegt auf den Nachhaltigkeitspotenzialen von Bike-, Ride- und Carsharing-Modellen.[113] In der Gesamtschau der Artikel zeichnet sich ein leicht positives Bild ab, sowohl in Hinblick auf die Nachhaltigkeitspotenziale wie auch die Effekte. So attestieren Ma et al. (2019) Shared Mobility-Plattformen das Potenzial, zu einer nachhaltigen Stadtentwicklung beizutragen, „especially in the context of resource scarcity in developing countries". Meilă (2018) und Roblek et al. (2021) verweisen auf das Potenzial von Mobilitätsplattformen, die Bereitstellung nachhaltigerer Fortbewegungsmittel (bspw. Autos mit E-Antrieb) zu erleichtern. Da Silveira et al. (2021) wiederum konzeptualisieren Mobilitätsplattformen als Treiber einer nachhaltigen wirtschaftlichen Entwicklung sowie einer hohen Lebensqualität in den Großstädten. Auf Basis dieser Zuschreibungen lassen sich **drei übergeordnete Typen von Potenzialen** identifizieren, die auf unterschiedliche Art und Weise zu einer Senkung des CO_2-Ausstoßes beitragen sollen:[114]

- Erstens werden C2C-Ride- und Carsharing-Plattformen als technologische Infrastrukturen angesehen, die eine **Freisetzung ungenutzter Kapazitäten** (‚idle capacities') ermöglichen. Aus ökologischer Perspektive könnte diese Freisetzung u. a. dazu führen, dass weniger Neuanschaffungen getätigt und die Nutzungsdauer von bereits angeschafften Mobilitätsträgern (u. a. Autos, Scooter, Fahrräder) verlängert, bzw. ihre Nutzung intensiviert würde (Ludmann 2019; Ma u. a. 2019).
- Zweitens könnten B2C-Carsharing-Plattformen dazu beitragen, den **Zugang zu potenziell nachhaltigeren Fortbewegungsmittel** (wie bspw. E-Autos) zu **vereinfachen**, vor allem in urbanen Kontexten (Roblek, Meško, und Podbregar 2021; Meilă 2018). Aus ökologischer Perspektive könnte dies bspw. eine Substitution des Verbrennermotors durch elektrische Antriebe vorantreiben.
- Drittens könnten Mobilitätsplattformen aufgrund ihrer Fähigkeit, große Datenmengen zu erfassen und zu verarbeiten, **externe Effekte auf globaler Ebene internalisieren**. Dies könne bspw. über sogenannte intelligente Tarife bewerkstelligt werden, die Dienste mit geringeren Auswirkungen quersubventionieren und umweltschädlichere Lösungen ahnden (Cruz und Sarmento 2020). Des Weiteren haben Mobilitätsplattformen aufgrund der bei ihnen zusammenlaufenden Informationen über die Umwelteffekte unterschiedlicher Fortbewegungsmittel das Potenzial, **Verkehrsdynamiken besser zu verstehen** und etwaige Engpässe beheben zu können. Auch erlaubt das häufig App-basierte Geschäftsmodell es, den ökologischen **Nutzen bestehender Mobilitätssysteme zu maximieren**, bspw. indem Fahrscheine digital bereitgestellt werden (ebd.).[115]

[113] Somit besteht eine gewisse Überlappung mit den Erkenntnissen, die in den dem Cluster „Sharing Economy" zugeordneten Texten gewonnen werden. Um Doppelungen zu vermeiden, werden im Abschnitt zur „Sharing Economy" vor allem die Texte diskutiert, die auf abstrakter Ebene (also nicht anwendungsfeldspezifisch) über Dynamiken des „Nutzen statt Besitzens" sprechen, während im Abschnitt „Mobilität" die Artikel rezipiert werden, die explizit auf Mobilitätsplattformen rekurrieren.

[114] Ma et al. attestieren B2C-Sharing-Plattformen auch Potenziale, die über ein reines Senken von CO_2-Ausstößen hinausgehen, bspw. indem diese Plattformen das Thema Nachhaltigkeit stärken und damit einen (indirekten) Einfluss auf gesellschaftliche Wandlungsprozesse nehmen (2019).

[115] Mit der Digitalisierung von Mobilitätslösungen werden jedoch auch Hürden assoziiert. In Anbetracht der Tatsache, dass Mobility-Lösungen in erster Linie von privaten Unternehmen mit explizitem Profitinteresse entwickelt werden, wird in der Literatur vor allem auf Bedenken hinsichtlich des Datenschutzes und des Dateneigentums verwiesen (Cruz und Sarmento 2020).

Einzelne Studien überprüfen diese konzeptionellen Überlegungen auch empirisch. Ma et al. (2019) kommen im Rahmen einer Case Study zu den Umwelteffekten chinesischer Bike-Sharing-Anbieter zu dem Ergebnis, dass die Gesamtzahl der Autofahrten in den 50 untersuchten chinesischen Städten im Jahr 2016 um 3 % gesunken sei. Somit könne ein direkter Zusammenhang zwischen der Proliferation von Bike-Sharing-Plattformen und der Reduktion von Treibhausgasemissionen sowie dem Verbrauch fossiler Brennstoffe gezogen werden (ebd.). Auch Nijland und van Meerkerk (2017) sehen einen direkten Zusammenhang zwischen plattformbasiertem Carsharing und der Reduktion von CO_2-Emissionen. So würden Personen, die auf plattformbasierte Carsharing-Angebote zurückgreifen, pro Jahr zwischen 15 – 20 % weniger Autokilometer zurücklegen, was einer Reduktion des jährlichen CO_2-Ausstoßes um 340 bis 390 Kilogramm gleichkäme. Chen et al. (2020) wiederum fokussieren auf den ökologischen *break even*-Punkt von Shared Mobility-Ansätzen. So zeigen sie in ihrer Studie auf, dass ein Fahrrad, das für die Nutzung über eine Bike-Sharing-Plattformen angeschafft wurde, ganze 686 Tage genutzt werden müsse, um schlussendlich einen positiven netto Emissionsverbrauch mit sich zu bringen (ebd.).

Ludmann (2019) zeichnet ein komplexeres Bild der Umwelteffekte von Mobilitätsplattformen. Während das private Carsharing aufgrund der miteinzubeziehenden Rebound-Effekte sogar einen leicht *erhöhten* jährlichen Mobilitätskonsum mit sich bringe (bedingt durch einen Anstieg an Urlaubsfahrten), führe das private Ridesharing aufgrund der Verteilung der Emissionen eines PKWs auf mehrere Personen zu ökologischen Vorteilen. Die nutzerbasierte Modellierung jedoch zeigt, dass beide Typen von Mobilitätsplattformen schlussendlich (leichte) positive Effekte im Hinblick auf Emissionseinsparungen mit sich bringen, trotz der konstatierten Reboundeffekte. Diese Einsparungen – die für das private Ridesharing bei 97 kg CO_2-Äquivalenten pro Person und Jahr und für das private Carsharing bei 96 kg liegen – sind jedoch nur geringer Natur. Die Umwelteffekte des Plattformmodells sollten demnach nicht überschätzt werden.

Zusammenfassend werden konkrete Nachhaltigkeitspotenziale in der Mobilitätsbranche vor allem auf die (1) Freisetzung ungenutzter Kapazitäten, den (2) vereinfachten Zugang zu nachhaltigeren Fortbewegungsmitteln, sowie auf die (3) Effizienzpotenziale datengetriebener Geschäftsmodelle zurückgeführt. Im Hinblick auf die Nachhaltigkeitsstrategie werden somit sowohl Effizienz- (Reduktion des CO_2-Verbrauchs) sowie Suffizienzstrategien (verlängerte Nutzung) postuliert. Voraussetzung für die Hebung der Effizienzpotenziale ist hierbei die Sammlung und umweltspezifische Auswertung der Verkehrs- und Nutzungsdaten. Auch im Hinblick auf die Umwelt*effekte* zeigt sich ein in der Tendenz ein eher positives Bild: so tragen sowohl Bike-, Ride- wie auch Carsharing-Ansätze unter bestimmten Bedingungen, wie bspw. der langfristigen Nutzung der Mobilitätsträger, zu einer Senkung des CO_2-Verbrauches bei, wenn auch nur in geringem Maße.

7.4.2.2 Verarbeitendes Gewerbe

Plattformbasierte Geschäftsmodelle im verarbeitenden Gewerbe werden in der Fachliteratur vor allem unter dem Begriff **Industrie 4.0** diskutiert. Dieses Konzept, welches in den vergangenen Jahren vor allem im deutschsprachigen Raum Anklang fand, entzieht sich jedoch einer einheitlichen und klar abgrenzbaren Definition (Kowalikova et al. 2020). Hervorzuheben sind Beiträge von Kargermann et al. (2011), im Rahmen dessen die Grundorientierung des Industrie 4.0-Ansatzes dargelegt wurde, sowie von Acatech (Schuh et al. 2020), im Rahmen dessen der Ansatz (sprich die umfassende Verbindung von Informations- und Kommunikationstechnologien mit der industriellen Produktion) in praxisorientierter Hinsicht konkretisiert und unterschiedliche Reifegrade in der praktischen Anwendung differenziert wurden: von „einfacher“ Computerisierung bis hin zur Adaptierbarkeit des

Produktionsprozesses als Entwicklungsziel. Gleichwohl sind die Schritte zu Industrie 4.0 jeweils individuell auf Branche und Unternehmen bezogen.

Während einzelne der im Rahmen dieser Studie analysierten Fachartikel den Begriff verwenden, um jegliche Digitalisierungsdynamiken in Industrieunternehmen zu diskutieren, assoziieren andere das Konzept im engeren Sinne primär mit dem Aufbau sogenannter „Smart Factories", im Rahmen derer Produktionsprozesse vollautomatisiert ohne menschliches Eingreifen gesteuert werden können. Neben der heterogenen Verwendung des Begriffes Industrie 4.0 erschwert auch die unklare Rolle des Plattformmodells in solchen intelligenten Fabriken eine trennscharfe Analyse. So werden IIoT-Plattformen in der Regel als essenzielle Bausteine einer Industrie 4.0 konzeptualisiert. Nur selten wird dabei jedoch klar herausgearbeitet, wo genau Industrie 4.0-Anwendungen aufhören und wo Plattformanwendungen beginnen.[116]

Im Fokus der für diese Literaturstudie rezipierten Studien steht die sensorgetriebene Transparenzschaffung , oder anders ausgedrückt, die plattformbasierte Verknüpfung produktiver Einheiten in einer interoperablen Umgebung, an die große Hoffnungen in Bezug auf substanzielle Effizienzsteigerungen in Produktionsprozessen gelegt werden (Sartal et al. 2020). So stellt die mit einer zunehmenden Sensorik verbundene Erfassung, Aufarbeitung und Bereitstellung von Informationen „about the provenance of an object", Rajala et al. (2018) zufolge die Grundlage für die Realisierung umfassender plattformbasierter Umweltentlastungen dar.

In den ausgewerteten Fachartikeln werden plattformbasierten Industrie 4.0-Anwendungen heterogene Umweltpotenziale attestiert. Müller et al. (2018) beispielsweise konstatieren einen direkten Zusammenhang zwischen der Einführung von smarter Sensorik und einer verlängerten Nutzungsdauer der verwendeten Maschinen. So sollen datengetriebene Analysen dazu beitragen können, die **Wiederverwendung von Ressourcen und Werkzeugen** zu vereinfachen sowie die Notwendigkeit der **Wartung und Nachrüstung von Maschinen** im Sinne der predictive maintenance frühzeitig zu erkennen. Auch die additive Fertigung, die zwar im engeren Sinne nicht Teil von Industrie 4.0-Ansätzen ist, sich jedoch gut mit modernen digitalen Produktionssystemen kombinieren lässt, könne zu einer Reduzierung der physischen Transport- und Logistikprozesse führen (ebd.).

Hallstedt et al. (2020) wiederum konstatieren einen Zusammenhang zwischen der Einführung von Industrie 4.0-Anwendungen und einer gesteigerten Effizienz, sowohl in finanzieller wie auch in ökologischer Hinsicht. Ökologische Potenziale würden dabei primär in Hinblick auf verbesserte interne Prozesse, reduzierte Produktionskosten, die **Bereitstellung detaillierterer Informationen über Produktionszyklen**, die Ermöglichung von Ressourcenzuweisung, optimierte Lieferungen, sowie **verbessertes Produktdesign** zurückgeführt. Darüber hinaus könnten Umweltpotenziale daraus resultieren, dass eine bessere Überwachung und Verfolgung der Produktaktivitäten während des gesamten Lebenszyklus gewährleistet würde. Vor diesem Hintergrund verweisen Rajala et al. (2018) auch auf das Potenzial von Industrie 4.0-Anwendungen, über eine Standardisierung von Informationen und den Aufbau geteilter Schnittstellen zu einer **unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit**, über konventionelle interne und externe Grenzen hinweg, beizutragen. In der Summe sollen diese Dynamiken sowohl zu einer **Reduzierung des CO_2-Ausstoßen** (Effizienz) wie auch zu einer **verlängerten Nutzungsdauer** (Suffizienz) der verwendeten Maschinen beitragen können. Eine ausführlichere

[116] Die Ergebnisse dieses Unterkapitels müssen vor dem Hintergrund dieser definitorischen Unschärfe gelesen werden. Eine tiefergehende Auseinandersetzung mit den Potenzialen und Grenzen des Plattformmodells im verarbeitenden Gewerbe wird in der Case Study zu B2B-Industrieplattformen in den Abschnitten 5.1 und 5.2 vorgenommen.

Betrachtung und Bewertung dieser Annahmen wird in der Case Study zu B2B-Industrieplattformen in den Abschnitten 7.5.1 und 7.5.2 vorgenommen.

Während Sartal et al. (2020) und Müller et al. (2018) in ihren Untersuchungen vorrangig auf der konzeptionellen Ebene verweilen, versuchen sich Jena et al. (2020) im Rahmen ihrer Studie an einer konkreten Bemessung der durch smarte Produktionsprozesse gewonnenen CO_2-Einsparungen. Dabei kommen sie zu dem Ergebnis, dass der Einsatz plattformbasierter Industrie 4.0-Anwendungen den Energieverbrauch, den CO_2-Fußabdruck und den Wasserverbrauch im jeweils einstelligen Prozentbereich reduziere könne. Auch Nara et al. (2021) konstatieren, dass die Implementierung von Industrie 4.0-Anwendungen eine nachhaltige Produktion vorantreiben könne, sich die Effekte jedoch von Anwendung zu Anwendung unterschieden. Aufgrund der Schwierigkeit, die identifizierten Einsparungen auf den Einsatz konkreter Einzeltechnologien (wie bspw. IIoT-Plattformen) zurückzuführen, sind solche empirischen Annäherungen jedoch noch mit großer Unsicherheit verbunden.

Trotz der konstatierten Umweltpotenziale- und Effekte sehen eine Vielzahl der Autor:innen jedoch auch **Risiken und Hindernisse** in der Implementierung „smarter" Produktionsstätten. So sei die Umsetzung von Industrie 4.0-Anwendungen in der Regel mit hohen Investitionen und unsicherer Rentabilität verbunden. Dies führe dazu, dass vor allem KMUs die notwendigen Standardisierungen und Geschäftsmodelltransformationen nicht vornehmen könnten (Nara u. a. 2021). In Konsequenz werden Investitionen in Industrie 4.0-Anwendungen als Mittel zur Erzielung von ökologischen Effekten derzeit, wenn überhaupt, von Großkonzernen vorgenommen (ebd.). Auch die größtenteils noch ungeklärten Fragen in Bezug auf Datensouveränität und Datennutzung sowie die Kompatibilität von Systemstandards stellen eine Hürde für die umweltspezifische Mobilisierung von Industrie 4.0-Anwendungen dar (Hallstedt et al. 2020).

Zusammenfassend werden plattformbasierte Nachhaltigkeitspotenziale im Anwendungsfeld des verarbeitenden Gewerbes vor allem in der (1) flächendeckenden Wiederverwendung von Ressourcen und Werkzeugen sowie der vorausschauenden Wartung von Maschinen, (2) der Bereitstellung detaillierterer Informationen über Produktionsprozesse sowie (3) in der Rückverfolgung von Produkten und der Bereitstellung von Informationen entlang der Lieferkette identifiziert. Somit kann die Anwendung des Plattformmodells im verarbeitenden Gewerbe potenziell sowohl das Verfolgen von Effizienzstrategien (bspw. über die Einsparung von Wasser oder einem gesenkten Energieverbrauch), Transparenzstrategien (über die Bereitstellung von Informationen über den kompletten Lebenszyklus eines Produkts hinweg, auch über interne Geschäftsgrenzen) sowie Suffizienzstrategien (bspw. über die frühzeitige Wartung von Maschinen durch digitale Vernetzung und der daraus resultierenden Verlängerung der maschinellen Lebenszeit) ermöglichen. Als mögliche Hürden lassen sich primär ungeklärte Fragen bezüglich der Datensouveränität, hohe Anschaffungskosten sowie die Inkompatibilität verschiedener Netzwerke und Systemstandards identifizieren.

7.4.2.3 Sharing Economy

Plattformbasierte Umweltpotenziale von ‚Teilen statt Besitzen' werden in der Literatur verstärkt **ambivalent** diskutiert. Während die Mainstreamwerdung der Sharing Economy auf der einen Seite mit dem Versprechen assoziiert wird, neue kollaborative Konsummuster und gesellschaftliche Diskussionen über Nachhaltigkeit zu befördern (Behrendt, Henseling, und Scholl 2019; Gossen, Pentzien, und Peuckert 2019; Schor 2017), wird auf der anderen Seite verstärkt kritisch hinterfragt, inwiefern ein solcher Paradigmenwechsel hin zu einem nutzungsorientierten Konsumverhalten tatsächlich auch einen „lower demand for or less interest in new products" mit sich brächte (Pouri und Hilty 2018). Ergebnis dieser Ambivalenz

ist, dass ein Großteil der neueren Literatur zur Sharing Economy Umweltpotenziale- und Effekte primär im Sinne eines „Ja, aber...“ diskutiert.

Geissinger et al. (2019) bspw. verweisen darauf, dass die Sharing Economy aufgrund der durch sie ermöglichten **geteilten Nutzung von Ressourcen** aus Nachhaltigkeitsperspektive zwar grundsätzlich positiv zu beurteilen sei, die zunehmende plattformbasierte Professionalisierung häufig jedoch gegenteilige Dynamiken erzeuge. So würden im Sinne der Rebound-Effekte (bspw. aufgrund gesenkter Kosten) in vielen Fällen sogar ein Mehrkonsum begünstigt (ebd.). Ähnlich ambivalent wird diskutiert, ob und inwiefern die Sharing Economy dazu beiträgt, **Transportwege für Güter zu verringern**. So wird vielfach darauf verwiesen, dass für die Bereitstellung von geteilten Gütern über Sharing-Plattormen in der Regel kürzere Transportwege zurückgelegt werden müssten als für die Bereitstellung neuer Produkte (Pouri und Hilty 2018). Gleichzeitig sei dieses Potenzial jedoch nicht für die Sharing Economy an sich verallgemeinerbar, da nicht alle Sharing-Aktivitäten auf lokaler Ebene abliefen. Aus Umweltperspektive sind somit vor allem die Distanzen entscheidend, über die hinweg ‚getauscht‘ und kollaborativ konsumiert wird.

Ciulli und Kolk (2020) vertreten eine ähnlich ambivalente Perspektive. So konstatieren sie einerseits, dass die Mainstreamisierung der Sharing Economy durch das Aufkommen dominanter Plattformen wie Airbnb dazu beigetragen habe, **Sharing-Praktiken** zu institutionalisieren und gesellschaftlich zu **normalisieren** (ebd.). Dies ginge mit positiven Nachhaltigkeitswirkungen einher. Andererseits argumentieren die Autor:innen jedoch auch, dass diese positiven Nachhaltigkeitswirkungen sich nur dann realisieren ließen, wenn das Geschäftsmodell der Plattformunternehmen im Einklang mit den ursprünglichen Versprechungen der Sharing Economy stünde (wie bspw. der optimalen Nutzung nicht ausgelasteter Ressourcen wie Produktionsanlagen und Werkzeugen). Dies sei jedoch für viele der sich selbst als Sharing-Plattformen bezeichnenden Unternehmen – wie bspw. Airbnb – nicht der Fall.

Eine Vielzahl an Artikeln im Sample fokussiert auf **Risiken**, bzw. zweifelt den Nachhaltigkeitsnutzen der Sharing Economy explizit an. Pouri und Hilty beispielsweise verweisen darauf, dass Sharing-Modelle vielfach zu einer erhöhten Nutzung und somit auch zu einem stärkeren Ressourcenverbrauch beitragen würden (z. B. durch einen erhöhten Kraftstoffverbrauch durch Car-Sharing-Modelle, siehe auch die Diskussion im Abschnitt zu Mobilität) (2018). Dieser gesteigerte Ressourcenverbrauch würde durch die *on-demand*-Kultur der plattformbasierten Sharing Economy, die einen deutlich vereinfachten Zugang zu Konsumoptionen eröffne, weiter stimuliert (ebd.). Zuletzt bliebe der **Energieverbrauch,** der für die plattformbasierten Transaktionen benötigten Rechenzentren vonnöten ist, vielfach unklar, was es unmöglich mache, zu bestimmen, ob und inwiefern die direkten Umweltauswirkungen der Herstellung und des Betriebs der Plattform die möglichen geschäftsmodellbasierten Einsparungen überstiegen. Demzufolge seien *generelle* Nachhaltigkeitspotenziale der Sharing Economy nicht benennbar, da das Feld eine Vielzahl an Waren und Dienstleistungen umfasse (ebd.). Die hier rezipierte Literatur zur Sharing Economy unterstützt somit die zu Beginn dieses Kapitels getätigte Hypothese, dass konkrete Umweltpotenziale des Plattformmodells immer kontextspezifisch und branchenspezifisch untersucht werden müssten.

Ähnlich skeptisch diskutieren Frenken und Schor (2017) die Nachhaltigkeitspotenziale der Sharing Economy. So melden sie Zweifel an der unter Konsument:innen weit verbreiteten Überzeugung an, dass die Praktik des Sharing *an sich* weniger ressourcenintensiv und damit umweltfreundlicher sei. Vielmehr, so die Autor:innen, seien die Nachhaltigkeitswirkungen der Sharing Economy komplexer als zunächst angenommen, vor allem vor dem Hintergrund etwaiger Effekte zweiter Ordnung. Des Weiteren gebe es für die häufig postulierten positiven

Nachhaltigkeitseffekte noch **keine empirischen Beweise**. Analog zu Pouri & Hilty (2018) verweisen auch sie darauf, dass die konkreten ökologischen Auswirkungen nur mit „careful studies of particular effects" nachgewiesen werden könnten (Frenken und Schor 2017).

Einen Automatismus zwischen der Verwendung plattformbasierter Sharing-Angebote und „higher environmental or social value creation" zweifeln auch Kolk und Ciulli an (2020). Konkret betrachten die Autor:innen, wie bereits etablierte Unternehmen Sharing Economy-Ansätze in ihre Geschäftsmodelle integrieren – und welche Nachhaltigkeitseffekte hierdurch erzeugt werden könnten. Dabei kommen die Autor:innen zu dem Schluss, dass die Logik des plattformvermittelten Teilens häufig angewandt würde, um die „dominante Logik" des Unternehmens zu stärken, womit vielmehr das traditionelle Geschäftsmodell – und nicht ein vermeintlich nachhaltigeres neues Modell – gestärkt würde. **Sharing-Dienste** würden so lediglich als **Ventil instrumentalisiert**, um bestehende „konventionelle" **Werteversprechen** zu stärken und den Produktionsabsatz und -konsum zu steigern. Dadurch entstünde eine gegenteilige ökologische Wertschöpfung, die letztlich zu Ressourcenausbeutung und Überkonsum führe.

Geissinger et al. (2019) betrachten diese Dynamiken aus einer primär temporalen Perspektive. Dabei kommen sie zu dem Schluss, dass sich die Sharing Economy verstärkt weg orientiere von ihrer ursprünglichen Idee eines Teilens für die Erzielung effizienterer Ressourcennutzung, hin zu einer **Professionalisierung**, im Rahmen derer klare Trennlinien zwischen Nutzer:innen auf der einen und Produzent:innen auf der anderen gezogen werden würden. Diese vielfach zu beobachtende **Abkehr von einer explizit nachhaltigkeitsorientierten Herangehensweise** könne vor allem durch steigenden ökonomischen und gesellschaftlichen Druck sowie den Einstieg von bereits etablierten Unternehmen in die Sharing Economy erklärt werden. Auf Basis dieser Erkenntnisse kommen die Autor:innen zu dem eher nüchternen Schluss, dass die „sharing economy does not drive a sustainaibility movement, but rather adjusts to those circumstances it aims to become a part of" (ebd.).

Zusammenfassend werden plattformbasierte Nachhaltigkeitspotenziale im Anwendungsfeld der Sharing Economy vor allem auf die (1) geteilte Nutzung von Ressourcen sowie die (2) häufig lokal ausgerichteten Inter- und Transaktionen zurückgeführt. Des Weiteren wird der Mainstreamwerdung bestimmter Sharing-Plattformen das Potenzial zugeschrieben, Tauschpraktiken zu normalisieren und damit gesellschaftliche Debatten um Nachhaltigkeit zu stärken. Auf übergeordneter, nicht anwendungsfeldspezifischer Ebene kann ein positiver Nutzen der Sharing Economy für die Erreichung von Nachhaltigkeitszielen jedoch nur schwerlich attestiert werden. Vielmehr wird die plattformbasierte Professionalisierung des Teilens sowohl mit negativen Effekten zweiter Ordnung in Verbindung gesetzt, wie auch mit dem Versuch etablierter Unternehmen, den Diskurs des Teilens im Sinne eines ‚Sharing-washing' zu verwenden, um ihre traditionellen Geschäftsmodelle in einem vermeintlich nachhaltigeren Licht erscheinen zu lassen.

7.4.2.4 Kreislaufwirtschaft

Ähnlich wie im vorangegangenen Abschnitt zum verarbeitenden Gewerbe steht auch im Cluster zur Circular Economy der B2B-Plattformtyp sowie positive Nachhaltigkeitseffekte durch die Implementierung von Industrie 4.0-Anwendungen im Vordergrund. Im Speziellen zielen Plattformmodelle in der Kreislaufwirtschaft darauf ab, **Abfall zu reduzieren** und einen **effizienteren Einsatz von Rohmaterialien** zu gewährleisten. Positive Umweltpotenziale- und Effekte werden plattformbasierten Circular Economy-Anwendungen durch einen Großteil der Autor:innen attestiert.

Sowohl Awan et al. (2021) wie auch Bag und Pretorius (2020) schreiben IIoT-Ansätzen bei dem Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft eine immer wichtiger werdende Rolle zu. Den Autor:innen zufolge könnten Industrie 4.0-Anwendungen im Wiederaufbereitungsprozess zur Verbesserung der Qualität von Produkten eingesetzt werden, was Abfall reduzieren, die Produktqualität erhöhen und **Transportkosten einsparen** würde. Im Reparaturprozess wiederum könnten die mit Sensorik ausgestatteten Einzelteile Echtzeitdaten über Qualitätsstandards übermitteln, was eine frühzeitige Informationsbereitstellung über das Lebensende von Teilen oder Komponenten erlauben würde. Dies könnte es ermöglichen, Ersatzteile frühzeitig zu erwerben und dadurch die **Lebensdauer von Maschinen zu verlängern**. Empirisch gemessen bzw. nachgewiesen werden diese postulierten Einsparungspotenziale durch die Autor:innen jedoch nicht.

Auch Cioffi et al. (2020) attestieren „smart manufacturing"-Ansätzen Potenziale für eine effizientere Nutzung von Ressourcen. So könnte die Einführung digitaler Technologien (wie bspw. künstlicher Intelligenz, additiver Fertigung oder Cyber-Physischen-Systemen) die **Energieeffizienz erhöhen**, die Nutzungsdauer von Produkten verlängern und eine Rückführung von Komponenten am Ende ihres Lebenszyklus sicherstellen (ebd.). Einschränkend merken Cioffi et al. jedoch an, dass „principles and best practices of smart manufacturing" vollständig implementiert werden müssten, um maximale Synergien zwischen der Digitalisierung und der Kreislaufwirtschaft zu schaffen. Nur so wäre es möglich, die Wiederverwendung, die Reduzierung von Abfall und Energie, sowie die **Refabrikation von Produkten und Komponenten** im Einklang mit Nachhaltigkeitszielen zu bringen.

Berg und Wilts (2019) fokussieren in ihrem Fachartikel genauer auf die Rolle, die **Transaktionsplattformen** im Aufbau einer Kreislaufwirtschaft spielen könnten. So würden sich plattformbasierte Marktplätze dafür anbieten, **Informationsasymmetrien über Stoffströme aufzulösen und Markttransparenz zu schaffen**, was wiederum dazu beitragen könnte, Sekundärmaterialien und Rezyklate effizienter bereitzustellen (ebd.). Anders ausgedrückt, liegen die Potenziale des marktplatzorientierten Plattformmodells darin, die informationsbezogenen Defizite derzeitiger Märkte – in denen Transaktionskosten, Suchkosten und Informationsasymmetrien effektive Marktkonstellationen verhindern – für Abfall- und Recyclingmaterialien zu lösen. Des Weiteren könnten Transaktionsplattformen ein effektives Mittel zur Schaffung von Wertschöpfungsnetzwerken darstellen, die sowohl den produzierenden Sektor, die Abfall- und Recyclingindustrie sowie den digitalen Sektor umspannen (ebd.). So könnten sie dazu beitragen, heterogene Akteure zu vernetzen und auf Basis einer so gelagerten digitalen Integration **stabile Produktionsstandards** zu schaffen. In diesem Sinne seien digitale Plattformen „a promising field for applying the means of digital transformation to put circular economy into effect and thus reduce the demand for resource intensive primary raw materials" (ebd.).

Zusammenfassend werden plattformbasierte Nachhaltigkeitspotenziale im Anwendungsfeld der Circular Economy vor allem darauf zurückgeführt, dass sie (1) den Bedarf an ressourcenintensiven Primärrohstoffen reduzieren, (2) die Wiederverwertung von Abfällen ermöglichen und (3) die Refabrikation von Produkten und Komponenten erleichtern. Somit erlaubt das Plattformmodell in der Kreislaufwirtschaft es, sowohl Konsistenzstrategien (bspw. über die Rückführung von Abfall und Stoffen in die Wertschöpfungskreisläufe), sowie Effizienzstrategien (bspw. über den „smarten" Einsatz von Rohmaterialien) zu verfolgen. Transaktionsplattformen kommt dabei eine besondere Rolle zu, da sie aktiv Informationsasymmetrien abbauen und Nutzer:innen über heterogene Sektoren effektiv vernetzen können.

7.4.3 Diskussion

Analog zu den bereits in der Crunchbase-Analyse gewonnenen Erkenntnissen zu den Umweltpotenzialen digitaler Plattformen unterstreicht auch die in Abschnitt 4 durchgeführte ergänzende Literaturstudie, dass Nachhaltigkeitsstrategien sowie die daraus resultierenden Umweltpotenziale stark vom jeweiligen betrachteten Plattformtyp abhängen. Eine genaue **Differenzierung** der verfolgten Strategien und Potenzialen ist dabei vor allem zwischen Innovationsplattformen auf der einen und Transaktionsplattformen auf der anderen Seite vonnöten.

Im Hinblick auf **Transaktionsplattformen** zeigt die Literaturstudie, dass dieser Plattformtyp vor allem in den Branchen Verkehr/Mobilität und der Sharing Economy Umweltpotenziale mit sich bringt. Konkret wird diesem Plattformtyp in den rezipierten Fachartikeln das Potenzial zugeschrieben, ungenutzte bzw. gering genutzte Kapazitäten (bspw. Autos) freizusetzen und dadurch die Nachfrage nach neuen Gütern senken zu können. Primär wird dabei auf die Fähigkeit der Plattform abgestellt, ein effizientes *matching* zwischen Angebot und Nachfrage realisieren zu können. Darüber hinaus wird vielfach auch das plattformspezifische Potenzial der algorithmischen Steuerung (Staab und Geschke 2019) in den Blick genommen. So wird in einer Vielzahl der Artikel argumentiert, dass Plattformen aufgrund ihrer Rolle als Regelsetzer sowohl über Ansätze des Nudging wie auch über Verpflichtungen nachhaltige Konsumentscheidungen befördern könnten. Zuletzt wird den Transaktionsplattformen aufgrund ihrer Fähigkeit der effizienten Allokation von Gütern und Dienstleistungen das Potenzial zugeschrieben, nachhaltige Konsummuster stärken bzw. in den Mainstream bringen zu können.

Im Hinblick auf **Innovationsplattformen** wiederum wird deutlich, dass diese vor allem im verarbeitenden Gewerbe und der Circular Economy Umweltpotenziale mit sich bringen. Transaktionsplattformen spielen in der wissenschaftlichen Betrachtung dieser Branchen nur eine untergeordnete Rolle. Die Potenziale von Innovationsplattformen werden dabei primär auf ihre Fähigkeit zurückgeführt, sich als Intermediäre zwischen unterschiedliche Datenquellen schalten und dadurch Effizienzsteigerungen ermöglichen zu können, bspw. im Kontext industrieller Fertigungsprozesse. Darüber hinaus sollen Innovationsplattformen dazu beitragen können, Informationen über den kompletten Lebenszyklus eines Produkts, auch über interne Geschäftsgrenzen hinweg, bereitzustellen, was wiederum zu einer Reduktion des Energie- und Ressourcenverbrauchs beitragen sowie eine Rückführung von Abfällen und Stoffen in den Produktionskreislauf ermöglichen könnte. Tabelle 22 synthetisiert die in der vorangegangenen Analyse identifizierten Umweltpotenziale und Nachhaltigkeitsstrategien.

Tabelle 22: Umweltpotenziale und Nachhaltigkeitsstrategien differenziert nach Branchen

Branchen	Primäre Nachhaltigkeitsstrategien	Konkrete Umweltpotenziale
Verkehr/-Mobilität	Suffizienz	Freisetzung ungenutzter/gering genutzter Kapazitäten (bspw. Autos) und Nudging in Richtung nachhaltiger Konsumentscheidungen hat das Potenzial, Nachfrage nach neuen Gütern zu verringern
	Konsistenz	Shared Mobility-Anwendungen haben das Potenzial, Zugang zu nachhaltigeren Fortbewegungsmitteln (wie bspw. E-Mobilität) zu vereinfachen und/oder den ÖPNV zu stärken

	Effizienz	Geteilte Nutzung einzelner Güter (bspw. im Kontext von Ridesharing) hat das Potenzial, zu einer Reduktion von CO_2-Emissionen beizutragen
Verar-beitendes Gewerbe	Transparenz	Sensorik und vernetzte Produktion kann dazu beitragen, Informationen über den kompletten Lebenszyklus eines Produkts hinweg, auch über interne Geschäftsgrenzen, bereitzustellen
	Effizienz	Vernetzte Produktion kann Ressourcen- und Energieeffizienz steigern, bspw. im Hinblick auf die Einsparung von Wasser oder eine Senkung des Energieverbrauchs
	Suffizienz	Vernetzte Produktion ermöglicht frühzeitige Wartung von Maschinen sowie Wiederverwendung von Ressourcen und Werkzeugen und hat somit das Potenzial, die Nutzungsdauer zu verlängern
Sharing Economy	Effizienz	Freisetzung ungenutzter Kapazitäten und Ermöglichung einer geteilten Nutzung von Ressourcen hat das Potenzial, zu einer Stärkung lokal ausgerichteter Inter- und Transaktionen mit geringerem CO_2-Fußabdruck beizutragen
	Konsistenz	Normalisierung von Tauschpraktiken hat das Potenzial, gesellschaftliche Debatten um Nachhaltigkeit zu stärken
Kreislauf-wirtschaft	Transparenz	Sensorik und vernetzte Produktion kann dazu beitragen, Informationen über den kompletten Lebenszyklus eines Produkts hinweg, auch über interne Geschäftsgrenzen, bereitzustellen
	Suffizienz	Vernetzte Produktion und Sensorik entlang der Lieferkette ermöglicht eine vereinfachte Wiederverwertung von Abfällen und hat damit das Potenzial, den Bedarf an ressourcenintensiven Primärrohstoffen zu senken
	Konsistenz	Rückführung von Abfall und Stoffen in die Wertschöpfungskreisläufe ermöglicht eine erleichterte Refabrikation von Produkten und Komponenten

Empirische Untersuchungen zu den tatsächlichen **Umwelteffekten** digitaler Plattformen bleiben weiterhin Mangelware. So zeigt die Literaturstudie, dass Ökobilanzierungen bisher primär für konsumorientierte **Transaktionsplattformen** durchgeführt wurden, bspw. für Bikesharing oder Carsharing-Plattformen. Im Hinblick auf die in diesen Studien identifizierten Effekte zeichnet sich ein eher ernüchterndes Bild: so werden in der Regel nur leicht positive Effekte identifiziert, die sich häufig auch erst nach mehreren Jahren realisieren lassen (bspw. im Kontext des Bikesharing, wo Fahrräder erst neu angeschafft werden müssen). Unklar bleibt in den Studien darüber hinaus häufig, inwiefern etwaige Rebound-Effekte diese leicht positiven Effekte nivellieren könnten.

Für die Umwelteffekte von **Innovationsplattformen** im verarbeitenden Gewerbe und der Circular Economy ist die Datenlage noch dürftiger. So wurden in den letzten Jahren zwar erste

Studien veröffentlicht, die darauf abzielen, die Umwelteffekte von IIoT-Anwendungen zu quantifizieren – aufgrund der Spezifizität der dabei betrachteten Einzeltechnologien (u. a. Cyber-physische Systemen, Sensoren, Big Data, Cloud Computing oder Systemintegrationstechnologien) lässt sich jedoch nur schwer ein direkter Zusammenhang zwischen den konstatierten Umwelteffekten und der Plattform als Infrastruktur/Organisationsform feststellen. Somit führen sich die in Abschnitt 2 beschriebenen konzeptionellen Herausforderungen auch im Hinblick auf die Identifikation von Umwelteffekten fort.

Auch das **Transformationspotenzial** der in den Fachartikeln betrachteten Plattformen hält sich in Grenzen. So lassen sich die im Rahmen der Literaturstudie identifizierten Potenziale primär auf der Transformationsstufe 1 (siehe Kapitel 4.2) verorten. Konkret bedeutet dies, dass primär auf Effizienzsteigerungen in Branchen abgezielt wird, die selbst für eine Green Economy grundlegend transformiert werden müssten (wie bspw. der motorisierte Individualverkehr). Eine deutlich geringere Anzahl an Potenzialen besteht darin, die technische Funktionalität oder die Umweltfreundlichkeit einer bereits als nachhaltig einzustufenden Branche explizit zu steigern. Somit ist die Transformationsstufe 2 im Rahmen der Literaturstudie unterrepräsentiert. Keine der im Rahmen der Literaturstudie identifizierten Potenziale lässt sich als Schlüsselbeitrag zur Transformation in Richtung einer Green Economy (Stufe 3) identifizieren. Zusammengenommen scheint das Plattformmodell derzeit somit primär bereits angestoßene Transformationsprozesse unterstützen zu können, nicht jedoch selber transformative Wirkung zu entfalten.

In der Gesamtschau ergibt sich somit ein **gemischtes Bild**. Auf der einen Seite werden auch in der Fachliteratur vielfältige Umweltpotenziale und plattformbasierte Nachhaltigkeitsstrategien identifiziert. Deutlich wird dabei, dass Plattformen nicht nur zu Effizienzsteigerungen, sondern auch zu Suffizienz- und Konsistenzpraktiken beitragen können. Letzteres gilt vor allem für Plattformanwendungen in der Sharing Economy und Circular Economy. Auf der anderen Seite wird jedoch auch deutlich, dass eine umfassende Realisierung dieser Potenziale stark von der tatsächlichen **gesellschaftlichen Einbettung** des Plattformmodells abhängt. Vor allem die kontrovers geführte Debatte um die Kommerzialisierung der Sharing Economy zeigt, dass die Mainstreamwerdung von digitalen Plattformen – und die damit verbundene Möglichkeit einer umfassenden Mehrwertgenerierung – auch zu einer Abkehr von anfänglich postulierten Nachhaltigkeitszielen führen kann.

Auf Ebene der Plattformökonomie *an sich* können somit nur begrenzt **verallgemeinernde Schlüsse** über den transformativen Beitrag des Plattformmodells zum Übergang in eine Green Economy gezogen werden. Vielmehr müssen sowohl die Umweltpotenziale digitaler Plattformen wie auch die **politischen Rahmenbedingungen**, die eine Hebung dieser Potenziale erleichtern, entweder typenspezifisch (im Hinblick auf Innovationsplattformen oder Transaktionsplattformen) *oder* branchenspezifisch (bspw. im Hinblick auf die Mobilitätsbranche oder das verarbeitendes Gewerbe) erfasst werden. Um diesem Detaillierungsgrad gerecht zu werden, wird im folgenden Kapitel im Kontext zweier spezifischer Case Studies – B2B-Industrie- und Informationsplattformen auf der einen und eCommerce-Plattformen auf der anderen Seite – eine vertiefende Perspektive eingenommen.

7.5 Vertiefende Untersuchung von Fallstudien

Die vorliegende Teilstudie verfolgt sowohl das Ziel, einen breit angelegten Überblick über Umweltpotenziale im Feld der Plattformökonomie zu geben, wie auch an ausgewählter Stelle – in Bezug auf Plattformen mit besonders vielversprechenden Potenzialen – in die Tiefe zu gehen (vorliegender Abschnitt 7.5). Auf Basis der in Abschnitt 7.2 entwickelten integrierten Typologie

– im Rahmen derer auf übergeordneter Ebene zwischen Transaktions-, Innovations- und integrierten Plattformen differenziert wurde – sowie der in den Abschnitten 7.3 und 7.4 identifizierten Potenziale – die sich je nach Plattformtyp stark unterscheiden – liegt es nahe, für die vertiefende Untersuchung sowohl eine Transaktionsplattform wie auch eine Innovationsplattform auszuwählen. Ein Fokus auf zwei sehr unterschiedliche Plattformtypen erlaubt es, die mit dem Plattformmodell assoziierten Umweltpotenziale in der Breite zu erfassen. Innerhalb dieser beiden übergeordneten Typen wiederum wird im Sinne der oben unter Typ II gefassten zweiten Differenzierungsebene auf die folgenden beiden spezifischen Ausprägungen fokussiert:

- **B2B-Industrieplattformen & B2B-Informationsplattformen:** In industriellen Produktionsprozessen nimmt die Relevanz von Plattformen zu. Insbesondere im Hinblick auf Kostensenkungen, der Reduzierung von Ausfallzeiten oder der individualisierten Massenfertigung von Gütern erhoffen sich Unternehmen durch die Anwendung von Plattformen Vorteile. 2018 nutzten bereits 30 Prozent aller deutschen Industriebetriebe Plattformen, weitere 15 Prozent planen, bis 2021 mit Aktivitäten zu beginnen (BMWi 2019a). Ob eine ‚Plattformisierung' industrieller Produktionsprozesse aus ökologischer Perspektive aber überhaupt wünschenswert ist, wird bisher nur am Rande thematisiert. Zwar verweisen Befürworter:innen häufig auf Potenziale für eine Reduzierung der Energiekosten industrieller Produktionsprozesse (Srnicek 2018) – belastbare Daten dazu gibt es jedoch wenige, wie Abschnitt 4 gezeigt hat. Ebenso gibt es noch keine Betrachtung darüber, wie die Dynamiken solcher Plattformen in einer Weise politisch gestaltet werden können, so dass sie nicht nur einen volkswirtschaftlichen Beitrag zum Standort Deutschland leisten, sondern auch zu einer Transformation in Richtung einer Green Economy beitragen. B2B-Industrieplattformen konstituieren in Hinblick auf diese umweltpolitische Relevanz somit einen besonders vielversprechenden Fall. Da die Literatur- und Datenlage zu B2B-Industrieplattformen jedoch (noch) nicht mit dem Stand der Diskussion im B2C-Bereich vergleichbar ist, werden im Rahmen der Fallstudie sowohl B2B-Industrieplattformen sowie B2B-Informationsplattformen vorgestellt und danach gefragt, welche Rolle diese Plattformtypen für die Umweltinformationsbedarfe von Unternehmen spielen (können). Als konkretes Fallbeispiel wird auf BMW fokussiert, da das Unternehmen Klimaneutralität bis zum Jahr 2050 anstrebt und damit insbesondere das Informationsproblem über die Treibhausgasinformationen entlang der Lieferkette lösen muss.
- **B2C-Onlinehandel-Plattformen**: Neben Streaming und den sozialen Medien stellt eCommerce/der Onlinehandel einen der bisher am stärksten durch das Plattformmodell durchdrungenen Sektor dar. Vor allem in der Corona-Pandemie hat der Sektor nochmal deutlich an Relevanz gewonnen. Dabei sind Onlinehandel-Plattformen mit einer Vielzahl an negativen Umwelteffekten assoziiert sind, bspw. in Bezug auf den algorithmisch induzierten Mehrkonsum oder den durch die mit den zugenommenen Retouren zusammenhängenden Verpackungsmüll. Aufgrund der empirischen und umweltpolitischen Relevanz des Sektors stellt dieser Plattformtyp somit eine besonders vielversprechende Case Study für die Identifikation von Umweltpotenzialen und politischen Handlungsmöglichkeiten dar.

7.5.1 B2B-Plattformen und B2C-Plattformen im Vergleich

Bevor jedoch mit den beiden oben skizzierten Fallstudien in die Tiefe gegangen wird, zielt dieser Abschnitt in einem ersten Schritt darauf ab, auf Basis der bisherigen Untersuchungen die zentralen Unterschiede von Plattformen im B2B-Bereich und im B2C-Bereich herauszuarbeiten. Dies ist vor allem deshalb notwendig, weil sich die Dynamiken in beiden Bereichen doch noch sehr stark unterscheiden. Denn während digitale Plattformen im B2C-Bereich bereits eine

entscheidende Rolle spielen und dort die Geschäfts- und Kommunikationsbeziehungen zwischen Konsument:innen und Unternehmen maßgeblich prägen, hat der Einsatz digitaler (IoT-) Plattformen im B2B-Bereich noch keine solche zentrale Bedeutung erlangen können. Insgesamt ist aber auch im B2B-Bereich ein deutlicher Trend zur stärkeren Nutzung von digitalen Plattformen zu beobachten, da dies Potenziale für Effizienzsteigerungen und eine Senkung der Transaktionskosten verspricht (BMWi 2019a).

In ihrer Funktionsweise ähneln insbesondere B2B-Transaktionsplattformen solchen im B2C-Bereich, geht es doch auch hier primär um die Intermediation zwischen unterschiedlichen Nutzungsgruppen. Sie können also als eine Art Weiterentwicklung angesehen werden, die jedoch teils deutlich kleinteiligere Anwendungslösungen für spezifische Branchen bereitstellen. Diese digitalen Marktplätze vereinfachen auch im B2B-Bereich Prozesse, etwa, indem sie die Beschaffung von Materialien im Einkauf und den Vertrieb von Endprodukten erleichtern oder indem sie die Transparenz im Supply Chain Management erhöhen.

Innovationsorientierte B2B-Plattformen auf der anderen Seite verfolgen langfristig das Ziel, auch im verarbeitenden Gewerbe Daten als eine zentrale ökonomische Größe zu etablieren, auf deren Basis nicht nur tiefgreifende Prozessoptimierungen stattfinden, sondern auch gänzlich neue Geschäftsfelder erschlossen werden können. Sie versuchen also, den Gedanken der datenbasierten Wertschöpfung, der bei großen B2C-Plattformbetreibern im Mittelpunkt steht, auch in der Industrie zu verankern. In ihrer Funktionsweise können sie dabei als digitale Ökosysteme beschrieben werden, die auf Basis einer Auswertung von großen Datenmengen aus verschiedenen Informationsquellen die intelligente Vernetzung von Maschinen, Anlagen und Prozessen ermöglichen.

Im Vergleich zum B2C-Bereich, bei dem große, meist amerikanische bzw. asiatische Unternehmen wie Google, Amazon, Alibaba oder Tencent eine dominante Marktposition erlangt haben, ist der Wettbewerb im IoT-B2B-Bereich zwischen Anbieter:innen digitaler Plattformlösungen immens, auch weil sich dieser Bereich noch in den Anfängen der Entwicklung befindet (Falck und Koenen 2020). Insgesamt ist der B2B-Markt gegenwärtig deutlich fragmentierter und diverser. Die Gründe hierfür sind vielschichtig, es lassen sich jedoch einige grundlegende Tendenzen erkennen, die eine stärkere Marktfragmentierung und höheren Wettbewerb im Vergleich zum B2C-Bereich erklären können.

Zum einen scheint sich die Komplexität und Heterogenität von teils hoch spezialisierten und diversifizierten Branchen und Wirtschaftszweigen auch in der starken Marktfragmentierung bei B2B-Plattformen widerzuspiegeln. Winner-Takes-It-All-Ansätze, die durch Standardisierung große Skalierungspotenziale entwickeln können, sind im B2B-Bereich weniger vorzufinden (Haucap, Kehder, und Loebert 2020; Hoffmann 2020). Statt der Entwicklung solcher standardisierter Lösungen müssen Plattformbetreiber:innen deutlich mehr auf die spezifischen Bedürfnisse der einzelnen Kund:innen eingehen. Konkret bedeutet dies, dass B2B-Plattformen oft als Anwendungslösungen für teils sehr spezifische Problemstellungen in bestimmten Branchen entwickelt werden, was eine branchenübergreifende Anwendung und damit Skalierungspotenziale hemmt sowie gleichzeitig den Wettbewerb zwischen spezialisierten B2B-Plattformen steigern kann (Falck und Koenen 2020).

Zum anderen bedeutet die Anpassung an spezifische Branchen- oder Unternehmensbedürfnisse vonseiten der Plattformentwickler auch, dass für den erfolgreichen Vertrieb der Plattformlösungen Branchenkenntnisse und -verbindungen notwendig sind. Die Voraussetzung branchenspezifischer Kenntnisse für den erfolgreichen Aufbau von B2B-Plattformen lassen insbesondere für führende deutsche Unternehmen aus Industrie, Maschinenbau und produzierendem Gewerbe vermuten, dass durchaus Potenzial besteht, diese Entwicklung einer

B2B-Plattformökonomie aktiv mitzugestalten. Dies zeigt auch die in Deutschland unter dem Titel ‚Industrie 4.0' geführte Debatte über eine stärkere Digitalisierung der Industrie, bei der die plattformbasierte Auswertung von Daten zur Prozessoptimierung eine zentrale Rolle einnimmt.

Branchenkenntnisse und Verbindungen innerhalb spezifischer Branchen sind für B2B-Plattformbetreiber oft auch unabdinglich, da Vertrauen im B2B-Bereich eine zentrale Voraussetzung darstellt, um Unternehmen überhaupt als Plattformnutzer zu gewinnen (Hoffmann 2020; Haucap, Kehder, und Loebert 2020). Wie bereits angedeutet, besteht durchaus eine gewisse Zurückhaltung, auf den digitalen bzw. produktionsorientierten Plattformen aktiv zu werden. Dabei wird insbesondere auf die Datenschutzbedenken, die potenzielle Offenlegung des eigenen Geschäftsmodells gegenüber Wettbewerbern, aber auch die Unsicherheit, inwieweit ein Wechsel der Plattform mit erheblichen Transaktionskosten verbunden ist, rekurriert. Nur wenn diese Hemmnisse vonseiten der Plattformbetreiber durch einen Vertrauensaufbau und klare vertragliche Regelungen abgebaut werden, können Betreiber:innen ihre Plattform erfolgreich etablieren.

In der Summe wird deutlich, dass im B2B-Bereich gegenwärtig geringere positive Netzwerk- und Skaleneffekte im Vergleich zu den B2C-Plattformen erreicht werden. Im Gegensatz zum B2C-Bereich, in dem die Bedürfnisse von Plattformnutzer:innen weitgehend ähnlich sind, müssen Plattformbetreiber:innen im B2B-Bereich auf teils sehr diverse Bedürfnisse von Unternehmen als potenzielle Plattformnutzer:innen eingehen. Um sich erfolgreich als B2B-Plattform zu etablieren, sind dementsprechend Branchenkenntnisse nötig. Zudem muss das Vertrauen der potenziellen Plattformnutzer:innen gewonnen werden, um bestehende Bedenken bei Unternehmen abzubauen und diese als Kund:innen zu gewinnen (ebd.). In der Folge stellen wir nun konkrete Plattformtypen aus beiden Bereichen – B2B und B2C – genauer vor und fragen uns, welche Rolle diese für den Transformationsprozess in Richtung Green Economy spielen (können).

7.5.2 B2B-Industrieplattformen und B2B-(Umwelt)-Informationsplattformen

Abschnitt 7.5.2 befasst sich mit B2B-Plattformen und legt dabei einen besonderen Fokus auf Industrieplattformen und (Umwelt-) Informationsplattformen. Im Gegensatz zu der hohen Sichtbarkeit aber auch wirtschaftlichen Relevanz der B2C-Plattformen, mit der Dominanz der US-amerikanischen und chinesischen Unternehmen, haben Plattformen im B2B-Bereich gegenwärtig noch nicht die ökonomische Relevanz (bspw. gemessen an den generierten Umsätzen), ebenso sind auf diesem Markt noch keine marktdominierenden Akteure existent.[117] Gleichwohl spielen auch im B2B-Bereich Plattformen eine zunehmend wichtigere Rolle.

Auf Grund der ökonomischen Relevanz der Industrie in Deutschland wird sowohl von der Wirtschaftspolitik, den Verbänden und den Unternehmen die Entwicklung der B2B-Plattformen als elementar angesehen, um die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie zu erhalten bzw. gar zu stärken. Dies gilt auch vor dem Hintergrund der Dynamiken der Digitalisierung, die bestehende Geschäftsmodelle zunehmend in Frage stellt und dem Leitbild Industrie 4.0, also der vernetzten Produktion.

Neben den B2B-Industrieplattformen stehen in diesem Kapitel (Umwelt-) Informationsplattformen im Fokus. Diese zielen darauf ab, dass Informationen zu Umwelt und Menschenrechten entlang der Lieferketten transparenter gemacht werden, um damit verpflichtenden bzw. auch freiwilligen Berichterstattungen zu genügen. Die Verbindung der

[117] Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass wesentliche Infrastrukturen der IoT-Plattformen, also insbes. die Cloud, von den großen amerikanischen Tech-Konzernen dominiert werden, die neben der Hardware zugleich weitere Softwarelösungen einschl. Tools der KI und damit der Datenanalytik einbringen.

beiden Plattformtypen begründet sich dadurch, dass für die Berichterstattung über Umwelt (bspw. Klimaneutralität) und Menschenrechte letztlich beide Plattformtypen erforderlich sind bzw. sich ergänzen.

7.5.2.1 Differenzierung von B2B-Plattformtypen

In der Folge wird einerseits eine Typisierung der hier betrachteten Plattformtypen vorgenommen, also insbesondere IIoT-Plattformen und (Umwelt-)Informationsplattformen. Die Bandbreite und Anwendungsfelder dieser Plattformtypen erweisen sich als sehr breit und, wie bereits dargelegt, befinden sie sich z. T. in einem mehr oder weniger dynamischen Entwicklungsprozess. Das Feld der B2B-Plattformen ist aus den genannten Gründen wenig übersichtlich und gegenwärtig höchst ausdifferenziert[118], sodass sich für die Teilstudie dazu entschlossen wurde, neben einer abstrakten Darstellung der Plattformtypen insbes. anhand des Fallbeispiels BMW die Informationsbeiträge beider Plattformtypen mit Blick auf die Informationsbedarfe für das strategische Ziel der Klimaneutralität auszuloten.

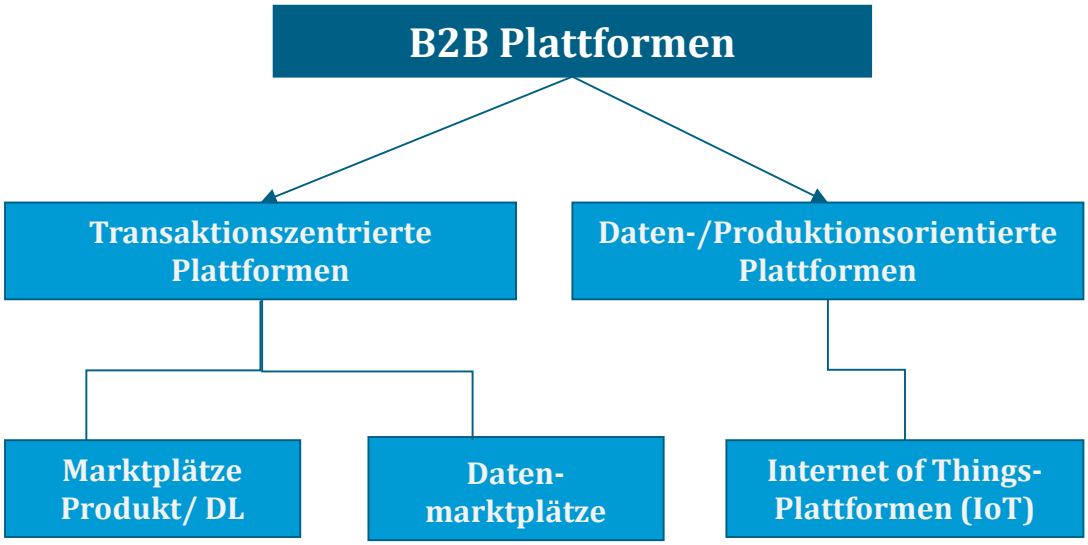
Auch im Bereich von B2B ist die Nutzung des Begriffs der Plattform eher schillernd und wird vielfältig interpretiert bzw. definiert (BMWi 2020). Auf einer sehr allgemeinen Ebene besteht Übereinstimmung: Als Business-to-Business werden solche Geschäfts- bzw. Austauschbeziehungen bezeichnet, die zwischen zwei oder mehr Unternehmen stattfinden (Falck und Koenen 2020; Haucap, Kehder, und Loebert 2020). Zugleich werden allerdings durchaus diverse Taxonomien auch entlang unterschiedlicher Fragestellungen entwickelt (Obermaier und Mosch 2019). Zudem wird in einigen Studien auf die zeitliche Entwicklungsdimension eingegangen, in dem bspw. davon ausgegangen wird, dass die Entwicklung hin zu integrierten Plattformen voranschreiten wird und mithin auch die typisierte Differenzierung von Transaktionsplattformen und digitalen Plattformen überwunden werden wird (ebd.).

Unter dem Begriff der digitalen Plattformen werden häufig auch die sogenannten IIoT-Anwendungen subsummiert, mit denen, vereinfacht ausdrückt, eine Art Paradigmenwechsel der Produktion im Kontext von Industrie 4.0 einhergeht, nämlich dem Wandel von der Produktlogik hin zur Plattformlogik der Produktion (Accenture 2016; BMWi 2019a), die vielfach auch mit der Veränderung des Wertschöpfungsmodells verbunden sein kann. Allerdings ist auch anzumerken, dass sowohl der potenzielle Wandel hin zu integrierten Plattformen als auch der IIoT-Plattformen überwiegend erst am Anfang der Entwicklung stehen.

B2B-Plattformen werden in Anlehnung an die in Abschnitt 2 entwickelte Typologie in der Literatur vielfach in Bezug auf zwei Typen weiter ausdifferenziert: Transaktionszentrierte Plattformen und Daten-/Produktionsorientierte Plattformen. Transaktionszentrierte Plattformen sind digitale Marktplätze, auf denen Produkte oder Dienstleistungen zwischen Unternehmen gehandelt werden können. Diese B2B-Transaktionsplattformen fungieren somit als Intermediäre, die Transaktionen zwischen zwei oder mehr Akteuren ermöglichen. Digitale daten- bzw. produktionsorientierte Plattformen wiederum zielen als Innovationsplattformen primär auf die Erfassung und Auswertung von Daten zur datenbasierten Vernetzung von Prozessen, Systemen und Maschinen ab (vgl. Abbildung 46).

[118] https://www.plattform-radar.de/#/.

Abbildung 46: Systematische Betrachtung von B2B-Plattformen



Quelle: eigene Darstellung, IÖW

Im Folgenden sollen diese beiden übergeordneten Plattformtypen erläutert und Herausforderungen der Differenzierung und Abgrenzung in der Praxis aufgezeigt werden.

B2B-Transaktionsplattformen

B2B-Transaktionsplattformen ähneln in ihrer Funktionsweise dem im B2C-Bereich dominanten Plattformtyp des Intermediärs, bei dem die Plattform ein Matching zwischen (mindestens) zwei Akteursgruppen ermöglicht (Wortmann u. a. 2020). B2B-Transaktionsplattformen können dabei also vor allem als digitale Markplätze verstanden werden, die, ähnlich wie beispielsweise Amazon als B2C-Plattform, den Handel von Produkten und Dienstleistungen zwischen Unternehmen erleichtern. In ihrer Eigenschaft als Vermittler reduzieren B2B-Transaktionsplattformen die Transaktionskosten und erhöhen die (Markt-)Transparenz zwischen den Akteuren, indem sie Nachfrage und Angebot effizient zusammenbringen.

Um die Transparenz- und Effizienzpotenziale ausschöpfen zu können, erfordert die Nutzung von B2B-Transaktionsplattformen strukturelle Veränderungen auch in den internen Geschäftsprozessen. So müssen unternehmensinterne Prozesse umstrukturiert werden, etwa indem bestehende Grenzen zwischen Abteilungen abgebaut und übergreifende Prozesse entwickelt werden.

Trotz der ähnlichen Funktionsweise zeigt sich bei B2B-Transaktionsplattformen im Vergleich zu solchen im B2C-Bereich, dass aufgrund der komplexeren Rahmenbedingungen großskalige "One-Size-Fits-All" Plattformlösungen bisher keine zentrale Rolle spielen (Haucap, Kehder, und Loebert 2020; Falck und Koenen 2020). Mithin sind die Netzwerk- und Skaleneffekte gegenwärtig weniger ausgeprägt. Dies gilt insbesondere für solche Plattformen, über die keine generischen Produkte oder Dienstleistungen ausgetauscht werden, sondern spezifische Produkte oder Dienstleistungen für bestimmte Branchen, bei denen die Transaktionskosten hoch sind, bspw. auf Grund hochspezifischer Qualitätsanforderungen. In diesen Bereichen ist, auf Grund unvollständiger Verträge, Vertrauenskapital erforderlich (BMWi 2019a; Hoffmann 2020). So müssen Plattformbetreiber vielfach in Vorleistung gehen und die Plattform auf branchenspezifische Bedarfe zuschneiden, was die Etablierung branchenübergreifender Plattformlösungen erschwert (und wie beschrieben die Netzwerk- und Skaleneffekte mindert). Neben klassischen Marktplätzen für den Handel von Waren und Rohstoffen zwischen Unternehmen existieren beispielsweise auch transaktionsbasierte Logistikplattformen, die sich

auf die effizientere Vernetzung von Unternehmen im Supply Chain Management spezialisiert haben.

Daten- bzw. produktionsorientierte B2B-Plattformen

Datenbasierte oder produktionsorientierte Plattformen, zu denen vorrangig die IIoT-Plattformen gezählt werden können, spielen insbesondere im B2B-Bereich eine zunehmend wichtigere Rolle. Die zentrale Eigenschaft dieser Plattformen besteht dabei in der datenbasierten Vernetzung, also dem Erfassen und Auswerten großer Datenmengen aus ‚smarten' Maschinen und anderen Informationsquellen zur Vernetzung ebendieser Maschinen, Anlagen und der gesamten Wertschöpfungskette sowie zur Entwicklung neuer datenbasierter Geschäftsmodelle. Dabei erfolgt die Auswertung auf Basis von künstlicher Intelligenz und Machine-Learning-Prozessen; die zunehmende Datenverfügbarkeit kann in der Folge zu einer Qualitätssteigerung der Datenanalyse führen. Die Nutzung von Big Data und KI ist damit konstitutiv für die Plattformen.

Datenbasierte digitale Plattformen ermöglichen auch die Erschließung vielfältiger Prozessoptimierungspotenziale, sowohl unternehmensintern als auch mit Blick auf die Interaktionen zwischen unterschiedlichen Unternehmen. Letztere werden erleichtert durch die Digitalisierung der vielfach unternehmensübergreifenden Prozesse, der damit möglichen Auswertung und Nutzung der generierten Daten und darauf basierend auch der Entwicklung (übergreifender) neuer Geschäftsmodelle. Abhängig von den jeweils verfolgten Modellen und den jeweiligen vertraglichen Regelungen zur Nutzung der Daten kann die Transparenz entlang der Wertschöpfungskette bzw. dem Produktionsökosystem deutlich erhöht werden, gerade auch mit Blick auf umweltrelevante Prozesse.

Im Vergleich zu B2B-Transaktionsplattformen, bei denen Daten quasi allein durch die Nutzung der Plattform durch verschiedene Akteure entstehen, besteht bei daten- bzw. produktionsorientierten Plattformen ein anfänglicher Investitionsaufwand, um Daten zu generieren und so aufzubereiten und zu standardisieren, dass durch die Auswertung auf der Plattform ein Mehrwert generiert werden kann. Konkret bedeutet dies, dass, insbesondere im verarbeitenden Gewerbe, „smarte" Maschinen und Anlagen vorhanden sein müssen, um über Schnittstellen an die Plattformen angebunden werden zu können.

Daten- bzw. produktionsorientierte Plattformen werden dabei im Kontext von Industrie 4.0 als IIoT-Plattformen bezeichnet, da sie es ermöglichen, Maschinen, Anlagen und Systeme (also Dinge) innerhalb eines digitalen Ökosystems intelligent miteinander zu vernetzen. Damit werden Optimierungen bzw. Effizienzerschließungen entlang der Wertschöpfungskette oder dem Produktionsökosystem ermöglicht. Auf Grundlage der Datenauswertung können also (unternehmensübergreifend) spezifische Anwendungslösungen bzw. auch Geschäftsmodelle, wie die vorausschauende Wartung von Maschinen (predictive maintenance) oder eine effizientere Auslastung von Maschinen entwickelt werden. Während diese Anwendungen teilweise von Plattformanbietern selbst entwickelt werden, besteht bei offenen datenbasierten Plattformen, wie etwa Mindsphere von Siemens, die Möglichkeit für Softwareentwickler, spezielle Softwareanwendungen auf Basis der Plattform zu entwickeln und über einen App Store, ähnlich wie dem Google Play Store oder dem Apple App Store im B2C-Bereich, an Endkunden, im Falle von B2B-Unternehmen, zu vertreiben.

Vor dem Hintergrund ambitionierter Dekarbonisierungsvorhaben verschiedener Konzerne, stellt sich die Frage, welchen Beitrag Innovations- und Transaktionsplattformen leisten können, um die erforderlichen Umweltinformationen zu sammeln und bereit zu stellen. Letztlich kommt es auf die Transparenzschaffung der unterschiedlichen Informationen zu Wasser-, Strom- und Energieverbrauch sowie CO_2-Ausstoß an, um eine geplante Klimaneutralität auch wirklich

beweisen zu können. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt gibt es keine gesetzlichen Regelungen, die von Unternehmen eine Bereitstellung der Informationen rechtlich einfordert. Die Vorhaben vieler großer Unternehmen bis spätestens 2040, in Einklang mit dem Pariser Klimaabkommen, CO_2-neutral zu wirtschaften, muss dahingehend jedoch nachvollziehbar sein. Ohne konkrete Daten, welche eine Kohlenstoffneutralität belegen, sind diese ambitionierten Ziele nicht mehr als schöne Versprechungen. Nicht grundlos werden viele Unternehmen des „Greenwashings" bezichtigt, da nur mangelhaft Informationen zur Einhaltung von Umweltstandards von Seiten der Unternehmen, insbesondere entlang der gesamten Lieferkette, veröffentlicht werden.

Prinzipiell eignen sich B2B-Plattformen durch die Vernetzung verschiedener Produktionsanlagen, auch über Unternehmensgrenzen hinweg, für die Bereitstellung und Speicherung umweltrelevanter Informationen. Daten zu Wasser-, Strom- und Energieverbrauch sowie CO_2-Ausstoß werden über die B2B-Plattformen gespeichert, sofern sie denn zum Einsatz kommen. Die Verfügbarkeit dieser Informationen ist aus Sicht einer Entwicklung hin zu einer Green Economy also wünschenswert; die Frage, wer Zugang zu diesen Informationen bekommt und inwiefern Unternehmen zu deren Ausweisung verpflichtet werden, ist noch weitestgehend ungeklärt.

7.5.2.2 B2B-Industrieplattformen: Fallbeispiel BMW

Am Beispiel des Automobilkonzerns BMW lassen sich die Dynamiken rund um die Berichterstattung und Offenlegung umweltrelevanter Daten verdeutlichen, die auch in anderen Bereichen absehbar sind. Somit stellt das Fallbeispiel BMW ein Szenario für mögliche Entwicklungen hinsichtlich B2B-Plattformen und deren Potenziale und Risiken für die Transparenzschaffung von Umweltinformationen dar. Auf verschiedenen Ebenen verfolgt der deutsche Automobilhersteller Digitalisierungsschritte und umfassende Nachhaltigkeitsverpflichtungen, die teilweise durch digitale Plattformen vorangetrieben werden sollen.

Der Konzern ist beispielsweise in dem Prozess, seine **IIoT-Plattform** weiter auszubauen und noch stärker an den Produktionsstandorten einzusetzen (Microsoft News Center 2020). Darüber hinaus ist eine **Datenplattform** geplant, welche die Kooperation in der Automobilindustrie verbessern und Informationen transparenter, auch über Betriebsgrenzen hinweg, bereitstellen soll. Außerdem verfolgt BMW eine umfangreiche **Nachhaltigkeitsstrategie.** Der Konzern plant, bis 2040 klimaneutral zu werden und hat Schritte eingeleitet, um die Zurückverfolgbarkeit der gesamten Lieferkette transparenter werden zu lassen. Ökologische und soziale Nachhaltigkeit entlang der gesamten Wertschöpfung sowie die Schonung von Ressourcen sind ein fester Bestandteil von BMWs Unternehmensstrategie (BMW Group 2019).

Für die eigenen Produktionsprozesse baut BMW die sogenannte „**Open Manufacturing Plattform (OMP)**" auf, welche auf der Microsoft Azure Industrial-IoT-Cloud-Plattform basiert. Die OMP kann somit dem Typus der datenbasierten oder produktionsorientierten Plattform zugeschrieben werden (Schreier 2019). Die zentrale Eigenschaft dieser Plattform liegt in der datenbasierten Vernetzung, also der Erfassung und dem Auswerten großer Datenmengen aus Maschinen. BMW ist der Initiator der OMP, der US-amerikanische Technologiekonzern Microsoft stellt die Cloud-Infrastruktur. Mittlerweile sind auch andere multinationale Unternehmen, wie Bosch, Teil des Steering Committee. Weiteren Mitgliedern, die sich an der Plattform beteiligen wollen, wird eine Referenzarchitektur bereitgestellt, die Open-Source-Komponenten sowie ein offenes Datenmodell für einen verbesserten Datenaustausch aufweisen (Schreier 2019).

Industriellen Herstellern wird durch die Plattform ermöglicht, Datensilos aufzubrechen und proprietäre IT-Systeme, welche die Produktionsoptimierung bremsen, zu überwinden. Der Community-Ansatz ermöglicht unterschiedliche Priorisierungen verschiedener Anforderungen,

darüber hinaus können die Partner:innen die Plattform mitgestalten. Die IIoT-Plattform liefert Daten von Anlagen, Werkrobotern und autonomen Transportsystemen. Somit wird nicht nur eine generell effizientere Nutzung der Produktionsanlagen erzielt, sondern es wird auch die Koordination der Transportwege vereinfacht und eine Effizienzsteigerung in der Logistik erreicht.

GAIA-X: Catena-X Automotive Network und „Mobility Data Space“

BMW ist darüber hinaus auch am „Catena-X Automotive Network (Catena-X)“ und der Entwicklung eines „Mobility Data Space“ beteiligt. Catena-X, zielt auf einen unternehmensübergreifenden Datenaustausch in der gesamten Automobilbranche ab. Anders als bei der IIoT-Plattform geht es bei diesem plattformbasierten Zusammenschluss dezidiert auch um Umweltinformationen. Bei Catena-X handelt es sich um ein erweiterbares Ökosystem, an dem sich verschiedene Automobilhersteller, -zulieferer, Händlerverbände und Ausrüster beteiligen können (BMWi 2019b). Die Teilnehmenden der automobilen Wertschöpfungskette sollen über einen durchgängigen Datenaustausch miteinander verbunden werden. Standardisierte Daten und Informationen sollen über die gesamte Wertschöpfungskette der Automobilindustrie gesammelt werden, alle Teilnehmenden sollen von den gewonnenen Erkenntnissen der Datenanalyse profitieren. Catena-X basiert dabei auf den Standards der International Data Space Association (IDSA) und auf GAIA-X, der Dateninfrastruktur der Europäischen Union. Die Anwendungsfelder dieser Initiative sind weitläufig.

Nach eigenen Angaben sind Anwendungsfelder geplant, die auch Umweltaspekte berücksichtigen sollen. Umweltseitig steht dabei die Rückverfolgbarkeit von Hardware und Software-Komponenten, der Nachweis des CO_2-Fußabdrucks und die Kreislaufwirtschaft sowie die daraus resultierende Minimierung der CO_2-Belastung im Vordergrund (Catena-X 2021). Die CO_2-Performance soll so transparenter werden und eine konkrete CO_2-Berechnung von der Rohstoffgewinnung bis zum fertigen Produkt gewährleisten. Diese Aussage ist nicht trivial, handelt es sich bei der Lieferkette der Automobilindustrie doch um hochkomplexe Zulieferernetzwerke. Nach eigenen Angaben hat BMW in Tier 2, d. h. den Komponentenzulieferern, bereits über 60.000 Lieferanten. Will der Konzern also die Rohstoffgewinnung bis zum fertigen Produkt transparent machen, handelt es sich nicht nur um die Berechnung der CO_2-Bilanz von Rohstoffen, sondern auch von Fußmatten, Batterien und Radios. BMW und andere Automobilhersteller stehen unter einem großen gesellschaftlichen und politischen Druck, Nachhaltigkeitszielen gerecht zu werden und sie auch einzuhalten. Der Zeitplan der Allianz sieht eine Skalierung in Deutschland ab 2022 vor; ein halbes Jahr später soll dann auch europaweit mit Catena-X gearbeitet werden können (BMWi 2019b).

Zudem wird mit dem „Mobility Data Space“, ebenfalls auf der Basis von GAIA-X, aktuell im Bereich der Automobilindustrie, bzw. der Mobilitätsbranche eine Datenplattform entwickelt, in welcher der Datenaustausch zu Mobilitätsdaten erfolgen kann und neue digitale Wertschöpfungspotenziale erschlossen werden können. Intensiv diskutiert wird die Frage der Datenhoheit über die Daten, die von den Automobilherstellern erhoben werden. Die aktuelle Diskussion geht um die Frage, wer den Zugang zu diesen Daten zu welchen Bedingungen erhält. Der Verband der Automobilhersteller (VDA) zielt mit der Adaxo-Datenplattform (automotive data access, extended and open) (Damasky, Krähling, und Göthel 2021) auf die Entwicklung einer brancheneigenen Datenplattform ab, in die alle relevanten Daten aus den im Betrieb befindlichen Fahrzeugen fließen. Die Generierung neuer datengetriebener Geschäftsmodelle würde bei der Durchsetzung dieses Modells damit von der Automobilindustrie kontrolliert, so dieser Ansatz rechtlich nicht beanstandet wird.

Beide genannten Ansätze befinden sich allerdings erst im Aufbau, sodass noch wenig über Praxiserfahrungen und Regulierungsbedarfe bekannt ist.

7.5.2.3 B2B-(Umwelt)Informationsplattformen

Im Zentrum dieser Überlegungen steht die Frage nach der Rolle von Informationsplattformen als Mittel für die Offenlegung und Sammlung umweltrelevanter Daten und Informationen. Wie in Abschnitt 7.5.1 erläutert, kann in der zeitlichen Entwicklungsdimension von B2B-Plattformen davon ausgegangen werden, dass sie sich zunehmend hin zu integrierten Plattformen entwickeln, was eine typisierte Differenzierung der Transaktions- beziehungsweise digitalen Plattform redundant macht. Insofern können Informationsplattformen als ein Teil von später integrierten Plattformökosystemen aufgefasst werden. Wichtig festzuhalten ist außerdem, dass es sich bei B2B-Plattformen generell um ein erst am Anfang der Entwicklung stehendes Phänomen handelt, sodass der potenzielle Wandel hin zu Mischformen von Plattformen lediglich zu erahnen ist.

Die gegenwärtigen Plattformen im B2B-Kontext sind auf jeweils bestimmte Bedarfe orientiert, es gibt eine große Bandbreite von Anbietern mit einem heterogenen Leistungsportfolio. Beispielsweise die Plattform „**Wer liefert was**“ wurde zwar ursprünglich als unabhängiges und branchenübergreifendes Nachschlagewerk für gewerbliche Einkäufer gegründet, fungiert nun aber als Intermediär in der Vermittlung von Produkten und Dienstleistungen im B2B-Segment. Im Fokus dieser Plattform stehen zurzeit noch keine Umweltfragen entlang der Lieferkette, die digitale Infrastruktur würde die Einbeziehung von Umweltinformationen jedoch erlauben (WLW 2021).

Ähnliches gilt sicherlich auch für Logistikplattformen, wie die des US-amerikanischen Logistikkonzerns FedEx. Zusammen mit Microsoft hat das Logistikunternehmen eine eigene Plattform mit dem Namen „**FedEx Surround**“ aufgebaut, die es jedem Unternehmen ermöglicht, die Transparenz der eigenen Lieferkette zu verbessern, indem Daten ausgewertet und Analysen zur Sendungsverfolgung bereitgestellt werden. Datenpunkte können durch die proprietäre IoT-Technologie entlang der Lieferkette erfasst werden, somit erhalten die teilnehmenden Unternehmen sowohl einen Überblick über den Standort eines Pakets als auch Kenntnisse über die globalen Handelsbedingungen (FedEx 2020). Auch diese Plattform ist eher darauf ausgelegt zu einer Effizienzsteigerung und Planungssicherheit beizutragen, umweltrelevante Aspekte spielen auch hier gegenwärtig eine untergeordnete Rolle. Durch die Vernetzung über ein IoT-System und die Bereitstellung von Echtzeitdaten für die Unternehmen sollten sie jedoch in der Lage sein, Umweltdaten aus den Transportketten zu erfassen und zur Verfügung zu stellen. Dies wird derzeit noch nicht angeboten, wäre jedoch denkbar.

Wieder andere Plattformen zielen auf die Bewertung von Lieferketten und deren Risiken ab, hier gibt es eine Reihe verschiedener Anbieter:innen mit ähnlichen Dienstleistungen. Zu großen Bewertungsplattformen gehören „Sedex“, „Sustainalytics“ und der Marktführer im ESG-Rating „EcoVadis“. Im Gegensatz zu den Logistikplattformen oder Vermittlungsplattformen sind die **ESG-Bewertungsplattformen** bereits darauf ausgelegt, die Lieferant:innen entlang der Lieferkette nach umweltspezifischen Kriterien zu bewerten. Dabei stellen die Betreiber:innen nicht die Produkte in den Fokus der Bewertung. Sie werben stattdessen damit, die Lieferkette transparenter zu machen; Lieferant:innen der gesamten Wertschöpfungskette sollen untersucht und nach Risikokriterien eingestuft werden. „EcoVadis“ wird in dieser Teilstudie im Folgenden näher vorgestellt.[119]

[119] Wichtige Plattformen, die sich im Sinne einer Informationsplattform als geeignet erweisen, sind außerdem Mineralienplattformen und Klimadatenplattformen. Die sogenannte „Responsible Minerals Initiative (RMI)“ ist darauf ausgelegt, die sozialen und

B2B-(Umwelt-)Informationsplattform: Fallstudie EcoVadis

Der weltweit größte Dienstleister von CSR-Ratings ist das französische Unternehmen „**EcoVadis**“. Über EcoVadis wurden über 50.000 Unternehmen in 150 Ländern und 190 verschiedenen Branchen auf die Nachhaltigkeit ihrer globalen Lieferketten bewertet. EcoVadis ist die erste und größte Kooperationsplattform der Welt für Geschäftspartner:innen zum Austausch von Informationen zur Nachhaltigkeitsleistung. Aufgrund der Größe und Marktposition sollen die Bewertungskriterien des Unternehmens näher erläutert und eingeordnet werden. EcoVadis verfügt über die weltweit größte Datenbank an Nachhaltigkeitsratings von Zulieferern. Firmen nehmen die Dienstleistung des französischen Unternehmens in Anspruch, um ihre globale Lieferantenbasis oder ausgewählte Geschäftspartner:innen zu bewerten und zu überwachen. Zu Global Playern, die EcoVadis beauftragen, gehören unter anderem Henkel, L’Oréal, Johnson & Johnson oder Coca-Cola.

Die Bewertung durch EcoVadis erfolgt nach den vier Kriterien Umwelt, Arbeits- und Menschenrechte, Ethik und Nachhaltige Beschaffung. Im Wesentlichen werden die Nachhaltigkeitsmanagementsysteme überprüft; harte Daten spielen momentan noch eine untergeordnete Rolle. Die Systeme der zu bewertenden Unternehmen werden anhand der drei Dimensionen Politik, Maßnahmen und Ergebnisse ausgewertet. Diese Management-Ebenen werden wiederum in sieben Management-Indikatoren aufgeteilt: Politik, Unterstützung, Maßnahmen, Zertifizierungen, Implementierungsumfang, Berichterstattung und Nachrichtenüberwachung. Die Beurteilung berücksichtigt, wie die CSR-Themen vom Managementsystem erfasst werden (EcoVadis 2018).

EcoVadis orientiert sich dafür an internationalen Standards wie den Global Compact-Prinzipien, den Konventionen der Internationalen Arbeitsorganisation (ILO), der Global Reporting Initiative oder den UN-Leitlinien für Wirtschaft und Menschenrechte. Die in der Bewertung abgedeckten Themen werden im Kontext des jeweiligen Lieferanten, der Branche und Größe sowie geographischen Situation anhand von 21 CSR-Indikatoren bewertet. In den Umweltkriterien werden laut EcoVadis die Managementsysteme für Energieverbrauch & Treibhausgase, Wasser, Biodiversität, lokale Umweltverschmutzung sowie der Einsatz bestimmter Rohstoffe und Chemikalien und die Abfallentsorgung berücksichtigt. Ebenso spielen die Auswirkungen des gesamten Lebenszyklus der hergestellten Produkte in der Bewertung zum Kriterium Umwelt eine Rolle. Zulieferer werden anhand eines Fragebogens dazu aufgefordert, sich zu CSR-relevanten Themen zu äußern. Die Unternehmen müssen dann glaubwürdige und aktuelle Dokumente, wie CSR-Berichte, Policies, Verfahren, Zertifikate und Lehrmaterial bereitstellen (EcoVadis 2018).

Die Analyse der Dokumente erfolgt nach messbaren Elementen des CSR-Managementsystems. Die einzelnen Management-Ebenen werden gewichtet bewertet, Politik hat eine Gewichtung von 25 %, Maßnahmen von 35 % und Berichterstattung von 40 %. Hier wird die abstrakte Herangehensweise von EcoVadis deutlich: so ergibt sich die Gesamtpunktzahl aus dem gewichteten Durchschnitt, die Branche des Zulieferers und sein geographischer Standort fließen ebenfalls in die Gewichtung ein. Das Ergebnis der Bewertung wird in einer Punktzahl zwischen 0 und 100 ausgedrückt, die Punktzahl 85 bis 100 ist die höchste Klasse 0 bis 24 ist die schlechteste (EcoVadis 2018). Nach vollständiger Abschließung wird die „Scorecard“, auf der die Ergebnisse dargestellt sind, für den Kunden und den bewerteten Zulieferer online veröffentlicht. In dieser

ökologischen Auswirkungen des Abbaus und der Verarbeitung von Mineralien in den Lieferketten nachzuvollziehen und dazu beizutragen, Unternehmen zu nachhaltigen Beschaffungsentscheidungen zu bewegen. Unternehmen werden dazu aufgefordert, Berichte über die Beschaffung von Mineralien anzufertigen, die einen sozialen und ökologischen Abbau beweisen sollen (RMI 2021). Als Klimadatenbank ist das „Carbon Disclosure Project“ (CDP) zu nennen. CDP ist eine gemeinnützige Organisation, die ein globales Offenlegungssystem für Investoren, Unternehmen, Städte, Staaten und Regionen zum Management ihrer Umweltauswirkungen betreibt; das Projekt bemisst Risiken und Chancen in Bezug auf Klimawandel, Wassersicherheit und Entwaldung (CDP 2021).

Hinsicht verfügt EcoVadis somit zwar über eine robuste Bewertungsmethodologie für CSR-Managementsysteme, eine Aussagekraft über tatsächliche Stoffströme oder Kohlenstoffbelastung kann durch die Bewertung aber nicht geleistet werden. Die Bewertung der implementierten Umweltmanagementsysteme und Ziele kann jedoch in einem indirekten Maße die Priorisierung von Umweltaspekten beurteilen.

Über die tatsächlichen „harten" Umweltinformationen kann die Punktzahl von Unternehmen also nur in einem geringen Maß etwas aussagen. In jüngster Zeit ist EcoVadis eine Partnerschaft mit dem Carbon Disclosure Project (CDP) eingegangen, um Informationen zu spezifischen Daten wie Treibhausgasemissionen zu erfassen. Diese **Partnerschaft** deutet Synergietendenzen in der Landschaft der Informationsplattformen an.[120] EcoVadis hat darüber hinaus eine eigene Zusatzleistung mit dem Namen „Carbon Action Module" initiiert. Nach eigenen Angaben könne so der Nachweis der Dekarbonisierung von Unternehmen stark vereinfacht werden (EcoVadis 2021). Das Modul ist darauf ausgelegt die Ausweisung von Kohlenstoffemissionswerten für Zulieferer anwenderfreundlich zu ermöglichen, somit sollen entlang der gesamten Lieferkette CO_2-Daten in die Plattform integriert werden können.,

B2B-(Umwelt-)Informationsplattform: Fallstudie BMW

BMW plant bis 2040 klimaneutral zu sein und bis 2030 80 % der CO_2-Emissionen einzusparen, davon 20 % in der Lieferkette. Ziel ist es, über die nachhaltigste Lieferkette der Branche zu verfügen, auch das Gehalt der Topmanager soll von der Einhaltung der selbstgesetzten Klimaziele abhängig gemacht werden (Spiegel 2020). Das Hauptanliegen für BMW in der Erreichung von Klimazielen bezieht sich auf eine klimaneutrale Produktion der eigenen Fahrzeugflotte, darin sind auch die chinesischen Standorte miteinbezogen. Im Jahr 2019 betrugen die totalen Emissionswerte des Produktionsnetzwerks 767,584 Tonnen CO_2, verglichen mit 2015 konnten in der Produktion 39.4 % CO_2 eingespart werden (BMW 2020b).

Alle europäischen Produktionsstätten werden mit grüner Elektrizität beliefert, in den nächsten Jahren soll der Energiebezug aus erneuerbaren Quellen weiter ausgebaut werden, insbesondere im außereuropäischen Ausland (BMW 2019). BMW will bis 2050 alle Produktionsstandorte mit erneuerbarer Energie versorgen; eine Toppriorität liegt in der systematischen Reduktion des Energieverbrauchs. Um den verbleibenden Energiebedarf zu decken, baut BMW ein eigenes System zur Erzeugung erneuerbarer Energie auf und bezieht zunehmend Strom aus lokalen erneuerbaren Quellen. BMW analysiert die Umweltauswirkungen über den gesamten Produktlebenszyklus und verfolgt die entsprechenden Umweltziele mit dem Instrument der Lebenszyklusanalyse.

Wesentlicher Input für die Ökobilanzen sind detaillierte, fahrzeugmodellspezifische Materialinventare, die das Gewicht und die Materialzusammensetzung aller Teile enthalten. BMW schätzt die Datenqualität der produktspezifischen Materialgrundlage und damit die Grundlage der Berechnung als hoch ein. Dennoch gibt der Automobilhersteller in seinem CDP-Bericht an, dass sich Einschränkungen in der Genauigkeit ergeben. Ungenauigkeiten ergeben sich aus den fehlenden Informationen von Mitgliedern der Lieferkette, die ihre Scope 1- und

[120] CDP ist eine gemeinnützige Organisation, die ein globales System für die Offenlegung von Umweltinformationen für Unternehmen, Städte, Staaten und Regionen betreibt. CDP bewertet und bemisst die Risiken in den Bereichen, Klimawandel, Wassersicherheit und Entwaldung. Basierend auf standardisierten Fragebögen, welche die Unternehmen freiwillig ausfüllen, gibt CDP nach einem eigenen Bewertungssystem ein Rating ab. Die von den Unternehmen oder Regionen veröffentlichte Daten sind auf der CDP-Website frei verfügbar, auch die Berichte können eingesehen werden. Seit dem Jahr 2007 bietet CDP an, die Treibhausgasemissionen der gesamten Lieferkette zu bewerten. Dieses sogenannte „Supply Chain Program" wird von BMW benutzt, um die Lieferanten nach ökologischen Gesichtspunkten bewerten zu lassen, ohne sie selbst zu überprüfen.

Scope 2-Emissionen, also Emissionen aus eigenen Anlagen und Emissionen aus Energien, die zugekauft werden, noch nicht melden (BMW 2020b)(BMW 2019)[121].

Diese Einschränkungen sind nicht insignifikant. 2018 betrugen die Emissionen der Vorkette 18.505.921 Tonnen CO_2, verglichen mit den Emissionen von Scope 1, die 2018 insgesamt bei 581.703 Tonnen lagen und Scope 2, die mit 538.622 Tonnen CO_2 verzeichnet sind, wird klar, dass insbesondere in Scope 3 die meisten Emissionen ausgeschüttet werden (BMW 2020a).[122] BMW arbeitet in der Tier 1-Stufe mit über 4.500 Zulieferern von Produktionsmaterial und einer exponentiell steigenden Anzahl von Tier n-Zulieferern zusammen. Dass Zulieferer enger in umweltrelevante Fragestellung einbezogen werden, zeigt sich in einer in den Jahren 2018 bis 2019 initiierten Untersuchung. Der Automobilhersteller hat einen Prozess zur Identifizierung und Bewertung von Nachhaltigkeitsrisiken bei weltweit 3.921 Lieferant:innen und Unterlieferant:innen gestartet. Diese Lieferant:innen wurden ausgewählt, weil sie ein signifikantes Auftragsvolumen (jeweils > 2 Mio. € für Produktionsmaterial-Lieferant:innen und > 10 Mio. € für Nicht-Produktionsmaterial-Lieferant:innen) aufweisen. Sie machen 90 % der gesamten Beschaffungsausgaben aus; somit hat das Lieferantennetzwerk den größten Einfluss auf das Klima. BMW argumentiert außerdem, dass das Kosten-Nutzen-Verhältnis in der Bewertung der verbleibenden 10 % der Beschaffungsausgaben unverhältnismäßig sei, somit gibt es keine Daten zu den direkten Zulieferern, mit einem niedrigeren Ausschreibungsvolumen (BMW 2020b).

Um die Umweltrisiken der Lieferant:innen abschätzen zu können, müssen alle direkten Lieferant:innen, ca. 4.500 im Jahr 2019 (Produktionsmaterial), und indirekten Lieferant:innen mit relevantem Auftragsvolumen umweltbezogene Fragebögen ausfüllen. Ein potenzieller neuer Lieferant muss Nachhaltigkeitsanforderungen in seinem Angebot nachweisen. Werden die Kernanforderungen nicht erfüllt, erhalten sie von BMW keinen Auftrag. Eine vertraglich festgelegte Forderung ist die Einführung eines zertifizierten Umweltmanagementsystems (Environmental Management System, EMS) nach der Standardisierung ISO 14001 (BMW 2020b). Alle Produktionslieferant:innen müssen vor dem Start der Produktion ein EMS eingeführt haben, Energieverbrauch und CO_2-Emissionen müssen zu den wichtigsten Verbesserungszielen gehören. Darüber hinaus ist BMW Mitglied des sogenannten „CDP Supply Chain Program“, die an diesem Programm teilnehmenden Lieferant:innen machten im Jahr 2019 78 % des Einkaufsvolumens aus. Die Scoring-Ergebnisse vom Supply Chain Program werden jährlich auf Top-Management-Ebene besprochen und in Lieferant:innen-Entwicklungsgesprächen thematisiert. Energie-, CO_2- und Wasser-Effizienzverbesserungen werden dabei berücksichtigt. Falls die Leistung der zu bewertenden Lieferant:innen hinter den Erwartungen zurückbleibt, behält sich BMW vor, die Ressourceneffizienz der Lieferant:innen, z. B. durch Wissensaustausch positiv zu beeinflussen, Verbesserungsmaßnahmen werden gemeinsam mit ihnen vereinbart. Der Anteil der erneuerbaren Energien soll erhöht werden, Vereinbarung mit den jeweiligen Lieferant:innen, um diese Ziele zu erreichen, werden getroffen.

Das CDP Supply Chain Program dient auch als Kontrollinstanz, die teilnehmenden Lieferant:innen auszuwählen, sie sind im Wesentlichen im Einkaufsprozess verankert. Bemessen werden die Lieferant:innen anhand des CDP-Ratings, sowie der Klimaschutzmaßnahmen in der Strategie, der gesetzten Klimaziele oder des Anteils an erneuerbaren Energien. 60 % der Lieferant:innen, die am Supply Chain Program teilnehmen, sollen bis 2025 mindestens ein B-

[121] BMW (2019): CDP Bericht: https://www.bmwgroup.com/content/dam/grpw/websites/bmwgroup_com/responsibility/downloads/en/2020/CDP_Questionaire_2019_EN.pdf.

[122] BMW Geschäftsbericht S. 344: https://www.bmwgroup.com/content/dam/grpw/websites/bmwgroup_com/ir/downloads/de/2021/bericht/BMW-Group-Bericht-2020-DE.pdf.

Rating im CDP-Scoring-System haben (BMW 2020b). Die Lieferant:innen des Supply Chain Program haben sich im Durchschnitt verbessert. BMW folgert daraus, dass das Programm gut verankert sei und die erwünschten Wirkungen erziele (BMW 2020a). Die Höhe der CO_2-Emissionen wird als Vergabekriterium in der Auswahl neuer Lieferant:innen gewertet. Somit soll auf der Tier 1-Ebene sichergestellt werden, dass CO_2-Emissionen als relevant angesehen und folglich auch in der weiteren Lieferkettenebene berücksichtigt werden. Um die CO_2-Emissionen zu reduzieren, arbeitet BMW, nach eigenen Angaben, in einer konstruktiven Zusammenarbeit mit den Lieferant:innen. Der Automobilhersteller schneidet im CDP-Rating in der Transparenz ihrer CO_2-Emissionen in der Spitzengruppe, der sogenannten „Climate A List", ab (BMW 2020a).

Die Klimaziele von BMW verdeutlichen, dass sich der Konzern zum gegenwärtigen Zeitpunkt mit einer kohlenstoffneutralen Produktion an den eigenen Produktionsstandorten um die Einhaltung der Klimaziele bemüht. Blickt man auf die CO_2-Emissionen der verschiedenen Scopes, wird jedoch deutlich, dass nur ein kleinerer Teil an Emissionen tatsächlich in der Produktion entsteht. Ein Großteil des ausgestoßenen Kohlendioxids fällt auf die Vor- und somit auf die Lieferkette zurück. Es ist also fraglich, inwiefern eine kohlenstoffneutrale Produktion tatsächlich etwas über die Klimabilanz der gesamten Wertschöpfungskette aussagt. Die Investitionen in eigene IIoT- und Datenplattformen verdeutlichen jedoch, dass BMW in den nächsten Jahren mehr Informationen, zu Wasser-, Strom- und CO_2-Verbrauch sammeln und auswerten kann. Grundsätzlich entsteht damit eine verbesserte Transparenz über die tatsächlichen Verbrauchswerte verschiedener ökologischer Parameter und die Möglichkeit durch effizientere Maschinenleistungen oder Logistikschritte Einsparungen zu erzielen, die sich positiv auf die Klimabilanz auswirken. Die Aussagekraft hängt jedoch in einem signifikanten Ausmaß davon ab, wie viele der direkten und indirekten Zulieferer mit der BMW-eigenen Plattform verbunden sind.

Die Auseinandersetzung mit BMWs Nachhaltigkeitskonzept legt außerdem nahe, dass das Unternehmen (noch) nicht den Anspruch besitzt, konkrete Umweltdaten der gesamten Lieferkette zu erfassen und auszuwerten. Die Zusammenarbeit mit dem CDP Supply Chain Program belegt jedoch, dass der Automobilhersteller auf Informationsdatenbanken/-Plattformen angewiesen ist, um sich vor Umweltrisiken in der Lieferkette abzusichern beziehungsweise, um eine Kontrollinstanz zu implementieren, die Lieferant:innen nach Umweltkriterien auswählt und einschätzt. Ein Unternehmen wie BMW wird auch in Zukunft auf die Dienstleistungen dieser Plattformen angewiesen sein, da es sich bei der Automobilherstellung und den erforderlichen Teilen und Komponenten um ein hoch komplexes und heterogenes Lieferant:innen- und Produktionsnetzwerk handelt. Die Implementierung eigener Bewertungskriterien und deren Auswertung und Überwachung von Lieferant:innen verschiedener Stufen ist zu kosten- und zeitintensiv, als dass BMW dies selbst ausführen könnte.

Unter der Berücksichtigung der derzeitigen politischen Dynamiken, kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die Relevanz einer umweltspezifischen Absicherung der Lieferkette, steigen wird. Die Unternehmen, die noch nicht externe Dienstleister:innen beauftragen, die eigene Wertschöpfung zu bewerten und einzuschätzen, werden dies in den kommenden Jahren höchstwahrscheinlich aufgrund des gesellschaftlich, ökonomischen und politischen Drucks tun.

7.5.2.4 Gesellschaftliche Relevanz

Der vorherige Abschnitt hat verdeutlicht, dass Umweltinformationen der Produktion und entlang der Wertschöpfungsketten in jüngster Zeit erheblich an Bedeutung gewonnen haben. Neben den nicht-finanziellen Berichtspflichten, bspw. im Kontext der CSR-Berichterstattung, und den zunehmend eingeforderten Sorgfaltspflichten, sind es, mit Blick auf Umwelt und insbesondere Klima, vor allem neue Regulierungsansätze, wie das deutsche und das kommende

EU-Lieferkettengesetz, das Gerichtsurteil zu den Verantwortlichkeiten von Shell sowie das Klimaurteil des Bundesverfassungsgerichts, welche direkt oder indirekt eine Veränderung der Unternehmensstrategien und Transparenz entlang der Lieferkette einfordern. Zudem werden im Ressourceneffizienzprogramm der Bundesregierung (ProGress III) Überlegungen zur Entwicklung von Informationsplattformen im Kontext der Etablierung einer Kreislaufwirtschaft angestellt. Insofern ist mit Blick auf gesellschaftliche und insbesondere regulative Rahmenbedingungen eine große Dynamik festzustellen, mit der die Relevanz der hier analysierten Plattformen deutlich zunehmen kann.

Jüngste Entwicklungen rechtlicher Rahmenbedingungen verpflichten Unternehmen zu mehr Verantwortung für soziale und ökologische Standards. In Deutschland rückt mit der Verabschiedung des **Lieferkettengesetzes** im Juni 2021 die Unternehmensverantwortung für Menschenrechte und Umwelt in den Mittelpunkt des politischen Diskurses. Unternehmen werden per Gesetz erstmalig dazu verpflichtet, für die Einhaltung grundlegender Menschenrechtsstandards in der Lieferkette Sorge zu tragen und für sie rechtlich Verantwortung zu übernehmen. Umweltstandards spielen im deutschen Lieferkettengesetz zwar eine untergeordnete Rolle, auf europäischer Ebene deuten sich dahingehend allerdings größere Veränderungen an. Das geplante EU-Lieferkettengesetz sieht umfangreiche Sorgfaltspflichten vor und geht über die Vorgaben des deutschen Lieferkettengesetzes hinaus. Nicht nur menschenrechtliche, auch umweltrechtliche unternehmerische Verpflichtungen sollen in der Wertschöpfungskette überprüft werden (BDI 2021).[123] Die EU plant einen größeren Anwendungsbereich als das deutsche Lieferkettengesetz, mehr Unternehmen sollen einbezogen werden, auch KMUs sollen zur Verantwortung gezogen werden, wenn sie an der Börse notiert oder in Risikogebieten tätig sind. Der Bericht des EU-Parlaments sieht eigenständige umweltbezogene Sorgfaltspflichten vor.

Auch im **Ressourceneffizienzprogramm** III (ProgRess) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit sind umweltrelevante Perspektiven hinsichtlich einer nachhaltigen Entwicklung der Industrie 4.0 angelegt. Durch Forschung und finanzielle Förderungen plant das BMU, dass Ressourceneffizienz und Digitalisierung im Kontext der Industrie 4.0 weiterentwickelt werden sollen. Dabei stünden die digitale Nachverfolgbarkeit und Datenintegration in Wertschöpfungsketten sowie gesteigerte Ressourceneffizienz durch Prozessoptimierungen im Vordergrund, aber auch Reboundeffekte sollen berücksichtigt werden. Die Bundesregierung will darüber hinaus auf einer Open-Data-Plattform Daten zum Ressourcenschutz verfügbar machen. Informationen zu einzelnen Stoffströmen und Materialflüssen sollen über eine öffentlich verfügbare Datenbasis erweitert werden. Unbearbeitete Daten, die zur Erfüllung von öffentlich-rechtlichen Aufgaben durch die Bundesregierung erhoben wurden, sollen für die Öffentlichkeit über diese offene Plattform nutzbar gemacht werden (BMU 2020). Die Plattform soll so aufgebaut sein, dass zentrale Indikatoren des Ressourceneffizienzprogramms hinterlegt werden. Durch diese Vorhaben soll außerdem die internationale Datenbasis verstetigt werden und zur Klärung von offenen methodischen Fragen, wie zur Datenerfassung der globalen Ressourceninanspruchnahme, beitragen. Diese Überlegungen zeigen, dass die Veröffentlichung von Umweltdaten von Relevanz ist und im politischen Diskurs einen prioritären Stellenwert eingenommen hat.

Klima-Klagen verschärfen die Durchsetzung ökologischer Sorgfaltspflichten von Unternehmen zusätzlich. Das Urteil eines niederländischen Gerichtes gegen den weltweit größten Mineralöl- und Erdgaskonzern „Shell“ verpflichtet das Unternehmen, den Ausstoß von CO_2 bis 2030 um

[123] Siehe: https://bdi.eu/artikel/news/auf-dem-weg-zu-einem-europaeischen-lieferkettengesetz/.

netto 45 % im Vergleich zu 2019 zu senken[124] (Thielbörger und Diekjobst 2021). Das Gericht kommt in seiner Urteilsbegründung zu dem Ergebnis, dass „Shell" auch für die Emissionen der Zuliefererunternehmen und Endabnehmer:innen verantwortlich sei. Die Entscheidung der niederländischen Richter:innen ist insofern ein Präzedenzfall, da der Bereich der unternehmerischen Menschenrechtsverantwortung rechtlich verpflichtend wird. Nur Staaten, nicht Unternehmen, sind momentan an internationales Recht und somit an die Einhaltung von Menschenrechten gebunden. Das Urteil bekräftigt somit die gesetzlichen Sorgfaltspflichten transnationaler Unternehmen. Die niederländische Entscheidung gilt als bahnbrechend und historisch, die Argumentation der Richter:innen, menschenrechtliche Schutzpflichten und umweltvölkerrechtliche Standards von Unternehmen gesetzlich einzufordern, wird die Debatten um die Frage nach der Verantwortlichkeit von Unternehmen vermutlich in den nächsten Jahren stark beeinflussen.

In Anlehnung an das Shell-Urteil und vor dem Hintergrund des Klima-Urteils des Bundesverfassungsgerichts zum Klimaschutzgesetz der Bundesregierung sind nunmehr auch Klagen von Greenpeace und DUH gegen deutsche Konzerne (Automobilindustrie und Wintershall Dea GmbH) angekündigt worden, die auf eine Beschleunigung der Dekarbonisierungsbemühungen der Konzerne drängen. Neben der Veränderung der Unternehmensstrategien geht es auch um die Herstellung der Transparenz entlang der Lieferkette inkl. Scope 3, also bspw. die Emissionen aus vorgelagerten und nachgelagerten Wertschöpfungsketten (siehe auch den vorherigen Abschnitt).

Auch abseits gesetzlicher Regelungen sind Klimaziele für viele Unternehmen auf die Agenda gerückt. Durch die Umsetzung der **CSR-Richtlinie** in nationales Recht sind deutsche Unternehmen zwar verpflichtet, zu nichtfinanziellen Themen, wie Menschenrechte, Anti-Korruption/Bestechung oder Umwelt, zu berichten. Die von den Unternehmen veröffentlichte nichtfinanzielle Berichterstattung im Rahmen der CSR-Vorgaben verfügt aber oft nicht über ausreichend Informationen, um den **Bedürfnissen der Zivilgesellschaft oder Investoren** gerecht zu werden (Deutsches Rechnungslegungs Standards Committee e.V 2021). Allgemein würden zu wenige Unternehmen Berichte verfassen; oft sind die Informationen dann auch nicht zuverlässig, vergleichbar oder leicht zugänglich. Es ist davon auszugehen, dass die Nachfrage nach nichtfinanziellen Informationen und Daten stark zunehmen wird; die Problematik um die Prävalenz und Qualität von CSR-Berichten werde somit verstärkt. Die jetzigen Verpflichtungen zu nichtfinanzieller Berichterstattung sind gegenwärtig noch zu schwach ausgeprägt; Entwicklungen hin zu einer stärkeren Aussagekraft von CSR-Berichten sind jedoch denkbar. Immer mehr Konzerne gehen darüber hinaus ambitionierte **Selbstverpflichtungen** für die Erreichung eines nachhaltigeren Wirtschaftens ein. Der deutsche Automobilhersteller „BMW" beispielsweise plant, bis 2040 klimaneutral zu werden.

7.5.2.5 Umweltpotenziale

Die Umweltpotenziale der hier analysierten B2B-Plattformen ergeben sich im Wesentlichen durch zwei Zugänge: (I) die erheblich erweiterten Möglichkeiten der **Transparenzschaffung** und (II) der Erschließung neuer **umweltentlastender Geschäftsmodelle**. Anzumerken ist, dass beide Aspekte eng miteinander verbunden sind, die Transparenzschaffung stellt die Grundlage auch für neue Geschäftsmodelle dar.

In beiden Fällen handelt es sich zunächst um Potenziale, die erschlossen werden müssen. Die Schaffung von Transparenz eröffnet erst das Potenzial der strategischen Unternehmenssteuerung als auch der Erschließung neuer Geschäftsmodelle. Denn diese

[124] Siehe bspw. https://www.lto.de/recht/hintergruende/h/shell-klima-prozess-den-haag-verpflichtung-reduzierung-co2-emissionen-unternehmen-menschenrechte/.

Transparenz kann dazu dienen, der Öffentlichkeit und den Regulierungsbehörden Informationen bereitzustellen über die relativen Umweltentlastungen neuer Verfahren oder Produkte, und zugleich können diese Informationen hilfreich sein, um neue Marktsegmente zu erschließen. Darüber hinaus ist es vielfach so, dass die Erschließung von Effizienzpotenzialen sowohl die Umweltbelastungen reduziert und mit Kosteneinsparungen verbunden ist. Zudem eröffnet sich die Möglichkeit auf IoT-Plattformen, dass Effizienzpotenziale über das einzelne Unternehmen hinweg, also im unternehmerischen (Innovations-) Ökosystem, erschlossen werden können, mit entsprechend größerer Reichweite.

Die Erschließung von Umweltentlastungspotenzialen hängt damit von den **Unternehmensstrategien** und den möglichen **Kosteneinsparungen** ab. Ebenso sind **regulative Vorgaben** und **Informationsansprüche der unterschiedlichen Stakeholder** (Kunden, Anleger, allg. Öffentlichkeit) relevant.

Mit Blick auf Maßnahmen der **Kreislaufwirtschaft** sind darüber hinaus weitergehende politische Impulse erforderlich, nicht zuletzt deshalb, weil höherwertiges Recycling darauf angewiesen ist, dass die Materialzusammensetzungen bekannt sind und diese Informationen entlang der Wertschöpfungsketten verfügbar sind. Hier sind Unternehmen auch jenseits der Plattformen aktiv, wenn es sich gegenwärtig oder auch zukünftig bei der Erwartung steigender Rohstoffpreise rechnet. Kreislaufwirtschaftliche Regulierungen und vor allem auch plattformorientierte Modellprojekte könnten bei der Auslotung der Potenziale hilfreich sein.

7.5.2.6 (Strukturelle) Hemmnisse und Risiken

Grundsätzliche strukturelle Hemmnisse und Risiken im Kontext von B2B-Plattformen sind zunächst nicht erkennbar. Die Potenziale der Transparenzschaffung und damit auch der umweltbezogenen Steuerung weisen prinzipiell einen Pfad in eine Green Economy. Vor dem Hintergrund der oben angeführten vielfältigen sowohl politischen, rechtlichen und zivilgesellschaftlichen Aktivitäten dürfte sich der Informationsbereitstellungs- und Anpassungsdruck auf die Unternehmen verstärken, indem zunehmend Due Diligence für vielfältige Akteure eine wesentliche Rolle spielt. Einschränkend ist aber darauf zu verweisen, dass die Umweltberichterstattungen bspw. im Kontext von CSR (ESG) bislang nicht standardisiert sind und dementsprechend die Aussagefähigkeit dieser Berichterstattungen zu wünschen übriglassen (Krebs 2021). Allerdings wird zunehmend deutlich, dass im Kontext der Klimaherausforderungen die Dynamiken zu verifizierbaren Berichterstattungen zunehmen.

Mit Blick auf die zunehmende Vernetzung der Produktion könnten sich potenzielle Risiken dahingehend ergeben, dass die Anforderungen, die sich aus vernetzten Produktionsökosystemen ergeben, alternative Entwicklungspfade auch transformativer Art erschweren.

7.5.2.7 Politische Maßnahmen

Vor dem Hintergrund der Analyse der Fallstudien zu B2B-Informationsplattformen und B2B-Industrieplattformen wird deutlich, dass unterschiedliche Ansätze zur Erschließung von Umweltpotenzialen existieren. Zu Beginn dieses Kapitels sind wesentliche Treiber dargestellt worden, die von hoher Relevanz für die Unternehmen und damit auch für die B2B-Plattformen sind. Wie dargestellt wurde, erweisen sich die Prozesse der Digitalisierung und insbesondere auch der Etablierung von Plattformen im Grundsatz als hochgradig geeignet für die Transparenzschaffung der Umwelteffekte der Produktion, aber auch des Konsums, um zugleich im Idealfall in Produktionsökosystemen die Umweltpotenziale zu erschließen. Die Erschließung dieser Potenziale hängt allerdings zunächst vor allem davon ab, inwieweit Effizienzpotenziale gehoben werden können. Wesentliche Treiber sind in der Folge die Entwicklung der

Rahmenbedingungen, aber auch das proaktive Verhalten von Unternehmen. Wie zu Beginn des Kapitels dargelegt, sind mit Blick auf den Klimaschutz vielfältige Dynamiken festzustellen, wobei insbesondere politische, aber zunehmend auch juristische Kontexte eine wichtige Rolle spielen. Das Pariser Klimaabkommen und das Shell-Urteil in Holland sind dabei als Meilensteine zu betrachten, in denen darauf verwiesen wird, dass einerseits Umweltschutz und Menschenrechte eng miteinander verbunden sind und andererseits Unternehmen auch die Effekte entlang der Lieferkette berücksichtigen müssen.

Es existieren vielfältige Dynamiken in der Folge der Verabschiedung des Pariser Klimaabkommens, aber auch mit Blick auf die Lieferkettengesetze, die auf Transparenzschaffung abzielen. Neben den regulativen Vorgaben üben auch zivilgesellschaftliche Akteure Druck auf die Unternehmen aus. Die Möglichkeiten der Transparenzschaffung auf den B2B-Plattformen können damit wesentliche Impulse für eine Green Economy setzen. Dies gilt insbesondere für die Freisetzung von klimarelevanten Gasen entlang der Wertschöpfungsketten: dabei spielen sowohl die B2B-IoT-Plattformen als auch die Informationsplattformen eine wichtige Rolle. Zunehmend ist darüber hinaus festzustellen, dass insbes. die CO_2-Emissionen im Management der Unternehmen in den Blick geraten, einerseits wegen der zunehmenden Effekte der CO_2-Bepreisung und andererseits wegen der Anforderungen der Kund:innen. Ebenso führt die „Corporate Sustainability Reporting Directive“ der EU, die Unternehmen zur Nachhaltigkeitsberichterstattung (einschl. digitalisierter Umweltdaten) verpflichtet, zu einem weiteren Push für entsprechende Instrumente zur Informationsbereitstellung. Als hemmende Faktoren, für Unternehmen generell, erweisen sich gegenwärtig vor allem auch fehlende Standards für entsprechende Berichterstattungen.

B2B-Plattformen im industriellen Bereich werden gegenwärtig überwiegend von Großunternehmen zur Anwendung gebracht, wie es am Beispiel BMW aufgezeigt worden ist. Dies ist von Relevanz, wenn es um (Umwelt-)Regulierungen geht. Diese sind gegenwärtig nicht auf Plattformen zugeschnitten, sondern allgemein auf Unternehmen bezogen. Die B2B-Plattformen stehen gegenwärtig ganz überwiegend noch am Anfang und es werden erste Schritte zu einer Plattformisierung der Produktion unternommen (Haucap, Kehder, und Loebert 2020). Das Fallbeispiel BMW zeigt exemplarisch, dass im B2B-IIoT-Bereich zumindest gegenwärtig weniger Plattformen als eigenständige Organisationsform im Fokus stehen, als vielmehr Unternehmen, wie BMW als Orchestrator seiner Lieferkette, die Schritte in Richtung Plattformisierung (Produktionsökosystem) gehen. Die elementaren Verantwortlichkeiten verbleiben, um beim Beispiel zu bleiben, bei BMW als Unternehmen. Insofern geht es aktuell vorrangig noch um bestehende Unternehmen und Unternehmensverantwortlichkeiten. Unterstellt man eine Entwicklungsdynamik, wie sie beim Industrie 4.0-Reifegradsindex von acatech (Schuh u. a. 2020) unterstellt wird, werden sich andere Konstellationen ergeben, die allerdings gegenwärtig nur begrenzt absehbar sind.

In der Summe bedeutet dies, dass im industriellen Bereich das Handlungsfeld „Plattformen“ einerseits überhaupt erst in der Entwicklung ist und andererseits das Feld heterogen ist und schließlich sich bislang noch keine dem B2C-Bereich vergleichbare Strukturen herausgebildet haben. Mit Blick auf die Umweltverantwortlichkeiten sind demnach Industrieunternehmen weiterhin die zentralen Adressaten.

Konkrete Handlungsempfehlung können entlang der Unterscheidung zwischen den folgenden Dimensionen entwickelt werden:

1. **Selbstverpflichtungen** bzw. Maßnahmen der Selbstregulierung. Diese zielen darauf ab, dass plattforminterne Regelsetzungen entwickelt werden und von den dominierenden

Unternehmen der Plattformen Nachhaltigkeitsziele benannt und vertraglich festgelegt werden.
2. **Förderliche Rahmenbedingungen** bzw. Maßnahmen der Co-Regulierung: dabei wird auf staatliche Maßnahmen abgehoben, die Anreize setzen, sodass Nachhaltigkeitsziele für die Plattformen eine stärkere Rolle spielen.
3. **Ordnungsrecht**: dies zielt auf staatliche Maßnahmen ab, die direkte Vorgaben für die (Plattform-) Unternehmen machen.

Selbstverpflichtungen

Selbstverpflichtungen zielen einerseits darauf ab, das (grüne) Image von Unternehmen zu verbessern oder durch Eigeninitiativen staatlichen Regulierungen zuvorzukommen. Im Kontext der B2B-Produktionsplattformen ist es überwiegend so, dass dominierende Unternehmen die (Geschäfts-)Bedingungen auf den Plattformen bestimmen können. Insofern können Vereinbarungen dahingehend getroffen werden, dass nachhaltigkeitsrelevante Produktions- und Produktinformationen bereitgestellt werden, dies mit dem Ziel der Transparenzschaffung über die umweltrelevanten Effekte von Produktionsprozessen und Produkten (auch entlang der Lieferkette), wie es im Kontext von Catena-X vorgesehen ist. Die freiwilligen Selbstverpflichtungen werden vielfach im „Schatten der Hierarchie“ abgeschlossen, bevor also staatliche Regulierungen, rechtliche Verpflichtungen und Anforderungen von Kunden oder auch der Zivilgesellschaft zum Tragen kommen. Des Weiteren können Zulieferern, die nicht direkt in das Plattformökosystem eingebunden sind, auf freiwilliger, vertraglicher Basis umweltrelevante Vorgaben gemacht werden.

Die Selbstverpflichtungen der Industrie sind mit Blick auf Klimaneutralität z.T. weitreichend, allerdings mangelt es an Transparenz mit Blick auf die konkreten materiellen Umsetzungsschritte auf dem Weg zur Klimaneutralität. Gleichwohl sind Industrieunternehmen und die zugehörigen IIoT Plattformen auf dem Weg die Transparenz in der Lieferkette zu verbessern. Um die eigene Reputation der jeweiligen Unternehmen zu schützen, wird es elementar darauf ankommen, dass die Transparenz entlang der Lieferkette hergestellt und damit eine Überprüfbarkeit der eigenen Selbstverpflichtungen ermöglicht wird.

Förderliche Rahmenbedingungen

Entwicklung von **Standards** der (Umwelt-)Berichterstattung: die ESG-Berichterstattungen sind gegenwärtig wenig standardisiert, sodass die Aussagefähigkeit der Berichterstattungen eher begrenzt ist. Die Entwicklung von Taxonomien, wie aktuell der EU-Taxonomie, können zur Nachhaltigkeitsbewertung beitragen, indem Transparenz über die Bewertungen bzw. Bewertungsverfahren hergestellt wird. Dies gilt in Besonderem auch für die Entwicklung von Standards der Berichterstattung zur Klimarelevanz von Unternehmensaktivitäten mit Blick auf relevante Wertschöpfungsketten. Vorschläge zur Verbindung der EU-Taxonomie mit Key Performance Indicators (KPI) wurden von der European Securities and Markets Authority (ESMA - European Securities and Markets Authority 2021) vorgelegt. Die wesentlichen politischen und gesellschaftlichen Treiber, wie sie in Kap. 5.2.4 skizziert werden, sind bislang überwiegend noch nicht standardisiert bzw. befinden sich gerade erst in der Entwicklung (Lieferkettengesetze, Environmental Due Diligence aber auch Klima-Klagen). Sie müssen einem Standardisierungsprozess unterworfen werden.

Die angeführten Beispiele für Datenplattformen im Kontext von GAIA-X verweisen auf den Einfluss staatlicher Akteure. Zum einen ist GAIA-X ein durch die EU angeschobenes Vorhaben, das insbes. den amerikanischen Wettbewerben etwas entgegen setzen soll zum anderen sind die beiden Datenplattformen „Mobility Data Space“ und „Catena-X“ ebenfalls durch staatliche Akteure gefördert und gefordert worden.

Ebenso ist es unabdingbar, dass im Bereich der Kreislaufwirtschaft entsprechende Berichtspflichten in den Blick genommen werden, die die z. T. bereits in Eigeninitiative laufenden Aktivitäten von Unternehmen unterstützen und befördern können. Die Herausforderungen sind allerdings deutlich größer, als es bei der Klimaberichterstattung der Fall ist. Entsprechende systematische Pilotvorhaben, gerade auch mit Unternehmen, die Plattformen betreiben (wie. bspw. BMW), und die Kreislaufwirtschaftskonzepte umsetzen wollen, könnten unterstützend wirken. Mit Blick auf die Herausbildung von Plattformen (nicht allein) im Bereich der Industrie wird es elementar darum gehen, dass die Zugänglichkeit von Daten verbessert wird, dies aus Wettbewerbsgründen und der Ermöglichung von nachhaltigeren Geschäftsmodellen. Dies muss Hand in Hand gehen mit klaren verpflichtenden Standardsetzungen im Umweltbereich, also der Schaffung von Rahmenbedingungen, wie sie mit Blick auf den Klimaschutz (EU- Regelungen, Novellierung des Klimaschutzgesetzes in Deutschland) vorangebracht und mit entsprechenden Regulierungen unterlegt werden müssen.

Ordnungsrecht

Die in Kapitel 7.5.1 dargestellte gesellschaftliche Relevanz hat verdeutlicht, dass mittlerweile vielfältige Dynamiken festzustellen sind, die insbes. die Klimarelevanz von Produktion und Konsum adressieren. Ordnungsrechtliche Vorgaben werden eine wichtige Rolle spielen müssen, vor allem, wenn es um die Standardisierung und Vereinheitlichung der Berichterstattung zur Klimarelevanz geht. Elementar ist dabei nicht allein die Frage der Offenlegung der Informationen, sondern auch der (digitalen) Formate der Berichterstattung. Die Regulierung von Plattformen bspw. zu Art und Form der Berichterstattung kann dabei eine wichtige Rolle spielen, da diese letztlich „gatekeeper“ sind und damit über weitreichende Einflussmöglichkeiten entlang der Lieferketten verfügen.

Mit Blick auf die Herausbildung von Plattformen (nicht allein) im Bereich der Industrie wird es elementar darum gehen, dass die Zugänglichkeit von Daten verbessert wird, dies aus Wettbewerbsgründen und der Ermöglichung von nachhaltigeren Geschäftsmodellen. Dies muss Hand in Hand gehen mit klaren verpflichtenden Standardsetzungen im Umweltbereich, also der Schaffung von Rahmenbedingungen, wie sie mit Blick auf den Klimaschutz (EU- Regelungen, Novellierung des Klimaschutzgesetzes in Deutschland) vorangebracht und unterlegt werden müssen mit entsprechenden Regulierungen.

Das Ordnungsrecht bzw. die (Umwelt-)Regulierungen sind Grundlage um Wirtschaft und Gesellschaft innerhalb planetarer Grenzen zu halten. Wie Freitag et al. (2021) verdeutlichen, ist die Entwicklung entsprechender Rahmenbedingungen auch elementar für ICT- Sektor und damit der Digitalisierung selbst: Ohne harte Rahmenbedingungen wird die Digitalisierung und der ICT Bereich selbst zum Treiber des Klimawandels und nicht zum Hoffnungsträger für weitreichende Umweltentlastungen.

7.5.3 B2C-Marktplatzplattformen im Onlinehandel/eCommerce

7.5.3.1 Gesellschaftliche Relevanz

Onlinehandelsplattformen wie Amazon, Zalando oder eBay haben im Verhältnis zum stationären Einzelhandel in den vergangenen Jahren ein **rasantes Wachstum** erlebt. Während der Anteil des Online erzielten Umsatzes am gesamten Umsatz des Einzelhandels in 2014 im Durchschnitt noch bei 7,8 % lag, stieg dieser Wert bis 2018 auf 10,8 % an (HDE 2019). Neben dem Buchungssektor und der Werbebranche gehört der Handel somit mittlerweile zu den am stärksten durch das Plattformmodell durchdrungenen Branchen. Bekleidung, Elektronik-/ Telekommunikationsartikel sowie Computer und Bücher stellen dabei die am häufigsten gehandelten Produktgruppen dar (Statista 2021). Für diese lag der Anteil am gesamten Umsatz

des Einsatzhandels in 2018 mit jeweils über 25 % noch weitaus höher als der Durchschnitt (HDE 2019).

Die Corona-Pandemie – und die mit ihr einhergehende temporäre Schließung des stationären Einzelhandels – hat die gesellschaftliche und ökonomische Relevanz der eCommerce-Plattformen weiter verstärkt. So belief sich der Umsatz im Onlinehandel im Jahr 2020 auf 72,8 Milliarden Euro, was einen Anstieg um rund 23 % im Vergleich zum Vorjahr ausmacht (Statista 2020). Mit einem weiteren Wachstum ist auch in den kommenden Jahren zu rechnen: so gehen aktuelle Studien davon aus, dass sich die **Marktdurchdringung** des eCommerce bis 2026 um weitere 25 % steigen wird (Escursell, Llorach-Massana, und Roncero 2021). Dabei verteilt sich der Umsatz aber auf nur wenige Anbieter: in Deutschland bspw. machen Amazon und der Amazon Marketplace zusammen alleine 50 % des gesamten Handelsumsatzes aus (Gossen und Frick 2019).

Wie zu Beginn des Kapitels beschrieben, zielt Abschnitt 5 darauf ab, **Politikmaßnahmen** zu identifizieren, die Plattformen für eine Transformation in Richtung Green Economy in Stellung bringen können. Der Handel bietet sich für dieses Vorhaben aus zwei Gründen an: Auf der einen Seite ist die plattformbasierte Marktdurchdringung mit einer Reihe vielfältiger Umweltpotenziale assoziiert, vor allem in Hinblick auf die Reduktion eines motorisierten Individualverkehrs oder eine Stärkung nachhaltig produzierter Konsumgüter. Auf der anderen Seite birgt eCommerce in seiner derzeitigen (ökonomischen) Einbettung jedoch auch eine Vielzahl an (strukturellen) Risiken, die eine Hebung dieser Umweltpotenziale erschweren. Zu nennen ist hier vor allem das Problem der Retouren und des damit einhergehenden Abfallmülls sowie das Problem eines algorithmisch induzierten Mehrkonsums.

Um förderliche politische Rahmenbedingungen für die Branche zu identifizieren – d. h. Rahmenbedingungen, die in der Lage sind diese negativen Tendenzen abzuschwächen und die bestehenden Umweltpotenziale heben zu können – geht die Case Study wie folgt vor: in einem ersten Schritt werden die Umweltpotenziale des Online-Handels in den aus Plattformperspektive besonders relevanten Phasen des Kaufs und der Lieferung systematisch beschrieben. Hierauf aufbauend werden in einem zweiten Schritt (strukturelle) Hemmnisse und Risiken identifiziert, ebenfalls mit einem besonderen Fokus auf die Kauf- und Lieferphase. Dieses zweigliedrige Vorgehen erlaubt es, schlussendlich Politikmaßnahmen abzuleiten, die auf eine Stärkung der positiven Umweltwirkungen des eCommerce hinwirken.

7.5.3.2 Umweltpotenziale

Umweltpotenziale in der Branche des Onlinehandels lassen sich entlang des gesamten Konsumzyklus identifizieren, von der Produktion und die Lagerung über den Kauf und die Lieferung bis hin zu etwaigen Retouren/Rücksendungen (Zimmermann, Memelink, und Rödig 2020). Da Plattformunternehmen aber nur in begrenztem Maße direkt auf die Produktion von Gütern Einfluss nehmen können, werden an dieser Stelle vor allem die Phasen des **Kaufs** und der **Lieferung** (inklusive Retouren) in Betracht gezogen, wenn es um die genuin plattformbezogenen Potenziale geht. Besonderer Fokus wird im Folgenden auf die Potenziale der Transparenzschaffung, alternativer Verpackungsoptionen sowie dem verringerten Individualverkehr gelegt. Abbildung 47 fasst die im Rahmen des Abschnittes identifizierten Umweltpotenziale schematisch zusammen.

Abbildung 47: Schematische Darstellung der Umweltpotenziale im Onlinehandel

Quelle: eigene Darstellung, IÖW

Kauf

Wie im Rahmen der Crunchbase-Analyse (Abschnitt 3) und der Literaturstudie (Abschnitt 4) bereits dargelegt, bieten B2C-Marktplätze im Onlinehandel neue Möglichkeiten, um Kunden mit **umweltspezifischen Produktinformationen** zu versorgen (Gossen und Frick 2019). Die Hoffnung besteht dabei darin, dass ein Mehr an Produktinformationen nachhaltige Konsumentscheidungen befördern würde. So bieten immer mehr herkömmliche Onlineshops ihren Konsument:innen in diesem Sinne die Möglichkeit, gezielt nach nachhaltigen Produkten zu suchen, bspw. über sogenannte **Umweltfilter**. Als Beispiel hierfür kann der deutsche Marktplatz Zalando herangezogen werden, der circa 80.000 Produkte mit einer „grünen Nachhaltigkeitsflagge" gekennzeichnet hat. Um den Kunden die Suche nach nachhaltigen Produkten zu vereinfachen, werden diese Filter in der Top-Navigationsleiste angezeigt.[125] Auch der globale Marktführer Amazon bietet Konsument:innen in Deutschland seit Oktober 2020 die Möglichkeit, das Sortiment explizit unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten zu filtern. So werden im Rahmen des sogenannten „Climate Pledge Friendly"-Programms Produkte hervorgehoben, die mit mindestens einem von 19 unterschiedlichen Nachhaltigkeitszertifikaten ausgezeichnet wurden (Amazon 2020a). Zu den anerkannten Siegeln und Zertifikaten zählen dabei bspw. der Blaue Engel, FSC oder Fairtrade, aber auch das Amazon-eigene Siegel Compact by Design, welches Produkte kennzeichnet, die bei gleicher Produktmenge eine geringere Verpackung benötigen. Da die Nachhaltigkeitsstandards zwischen den Siegeln und Zertifikaten stark schwanken, bleibt offen, inwiefern das „Climate Pledge Friendly"-Programm tatsächlich nachhaltigere Konsummuster fördert.

Im Sinne der **Selbstregulierung** können Plattformen jedoch noch weiterführende Regelsetzungen implementieren, um ein *Greening* des plattformbasierten Konsums zu erreichen. So verweisen Gossen und Frick auf die Fähigkeit von Plattformunternehmen, die den Plattformen zugrundeliegenden Entscheidungsarchitekturen so anzupassen, dass die Online-Direktvermarktung nachhaltiger Produkte gezielt gefördert wird (2019). Dieser Prozess des sogenannten **Nudging** zielt darauf ab, die Plattform-Governance so auszugestalten, dass Verhaltensänderungen in Richtung nachhaltigem Konsum erreicht werden, ohne dabei jedoch die Wahlfreiheit der Konsument:innen einzuschränken. Dies kann bspw. über eine

[125] Nach eigenen Angaben erwirtschaftet Zalando 16 % des Bruttowarenvolumens mit in diesem Sinne als nachhaltig gekennzeichneten Produkten, 50 % der Kund:innen hätten ein solches Produkt gekauft (Zalando 2020).

standardmäßige Sortierung nach Energieklassen, farbliche Hervorhebungen von nachhaltigen Produkten oder ökologischen Filtern erreicht werden.

Eine weitere Option für Plattformen besteht darin, von Grund auf **nachhaltigkeitsorientierte Geschäftsmodelle** zu verfolgen. Illustrativ für diesen Ansatz kann der deutsche B2C-Markplatz Avocadostore herangezogen werden, der ausschließlich Produkte im Sortiment führt, die mindestens eines von zehn Nachhaltigkeitskriterien erfüllt. Zu diesen Kriterien gehören unter anderem die Recyclingfähigkeit des Produktes, die schadstoffreduzierte Herstellung, faire und soziale Herstellungsbedingungen sowie die Haltbarkeit. Wiederum andere Plattformen (primär im C2C-Bereich) zielen explizit auf den Kauf oder den Tausch gebrauchter Güter ab. Auch hier lassen sich Nachhaltigkeitspotenziale identifizieren, vor allem dann, wenn die ökonomischen Einsparungen nicht zu einem Mehrkonsum führen (Ludmann 2019).

Die mit einer verstärkten Transparenzschaffung assoziierten Umweltpotenziale werden durch Plattformen in der Praxis jedoch nur selten gehoben. De facto stellt ein Großteil der bestehenden Onlinehandelsplattformen ihren Kund:innen nur sehr eingeschränkt umweltspezifische Informationen über ihr Sortiment bereit. Diese Sachlage zwingt nachhaltigkeitsbewusste Konsument:innen verstärkt dazu, **Produktinformationen über plattformexterne Quellen** einzuholen, bspw. über endverbraucherorientierte Apps, die Orientierung für nachhaltige Produktinformationen bieten und so Transaktionskosten reduzieren sollen (Kahlenberg u. a. 2018) oder über marktplatzexterne Suchmaschinen und Bewertungsportale.

Lieferung

Aus Plattformperspektive sind die quantitativ umfassendsten Umweltpotenziale im Hinblick auf die Reduktion von CO_2-Emissionen in der **Lieferphase** zu verorten, genauer genommen im Kontext der sogenannten ‚letzten Meile'.[126] So argumentiert eine Vielzahl an Studien, dass der Onlinehandel in Bezug auf CO_2-Emissionen in dieser ‚letzten Meile' unter bestimmten Bedingungen dem stationären Handel sogar vorzuziehen sei (vgl. Mangiaracina u. a. 2015; Oláh u. a. 2018). Die postulierten Vorteile resultieren dabei primär aus der Annahme, dass ein Anstieg des Onlinehandels auch mit einer Verringerung des **Individualverkehrs** einhergehe. Insbesondere in ländlichen Gebieten, in denen Einkaufsmöglichkeiten in der Regel nur unter Nutzung des eigenen Autos zu erreichen sind, werden gebündelte Online-Lieferungen mit positiven Umweltauswirkungen assoziiert (Gossen und Frick 2019; Escursell, Llorach-Massana, und Roncero 2021; Zimmermann, Memelink, und Rödig 2020).

Aber auch in urbanen Räumen bestehen Chancen für eine nachhaltigere Entwicklung des Lieferverkehrs, vor allem dort, wo **alternative Lieferkonzepte** wie Pick-Up-Points oder Elektromobilität eingesetzt werden. Hier will das Plattformunternehmen Amazon eigenen Angaben zufolge eine Vorreiterrolle einnehmen: So investiert die Plattform derzeit in den Ausbau einer elektronischen Fahrzeugflotte, die noch in 2021 damit beginnen soll, Pakete zuzustellen. Bis 2030 soll die komplette 100.000 Fahrzeuge starke Flotte durch solche Elektrolieferfahrzeuge ersetzt werden. Dem Konzern zufolge würde dies bis 2030 eine Einsparung von ca. vier Millionen Tonnen Kohlendioxid pro Jahr bedeuten (Lehmann 2019). Ob und inwiefern diese Einsparungen tatsächlich realisiert werden, bleibt zu diesem Zeitpunkt jedoch offen.

Ebenfalls relevant für das Erreichen eines nachhaltigen Online-Handels ist der Einsatz **neuer Technologien in der Paketlieferung**. So wird der Einsatz von Logistikdrohnen zur Auslieferung (anstelle herkömmlicher Kraftfahrzeuge) mit einer Reduktion von CO_2-

[126] Hierbei muss beachtet werden, dass der Anteil von Handel und Transport an den Gesamtemissionen im Lebenszyklus eines Produktes nur zwischen einem und zehn Prozent ausmacht (UBA und Stallmann 2020). Die bei weitem größten Potenziale liegen in der Herstellung der Produkte, somit aber außerhalb des direkten Einflussbereiches der Plattform.

Emmissionen assoziiert (Escursell, Llorach-Massana, und Roncero 2021). Und auch in der **Lagerung** der Produkte sind umweltrelevante Skalierungseffekte zu beobachten, vor allem im Hinblick darauf, dass Lagerhallen von Onlineshops vergleichsweise größere Mengen an Produkten verarbeiten können (Mangiaracina u. a. 2015; Oláh u. a. 2018; zitiert nach Zimmermann, Memelink, und Rödig 2020).

Nichtsdestotrotz bleibt der Onlinehandel – analog zum stationären Handel – unter gegebenen Bedingungen noch von kraftstoffbetriebenen Kurier-, Express- und Paketdiensten (KEP) abhängig. Um die aus dieser Abhängigkeit resultierenden Emissionen zu adressieren, eröffnen immer mehr Plattformen ihren Konsument:innen die Möglichkeit, die durch die Paketlieferungen entstandenen Kohlendioxidbelastung mit sogenannten **Klimakompensationen** auszugleichen. So bietet Zalando seinen Kund:innen bspw. die Möglichkeit, 25 Cent zusätzlich zu jeder Bestellung für ein Projekt zur Wiederaufforstung äthiopischer Naturwälder zu spenden. Der Plattform zufolge könne auf Basis dieses Beitrages eine klimaneutrale Lieferung sichergestellt werden (Gode 2020). Auch die Logistikunternehmen, die sich für die „letzte Meile“ der Pakete verantwortlich zeichnen, gehen verstärkt dazu über, Klimakompensationen anzubieten. So verschickt die Post/DHL Pakete und Sendungen von deutschen Privatkunden standardmäßig unter dem Label „GoGreen“, das eine Klimaneutralität postuliert. Darüber hinaus unterstützt das Unternehmen zertifizierte Klimaschutzprojekte, um Treibhausgase, die nicht vermieden werden können, auszugleichen und so zu einer verbesserten Klimabilanz beizutragen (DHL 2021).

Eine besondere Relevanz innerhalb der Diskussionen um Hindernisse für einen nachhaltigen Online-Handel kommt der Frage nach dem Mehraufkommen von **Verpackungsmüll** zu. Anzumerken ist jedoch, dass es sich hierbei nicht um ein genuines Problem des eCommerce handelt, spielt die Frage nach Alternativen zu Plastik auch in anderen Branchen, wie beispielsweise der Lebensmittelindustrie, eine große Rolle. Im Kontext des Online-Handels lassen sich verschiedene Konzepte differenzieren, um dieser Problematik – die durch den algorithmisch induzierten Mehrkonsum und die kulanten Retourenpolicies vieler Plattformunternehmen noch verstärkt werden – entgegenzuwirken. Die erste Möglichkeit besteht darin, **recycelte Materialien** anstelle von Plastik zu verwenden. So hat sich bspw. Amazon dazu verpflichtet, in Nordamerika verstärkt auf gepolsterte Versandtaschen aus Papier zu setzen. Konkret will das Unternehmen bis Ende 2022 die gemischte Papier- und Plastikversandtaschen durch die reine Papiervariante ersetzen (Amazon 2020b). In Europa soll der Einsatz papierbasierter Versandtaschen mittelfristig ebenfalls erhöht werden. Des Weiteren gibt Amazon vor, die Zusammensetzung der verwendeten Plastikverpackungen verbessern und mehr recycelte Inhalte verwenden zu wollen. Eigenen Angaben zufolge verpflichtet sich die Plattform dazu, den Recyclinganteil der Kunststofffolienbeutel im Jahr 2021 von 25 % auf 50 % und bei plastikgepolsterten Tüten von 15 % auf 40 % zu erhöhen. So sollen voraussichtlich mehr als 25.000 Tonnen primär Kunststoffmaterial eingespart werden. Noch weitreichendere Selbstverpflichtungen legt sich Zalando auf: so will das Unternehmen bis 2023 auf die Nutzung von Einwegplastik in den Verpackungen in der Gänze verzichten (Eichler 2021).

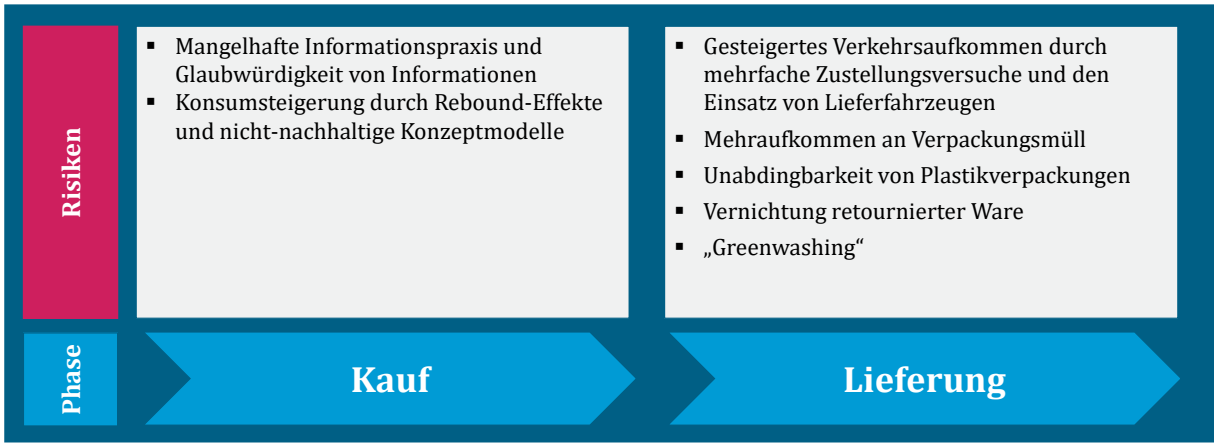
Zuletzt können Plattformen das Problem der Verpackungen auch dadurch adressieren, dass **alternative Rohstoffe** verwendet werden (Escursell, Llorach-Massana, und Roncero 2021). Der Onlineshop Armed Angels bspw. verwendet für Versandverpackungen primär Graspapier. Eine weitere Alternative zum klassischen linearen Modell von Plastik- oder Kartonverpackungen bietet das auf Mehrwegversandverpackungen ausgerichtete „take it, make it, waste it”-Prinzip, wie es bspw. durch das finnische Unternehmen „RePack“ verfolgt wird. Hierbei wird das Ziel verfolgt, Versandverpackungen dem Produktkreislauf nach der erhaltenen Bestellung zurückzuführen und dadurch eine Wiederverwendung zu ermöglichen (RePack 2021).

In der Gesamtschau müssen die durch die Plattformen postulierten Umweltpotenziale in zweierlei Hinsicht **kritisch eingeordnet** werden. Einerseits handelt es sich bei einem Großteil der durch die in diesem Abschnitt skizzierten Potenziale im engeren Sinne eher um Antworten auf Risiken des eCommerce bzw. des Handels an sich (gesteigertes Verkehrsaufkommen, Ressourcenverbrauch durch nicht nachhaltige Verpackungen), und nicht um neue Umweltpotenziale, die genuin mit dem Geschäftsmodell und der Funktionsweise von eCommerce-Plattformen assoziiert sind. Letzterem lassen sich primär die Potenziale eines gezielteren Auffindens nachhaltiger Produkte sowie der vereinfachten Informationsmöglichkeiten nennen. Andererseits lassen sich viele der durch die Plattformen propagierten Einsparungen – bspw. im Hinblick auf die Klimaneutralität – aufgrund einer mangelhaften Datentransparenz nicht empirisch überprüfen, so dass nur schwerlich zwischen Marketing und tatsächlichem Umweltschutz unterschieden werden kann.

7.5.3.3 (Strukturelle) Hemmnisse und Risiken

Neben den postulierten Umweltpotenzialen bestehen im Kontext des eCommerce jedoch auch diverse nachhaltigkeitsbezogene Risiken. Genau wie die Potenziale sind auch die Risiken entlang des gesamten Lebensweges der Produkte, also in der Herstellung, Distribution, Nutzung und Entsorgung, zu verorten (Zimmermann, Memelink, und Rödig 2020). Vordergründig können die Probleme, die aus Nachhaltigkeitsperspektive mit dem Online-Handel assoziiert werden, in der mangelnden Informationspraxis nachhaltiger Produktinformationen, einer Zunahme an Verpackungen (insbesondere aus Plastik), eine Veränderung der Konsumkultur sowie im erhöhten Transportaufkommen identifiziert werden. Somit wird auch im Rahmen dieses Unterabschnitts primär auf die Phasen des Kaufs und der Lieferung fokussiert. Abbildung 48 fasst die (strukturellen) Hemmnisse und Risiken im Onlinehandel auf schematische Art und Weise zusammen.

Abbildung 48: Schematische Darstellung (struktureller) Hemmnisse und Risiken im Onlinehandel



Quelle: eigene Darstellung, IÖW

Kauf

Obwohl B2C-Marktplatzplattformen neue Optionen eröffnen, nachhaltigkeitsspezifische Informationen detailliert und aktualisiert darzustellen, macht die überwiegende Mehrheit der Plattformen von dieser Möglichkeit nicht Gebrauch. In der Regel herrscht auf Online-Marktplätzen eine **mangelhafte Informationspraxis** über nachhaltigkeitsbezogene Verbraucher:inneninformationen. Einer Studie des Umweltbundesamtes folgend bietet nur circa ein Fünftel der Online-Marktplätze gute Informations- und Orientierungsleistungen an (Hagemann 2015). De facto werden Informationen über Umweltkennzeichnungen bei den

meisten Anbieter:innen entweder mangelhaft oder erst gar nicht präsentiert. Eine unsystematische Darstellung erschwert das verantwortungsbewusste Konsumverhalten darüber hinaus zusätzlich (Hagemann 2015; zitiert nach Gossen und Frick 2019). Dass sich diese Situation seit Veröffentlichung der Studie dramatisch geändert hat, kann bezweifelt werden.

Die mangelhafte Informationspraxis wirkt sich nicht nur auf die Konsumentscheidungen individueller Nutzer:innen aus, sie spielt auch eine Rolle im Hinblick auf die **Probleme in der Entwicklung und Skalierung konkurrierender, nachhaltigkeitsorientierter Alternativen**. Denn während große Plattformkonzerne wie Amazon oder Google aufgrund ihrer vielfältigen Geschäftsmodelle und Plattformanwendungen über genügend umweltspezifische Daten verfügen, um ihren Nutzer:innen bspw. nachhaltigkeitsorientierte Filter anzubieten (GoogleMaps bspw. ist nun dazu übergangen, primär solche Routen anzuzeigen, bei denen der Kraftstoffverbrauch am geringsten ausfällt), haben kleinere Konkurrenzanbieter diese Daten – und demnach auch die Möglichkeit der Weitergabe – nicht. Die größtenteils undurchdringbaren Datensilos der großen Plattformkonzerne führen demnach auch dazu, dass umweltrelevante Informationen entweder gar nicht oder ausschließlich im Interesse der Plattformkonzerne selber mobilisiert werden.

Informationsdefizite werden auch durch eine **mangelnde Glaubwürdigkeit** nachhaltigkeitsbezogener Informationen sowie eine Informationsüberlast durch eine undurchsichtige Label-Vielfalt gefestigt (Muster, Grießhammer, und Fischer 2020). So können viele Verbraucher:innen Umweltzeichen und Umweltwerbung oft nur schwer voneinander unterscheiden, was mit einem sinkenden Vertrauen in Kennzeichnungen allgemein einhergeht (Lell, Muster, und Thorun 2020). Eine Studie der Wirtschaftsprüfungsgesellschaft KPMG kommt zu einem ähnlichen Ergebnis: so geben 55 % der Befragten an, in vielen Fällen unsicher zu sein, welches Produkt schlussendlich nachhaltiger sei. 70 % erhoffen sich von offiziellen Instanzen deutlichere Informationen über die Nachhaltigkeit bestimmter Produkte (KPMG 2020). Hürden für eine flächendeckende Informationspraxis nachhaltiger Produktinformationen liegen jedoch auch in einer unzureichenden Verfügbarkeit geeigneter Daten sowie etwaigen Rechtsunsicherheiten seitens der Online-Anbieter (Hagemann 2015). Offen bleibt, wie sichergestellt werden kann, dass Marktplatzplattformen ausreichend Informationen über die durch sie bereitgestellten Produkte bekommen (siehe auch Diskussion in Abschnitt 6).

Ebenfalls relevant im Hinblick auf die mit dem Online-Handel assoziierten Risiken sind **Veränderungen der Konsumkultur** und daraus resultierende **Rebound-Effekte**. Durch die Digitalisierung unserer Konsum- und Lebenswelt kann „anything, anywhere, anytime“ gekauft werden – was jedoch in vielen Fällen **Konsumsteigerungen** mit sich bringt (Shankar u. a. 2010). Auch sogenannte Discount-Konzepte und neue Geschäftsmodelle haben Einkaufsschwellen weiter gesenkt, was nicht-nachhaltige Konsummuster befördern kann. Das Konsumverhalten geht dabei weit über die Befriedigung der eigenen Grundbedürfnisse hinaus, da die hohe Verfügbarkeit von Waren, schnelle Lieferzeiten und die Möglichkeit der Retournierung, den Konsum weiter ankurbeln (bevh und Systain 2018). Sogenannte „Same-Day-Deliveries“, die mit einer höheren Umweltbelastung verbunden sind (Rao u. a. 2021), werden mittlerweile von vielen großen B2C-Plattformen angeboten, um Kund/innen, die aufgrund längerer Lieferzeiten von einem Kauf abgesehen hätten, zu einer Transaktion zu bewegen.

Lieferung & Retouren

Obwohl von einer ökologischen Vorteilhaftigkeit des Online-Handels gegenüber dem stationären Handel ausgegangen werden kann (siehe vorheriger Abschnitt), werden positive Nachhaltigkeitseffekte nur unter bestimmten Bedingungen erreicht. Entscheidend bei dem Vergleich beider Systeme (stationär vs. online) ist die sogenannte **„letzte Meile“.** In vielen

Fällen, insbesondere in urbanen Räumen, kann der Einkauf im stationären Handel ökologisch vorteilhaft sein, vor allem, wenn Hin- und Rückweg mit öffentlichen Verkehrsmitteln oder emissionsfrei zu Fuß beziehungsweise mit dem Fahrrad zurückgelegt werden (Zimmermann, Memelink, und Rödig 2020). Onlinebestellungen erweisen sich außerdem als weniger nachhaltig, wenn die Ware nicht im ersten Versuch bei der bestellenden Person ankommt, sondern **mehrfach zugestellt** werden muss. Eine Fallstudie aus dem Vereinigten Königreich kommt zu dem Ergebnis, dass Erstzustellungen mit einer Wahrscheinlichkeit von 12 bis 60 % scheitern. Ferner würden 87 % der Personen die verpasste Lieferung schlussendlich mit dem Auto abholen (im Vergleich: 6 % zu Fuß, 2 % mit dem Fahrrad und 5 % mit dem Bus, siehe van Loon u. a. 2014). Somit sind die positiven Skalierungseffekte, die aus einer gebündelten Lieferung entstünden, aufgehoben und es kommt zu einer zusätzlichen Umweltbelastung.

Die **Verkehrsproblematik** wird in verdichteten Stadtgebieten durch den vermehrten Einsatz von Lieferfahrzeugen zusätzlich erschwert. Zwischen 2014 und 2018 kann ein deutliches Wachstum an Sendungszahlen beobachtet werden. In der vierjährigen Periode sind sie um 740 Millionen Sendungen gestiegen, was einem Anstieg von 27 % entspricht (HDE 2019). Durch den gesteigerten Konsum und dem daraus resultierenden Wachstum an KEP-Diensten verschärft sich der Lieferverkehr in urban Räumen deutlich, was ein Mehr an CO_2-Emissionen und Luftverunreinigung verursacht (Straube, Figiel, und Nitsche 2018).

Wie im vorherigen Unterabschnitt schon beschrieben, ist die Frage der Verpackungen im Kontext des eCommerce aus Nachhaltigkeitsperspektive virulent. Im Gegensatz zum stationären Handel, in dem Produkte teilweise sogar unverpackt gekauft werden können, geht der Trend zur Online-Bestellung auch mit einem **Mehraufkommen an Verpackungsmüll** einher. Einzelne Artikel, die normalerweise unverpackt in Regalen gelagert werden, müssen für die Lieferung nach Hause einzeln verpackt werden, was zu einer generellen Erhöhung des Verpackungsaufkommens führt (van Loon u. a. 2014). Je nach Material und Größe der für die Sendung ausgewählten Verpackung entstehen zusätzliche Emissionen. So liegt das CO_2-Äquivalent für eine kleine Faltschachtel mit einem Volumen von 2,4 Liter etwa bei 20 g, bei einem großen Pappkarton mit einem Volumen von 128 Litern bereits bei 1.000 g (Zimmermann, Memelink, und Rödig 2020). Im Jahr 2018 sind in Deutschland durch private Endverbraucher:innen 830.000 Tonnen Versandpackungen aus Papier, Pappe oder Karton und über 34.000 Tonnen Kunststoffverpackungen entstanden (Praxpack 2020).

Ein signifikanter Anteil an diesem entstandenen Verpackungsmüll kann laut aktuellen Studien auf die großen B2C-Plattformen zurückgeführt werden. So kommt bspw. eine Studie der Nichtregierungsorganisation Oceana aus dem Jahr 2020 zu dem Ergebnis, dass Amazon im Jahr 2019 weltweit etwa 211.000 Tonnen Plastikverpackungen verursacht habe, wobei circa 10.000 Tonnen in Meeren und Gewässern deponiert worden seien. In Deutschland belaufe sich die Zahl an verwendeten Plastikverpackungen auf 55.000 Tonnen, dabei ließen sich 27.000 Tonnen nur auf Amazon zurückführen (Watson 2020). Problematisch sei außerdem, dass in den meisten Fällen nicht auf **Plastik** verzichtet werden kann, da plastikbasierte Bläschenfolie oder sogenannte Air Pillows zum Schutz der Ware den Kartons beigefügt werden müssten.

Zuletzt verschärfen auch die **Retouren** die Transportproblematik und das Verpackungsaufkommen. Im Jahr 2018 belief sich die Anzahl an zurückgeschickten Paketen schätzungsweise auf 280 Millionen Pakete, was circa 16,3 % der ausgelieferten Pakete ausmacht. Der daraus entstandene $C0_2$-Verbrauch von 238.000 Tonnen entspricht hochgerechnet circa 2.200 Autofahrten pro Tag von Hamburg nach Moskau (Jauernig und Braun 2019). Aus der Sicht der Händler:innen lohnt sich die Wiederaufbereitung der retournierten Waren wirtschaftlich oft nicht, weshalb funktionsfähige Neuware nach einer Retour oft vernichtet wird. Enthüllungen am Standort Winsen des B2C-Marktführers Amazon belegen diese

Geschäftspraktiken. So würde nach „Greenpeace"-Recherchen allein am Winsener Standort pro Woche mindestens eine LKW-Ladung retournierter Waren vernichtet (Greenpeace 2021).

Des Weiteren werden B2C-Marktplatzplattformen für ihre Klimaziele häufig auch des „Greenwashing" bezichtigt. So umfasst der oben bereits eingeführte „Climate Pledge" von Amazon bspw. nicht nur Verpflichtungen in der Reduzierung von Verpackungsmüll – er soll auch dazu beitragen, den Konzern bis 2040 gänzlich klimaneutral werden zu lassen. Umweltorganisationen kritisieren jedoch, dass Amazon in seinen Berechnungen nur die eigenen Produktionsstätten miteinbeziehe, nicht aber die „globale Lieferkette, die 75 % des Kohlenstofffußabdrucks ausmache" (Carlile 2020). Deutlich wird somit auch an dieser Stelle, dass eCommerce-Plattformen nur unter sehr begrenzten Bedingungen Verantwortung für die Umwelteffekte, die entlang der Lieferketten der durch sie vertriebenen Produkte entstehen, übernehmen.

7.5.3.4 Politische Maßnahmen

Auf diesen Überlegungen aufbauend werden nun abschließend politische Maßnahmen charakterisiert, die dazu beitragen können, die konstatierten Umweltpotenziale des Online-Handels zu heben sowie die identifizierten strukturellen Hemmnisse und Risiken abzuschwächen. Analog zur vorherigen Fallstudie stehen dabei drei Typen von Maßnahmen im Vordergrund:

1. **Selbstverpflichtungen** bzw. Maßnahmen der Selbstregulierung. Unter diesem Typ wird auf plattforminterne Regelsetzungen abgezielt, d. h. die Möglichkeiten von Plattformunternehmen diskutiert, ihre Regeln so auszugestalten, dass Nachhaltigkeitsziele erfüllt werden können.
2. **Förderliche Rahmenbedingungen** bzw. Maßnahmen der Co-Regulierung. Unter diesem Typ wird auf staatliche Maßnahmen abgezielt, deren explizites Ziel darin besteht, Anreize für die Erfüllung von Nachhaltigkeitszielen im Kontext des eCommerce zu schaffen.
3. **Ordnungsrecht**. Unter diesem Typ wird auf staatliche Maßnahmen abgezielt, die *direkt* auf Plattformen einwirken und sie dazu verpflichten, Nachhaltigkeitsziele zu verfolgen.

Fokussiert wird im Folgenden primär auf Maßnahmen, die genuin das Geschäftsmodell der Plattformen tangieren. Somit wird auch an dieser Stelle nicht auf Maßnahmen verwiesen, die auf die Herstellungsphase von den über Plattformen bereitgestellten Produkten abzielen. Ziel ist es, zu verstehen, wie Online-Plattformen dazu gebracht werden können, auf ökologische Marktdesigns umzustellen. In Konsequenz wird somit auch hier primär die Kauf- und Lieferungsphase in den Blick genommen. Übergeordnet steht die Fähigkeit von Plattformen im Mittelpunkt, nachhaltigkeitsorientierte Produktinformationen transparent bereitzustellen und dadurch nachhaltige Konsummuster zu befördern.

Selbstverpflichtungen

- **Nachhaltigkeitsrelevante Produktinformationen bereitstellen**: Plattformen sollten alle ihnen zur Verfügung stehenden nachhaltigkeitsrelevanten Produktinformationen auf eine angemessen aufgearbeitete Art und Weise im Sinne der Transparenzschaffung an ihre Nutzer:innen weitergeben. Zentral sind dabei sowohl Informationen über produktspezifische CO_2-Emissionen wie auch die Auswirkungen der Produkte auf die Biodiversität und Ökosystemleistungen. Plattformspezifische Entscheidungsarchitekturen wie bspw. Umweltfilter stellen eine zentrale Stellschraube dar, Nutzer:innen dazu zu befähigen, nachhaltigkeitsorientierte Entscheidungen treffen zu können.

- **Nachhaltigkeitsstandards für Zulieferer festlegen**: Plattformen verfügen häufig nicht über ausreichend nachhaltigkeitsspezifische Informationen über die durch sie bereitgestellten Produkte. Um dies zu ändern, könnten Marktplatzplattformen Nachhaltigkeitsstandards für ihre Zulieferer definieren. Konkret könnte bspw. auf die ISO-Normenreihe 14064 zurückgegriffen werden, die auf die Bilanzierung von CO_2-Emissionen abzielt. Dies würde es B2C-Marktplatzplattformen erlauben, die Vermittlung von Produkten davon abhängig zu machen, dass die CO_2-Bilanz der Zulieferer im Rahmen externer Audits verifiziert wurde.
- **Treibhausgasemissionen kompensieren**: Plattformen sollten ihren Nutzer:innen die Möglichkeit bereitstellen, das durch die Bestellung und die Lieferung erzeugte CO_2 zu kompensieren. Diese Kompensation könnte als Opt-In konzeptualisiert werden (d. h., dass User:innen im Bezahlprozess die Kompensationsmöglichkeit zusätzlich auswählen können), effektiver wäre jedoch ein Opt-Out (d. h., dass die Kompensationsmöglichkeit bereits als Standard ausgewählt ist, User:innen somit von der Möglichkeit explizit Abstand nehmen müssten).

Förderliche Rahmenbedingungen

- **Öffentliche Siegel/Zertifizierungen für Plattformen entwickeln:** Staatliche Stellen haben in den letzten Jahren verstärkt versucht, über die Etablierung neuer und/oder der Verfeinerung bestehender Siegel und Zertifizierungen (wie bspw. dem Blauen Engel) Qualitätsstandards für die ökologische Produktinformation im eCommerce zu setzen. Initiativen für einen digitalen Produktpass oder für eine Kennzeichnung von Lebensdauer und Reparierbarkeit von Produkten können hier stellvertretend für diese Entwicklungen genannt werden. Ein weiterer Fokus lag darauf, die umweltbezogene Verbraucher:innen-Kommunikation zu stärken, bspw. im Rahmen der umweltpolitischen Digitalagenda des Bundesumweltministeriums. Neben diesen auf Produkt- und Verbraucherebene angesiedelten Dynamiken sollte jedoch auch verstärkt auf die Plattform als Vermittlungsinstanz abgezielt werden. Konkret könnte dies bedeuten, dass neben produktspezifischen Zertifizierungsdatenbanken auch staatliche Zertifizierungsinitiativen für eCommerce-Plattformen selber angestoßen werden. So könnten Aspekte wie die Bereitstellung von Umweltfiltern oder ein auf Nachhaltigkeit ausgerichtetes Produktsortiment als Kriterien herangezogen werden, auf Basis derer ganze Marktplatzplattformen als „nachhaltig“ zertifiziert werden könnten. In Konsequenz könnte dies bspw. zu einer Stärkung der Orientierung von Verbraucher:innen führen.
- **Alternative Lieferkonzepte stärken**: Damit die durch Plattformunternehmen verursachten Treibhausgasemissionen auf der ‚letzten Meile‘ reduziert werden, braucht es Anreize für den Umstieg auf emissionsärmere Mobilitätsformen. Konkret kann dies bspw. über die Einrichtung von Ladezonen für emissionsfreie Lieferfahrzeuge oder die Bereitstellung einer angemessenen Infrastruktur für eMobilität (bspw. Ladestationen) ermöglicht werden. Hierbei muss jedoch beachtet werden, dass diese Elemente nicht allein plattformspezifisch sind, sondern im Kontext einer größeren Mobilitätswende gedacht werden müssten.

Ordnungsrecht

- **Plattformen zur Bereitstellung nachhaltigkeitsrelevanter Informationen verpflichten:** Wie zu Beginn der Teilstudie dargelegt, rührt die Macht großer Plattformen (wie bspw. Google, Amazon oder Facebook) vor allem daher, dass diese enorme Datenmengen erheben und innerhalb ihrer Ökosysteme konzentrieren. Transparenzschaffende Maßnahmen, die ein Aufbrechen dieser Datensilos zur Folge hätten, werden durch diese Plattformunternehmen

in der Regel nur dann verfolgt, wenn dies dem Geschäftsmodell des Plattformunternehmens zugutekommt. Aus Umweltperspektive ist dieser Status Quo in vielerlei Hinsicht problematisch, vor allem, weil er dazu führt, dass regulatorische Behörden Entscheidungen auf Basis einer unzureichenden Datenlage treffen müssen. Um Abhilfe zu schaffen, könnten politische Entscheidungsträger:innen gesetzlich festlegen, welche (umweltrelevanten) Informationen und Daten Plattformen wann (und mit wem) teilen müssen. Debatten um datenspezifische Verpflichtungen haben in den vergangenen Monaten an Fahrt aufgenommen. So hat die EU-Kommission in ihrem Ende 2020 vorgelegten Entwurf für einen Digital Services Act Package bereits erste Pflichten für sogenannte Gatekeeper-Plattformen skizziert: ginge es nach der Kommission, würden solche Plattformen unter Einhaltung der Datenschutzbestimmungen dazu verpflichtet, bestimmte Daten weiterzugeben (bspw. **an Forschende**, zwecks Untersuchung der Funktionsweise von Plattformen). Eine solche Regelung ließe sich ggf. auch auf umweltrelevante Daten ausweiten, was nicht nur zufolge hätte, dass Politiker:innen fundierter Entscheidungen treffen könnten, sondern auch, dass bspw. kleinere, nachhaltigkeitsorientierte Plattformen ihr Geschäftsmodell auf Basis der umweltrelevanten Informationen der großen Plattformen verbessern könnten.

- **Plattformen für produktspezifische Umwelteffekte in die Pflicht nehmen**: Plattformen werden in derzeitigen umweltpolitisch-motivierten Initiativen in der Regel nicht selber als Regulierungsgegenstand definiert. So zielen Maßnahmen, wie bspw. der digitale Produktpass, primär auf die Produktebene, nicht auf die Vermittlungsinstanzen. De facto werden Plattformen weiterhin primär als Intermediäre betrachtet – und somit aus der Verantwortung für die Umwelteffekte der durch sie vermittelten Güter und Dienstleistungen entlassen. Ein in die Pflicht nehmen von Plattformen, bspw. indem diese rechtlich als Akteure in der Lieferkette der durch sie vermittelten Güter definiert werden, erscheint jedoch aus zweierlei Perspektive bedenkenswert. So verfügen große Plattformen wie bspw. Amazon auf der einen Seite mittlerweile über eine so große Steuerungsmacht, dass Entscheidungen auf der Ebene der Entscheidungsarchitektur enorme Welleneffekte entlang der Lieferkette auslösen. Diese Steuerungsmacht könnte umweltpolitisch in Stellung gebracht werden. Auf der anderen Seite wird die Vermittlerrolle digitaler eCommerce-Plattformen verstärkt angezweifelt. So haben Debatten um Apples App-Store-Regeln sowie kartellrechtliche Beschwerden über wettbewerbsverzerrende Maßnahmen des Konzerns aufgezeigt, dass digitale eCommerce-Plattformen im Sinne des Gatekeeping auch dazu übergehen können, Wettbewerb zu beschränken. Auf diesen zwei Dynamiken – plattformspezifische Steuerungsmacht und aktive Marktstrukturierung – basierend, müsste in Zukunft verstärkt darüber nachgedacht werden, ob und inwiefern Online-Marktplätze umfassendere Sorgfaltspflichten für die bei ihnen angebotenen Produkte auferlegt bekommen sollten. Konkret muss sich dabei aus politischer Perspektive die Frage gestellt werden, welche Maßnahmen herangezogen werden könnten, um eine solche Übernahme von Verantwortung sicherzustellen. Aktuell wird auf mindestens drei Ebenen eine stärkere plattformspezifische Sorgfaltspflicht diskutiert:

    1. Im Kontext der „Novellierung des Verpackungsgesetzes“ wurden bereits erste Bestimmungen erlassen, die Plattformen stärker in die Pflicht nehmen. So müssen Plattformen beim Transport von Mehrwertverpackungen aufgrund aktualisierter Begriffsbestimmungen nun zusätzliche Pflichten erfüllen, wie bspw. eine Überprüfung des korrekten Verhaltens ihrer Händler sicherzustellen.
    2. Im Kontext der „Novellierung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes“ fordern gesellschaftliche Akteure wie bspw. Greenpeace, dass eine Verschrottung retournierter Ware sanktioniert wird. Konkret sollen Händler:innen, die ihre Ware

nicht mehr verkaufen können oder wollen, über eine sogenannte „Andienungspflicht“ dazu verpflichtet werden, diese kostenpflichtig an zugelassene Stellen abzugeben.

3. Zuletzt wird im Kontext der Debatten um den Import illegaler Produkte die Option diskutiert, Online-Marktplätze stärker in die Pflicht für ihre Produktpalette zu nehmen. So fordern Akteure wie der BUND, der NaBu, oder die Deutsche Umwelthilfe schon länger, dass Online-Marktplätze in Ermangelung anderer haftbarer Akteure Verantwortung für die bei ihnen angebotenen Produkte übernehmen müssten.

Diese drei Beispiele verdeutlichen, dass sich diverse sektorspezifischen Herangehensweisen konzeptualisieren lassen, um Plattformen als Teil der Lieferkette der durch sie vermittelten Güter zu konzeptualisieren. Politische Entscheidungsträger:innen und Wissenschaftler:innen sollten basierend auf diesen unterschiedlichen Dynamiken überlegen, wie eine solche Übernahme von Verantwortung auch im Hinblick auf Umwelteffekte ermöglicht werden kann.

Abschließend müssen die plattformspezifischen Umweltpotenziale im eCommerce noch einmal aus übergeordneter Perspektive eingeordnet werden. So hat diese Kurzstudie zwar einerseits verdeutlicht, dass eCommerce-Plattformen in der Tat Umweltpotenziale mit sich bringen (vor allem im Hinblick auf die Bereitstellung von Umweltinformationen und die Stärkung nachhaltiger Konsummuster), andererseits hat sie aber auch herausgearbeitet, dass ein „Greening“ des eCommerce in umfassendere Transformationsprozesse eingebettet werden muss. Da die hier skizzierten Risiken – u. a. zunehmendes Verpackungsaufkommen und motorisierter Individualverkehr auf der letzten Meile– stark mit den Potenzialen und Risiken in anderen Sektoren und Branchen überlappen, reicht ein alleiniger Fokus auf eCommerce aus umweltpolitischer Perspektive nicht aus. Hinzu kommt, dass der Kauf und Transport – die aus Plattformperspektive relevantesten Schritte – nur zwischen einem und zehn Prozent an den Gesamtemissionen im Lebenszyklus eines Produktes ausmachen. Um den negativen Umwelteffekten des eCommerce entgegenzuwirken und die positiven Effekte zu stärken, sind demnach politische Maßnahmen notwendig, die den Online-Handel als Teil einer größeren Konsumkultur begreifen und integrativ adressieren.

7.6 Fazit

Digitale Plattformen prägen unsere Gesellschaft. In immer heterogeneren Sektoren der Wirtschaft werden in der Tendenz immer mehr Transaktionen über Plattformen abgewickelt. In Konsequenz gewinnen Plattformen somit auch für Umweltfragen an zentraler Bedeutung. Die ökologischen Implikationen und Effekte des Plattformmodells sind bisher jedoch nur unzureichend in den Blick genommen worden. Um dies zu ändern, wurde im Rahmen dieser Teilstudie eine vergleichende Analyse der Umweltpotenziale unterschiedlicher Plattformtypen über Branchen hinweg durchgeführt. Ziel war es, zu verstehen, in welchen Branchen digitale Plattformen bereits für den Umweltschutz genutzt werden, welche Potenziale dabei sichtbar werden und welche Hemmnisse vorliegen, die einer umweltorientierten Anwendung entgegenstehen. Im Rahmen dieses Fazits werden die Erkenntnisse aus den im Rahmen der Teilstudie durchgeführten Untersuchungen – Crunchbase-Analyse (Abschnitt 7.3), Literaturstudie (Abschnitt 7.4) und vertiefende Fallstudien (Abschnitt 7.5) – nun abschließend auf integrative Art und Weise zusammengeführt. Darauf aufbauend werden, um die Hemmnisse für nachhaltigkeitsorientierte digitale Plattformen im Umweltschutz (Abschnitt 8.2) abbauen zu können, übergeordnete Regulierungsvorschläge und Handlungsempfehlungen entwickelt (Abschnitt 9.2).

7.6.1 Umweltpotenziale

Im Rahmen der in Abschnitt 2 angestellten konzeptionellen Überlegungen zu den Funktionen und Typen digitaler Plattformen wurden drei zentrale Charakteristika des Plattformmodells differenziert. Aus Umweltperspektive gehen mit diesen Charakteristika unterschiedliche Potenzialen einher:

- Das erste Charakteristikum der **Intermediation** verweist darauf, dass Plattformen Wert schaffen, indem sie Inter- und Transaktionen zwischen mindestens zwei unterschiedlichen Nutzungsgruppen koordinieren. Aus Umweltperspektive können Plattformen somit die Entstehung neuer Akteurskonstellationen ermöglichen und dadurch nachhaltige Verhaltensweisen stärken. Die Sharing Economy stellt ein Beispiel dafür dar, dass eine Senkung von Transaktionskosten neue Interaktionsformen mit Nachhaltigkeitspotenzialen hervorbringen kann. Umweltpotenziale werden dabei vor allem dann gehoben, wenn Plattformen ihre Märkte nach ökologischen Kriterien designen, d. h., wenn die Plattformunternehmen die plattforminternen Entscheidungsarchitekturen explizit auf Nachhaltigkeit ausrichten. Beispielhaft für solche Marktdesigns kann die Implementierung von Umweltfiltern auf eCommerce-Plattformen herangezogen werden.

- Das zweite Charakteristikum der **Datengewinnung** verweist darauf, dass sich Plattformen aufgrund ihrer Positionierung zwischen unterschiedlichen Informationsquellen besonders zur Gewinnung von Daten eignen. Mit Blick auf die Erschließung von Umweltpotenzialen kommt es bei der Datengewinnung vor allem darauf an, dass *umweltrelevante* Daten erfasst und diese zur nachhaltigkeitsorientierten Steuerung von Produktion oder Konsum genutzt werden. Elementar ist, dass Akteure entlang der Wertschöpfungskette über die Umweltdaten einerseits verfügen können und andererseits diese in ihr (in der Regel nicht monetäres) Kalkül einbeziehen. Das Vorhandensein von Daten ist mit Blick auf die Umweltpotenziale dann von Bedeutung, wenn diese Daten relevant handlungsleitend für Entscheidungen von staatlichen Akteuren, Unternehmen oder Konsument:innen sind. Insofern geht es nicht allein um die Verfügbarkeit, sondern vor allem auch um die steuerungsrelevante Nutzung.

- Das dritte Charakteristikum der **Netzwerk- und Skaleneffekte** verweist auf ökonomische Dynamiken, von denen digitale Plattformen im besonderen Maße profitieren. Vor allem die im Kontext von Plattformmärkten virulenten indirekten Netzwerkeffekte verstärken *winner-takes-it-all*-Dynamiken, d. h. dass einzelne Plattformen schnell in monopolähnliche Stellung gelangen können. Während solche Dynamiken aus volkswirtschaftlicher und sozialer Perspektive zu problematisieren sind, kann die ausgeprägte Marktmacht einzelner Plattformkonzerne (vor allem im B2C-Bereich) aus umweltpolitischer Sicht jedoch auch für Entlastungen in Stellung gebracht werden, da Plattformen in Monopolstellung über das durch sie gewählte Marktdesign individuelles Verhalten ohne große Transaktionskosten strukturieren und beeinflussen können.

Über die diversen Untersuchungsschritte (Crunchbase-Analyse und Literaturstudie) hinweg hat die Teilstudie verdeutlicht, dass die schlussendliche Realisierung der Umweltpotenziale, die sich aus diesen Charakteristika ergeben, jedoch vom Plattformtyp abhängt. Konkret bedeutet dies, dass die tatsächlichen Potenziale und Effekte des Plattformmodells nur im Kontext einzelner Branchen und Sektoren bestimmt werden können. Eine Verallgemeinerung auf Ebene der Plattformökonomie an sich ist aufgrund der vielfältigen Ausprägungen von Plattformen in der Praxis nur schwerlich möglich. Um diesem Sachverhalt gerecht zu werden, wurden in Abschnitt 7.5 im Rahmen der vertiefenden Fallstudien drei Ausprägungen von Plattformen

eingehender betrachtet: B2B-Industrieplattformen, (Umwelt-) Informationsplattformen und B2C-Marktplätze im eCommerce. Die Potenziale dieser Typen für den Übergang in eine Green Economy gestalten sich dabei zusammengefasst wie folgt:

- **B2B-Industrieplattformen** erschließen die Möglichkeiten der Digitalisierung, indem Produktionsökosysteme gefördert werden, die Datenerfassungen und Optimierungen (bspw. unternehmensübergreifende Nutzung von Produktionsressourcen) gerade auch jenseits der einzelnen unternehmerischen „Silos" ermöglichen – und dies in einer großen Bandbreite.
- **(Umwelt-) Informationsplattformen** erfassen und bewerten gegenwärtig u. a. die Umweltinformationen einer Vielzahl von unternehmerischen Akteuren und bereiten diese für interne und externe Stakeholder im Sinne des Risikomanagements auf. Mit Blick auf die Klimaherausforderungen zeigen sich aktuell neue Dynamiken bei der Informationsbereitstellung.
- **B2C-Plattformen im eCommerce** erlauben zumindest grundsätzlich, die Umweltrelevanz von Produkten oder Dienstleistungen vergleichend zu bewerten und damit Nachhaltigkeitsaspekte beim Einkauf explizit zu berücksichtigen. Zugleich konnten sich neue und zumindest potenziell umweltentlastende Geschäftsmodelle herausbilden.

Zusammenfassend zeigt diese Teilstudie, dass Plattformen, seien es B2C- oder B2B-Plattformen, zumindest im Grundsatz ganz erheblich zur Transparenzschaffung entlang der Lieferkette beitragen können. Im Falle von B2C-Plattformen im eCommerce können umweltrelevante Präferenzen und im Falle von B2B-Industrieplattformen vor allem Effizienzpotenziale erschlossen werden. Insbesondere mit Blick auf digitale Plattformen im B2B-Bereich wird deutlich, dass sich verstärkt Produktionsökosysteme herausbilden, in denen sich die traditionellen Grenzen (Silos) einzelner Unternehmen tendenziell auflösen. Zugleich ist insbesondere bei den B2B-Industrieplattformen davon auszugehen, dass Informationen zur Umweltrelevanz zunehmend einfacher auch über Produktionsstandorte hinweg zur Verfügung stehen – und damit durch interne oder auch externe Steuerungsansätze adressiert werden können.

7.6.2 Abschließende Schlussfolgerungen

Ein zentraler Hebel für eine nachhaltige Entwicklung sind die Erfassung und Bereitstellung von Umweltinformationen und deren Nutzung und „Übersetzung" in neue und nachhaltige Geschäftsmodelle. Datenverfügbarkeit und Bearbeitung bspw. via KI eröffnen Optionen, die in der Folge marktfähig gemacht werden müssen. Märkte sind allerdings elementar von den regulativen Rahmenbedingungen abhängig. Dies gilt auch für die Plattformen, die einerseits in dieser Form durch die Prozesse der Digitalisierung und damit auch der Datengenerierung überhaupt erst möglich werden. Wie herausgearbeitet wurde, bedeutet dies zunächst einmal, dass die Produktionsprozesse effizienter gestaltet werden (B2B) und mit Blick auf B2C-Plattformen auch potenziell „maßgerechtere" Angebote an Konsument:innen gemacht werden können. Dabei können umweltorientierte „lead user" adressiert werden, wobei offen ist, inwieweit die Nische „lead user" in der Folge zum Mainstream werden lassen kann, ohne dass (Umwelt-) Regulierungen eine elementare Rolle spielen.

Wie im Kontext der (IoT) B2B Plattformen (BMW) deutlich geworden ist, werden zum einen ökonomisch relevante Effizienzpotenziale erschlossen und zum anderen werden mit dem Ziel der Klimaneutralität umweltorientierte Strukturwandelprozesse (Klimaneutralität) sowohl durch interne Prozesse in Verbindung mit politischen Zielorientierungen angestoßen. Insofern wird deutlich, dass der zentrale Hebel in der Umweltregulierung im weiteren Sinne liegt und auf

dieser Basis sowohl Effizienzgewinne erschlossen werden und sich neue Geschäftsmodelle herausbilden können.

Ein zentrales Fazit der Analyse der Möglichkeiten und Grenzen der Plattformökonomie ist es, dass Plattformen gegenwärtig zu ambivalenten und z. T. unklaren Umwelteffekten führen und a priori keineswegs zur Erreichung weitreichender Umweltziele beitragen. Damit Plattformen die Umweltentlastungspotenziale heben können, ist es dementsprechend erforderlich, dass regulative Bedingungen entwickelt werden, die einerseits die Plattformen selbst einem ökologischen Marktdesign unterwerfen und andererseits der generelle ökologische Rahmen zur Erreichung der Klima-und Biodiversitätsziele entwickelt und umgesetzt wird. Einfacher formuliert, mit Blick auf den Klimaschutz müssen die Ziele des novellierten Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG) umgesetzt und entsprechend die regulativen Rahmenbedingungen angepasst werden. Damit wird zugleich ein wirkungsvoller ökologischer Rahmen für die Plattformökonomie vorgegeben. Damit werden die Leitplanken vorgegeben, im Rahmen derer die Entwicklungs- bzw. Innovationsrichtung von Plattformen zur Erschließung der Umweltentlastungspotenziale beitragen können.

8 Zusammenfassung zu den untersuchten digitalen Technologien

Nachdem in den vorherigen Abschnitten für drei verschiedene digitale Technologien (Big Data. KI, Plattformen) getrennt voneinander untersucht wurde, in welchem Zusammenhang sie zu einer Transformation zu einer Green Economy stehen, sollen nun auf einer übergeordneten Ebene die wesentlichen Dynamiken identifiziert und insbesondere das Zusammenspiel der drei einander teilweise überschneidenden Bereiche betrachtet werden. Dabei wird ersichtlich, wie die einzelnen digitalen Technologien ihren Beitrag leisten und wie sie sich gegenseitig ergänzen können. In diesem Zusammenhang wird deutlich, dass es mehrere übergreifende Hemmnisse und Risiken gibt, die einer zunehmenden Anwendung von Big Data-, KI- und Plattform-Lösungen für eine gelingende Transformation entgegenstehen. Diese sollen im hier beginnenden 8. Abschnitt zunächst benannt werden, um dann im darauffolgenden 9. Abschnitt konkrete Empfehlungen ableiten zu können, wie die Hemmnisse überwunden werden könnten.

8.1 Hemmnisse und Risiken bei Big Data und KI

Im Folgenden wird für Big Data und KI beschrieben, ...

- ... welche strukturellen Hemmnisse (z. B. Datenverfügbarkeit und Datenzugang, regulatorisches Umfeld, mangelnde technische Entwicklung, fehlende Infrastrukturvoraussetzungen, usw.) und
- ... Risiken (z. B. fehlerhafte KI-Ergebnisse, mangelnder Datenschutz, usw.) für die Nutzung dieser Technologien, existieren.

Mögliche strukturelle Hemmnisse und denkbare Risiken, welche einer Nutzung von Big Data und KI für den Übergang zu einer Green Economy entgegenstehen, sollen im Folgenden strukturiert benannt und bewertet werden. Zu den Risiken zählen auch mögliche Reboundeffekte, welche anfänglich positive Ergebnisse des Einsatzes von KI-Lösungen deutlich einschränken können bzw. im Extremfall sogar konterkarieren und ins Gegenteil verkehren. Eine Beachtung möglicher Reboundeffekte, wie unter anderem in UBA (2019) angerissen, darf daher nicht fehlen und wird die Hemmnis- und Risikoanalyse begleiten.

Im weiteren Verlauf werden unter den Begriffen Hemmnis und Risiko folgende Definitionen verstanden. Unter Hemmnissen verstehen wir Störfaktoren, die das Voranschreiten innerhalb eines Prozesses verlangsamen, behindern oder gänzlich blockieren können. Solche Hemmnisse können z. B. aus fehlenden Zielen, fehlenden gesetzlichen Regelungen, fehlenden Informationen, fehlendem Wissen, fehlenden Anreiz- und Sanktionssystemen, fehlenden technischen Entwicklungen sowie fehlenden Infrastrukturvoraussetzungen resultieren (Hauschildt/ Gemünden 1999 und Gabler Wirtschaftslexikon 2021). Als Risiko bezeichnen wir die Eventualität, dass mit einer (bekannten oder unbekannten) Eintrittswahrscheinlichkeit ein (hoher oder in seinem Ausmaß unbekannter) Schaden als Folge einer zuvor getroffenen Entscheidung eintritt oder ein in Folge der Entscheidung erwarteter Vorteil ausbleibt. (Gabler Wirtschaftslexikon 2021).

8.1.1 Methodisches Vorgehen

Zur Identifikation von Hemmnissen und Risiken wurde eine Literaturanalyse vollzogen sowie mehrere Expert:inneninterviews durchgeführt. Im Rahmen einer Literaturanalyse wurden zunächst 20 Quellen gezielt nach möglichen Hemmnissen und Risiken des Big Data und KI-

Einsatzes im Hinblick auf den Übergang zu einer Green Economy untersucht.[127] Die in der Literatur gefundenen Aspekte wurden zunächst in einer konsolidierten Form geordnet und nach Hemmnissen und Risiken erfasst.

Inwieweit die gefundenen Hemmnisse und Risiken im weiteren Verlauf durch weitere ergänzt bzw. widerlegt werden können, wurde im Rahmen der Expert:inneninterviews überprüft, die aus zwei Zugängen bestanden. Zum einen wurden die Interviews mit den KI- und Big Data-Expert:innen unter dem Aspekt möglicher Hemmnisse und Risiken ausgewertet, zum anderen wurden die Interviews mit allen Vorhabens-Koordinatoren der KI-Leuchtturm-Projekte entsprechend gewürdigt. Dabei zeigt sich, dass sehr viele der in der Literatur gefundenen Hemmnisse ebenfalls in den nachfolgenden Expert:inneninterviews benannt wurden. In diesem Zusammenhang ist anzumerken, dass die identifizierten Literaturquellen sich größtenteils nicht spezifisch auf die möglichen Beiträge von KI und Big Data zum Übergang in eine Green Economy (sowie einschlägigen Hemmnissen) konzentrieren, sondern vielmehr auf die allgemeinen Einsatzpotenziale, Hemmnisse und Risiken von KI. Die befragten Expert:innen hingegen beschäftigen sich alle unmittelbar mit Nachhaltigkeits- oder Green Economy-relevanten Anwendungen von Big Data und KI.

8.1.2 Ergebnisse der Literaturrecherche und der Experteninterviews

8.1.2.1 Hemmnisse

Die identifizierten Hemmnisse können in konsolidierter Form sechs verschiedenen Bereichen zugeordnet werden:

1. Datenverfügbarkeit und Datenqualität,
2. Datenzugang,
3. Dateninfrastrukturen,
4. (Fehlende) Fachkräfte und (fehlendes) Verständnis für die Möglichkeiten und Grenzen digitaler Technologien,
5. Regulatorische Hürden,
6. Fehlende Wirtschaftlichkeit und fehlende Akzeptanz.

Die drei erstgenannten Hemmnisse können dabei wie folgt voneinander abgegrenzt werden: Im Kontext von Big Data und KI bedeutet *Datenverfügbarkeit*, dass Daten erhoben werden und in maschinenlesbarer Form vorliegen. *Datenqualität* bezieht sich auf die Messgenauigkeit und Frequenz, mit der die Daten erhoben werden, sowie auf ihre Speicherung in konsistenten Einheiten und Formaten sowie der Dokumentation von Metadaten. *Datenzugang* beschreibt, ob erhobene und vorhandene Daten auch zugänglich sind; *Dateninfrastruktur*, das Vorhandensein notwendiger technischer wie organisatorischer Infrastrukturen (Hardware, Software, Personal), um Erhebung, Qualität, Zugang und Verarbeitung der Daten zu ermöglichen und sicherzustellen.

(1) Datenverfügbarkeit und Datenqualität

Die Expert:inneninterviews ergaben, dass erhebliche Unterschiede hinsichtlich der Datenverfügbarkeit zwischen den einzelnen Domänen zu bestehen scheinen. Während etwa im Energiesektor und der Klima-/Erdsystemforschung oft eine relativ gute Datenverfügbarkeit gegeben scheint (wobei es auch hier stark auf die Datenerfordernisse einzelner Anwendungsfälle/Geschäftsmodelle ankommt), wurden für anderen Domänen oft erhebliche

[127] Verwendete Quellen zur Hemmnis- und Risikoanalyse: Artificial Intelligence Ethics Impact Group 2020; Association of Pacific Rim Universities Mimited 2020; Bandura 2018; Berendt 2018; Bitkom 2017; Boeing 23.03.21; Cath et al. 2018; Crawford et al. 2019; Denham 2017; DKE German Commission for Electrical, Electronic & Information Technologies of DIN and VDE 2020; Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz 2020; Floridi et al. 2018; Future of Humanity Institute 2018; Hagendorff et al. 2020; HEG-KI 2018; Kettenburg 2019; Zhang et al. 2021.

Defizite in der Datenverfügbarkeit benannt. Allerdings scheint es, dass allgemein eine stetige Verbesserung der Datenverfügbarkeit zu verzeichnen ist.

Die Gründe, warum potenziell interessante Daten nicht erhoben werden, sind dabei vielfältig und beinhalten z. B. fehlende Sensorik, verbundene Kosten und unsichere Wirtschaftlichkeit des Aufbaus ausreichend großer Sensornetze, fehlende regulatorische Verpflichtung Daten zu erfassen. Zudem bestehen für Wissenschaftler:innen oft nur begrenzte Anreize, Zeit in die Erstellung neuer Datensets zu investieren und diese zu veröffentlichen.[128] Hinzu kommt, dass die Erstellung aussagekräftiger Datensets erhebliches Domänenwissen sowie Zeit und Personalressourcen erfordern kann. Im Naturschutz wird dies am klarsten (da nur Artenkenner Fauna-/Floraspezies unterscheiden können). Dies gilt aber auch für andere Felder (z. B. industrielle Daten). Ausreichend Zeit, Geld und geschultes Personal sind in vielen Fällen nicht vorhanden.

Die mangelnde Digitalisierung (Maschinenlesbarkeit) insbesondere von in der Vergangenheit erhobenen Daten ist ein weiteres Problem, auch da ihre Digitalisierung mitunter erhebliche „Handarbeit" und Expertise benötigt (z. B. um Fehler zu korrigieren, Einheiten anzupassen, etc.). Schließlich erfordern gerade KI-Anwendungen oft hochverlässliche Referenzdaten, anhand derer das Modell und die im Modell verarbeiteten Daten kalibriert werden können. So kann es für satellitendatenbasierte Anwendungen in der Landwirtschaft oder dem Naturschutz zum Beispiel nötig sein, zusätzliche Daten „auf dem Boden" im Feld zu erheben. Mit der Bereitstellung eines einzigen Datensatzes ist es folglich oft nicht getan.

Auch die Datenqualität wurde häufig als Hemmnis beschrieben. Neben Messungenauigkeiten oder infrequenten Messungen ist hier insbesondere das Problem inkonsistenter Datenformate, Einheiten oder fehlenden Metadaten zu nennen. Im besten Fall bedeutet mangelnde Datenqualität erhebliche Mehraufwände, um nutzbare Datensets zu erzeugen; schlimmstenfalls werden belastbare Analysen unmöglich. Ein markantes Beispiel ist die laut interviewten Expert:innen geringe Standardisierung von Unternehmensberichten im Bereich der Nachhaltigkeit. Zwar berichten gerade große Unternehmen verstärkt Daten zu ihrer Nachhaltigkeitsperformance, CO_2-Emissionen und Emissionsreduktionszielen, allerdings sind diese Daten oft nur sehr schwer zu vergleichen (aufgrund unterschiedlicher Basisjahre, Bezugsgrößen, etc.).

(2) Datenzugang

Der Datenzugang – die Daten existieren prinzipiell, ein Zugriff auf sie ist aber nur schwer oder gar nicht möglich – wurde regelmäßig als weiteres großes Problem beschrieben. Mehrere Befragte sahen den Datenzugang sogar als *größere* Hürde als die Datenverfügbarkeit an, z. B. im Energiesektor. Datenzugangsprobleme scheinen insbesondere bei Unternehmensdaten aufzutreten, da viele Unternehmen aus Angst vor Abfluss von Betriebsgeheimnissen oder weil sie selbst in die Datenerhebung investiert haben und sich Geschäftsvorteile von den Daten versprechen, bei der Weitergabe von Daten entsprechend zögerlich sind. Auch für den öffentlichen Sektor konstatierten die Befragten wiederholt Datenzugangsprobleme. Zwar hat sich im öffentlichen Sektor die grundsätzliche Idee von *Open Daten* zunehmend durchgesetzt; die praktische Implementierung hinkt bisweilen aber anscheinend noch hinterher. So klagten manche Befragte über praktische Zugangsschwierigkeiten (etwa, dass Daten oft weiterhin von

[128] Dies variiert anscheinend zwischen Forschungsdisziplinen. Beispielsweise besteht in der Erdsystemforschung etablierte und gute Tradition der Erhebung und Veröffentlichung neuer Datensets. Grundsätzlich allerdings gilt, dass die Zahl hochkarätiger Publikationen für Wissenschaftler:innen in vielen Disziplinen karriereentscheidend ist. Die Veröffentlichung neuer, wertvoller Datensets hingegen wird meist noch nicht als wichtige Leistung honoriert. Der Anreiz für Wissenschaftler:innen ist daher oft eher, mit bestehenden Datensets zu arbeiten und nicht viel Zeit in die Erstellung neuer zu investieren, zumal hiermit auch immer das Risiko verbunden ist, dass der selbsterstellte Datensatz doch nicht gut genug ist, um eine Publikation zu ermöglichen.

einzelnen Bundes-, Landes- oder Kommunalämtern angefragt werden müssen, statt über zentrale Datenportale zugänglich zu sein, und dass Bearbeitungszeiten, bis Datenanfragen beantwortet und Zugang gewährleistet würde, teilweise extrem lang sein können).[129]

Auch lässt sich feststellen, dass keineswegs alle benötigten Datensets standardmäßig veröffentlicht würden. Ein spezielles Problem stellen laut einem Befragten dabei Forschungsdaten dar. Die projektbasierte Forschungsförderung über Drittmittel sähe häufig noch keine Geldmittel für die langfristige Sicherung, Kuratierung, und Bereitstellung der im Projekt generiert Daten und KI-/Datenanalyse-Modelle *nach Projektende* vor. Vielmehr fiele dann häufig alles auseinander, da Teams und Personal auseinandergingen und keine hierfür vorgesehenen Geldmittel mehr vorhanden sein. Die seit 2019 im Aufbau befindliche **Nationale Forschungsdateninfrastruktur** (https://www.nfdi.de/) hat zwar begonnen, diese Lücken zu schließen, es gibt aber dennoch weiteren Handlungsbedarf. Schließlich wurden in bestimmten Kontexten auch regulatorische Hemmnisse als Ursache für Datenzugangsprobleme genannt (siehe Punkt 5).

(3) Dateninfrastrukturen

Big Data und KI erfordern relativ mächtige (und oft auch kostspielige) IT-Infrastrukturen, um Daten zu erheben, zusammenzuführen, zu speichern und zu verarbeiten. Diese Infrastrukturen als Voraussetzung für eine folgende Anwendung erfordern entsprechende Investitionsbedarfe und finanzielle Mittel. Derartige Infrastrukturen liegen, insbesondere bei NGOs und kleineren und mittleren Unternehmen oft nicht vor bzw. es handelt sich um veraltete IT-Infrastrukturen (mit denen aktuelle Big Data- oder KI-Anwendungen nicht möglich sind). Auch für systemübergreifende Zusammenführungen von Daten über Firmen- oder Sektorgrenzen hinweg bestehen selten entsprechende Infrastrukturen (z. B. für die Kreislaufwirtschaft).

Der Aufbau von Dateninfrastrukturen (und IT-Infrastrukturen überhaupt) ist kostspielig. Gerade für NGOs, wurde in den Interviews angemerkt, beständen hier auch Lücken in der Förderung. Die Daten- bzw. IT-Infrastruktur steht im Ressourcenwettbewerb mit anderen, vermeintlich „wichtigeren" Themen. Teilweise fehle auf der Fördermittelgeberseite auch das Bewusstsein für Datenanalyse und Digitalisierung als mächtige Instrumente, um die inhaltliche Arbeit voranzutreiben (siehe Punkt 4). Digitalisierung und Data Analytics würden zudem häufig und fälschlicherweise auf die Beschaffung geeigneter Hardware reduziert (auch da Mittelgeber laufende Ausgaben scheuen). Dabei seien laufende Investitionen in Personal sowie Schulung und Beratung oft ebenso wichtig.

(4) (Fehlende) Fachkräfte und (fehlendes) Verständnis für die Möglichkeiten und Grenzen digitaler Technologien

Die Hemmnisse in Bezug auf Fachkräftemangel und Verständnis der Möglichkeiten und Grenzen von KI und Big Data haben mehrere Dimensionen. Zum einen ist die Nachfrage nach KI-Fachkräften, Datenwissenschaftler:innen und Informatiker:innen allgemein hoch, das Fachkräfteangebot aber gegenwärtig und voraussichtlich auf absehbare Zeit weiterhin nur begrenzt. Weniger finanzstarken Unternehmen und insbesondere NGOs fällt es somit sehr schwer, die entsprechenden Gehälter zu zahlen, um Fachkräfte überhaupt für sich zu gewinnen.

Um Big Data und KI-Anwendungen zu entwickeln, die in spezifischen Domänen (Energie, Verkehr, Naturschutz, etc.) sinnvoll eingesetzt werden können, braucht es aber nicht nur KI- bzw. datenwissenschaftliche Expertise, sondern zumeist auch tiefe Kenntnisse der jeweiligen Domäne. Damit Anwendungen nicht nur prototypisch funktionieren, sondern in den

[129] So kann es, aufgrund langsamen Institutsbürokratien und komplexer Prozesse, durchaus bis zu 12 Monate dauern, bis Forschungsinstitute einen Datenzugang gewähren.

großflächigen Einsatz in einem Unternehmen, einer Behörde oder sogar NGO überführt werden können, braucht es zudem ein Verständnis der praktischen Anforderungen und Rahmenbedingungen (Qualitätssicherung, Robustheit, Mensch-Maschine Schnittstelle, etc.).

Einzelpersonen erscheinen nur in Ausnahmefällen in der Lage, sich sämtliche der aufgeführten Kenntnisse anzueignen. Speziell in der universitären KI-Forschung scheint es auch insofern Anreizprobleme zu geben, als dass es für hochkarätige Veröffentlichungen meist notwendig ist, grundlegende Fragen mit möglichst breiter Relevanz für den Fachbereich zu adressieren. Domänenspezifische Anwendungsprobleme eignen sich hierzu weniger, fordern umgekehrt aber oft viel Zeit für Einarbeitung und Erstellung passender Datensätze (siehe Punkt 1). Für universitäre KI-Forscher:innen ist der Anreiz, stark anwendungsbezogen zu arbeiten, somit stark begrenzt.

Glücklicherweise ist es aber nicht nötig, dass eine einzige Person über sämtliche der relevanten Expertisen verfügt. Viele Befragten betonten, dass es ausreiche, wenn sie im *Projektteam* abgebildet sind. Für erfolgreiche Kooperation zwischen Datenwissenschaftler:innen, Domänenexpert:innen und Praktiker:innen müssen alle aber ausreichend Zeit aufwenden (können), um die jeweils anderen Perspektiven und Anforderungen zu verstehen und „eine gemeinsame Sprache zu entwickeln." Gleichzeitig müsse auf allen Seiten ein grundsätzliches Verständnis von Datenwissenschaft, dem Domänenkontext und den praktischen Anforderungen gegeben sein.

Jedoch fehle insbesondere Fach- und Führungskräften in Unternehmen, Kommunen, Behörden und NGOs oft ein solch grundlegendes Verständnis von Big Data und KI, so die übereinstimmende Aussage der Befragten. Entsprechend schwierig falle es ihnen dann oft, sowohl die Potenziale, wie die Grenzen der Einsatzmöglichkeiten von Datenwissenschaft in ihren Feldern und Organisationen einzuschätzen. Insbesondere im NGO-Bereich und bei kleineren und mittleren Ingenieursbüros oder technischen Beratungshäusern (die für Kommunen und Privatwirtschaft oft wichtige Dienstleister und Technologievermittler sind) fehle oft noch ein Bewusstsein für die erheblichen bereits bestehenden Potenziale von Big Data und KI.

(5) Regulatorische Hemmnisse

Regulatorische Hemmnisse wurden in den geführten Interviews wiederholt als große Hürden für den breiteren Einsatz von Big Data und KI zur Beförderung der Transformation in eine Green Economy benannt. Allerdings trat nicht eine einzelne Regulierung in den Interviews als „das" konkrete Kernproblem hervor, welches in einem „großen Wurf" gelöst werden könnte. Regulatorische Hemmnisse ergeben sich vielmehr zumeist eher aus – schwer vorhersagbaren – Interaktionen einzelner Detailvorschriften mit spezifischen Anforderungen einzelner Anwendungsfälle, Geschäftsmodellen und technischer Neuerungen. Diese Hemmnisse sind dann meist sehr domänen- und detailspezifisch, z. B. ob das gleiche Wasserbecken sowohl als Hochwasser-, wie Regenwasserrückhaltebecken fungieren darf, ob gespeicherter Grünstrom bei der Entladung des Speichers und Weiterverkauf des Stroms noch als Grünstrom gelten darf, oder unter welchen Umständen welche Strompreiskomponenten erlassen werden können.

Hintergrund hierzu ist, dass viele der für die Transformation relevantesten Felder – wie Energie, Verkehr, Wasser oder Landwirtschaft – komplexe, dichte und über Dekaden gewachsene regulatorische Vorschriften ausweisen, zumal sie oft in den Bereich der Kritischen Infrastrukturen fallen, wo Sicherheitsanforderungen besonders hoch sind und die Ausfallsicherheit traditionell über Innovation oder Effizienz als regulatorisches Ziel steht.

Zudem sind Innovationszyklen in diesen Branchen traditionell eher langsam. Entsprechend sind meist weder die bestehenden wirtschaftlichen, noch die regulatorischen Strukturen auf die rasche Absorption von technischen- oder Geschäftsmodell-Innovationen ausgelegt. Insofern KI und Big Data als mächtige Querschnittstechnologien diese Branchen nun umbrechen und Innovationen antreiben, ist das Auftreten von – ex ante, schwer vorhersagbaren – Spannungen zwischen bestehenden Vorschriften und innovativen neuen Anwendungsideen quasi vorprogrammiert. Da die meisten Vorschriften – zumindest beim Zeitpunkt des Erlasses – aber nicht unbegründet sind, sind umwälzende Änderungen zumeist nicht möglich, gerade im Bereich kritischer Infrastrukturen. Wie später, im Rahmen der Handlungsempfehlungen, noch weiter ausgeführt werden wird, liegt hier eine mögliche Antwort im stärkeren Einsatz von Reallaboren, um regulatorische Anpassungsoptionen sowie die Mehrwerte neuer Technologien und Anwendungen in kontrollierten Umgebungen zu untersuchen.

Unternehmensumfragen zeigen zudem, dass Datenschutz (bzw. die DSGVO) teilweise ein Hemmnis für Big Data und KI sind (z. B. Bitkom 2020). In den für diese Studie geführten Expert:inneninterviews wurden Datenschutz und die DSGVO, mit wenigen Ausnahmen, jedoch als höchstens untergeordnete Hürde bezeichnet. Der Grund hierfür scheint, dass die meisten nachhaltigkeits- bzw. Green Economy-relevanten Anwendungen primär keinerlei personenbezogene, sondern eher technische und naturwissenschaftliche Daten berühren. Ausnahmen betreffen entsprechend Anwendungen, bei der personenbezogene Daten im Mittelpunkt stehen, z. B. die Forschung zu den Gesundheitsauswirkungen des Klimawandels oder verhaltensbezogene Anwendungen und Daten in den Energie- und Verkehrssektoren. Hier kann der Mehraufwand, um Regularien einzuhalten und gleichzeitig die Anwendung durchzuführen, sehr erheblich sein. Auch gibt es nicht immer praktikable Lösungen, die eine hochwertige Analyse oder Anwendungsumsetzung bei Einhaltung der DSGVO gewährleisten. Im Verkehrsbereich etwa, so ein Befragter, gingen teilweise notwendige Informationen verloren, wenn man Daten anonymisiere. Optimierungspotenziale in der Verkehrsplanung und der Verkehrssystemführung könnten so nicht voll ausgeschöpft werden.

Eine weitere allgemeinere Hürde betrifft die Sorgen möglicher Urheberrechtsverletzungen. Die in Frage kommenden KI-Lösungen benötigen oft große Mengen an Trainingsdaten und gerade Bild- und Textdaten sind im Internet in großer Zahl verfügbar. Die Versuchung erscheint entsprechend groß, sich hier einfach zu bedienen. Allerdings ist laut Befragten oft nicht abschließend geklärt, ob dies urheberrechtlich zulässig ist, auch wenn der potenzielle gesellschaftliche Mehrwert einer liberalen Handhabung dieser Frage zu überwiegen scheint.

Schließlich betonten mehrere Befragte die Bedeutung der offiziellen technischen Regelwerke für den Einsatz neuer Technologien, wie Big Data- und KI-Lösungen. Dies gilt insbesondere für Wendefelder, die den kritischen Infrastrukturen zuzurechnen sind und in denen staatliche und kommunale Investitionen eine große Rolle spielen. Aufgrund der bestehenden Rahmenbedingungen und Anreizstrukturen werden hier meist nur die Technologien eingesetzt, die in den relevanten technischen Regelwerken definiert sind. Zwar werden die Regelwerke regelmäßig überarbeitet, die Hürden für die Aufnahme neuer Technologien sind jedoch – aus durchaus nachvollziehbaren Gründen – relativ hoch. Modell- und Demonstrationsprojekte (siehe folgende Handlungsempfehlung), um neue Technologien auszuprobieren, könnten hier Abhilfe schaffen, da so nötige Referenzdaten für eine Aufnahme in das Regelwerk gewonnen werden können.

(6) Fehlende Wirtschaftlichkeit und fehlende Akzeptanz

Wie im 5. Abschnitt beschrieben, fallen etwa zwei Drittel der identifizierten Big Data-Anwendungen in die niedrigste Stufe auf der Transformationsskala (Stufe 1); ein weiteres

Drittel fällt in die nächsthöhere Stufe 2. Bei den in Kapitel 6 untersuchten KI Anwendungen ergibt sich ein ähnliches Bild. Wie bereits vorne erläutert, dreht es sich bei den Stufe-1-Anwendungen vor allem um Lösungen zur Effizienzsteigerung, insbesondere von relativ teuren Inputs wie Energie, Dünger, Herbizide und Pestizide, Wasser (in trockenen Gegenden) und bestimmten Materialien. Bei diesen Anwendungen ist die Wirtschaftlichkeit für Unternehmen meist relativ einfach zu beurteilen, da es sich um kosteneinsparende Maßnahmen handelt, die im Nebeneffekt auch positive ökologische Effekte aufweisen. In Marktwirtschaften haben Unternehmen grundsätzlich immer Anreize, ihre Effizienz zu erhöhen. Regulierung kann diese quasi „natürlich" gegebenen Anreize noch verstärken, in dem sie Preise für bestimmte Inputs steigert (z. B. Energiekosten über einen CO_2-Preis), der Anreiz an sich ist aber theoretisch immer vorhanden.[130] Insofern ist es nicht überraschend, zahlreiche Anwendungen der Stufe 1 vorzufinden.

Allerdings betonte ein Befragter, dass zu viele Unternehmen vorhandene Effizienzpotenziale keineswegs immer ausschöpfen oder sich ihrer überhaupt bewusst sind. Ein Beispiel hierfür sei der Umgang mit Ausschussprodukten. Häufig kalkulierten Unternehmen die hier entstandenen Kosten nicht richtig (setzten z. B. für Ausschuss etwa nur Entsorgungskosten statt die vollen „verschwendeten" Produktionskosten bezüglich Material, Energie und Arbeitszeit an) und hätten zu wenig Datentransparenz über firmeninterne Stoffströme, um nachzuvollziehen, wo genau Ausschüsse entstehen. Big Data und KI könnten hier viel bessere Fehlererkennung mit wirtschaftlichen wie ökologischen Vorteilen ermöglichen, eine derartige Fehlererkennung würde aber oft nicht umgesetzt oder deren Mehrwehrt überhaupt nicht erkannt.

Bei den Stufe-2-Anwendungen geht es hingegen um Lösungen, die spezifische ökologische Transformationen – insbesondere die Energie-, Verkehrs- und Landwirtschafts-Wende oder auch die Kreislaufwirtschaft – konkret voranbringen. Was diese Transformationen auszeichnet, ist, dass (im Gegensatz zum in Marktwirtschaften omnipräsenten Anreiz zur Effizienzsteigerung) der „freie" Markt an sich den privaten Unternehmen oft keine Anreize bietet, entsprechende „Wende"-Produkte zu entwickeln, weil – zumindest in den früheren Stadien der „Wende" – konventionelle Produkte billiger und effektiver sind (da ökologische Externalitäten von Märkten meist nicht eingepreist werden).

Für ein Zustandekommen der „Wende" bedarf daher zumeist erheblicher regulatorischer Interventionen, um überhaupt einen Markt für „Wendeprodukte" (z. B. PV-Anlagen, Windräder, Netzintegrationstechnik, E-Autos, usw.) zu schaffen. Bei den Big Data- und KI-Anwendungen der Stufe 2 handelt es sich zudem zumeist um Software und Analytics-Lösungen, die solche „Wende"-Hardware-Produkte komplementieren und optimieren können. Entsprechend entstehen sie primär dort, wo ein „Wende-Ziel" politisch definiert und mit entsprechenden marktschaffenden Maßnahmen flankiert wird (gezielte Subventionen, Produktstandards, CO_2-Preise, etc.). Wo solche regulatorischen (marktschaffenden) Maßnahmen fehlen, sind entsprechend weniger Stufe 2-Anwendungen zu beobachten, da in diesen Fällen schlicht kein ökonomisch nachhaltiges Geschäftsmodell darstellbar wird.

Allgemein betonen die Befragten wiederholt, dass fehlende Akzeptanz von Nutzer:innen und der Gesellschaft allgemein ein Hemmnis insbesondere für KI-Anwendungen darstellen kann. Es fehle oft das notwendige Vertrauen in KI-Anwendungen, welche häufig als "Blackbox" betrachtet und auch so verkauft werden, obwohl es notwendig wäre, die Daten der Evaluierung offenzulegen und die Grenzen der Methoden zu kennen und darzulegen. Aus wissenschaftlicher Perspektive besteht zudem sehr oft das Problem, dass KI-Anwendungen (wie auch andere Vorhersagen) aus

[130] Reale Kosten können natürlich durch staatliche Subventionen (z. B. für Energie) verzerrt werden oder auch nicht vollständig im Marktpreis abgebildet (z. B. die realen Kosten des Klimawandels) und so nicht von Firmen über den Marktpreis internalisiert werden, was als klassische Begründung für umweltpolitische Marktinterventionen wie CO_2-Preise dienen kann.

bekannten Daten auf unbekannte Situationen extrapolieren müssen, und das ist inhärent unsicher. Die Auswahl der richtigen Bewertungskriterien für den Erfolg von KI-Methoden erscheint somit von entscheidender Bedeutung. Dies würde eine Einschätzung von unabhängigen Expert:innen erfordern, welche sowohl Erfahrungen im KI-Bereich, als auch im Bereich der jeweiligen Anwendung haben.

8.1.2.2 Risiken

Die im Rahmen von Literaturrecherche und Interviews identifizierten Risiken lassen sich, in einer konsolidierten und aggregierten Form, folgenden vier verschiedenen Bereichen zuordnen:

1. Fehler in der KI und Folgen,
2. Hoher zusätzlicher Ressourcenbedarf der KI,
3. Auftreten von Rebound-Effekten,
4. Missbräuchliche Verwendung der Daten.

(1) Fehler in der KI und Folgen

Die schwerwiegendsten Fehler in der KI können in die drei Bereiche **Intransparenz der Entscheidungen**, **Verzerrungen und Diskriminierungen** sowie **Prognoseproblematik und Risiko von Fehlfunktionen** aufgeteilt werden.

Intransparenz der Entscheidungen: Bei bestimmten KI-Verfahren ist eine Nachvollziehbarkeit im Nachhinein nicht gegeben. Wenn aber die KI-Entscheidungs-Algorithmen nur als Blackbox angesehen werden, deren Ergebnisse ohne Hinterfragen zu akzeptieren sind, handelt es sich schlichtweg um ein Vortäuschen von Sicherheiten über Zusammenhänge. Hier müssten unbedingt Vorgaben bezüglich der Beherrschbarkeit, Überprüfbarkeit und Rückverfolgbarkeit gegeben werden. Diese Intransparenz von Entscheidungen und fehlende Nachvollziehbarkeit des Algorithmus erscheint als großes Problem. Eine bereits verfolgte Lösung als möglicher Ausweg wäre die stärkere Verfolgung von Ansätzen der sogenannten "Explainable AI", also einer erklärbaren KI, die eindeutig nachvollziehbar macht, auf welche Weise das Ergebnis zustande gekommen ist. Zudem gibt es auf EU-Ebene Initiativen, die hier zukünftig Abhilfe schaffen sollen.

Verzerrungen und Diskriminierungen: Verzerrte Trainingsdaten (wie z. B., dass bestimmte Bevölkerungsgruppen im Datensatz nicht vertreten sind) können dazu führen, dass Aufgaben und Zieldefinition des Algorithmus nicht frei von Diskriminierungen sind. Der Output des KI-Algorithmus wäre somit unabsichtlich diskriminierend. Reale Zustände in der Praxis ändern sich zudem so schnell, dass die verwendeten vergangenheitsbezogenen Modelldaten nicht mehr passen könnten. Ein weiteres Problem stellt die Gefahr der möglichen Unterspezifizierung von tiefen neuronalen Netzen dar. Aufgrund fehlender Daten für einzelne Teilaspekte werden Schätzungen für diese Teilaspekte vorgenommen und im Folgenden verwendet, die ebenfalls zu Verzerrungen der Ergebnisse beitragen.

Prognoseproblematik und Risiko von Fehlfunktionen: Es besteht eine latente Gefahr, dass der verwendete KI-Algorithmus Abkürzungen nimmt, die zwar zum wahrscheinlichsten, aber dennoch falschen Ergebnis führen. Sollte dies zu einem späteren Zeitpunkt offensichtlich werden, drohen Entschädigungen bei Fehlleistungen/-einschätzungen oder auch bei nachträglich erkannter Diskriminierung. Zur Risikominimierung wäre es also besser, zunächst nur mögliche KI-Vorschlägen zu generieren, die dann von einer zusätzlichen Software oder von menschlichen Entscheider:innen freigegeben werden müssen. Insbesondere restriktive Entscheidungen, wie z. B. Genehmigungen in der Verwaltung, sollten sowohl immer transparent, als auch menschlich abgesichert sein. Die letzte Entscheidung (auf Basis der KI-Empfehlung) sollte somit immer bei einem (für die Entscheidung dann Verantwortung übernehmenden) Menschen liegen.

(2) Hoher zusätzlicher Ressourcenbedarf der KI

Durch eine Umsetzung mit Hilfe eines KI-Systems entstehen zwangsläufig Ressourcen- und Energieverbräuche für die Datenvorbereitung und -analyse. In welcher Höhe diese Energieverbräuche anzusetzen sind, ist grundsätzlich nur sehr schwer zu beziffern und in der Literatur durchaus umstritten. Eindeutig erscheint aber, dass der Energieverbrauch stark davon abhängt, wie viele Trainingsdaten verarbeitet werden müssen, wobei es auch Ansätze gibt, in denen vortrainierte Modelle mit vergleichsweise wenigen Trainingsdaten angepasst werden können. Im Folgenden soll daher nicht der Energieverbrauch der KI selbst, sondern vielmehr der oft nicht beachteten Begleiterscheinungen diskutiert werden, wobei zwischen der Gefahr eines **Overengineering** und dem **Aufwand für redundante Notfalllösungen** unterschieden wird.

Overengineering: Ein alternatives Nicht-KI-System erscheint in manchen Fällen besser geeignet, und wäre auch robuster und kostengünstiger sowie klimafreundlicher. Es handelt sich folglich um ein Overengineering in dem Sinne, dass eine komplexe und aufwändige KI-Lösung einer einfacheren Alternative vorgezogen bzw. nicht das einfachste und verständlichste Modell gewählt wurde. Es sollte jedoch immer kritisch hinterfragt werden, welche Technologie für welche Problemstellung angemessen erscheint. Unter Umständen kann dann als Ergebnis auch die Erkenntnis stehen, dass eine simple technische Lösung, die in einen organisatorischen Kontext eingebettet ist, die Erreichung der gewünschten Wirkung bereits sicherstellt und ein KI-System keinen wirklichen Mehrwert bietet.

Aufwand für redundante Notfalllösung: Für den Ausfall oder Versagensfall der KI-Lösung muss in manchen Fällen, insbesondere bei Anwendungen im Bereich der Kritischen Infrastrukturen, eine redundante technische Infrastruktur vorgehalten werden, so dass auch diese Ressourcen für die Analyse der KI-Lösung mitberücksichtigt werden sollten. Bei Anwendungen, die nicht der Kritischen Infrastruktur zuzurechnen sind, können sich Notwendigkeiten für redundante Lösungen aus strategischen Überlegungen (wie z. B. der jederzeitigen Aufrechterhaltung des Geschäftsmodelles) ergeben.

(3) Auftreten von Rebound-Effekten

Die hier auftretenden Rebound-Effekte können in die drei Kategorien **Direkte, Indirekte und Makroökonomische Rebound-Effekte** aufgeteilt werden.

Direkte Rebound-Effekte zeigen sich z.B. in Mehrverbräuchen. Es handelt sich um psychologisch-bedingte Effekte, wie z. B. bei energiesparenden Gebäuden oder wassersparenden Systemen zu beobachten ist. Menschen sind sich der Effizienz der Systeme bewusst und achten deshalb nicht weiter auf eine sparsame Nutzung, sondern verwenden im Gegenteil keinerlei Sorgfalt mehr hierauf und generieren somit bedenkenlos einen Mehrverbrauch. Der auftretende Reboundeffekt kann jedoch auch qualitativer Art sein, wie z. B. in der Abfallwirtschaft, wenn Verbraucher:innen aufgrund hochtechnisierter Systeme ihre Sorgfalt bei der Abfalltrennung reduzieren. Grundsätzlich entstehen derartige Probleme im Zusammenspiel aus technischer Lösung und menschlichem Anwender, welcher sich der Effizienzsteigerung bewusst ist und daher sein Verhalten anpasst (im Sinne eines nachlässigeren Verhaltens). Dadurch kann die Einsparung reduziert, im Extremfall sogar aufgehoben werden. Somit wäre die Gesamtwirkung, wenn man auch die Material- und Energieaufwände, die allein durch die Existenz der KI-Lösung entstehen, miteinbezieht, im Extremfall sogar negativ.

Indirekte Rebound-Effekte treten auf, wenn die, durch KI-Lösungen **in einem Bereich** generierte Ressourcen- oder Energieeinsparungen, vorrangig genutzt werden, um in einem anderen Bereich exzessiver zu verbrauchen beziehungsweise zu konsumieren. Derart können zuvor erzielte Effizienzgewinne wieder gänzlich kompensiert und somit zunichtegemacht werden.

Makroökonomische Rebound-Effekte könnten zudem zu sogenannten Verlagerungseffekten führen. Hier könnten, z. B. im Bereich des Einsatzes von KI-Lösungen in der Mobilität oder Logistik, Verlagerungseffekte auf Verkehrsträger erfolgen, die die positiven Klimawirkungen des KI-Einsatz aufwiegen oder sogar übersteigen.

(4) Missbräuchliche Verwendung der Daten

Bei der missbräuchlichen Verwendung von Daten lassen sich die üblichen und damit nicht KI-spezifischen, sondern vielmehr allgemein die Digitalisierung betreffenden Risiken aufführen, die sich den drei Bereichen **Datenschutz**, **Datensicherheit** und **kriminelle oder missbräuchliche Nutzung** zuordnen lassen.

Unzureichender Datenschutz: Auch durch KI-Systeme ist eine unerlaubte Datennutzung möglich. Insbesondere bei der Verwendung personenbezogener Daten haben KI-Systeme ein hohes Überwachungspotenzial, welches speziell in Deutschland schnell in fehlender Akzeptanz resultiert. Um dem zu begegnen und die Akzeptanz zu erhöhen, müssten folglich insbesondere aggregierte Lösungen, die einen Rückschluss auf Einzelne nicht mehr zulassen, Verwendung finden.

Unzureichende Datensicherheit: Die klassischen Probleme bezüglich einer Gewährleistung der Datensicherheit, die eine missbräuchliche Nutzung privater oder nichtanonymisierter Daten verhindert, betrifft KI-Lösungen gleichermaßen wie andere digitale Lösungen. Risikobehaftete Aspekte, wie z. B. das Ausspähen von Nutzerdaten, kriminell motivierter Hack und entsprechende mögliche Fehlsteuerung der KI lassen sich wahrscheinlich nie vollständig ausschließen und verhindern.

Kriminelle oder missbräuchliche Nutzung: Eine zunächst und für den ursprünglich erdachten Anwendungsfall als positiv eingestufte KI-Lösung und die ihr zugrundeliegenden Daten werden z. B. mit krimineller Energie oder aus rein wirtschaftlichen Interessen für andere Einsatzzwecke genutzt. Diese "neuen" Einsatzzwecke sind jedoch aus Umwelt- und Nachhaltigkeits-Sichtweise abzulehnen, da sie den Zielen der Transformation grundsätzlich entgegenstehen.

8.1.3 Zusammenfassung zu Hemmnissen und Risiken bei Big Data und KI

Es zeigt sich, dass die in den Expert:inneninterviews genannten Hemmnisse und Risiken, die zuvor in der Literatur identifizierten Punkte vollumfänglich bestätigen sowie teilweise noch konkretisieren können. Die von den KI-Leuchtturmprojekt-Koordinatoren genannten Hemmnisse und Risiken befinden sich größtenteils auf einer Anwendungs- und Entwicklungsebene und spiegeln damit die tatsächlichen Herausforderungen einer KI-Anwendung, die speziell für den Übergang zu einer Green Economy konzipiert ist. Somit kann festgehalten werden, dass die zuvor im Rahmen der Literaturanalyse identifizierten theoretischen Hemmnisse und Risiken tatsächlich auftreten und reale praktische Hürden darstellen.Auffällig ist in diesem Zusammenhang die Tatsache, dass es nur sehr wenige spezifische Hemmnisse und Risiken, die speziell Green Economy relevante KI-Anwendungen betreffen, zu geben scheint. Daher muss die Frage aufgeworfen werden, warum es eigentlich nicht viel mehr "grüne" KI-Anwendungen gibt, da diese ja offensichtlich gegenüber kommerziellen KI-Anwendungen nicht systematisch benachteiligt werden. Diese Frage könnte vorrangig beispielsweise im Rahmen zukünftiger Forschungsvorhaben thematisiert werden.

Nahezu alle der gefundenen Hemmnisse und Risiken sind folglich nicht spezifisch für "grüne" KI-Anwendungen bzw. hängen auch nicht direkt mit der Umweltgesetzgebung oder Umweltregulierung zusammen. Der Großteil der oben aufgeführten Hemmnisse und Risiken lässt sich also nicht durch alleinige Aktivitäten des Umweltressorts oder seiner nachgeordneten Behörden lösen, sondern kann nur im Zusammenspiel bzw. in Abstimmung mit anderen

Akteuren angegangen werden. Das Umweltressort kann hier folglich nicht alleine tätig werden, sondern nur im Verbund mit anderen politischen Akteuren bzw. anderen jeweils domänenabhängigen und damit wechselnden Stakeholder-Gruppierungen.

Die aufgeführten Hemmnisse und Risiken wurden in der Auseinandersetzung zunächst nur rein auf Plausibilität bzw. auf theoretisches Eintreten hin untersucht. Eine Aussage hinsichtlich Schadensausmaß oder Eintrittswahrscheinlichkeit ist damit nicht verbunden. Es scheinen folglich ebenfalls Forschungsbedarfe zu den Schadensausmaßen der Risiken sowie den jeweiligen Eintrittswahrscheinlichkeiten zu bestehen.

8.2 Hemmnisse und Risiken bei Digitalen Plattformen

Digitale Plattformen können wesentlich zur Transparenzschaffung beitragen und damit umweltrelevante Informationen über Prozesse und Produkte bereitstellen. Offen bleibt allerdings, inwieweit die Umweltentlastungspotenziale tatsächlich erschlossen werden. Vor dem Hintergrund der Klimakrise ist das Interesse an der Einforderung entsprechender Daten durch Regulierungsbehörden, Abnehmer:innen, Anleger:innen, Banken und zivilgesellschaftlichen Organisationen deutlich gewachsen. Plattformen können eine wichtige Rolle spielen, indem sie im Falle der B2C-Plattformen entsprechende Informationen einfordern und zur Bedingung für die Nutzung der Plattform machen und die entsprechenden Daten für die Abnehmerseite strukturiert zur Verfügung stellen. Im Falle der B2B-Industrieplattformen können in den jeweiligen Produktionsökosystemen entsprechende Daten generiert, erfasst und genutzt werden und ermöglichen die Identifikation unternehmensübergreifender Umweltentlastungspotenziale. Somit ist festzuhalten, dass Plattformen einen relevanten Beitrag für einen Übergang zu einer Green Economy leisten können.

Gleichzeitig konnten im Rahmen der Teilstudie jedoch auch eine Reihe von vier verschiedenen Hemmnissen und Risiken identifiziert werden, die der Mobilisierung des Plattformmodells für einen solchen Übergang im Wege stehen:

1. Einzelwirtschaftliches Kalkül,
2. Voluntaristische Transparenzschaffung,
3. Information Gaps,
4. Pfadabhängigkeiten.

Erstens ist festzuhalten, dass Plattformen letztlich einem **einzelwirtschaftlichen Kalkül** folgen. Die Herausbildung der Plattformen und der neuen dadurch ermöglichten Geschäftsmodelle sind zunächst markt- und gewinnorientiert und leisten keineswegs per se einen Beitrag zur Umweltentlastung. Die Erschließung von Umweltentlastungspotenzialen hängt primär von wirtschaftlichen Erwägungen ab. Diese Erwägungen sind nicht statisch zu betrachten, sondern dynamisch, sodass auch denkbar ist, dass umweltrelevante First-Mover-Vorteile erschlossen werden können. Im Falle von B2B-Plattformen ist davon auszugehen, dass die Erschließung von Umweltpotenzialen elementar von den wirtschaftlichen Bedingungen abhängt, denen die Plattformen unterworfen sind. Dies bedeutet, dass in der Regel nur solche Umweltpotenziale erschlossen werden, die als „wirtschaftlich“ angesehen werden. Dabei hängt der Begriff der „Wirtschaftlichkeit“ sowohl von den eingesetzten Ressourcen, von den Absatzmärkten sowie den regulatorischen Rahmenbedingungen ab. Vereinfacht ausgedrückt verweist diese Studie somit darauf, dass es immer ein Spannungsverhältnis zwischen den Kosten der Produktion und der Zahlungsbereitschaft der Kund:innen geben wird, ein Zusammenhang der jedoch nicht nur für Plattformmärkte gilt.

Zweitens impliziert die plattformbasierte Möglichkeit der Transparenzschaffung auch, dass, dass Umweltentlastungspotenziale identifiziert werden können und u. a. durch freiwillige

Selbstverpflichtungen, Informationsbereitstellung gegenüber Nutzer:innen und Ansätze ökologischen Marktdesign erschlossen werden. Letzteres bleibt derzeit im Falle der B2C-eCommerce Plattformen jedoch noch **rein voluntaristisch.** So können es (Such-)Filter zwar ermöglichen, dass umweltfreundlichere Produkte identifiziert werden können – zugleich kommen Untersuchungen jedoch zu dem Ergebnis, dass diese Filter letztlich nur sehr begrenzt durch Kund:innen genutzt werden.

Drittens ist eingrenzend festzustellen, dass die benötigten Umweltinformationen entlang der Lieferkette im Sinne des ***Information Gaps*** vielfach nicht oder nur unvollständig vorliegen. Umweltdaten werden, selbst wenn sie erhoben werden, vielfach nicht standardisiert erhoben, sodass die Vergleichbarkeit und Aussagefähigkeit begrenzt ist. Die Umwelt- oder Nachhaltigkeitsberichtserstattung ist, in Relation zur finanziellen Berichterstattung noch wenig entwickelt, auch wenn in jüngerer Zeit eine neue Dynamik festzustellen ist, bspw. die finanzielle Berichterstattung und die Klimaberichterstattung enger miteinander zu verbinden. Obwohl Plattformen als ***gatekeeper*** grundsätzlich in der Lage wären, Standards der klima- oder Umweltberichterstattung auch entlang der Lieferkette zu setzen und damit zur Transparenzerhöhung beizutragen, findet dies bisher nicht oder allein in Nischen statt. Die Anreizstrukturen für neue, durchaus auch transformative Möglichkeiten durch die Erfassung und Bereitstellung von Umweltdaten und der Erschließung der Umweltentlastungsmöglichkeiten durch die Plattformen sind bislang nicht hinreichend. Die Erschließung dieser Möglichkeiten hängt somit sowohl von den politischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen – bspw. in Bezug auf Sorgfaltspflichten – als auch den unternehmerischen Aktivitäten ab.

Viertens besteht ein weiteres strukturelles Hemmnis darin, dass die Plattformökonomie selbst **Pfadabhängigkeiten** schafft, beispielsweise durch Netzwerkeffekte oder Standardisierungen, womit es Anbieter:innen möglicherweise nachhaltigerer Lösungen erschwert wird, auf den durch einzelne Plattformen dominierten Märkten erfolgreich aktiv zu werden. De facto lässt sich derzeit vor allem im B2C-Bereich beobachten, dass einzelne Plattformen ganze Branchen und Sektoren dominieren und Konkurrenz gezielt durch wettbewerbsbegrenzende Maßnahmen erschweren. Ohne politische Regulierung scheint die oft postulierte Vorstellung eines *level-playing-fields,* in dem auch nachhaltigkeitsorientierte Startups Fuß fassen können, unerreichbar.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Transparenzschaffung ein durchaus wirkmächtiges Instrument sein kann, dass es aber in der Regel entscheidend ist, die (politökonomischen) Anreizstrukturen so zu stellen, dass diese Potenziale auch gehoben werden. Diesbezüglich muss aber auch konstatiert werden, dass selbst wenn die Umweltpotenziale der jeweiligen Plattformen erschlossen werden, allein Aussagen über Erstrundeneffekte gemacht werden können. Mögliche Zweitrundeneffekte wie zum Beispiel **Rebound-Effekte** werden in der Regel derzeit weder in der Literatur noch durch die Plattformen erfasst und reflektiert.

9 Politische Handlungsempfehlungen zu den Wechselwirkungen von Digitalisierung und Green Economy

9.1 Politische Handlungsempfehlungen zu Big Data und KI

Zu den sechs übergeordneten Hemmnis-Bereichen lassen sich entsprechend sechs verschiedene politische Handlungsempfehlungen ableiten, die im Folgenden, geordnet nach den sechs Handlungsbereichen, vorgestellt werden.

1. Verbesserung der Datenverfügbarkeit,
2. Verbesserung des Datenzugangs,
3. Verbesserung der Daten-Infrastrukturen,
4. Fachkräftevernetzung und stärkeres Verständnis für die Möglichkeiten und Grenzen digitaler Technologien,
5. Abbau regulatorischer Hemmnisse,
6. Entwicklung einer Zukunftsvision, die Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz ermöglich.

Zunächst erfolgt eine kompakte Zusammenfassung der Herausforderungen, die sich im jeweiligen Hemmnis-Bereich zeigen, dann werden mögliche Lösungswege in Form von Handlungsempfehlungen skizziert, die, nach Einschätzung der Autoren, in der Lage wären, die Hemmnisse zu überwinden und den Weg zur Transformation zu beschleunigen.

9.1.1 Verbesserung der Datenverfügbarkeit

Herausforderungen

Die Datenverfügbarkeit ist oftmals eine wesentliche Hürde, da die für umwelt-, nachhaltigkeits- oder klimabelange notwendigen Daten (z. B. für mögliche Big Data- oder KI-Auswertungen) schlichtweg nicht verfügbar sind. Dies lässt sich insbesondere beobachten in den Domänen Landwirtschaft, Verkehr, Stoffstrom-Management und Kreislaufwirtschaft.

Die Gründe für die fehlende Datenverfügbarkeit sind teils domänenspezifisch, teils allgemeiner Natur, wie z. B. grundsätzlich fehlender Anreize für Forscher:innen, Zeit in die Erstellung und Aufbereitung neuer Datensätze zu stecken oder auch bei privaten Unternehmen die Angst Betriebsgeheimnisse zu verraten.

Selbst in Fällen, wo die nötige Sensorik prinzipiell verfügbar wäre, ist oft eine fehlende Datenverfügbarkeit zu attestieren, die die Daten trotzdem nicht erhoben werden, weil es hierfür keine (z. B. ökonomischen) Anreize gibt.

Die Erstellung guter digitaler Datensets erfordert häufig nicht nur entsprechende technische Ausstattung (wie z. B. Sensorik, Satelliten, LiDAR, Kameras, etc.), sondern auch erhebliches Domänenwissen (einschließlich informellen, lokalem oder traditionellem Wissens) sowie entsprechende Zeit und (Personal-) Ressourcen, um eventuell verfügbare Rohdaten aufzubereiten und zu annotieren, um sie für weitergehende Auswertungen nutzbar zu machen.

Je nach Domäne und Fragestellung kann auch erhebliche klassische „analoge“ Datenerhebung erforderlich sein (wie z. B. die Entnahme von Proben im Feld, um Referenzdaten zur Kalibrierung von Satellitenaufnahmen zu haben), welche dann im Nachgang eine aufwändige Digitalisierung der Daten erforderlich macht.

Handlungsempfehlungen

Die Digitalisierung bestehender Datensätze, insbesondere in Behörden, Forschungseinrichtungen und NGOs, sollte mit hoher zeitlicher Priorität vorangetrieben werden. Dabei sollte im Idealfall von der Problemstellung hergedacht werden, im Sinne von "Was ist die Situation, wie können wir sie verbessern, welche Daten brauchen wir dafür und wer benötigt die Daten?" Derart würden die Planung der Datenerhebung und die Datenverfügbarkeit maßgeblich unterstützt.

Die Standardisierung von Datenformaten, Einheiten und Metadaten allgemein und des privatwirtschaftlichen Nachhaltigkeits-Reportings im Speziellen sollte vorangetrieben werden. Dies sollte in engem Dialog mit den Akteuren und Stakeholdern in den jeweiligen Domänen erfolgen.

In enger Konsultation mit KI-Expert:innen und den jeweiligen Domänenakteuren sollte geprüft werden, inwiefern die öffentlich geförderte Erstellung hochwertiger (Referenz-)Datensets mit breitem Anwendungspotenzial möglich und sinnvoll wäre. Da die Zahl der erstellbaren Datensätze theoretisch endlos ist, müssten Prioritäten gesetzt werden, in welchen Domänen (z. B. Energie, Naturschutz, Landwirtschaft) und für welche Anwendungscluster (z. B. Präzisionslandwirtschaft, Artenerkennung, Gebäude-Energieverbrauch, …) Referenzdatensets prioritär geschaffen werden könnten und sollten. Nachvollziehbarerweise erscheinen Referenzdatensätze insbesondere dort sinnvoll, wo die Akteure alleine nicht die Mittel haben, sie zu erstellen, wie z. B. im Bereich des Biodiversitätsmonitorings.

Wo privatwirtschaftliche Akteure nicht oder nur schwer bewegt werden können, Daten zu erheben, sollte geprüft werden, ob vergleichbare Datensets auf anderen Wegen geschaffen werden können. Universitäten und Forschungsinstitute verfügen z. B. teilweise über industrielle Produktionsmöglichkeiten, mittels derer Datensets zu Produktionsabläufen generiert werden könnten. Hier müsste die voraussichtliche Übertragbarkeit der Daten und der auf ihrer Basis entwickelbaren Modelle auf Echtanwendungen geprüft werden.

Die öffentliche Forschungsförderung sollte die Erstellung und Veröffentlichung hochwertiger neuer Datensets noch stärker unterstützen und ausreichend Geldmittel und Zeit für sie vorsehen sowie sie als ein wichtiges Projektoutput neben klassischen Indikatoren wie wissenschaftlichen Publikationen oder technischen Prototypen betrachten. Die Erstellung, Pflege und Veröffentlichung von Datensets sollte stärker als bisher als wichtige wissenschaftliche Leistung anerkannt werden.

9.1.2 Verbesserung des Datenzugangs

Herausforderungen

Die Daten liegen zwar bereits digital vor und wären theoretisch bereit für eine Auswertung, sind aber nicht zugänglich, wobei es meist nachvollziehbare Gründe gibt, dass vorliegende Daten nicht frei oder leicht zugänglich sind, welche im Folgenden, differenziert nach Privatsektor, Öffentlicher Sektor und Wissenschaftssektor, aufgeführt werden.

- Im Privatsektor werden Daten, aus Sorge vor dem Abfluss von Betriebsgeheimnissen, oft nur sehr begrenzt geteilt. So handelt es sich bei Plattformen in der Regel um private Unternehmen, die Daten im Rahmen der durch sie vermittelten Interaktionen extrahieren und verarbeiten. Die alleinige Nutzung dieser Daten stellt in vielerlei Hinsicht die Voraussetzung für die Wachstumspotenziale von Plattformen dar („Plattformsilos“).
- Im Öffentlichen Sektor ist das Bewusstsein für Open Data zwar gewachsen, wird aber wohl noch nicht überall konsistent umgesetzt. So gibt es auch Klagen über mangelnden Zugang zu

Daten, die der Öffentliche Sektor erhebt. Insbesondere die Auffindbarkeit ist vielmals eine Herausforderung. Nicht immer scheint es einfach herauszufinden, welche staatliche Stelle (und welche Abteilung in ihr) bestimmte Daten überhaupt erhebt, wo sie abliegen, wen man kontaktieren muss, um sie zu bekommen.

- Im Wissenschaftssektor fehlen oft Anreize, erstellte Datensets auch zu teilen. Der Anreiz, Daten, die in Forschungsprojekten erstellt wurden, im Anschluss Dritten zur Verfügung zu stellen bzw. so aufzubereiten, dass Dritte sie leicht finden und nutzen können, ist meist gering. Die Aussicht, zuerst erhebliche Zeit und Geldmittel in die Datenerhebung/-aufbereitung investieren zu müssen, hält Forschende davon ab, entsprechende Forschungsfragen überhaupt zu verfolgen.

Neben den drei genannten Gründen kann ein fehlender Zugang zu bereits erhobenen Daten auch generell durch die projektbezogene Forschungsförderung zustande kommen. Geförderte Projekte bekommen meist keine Mittel für die längerfristige Kuratierung, Sicherung & Bereitstellung von Datensets und den entwickelten Modellen und Algorithmen. Ist das Projekt zu Ende, gehen die Mitarbeiter:innen auseinander und diese Produkte entsprechend leicht verloren.

Zuletzt kann es sein, dass es zwar vielfältige potenzielle und zugängliche Datenquellen gibt, diese aber zerstreut sowie aufgrund einer mangelnden Kompatibilität nicht direkt verwertbar sind (z. B. nicht maschinenlesbar, inkonsistente Formate und Einheiten, fehlende Metadaten, u. a.). Auch hier fehlen vielmals Anreize die Zerstreuung und die Kompatibilität zu überkommen.

Handlungsempfehlungen

Grundsätzlich müssen Anreize geschaffen werden, um das Teilen von (privaten oder firmeneigenen oder im Rahmen von Forschungsprojekten entstandenen) Daten attraktiver zu machen, z. B. indem auch Geschäftsmodelle daraus entstehen können. Hierbei kann wiederum nach Privatsektor, Öffentlicher Sektor und Wissenschaftssektor unterschieden werden:

- Es sollten Möglichkeiten geprüft werden, der Privatwirtschaft stärkere Anreize für die Veröffentlichung von Daten zu geben.
- Die Umsetzung von Open Data in staatlichen und kommunalen Behörden muss weiter gestärkt werden. Noch nicht öffentlich zugängliche Datensets sollten verstärkt veröffentlicht bzw. Gründe für Veröffentlichungseinschränkungen eher restriktiv gehandhabt werden. Insbesondere müsste der Zugangsprozess zu veröffentlichten Daten weiter vereinfacht werden, indem insbesondere die bessere „Findbarkeit“ von Daten in den Blickpunkt genommen wird. Der Aufbau zentraler Datenportale und anderer Infrastrukturen, über die Datensätze aus vielen Behörden an zentraler Stelle zugänglich gemacht werden, sollte weiter vorangetrieben werden. Dies könnte durch einheitliche Reporting-Standards (Formate, Einheiten, Metadaten, usw.) über Behörden hinweg erleichtert werden.
- Die langfristige Sicherung und Kuratierung von Datensets aus wissenschaftlichen Forschungsprojekten sowie der unbürokratische Zugang zu ihnen, sollte besser abgesichert werden, insbesondere auch finanziell. Entsprechende bestehende Initiativen, etwa im Rahmen der Nationalen Forschungsdaten Infrastruktur[131] oder dem Aktionsplan Natürlich.Digital.Nachhaltig des BMBF[132] , sollten vorangetrieben werden.

[131] https://www.nfdi.de/.

[132] https://www.bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/de/bmbf/pdf/natuerlich-digital-nachhaltig.

Die Entwicklung technischer Lösungen, um Daten unter hohen Sicherheitsgarantien oder ohne direkten Zugriff auf die Klardaten selbst verarbeiten zu können, verzeichnet stetigen Fortschritt. Beispiele sind Federated Learning, Secure Multiparty Computation, Differential Privacy, Homomorphic Encryption und Trusted Execution Enviroments (Royal Society 2019). Diese – oft als Privacy Enhancing Technologies (PETs) bezeichneten – Technologien können helfen, Datenzugangsprobleme, die regulatorischen Vorschriften (Datenschutz, IT-Sicherheit) oder Sorgen um Betriebsgeheimnisse geschuldet sind, zu überkommen. Dennoch scheinen PETs oft noch ein Nischendasein zu fristen, und sind potenziellen Green Economy-bezogenen Anwender:innen in Forschung und Wirtschaft häufig unbekannt.

Umgekehrt haben PETs-Entwickler:innen die Bedarfe von nachhaltigkeitsbezogenen Anwendungen von Big Data und KI möglicherweise erst wenig im Blick. Es gilt daher einerseits, die Entwicklung dieser Technologien weiter vorzutreiben; andererseits sollten Maßnahmen ergriffen werden, um potenzielle Anwender:innen in Forschung und Praxis über die neu entstehenden technischen Möglichkeiten, und PETs-Entwickler:innen über die Bedarfe von Green Economy-Anwendungen, zu informieren, z. B. in Form von zielgerichteten Workshops.

Zudem sollte, um eine Weiterverwendung bereits erhobener Daten zu erleichtern, eine semantische Aufbereitung von Daten entweder eingefordert und durch Anreizsetzung honoriert werden. Derart könnten Daten, die für einen spezifischen Anwendungsfall erhoben wurden, auch unmittelbar für andere Anwendungsfälle verwendet werden.

9.1.3 Verbesserung der Daten-Infrastrukturen

Herausforderungen

Analysen mit Hilfe von Big Data und KI erfordern relativ mächtige IT-Infrastrukturen, um alle relevanten Daten zusammenführen, speichern und verarbeiten zu können. Insbesondere bei NGOs, teilweise auch für firmen- und sektorenübergreifende Zusammenführungen (z. B. in der Kreislaufwirtschaft) liegen diese oft nicht vor. Dies liegt teils an mangelnden finanziellen Ressourcen (NGOs), teils an der fehlenden Koordination zwischen Akteuren in verschiedenen Sektoren.

Generell könnten die zunehmende Bedeutung und die vielfältigen Potenziale von Big Data und KI (sowie der Digitalisierung allgemein) auch für den NGO-Bereich, von den Fördermittelgebern noch stärker nachvollzogen werden, um die zukünftigen Chancen konsequent zu nutzen.

Handlungsempfehlungen

Fördermittelgeber sollten zukünftig verstärkt darauf achten, auch über Fördermittel für eine moderne datentechnische Ausstattung von NGOs vorzusehen. Dabei sollte dem Umstand Rechnung getragen werden, dass der Aufbau solcher Strukturen nicht nur einmalige Ausgaben für Hardware, sondern auch laufende Kosten (Personal, Wartung, Lizenzen, Schulungen) verursacht.

Um das Bewusstsein für die Potenziale von Big Data und KI im NGO-Bereich zu schärfen, sollten Workshops und Austausche eingerichtet werden, bei denen Praktiker aus datentechnisch und digital stark aufgestellten NGOs, etwa aus den USA oder Skandinavien mit deutschen NGOs und Fördergebern in Kontakt kommen, um ihre Herangehensweisen und Lösungen vorstellen zu können.

Hier könnte das kürzlich ins Leben gerufene "Laboratorium künstliche Intelligenz für Nachhaltigkeitslösungen" des UBA, am besten in Zusammenarbeit mit dem neuen Nationalen

Umweltinformationszentrum in Merseburg,[133] oder anderweitigen staatlichen spezifischeren Aktivitäten, wie z. B. dem nationalen Zentrum zum Monitoring der Biodiversität,[134] unter Umständen sehr produktiv ansetzen. Eine mögliche Rolle dieser staatlichen Akteure könnte es sein, teils selbst Datensätze aufzubereiten (für besondere high-impact Sachverhalte), teils Koordinationsprobleme zu lösen (als staatlicher "ehrlicher Makler", der alle relevanten Akteure an einen Tisch bringen kann), teils auch die Datensatzerstellung dezidiert zu fördern. Hierbei könnte dann ein öffentlich zugänglicher, bereinigter und validierter sowie gut annotierter Datensatz mit allen Metadaten zum Haupt-Output der Förderung (anstelle von Veröffentlichungen, Prototypen, etc.) werden.

9.1.4 Fachkräftevernetzung und stärkeres Verständnis für Möglichkeiten und Grenzen digitaler Technologien

Herausforderungen

Es scheint den Anschein zu haben, dass insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen sowie NGOs nur selten über die finanziellen Ressourcen verfügen, die ihnen den Aufbau starker eigenständiger Datenwissenschafts-/KI-Abteilungen ermöglichen würden.

Zudem fehlt es vielen Fach- und Führungskräfte in Unternehmen, Behörden und Kommunen, NGOs und Fördergebern häufig an einem belastbaren Verständnis von Big Data und KI. Die tatsächlichen Einsatzmöglichkeiten dieser Technologien in ihren jeweiligen Domänen, ebenso wie ihre Grenzen, sind so schwer zu evaluieren.

Datenwissenschaftler:innen und KI-Expert:innen in Universitäten und Forschungsinstituten fehlt es umgekehrt oft an einem tieferen Verständnis für die spezifischen Probleme und Rahmenbedingungen der jeweiligen Domänen, sowie die spezifischen Herausforderungen die mit der Überführung und Skalierung eines Prototypen in die eigentliche Produktion einhergehen. Die Entwicklung von konkreten Anwendungen wird so gehemmt. Ein stärkerer Austausch und eine Netzwerkbildung der unterschiedlichen Communities würde erst die Realisation vieler Potenziale ermöglichen.

Handlungsempfehlungen

In Deutschland existieren bereits mehrere Initiativen, welche die geschilderte Netzwerkbildung bereits versuchen (z. B. BMBF-Förderlinie Digital Green Tech, BMBF-Aktionsplan Natürlich. Digital. Nachhaltig, Konferenz Bits und Bäume, etc.). Diese Initiativen gilt es zu stärken und weiter auszubauen. Offensichtlich sind aber die bisherigen Ansätze zur Behebung noch nicht ausreichend bzw. funktionieren nicht so wie erhofft. Daher sollte eine gezielte Nachforschung erfolgen, welche explizit die Hürden der Vernetzung und wie man sie beheben kann, analysiert.

Um Bewusstsein für die Möglichkeiten von Big Data und KI insbesondere im NGO-Sektor zu stärken, könnten Workshops und Austausche gerade mit ausländischen NGOs, die diese Technologien schon länger und in größerem Stil einsetzen, sowie mit angewandt arbeitenden Wissenschaftler:innen, angeboten werden.

Derartige Workshops könnten auch für kleine und mittelständische Unternehmen in ausgewählten Domänen organisiert werden. Dabei ist auch auf die wichtige Rolle, die Ingenieurbüros und Beratungen in der Verbreitung und Durchsetzung von neuen Technologien und Anwendungen spielen, zu achten. Um grundlegende Verständnisse von KI und

[133] https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/bundesumweltministerium-baut-nationales-portal-fuer.

[134] https://www.bmu.de/pressemitteilung/bundesregierung-beschliesst-einrichtung-des-nationalen-monitoringzentrums-zur-biodiversitaet.

Datenwissenschaft zu etablieren, bieten sich 1-2-tägige Schulungen an, wie sie z. T. auch von Forschungsinstitutionen, wie etwa der Helmholtz Gesellschaft, angeboten werden.

Um den Zugang zu Big Data/KI-Fachkräften und Expertise in der Privatwirtschaft und in NGOs zu stärken und umgekehrt stärkeres Verständnis in der Forschung für spezifische Anwendungsprobleme zu schaffen, könnten Placement-Programme eingerichtet werden, in deren Rahmen Forscher:innen und Absolvent:innen längere Zeitspannen in Unternehmen oder NGOs verbringen, um dort an konkreten KI-/datenwissenschaftlichen Problemen und Anwendungen zu arbeiten. Ebenso können verstärkt gemeinsame Masterand:innen- und Promotionsstellen in Firmen (bzw. NGOs) und Universitäten oder Forschungsinstituten eingerichtet werden, so dass Masterand:innen bzw. Doktorand:innen einen festen Teil ihrer Zeit in der Firma bzw. NGO verbringen und dort an konkreten Problemen arbeiten, bzw. ihre Master- oder Doktorarbeit zu Fragestellungen, die die Firma/NGO betreffen und anhand ihrer Daten, schreiben.

Innerhalb der staatlichen Forschungsförderung könnten verstärkte Ausschreibungen für angewandte Forschung ausgeschrieben werden, die auf Kooperationen und Konsortialbildung zwischen Universitäten und Forschungsinstituten und NGOs abzielen, analog zu den zahlreichen Programmen, die Kooperation zwischen Forschung und Unternehmen befördern sollen.

9.1.5 Abbau regulatorischer Hemmnisse

Herausforderungen

In mehreren Green Economy-relevanten Domänen (z. B. Energie, Verkehr oder Wasserwirtschaft) bestehen komplexe, domänenspezifische regulatorische Rahmen mit zahlreichen Detailvorschriften. Diese passen nicht immer zu den Anforderungen neuer, Big Data- und KI-basierter Innovationen und darauf aufbauender Geschäftsmodelle, und können diese daher unbewusst ausbremsen. Offensichtliche Konflikte zwischen neuen KI-basierten Geschäftsmodellen und Anwendungsfällen einerseits, und der bestehenden Regulatorik andererseits, lassen sich aber nur schwer voraussagen, da die konkreten Schwierigkeiten meist in den Details einzelner Vorschriften verortet sind.

Da Green Economy-relevante Domänen zum Teil in den Bereich der Kritischen Infrastrukturen fallen, müssen zudem vergleichsweise hohe Sicherheitsanforderungen in jedem Fall erfüllt werden. Mögliche regulatorische Anpassungen können folglich nur mit Bedacht erfolgen.

Technische Regelwerke sind in manchen Domänen (z. B. Wasserwirtschaft) ausschlaggebend für öffentliche und private Investitionsentscheidungen. Neue Lösungen und Technologien können jedoch nur in sie aufgenommen werden, wenn ausreichend Referenzdaten vorliegen. Das verlangsamt die Überarbeitung der Regelwerke und den Innovationszyklus.

Das Datenschutzrecht (DSGVO) sowie das Urheberrecht schaffen in manchen Kontexten Hürden für den Zugang zu Daten. Optimierungspotenziale sowie wichtige Erkenntnisse (z. B. zu den Gesundheitsfolgen des Klimawandels) können so verloren gehen. Eine DSGVO-konforme Datenschutz-Compliance erscheint allgemein oft mit hohem Aufwand verbunden.

Handlungsempfehlungen

Reallabore (auch „regulatorische Sandkästen“ genannt), in denen bestehende regulatorische Vorschriften in einem zeitlich, räumlich oder sektoral begrenzten Raum gelockert werden, erlauben es, regulatorische Anpassungsmöglichkeiten sowie die Erfordernisse und tatsächlichen Potenziale neuer Technologien und Geschäftsmodelle systematisch zu untersuchen. In diesem Rahmen könnte dann auch der Zugang zu echten (und gegebenenfalls auch kritischen oder personalisierten) Daten kontrolliert ermöglicht werden, um daraufhin erkennen zu können, an

welchen Stellen und welche genauen Aspekte der Anwendung gegebenenfalls reguliert werden müssen.

Der Einsatz von Reallaboren sowie die systematische Überführung so gewonnener Erkenntnisse in konkrete regulatorische Anpassungen sollte daher weiter forciert werden. Allgemein sollten zukünftige regulatorische Vorhaben nach Möglichkeit mit Ausnahme- und Experimentierklauseln versehen werden, um die unbürokratische Durchführung von Reallaboren zu unterstützen.

Unterhalb der Schwelle eines Reallabors mit temporären Anpassungen oder Ausnahmen von der bestehenden Regulatorik bieten Modell- und Demonstrationsprojekte ein niederschwelliges Mittel, um neue Technologien zu erproben, Daten und Erfahrungswerte für (etwaige) Anpassungen technischer Regelwerke zu sammeln, und das Bewusstsein von Praktiker:innen in Privatwirtschaft, Behörden und Kommunen sowie ggfs. NGOs für die neuen Möglichkeiten zu schärfen. Der Einsatz von Modell- und Demonstrationsprojekten sollte daher weiter forciert und gefördert und Ergebnisse möglichst breit in die jeweiligen Fach-Communities getragen werden.

Der Einsatz von Privacy Enhancing Technologies (siehe Punkt 2) kann Datenzugang unter Beachtung von Datenschutzvorgaben vereinfachen. Die Entwicklung dieser Technologien sollte weiter vorgetrieben und Maßnahmen ergriffen werden, um potenzielle Anwender:innen in Forschung und Praxis über die neu entstehenden technischen Möglichkeiten, und PETs-Entwickler:innen über die Bedarfe von Green Economy-Anwendungen, zu informieren, z. B. in der Form von zielgerichteten Workshops.

Bei künftigen Evaluationen und Überarbeitungen des Datenschutzrechts sollte das öffentliche Interesse an gesteigerter Datennutzung zur Transition in eine Green Economy stärker mitgedacht werden. So könnten stärkere „Ermöglichungsstrukturen“ in das Recht eingebaut werden, und das öffentliche Interesse an Datennutzung stärker institutionell verankert werden.

Das bestehende Urheberrecht könnte dahingehend überarbeitet werden, dass im Internet auffindbare Text- oder Bilddateien als Trainingsdaten für neue KI- und Big Data-Auswertungen Verwendung finden dürfen bzw. hier nach Möglichkeit zumindest eine Rechtssicherheit hergestellt wird.

9.1.6 Entwicklung einer Zukunftsvision, die Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz ermöglicht

Herausforderungen

Die beabsichtigte Transformation zu einer Green Economy kann nicht ausschließlich durch staatliches Handeln umgesetzt werden, sondern nur durch Mitwirken aller relevanten privaten Akteure, wie insbesondere privatwirtschaftlichen Unternehmen.

Ohne eine rahmengebende Zukunftsvision laufen die unterschiedlichen Aktivitäten der verschiedenen Akteure und die damit verbundenen Entwicklungen in die unterschiedlichsten Richtungen. Wenn hier eine bestimmte Richtung, prioritär in eine Green Economy, gewünscht ist, müssten entsprechende Rahmenbedingungen vorhanden sein, die eine Art Zukunftsvision beinhaltet.

Ohne eine rahmengebende Zukunftsvision herrscht bei vielen privatwirtschaftlichen Akteuren eine große Unsicherheit, insbesondere was hohe private Investitionen betrifft. Nur, wo klare "Leitplanken" gegeben sind und Unternehmen für ihre langfristige Planung verlässliche Rahmenbedingungen vorfinden, können innerhalb dieses Rahmens Umweltpotenziale auch gehoben werden

In vielen Bereichen, in denen Umweltexternalitäten mit Preisen korrelieren (z. B. Energie), haben Unternehmen bereits jetzt relativ klare Anreize, diese zu senken, und hier findet sich oft schon ein relativ breites Angebot an Lösungen und kommerziellen Big Data-Einsätzen.

Handlungsempfehlungen

Beabsichtigte Systemtransformationen erfordern in der Regel staatliche Interventionen in Form einer rahmengebenden Zukunftsvision (bestehend aus einem aufeinander abgestimmten konzertierten Mix aus finanziellen Anreizen, Subventionen, sinnvoller Regulierung, gegebenenfalls einer Ausweitung von Transparenz-, Prüf- und Sorgfaltspflichten, sowie notfalls auch Verboten), um neue Märkte, für neue Lösungen, zu erzeugen. Innerhalb dieses Rahmens können dann signifikante privatwirtschaftliche Aktivitäten (wie z. B. in der "Energiewende") entstehen.

Ein möglichst konzertierter Mix der oben aufgeführten verschiedensten Instrumente erfordert dabei eine Zieldefinition, Zielvorgaben und eine optimale Setzung der Rahmenbedingungen. Hierzu erscheint z. B. der Ansatz einer missionsorientierten Innovationspolitik geeignet, die den notwendigen Rahmen aufspannen und koordinieren könnte.

Innerhalb dieses Rahmens müssten dann aber zwingend auch ausreichend Freiheiten für die privatwirtschaftlichen Akteure gewährleistet sein, und die Anreize zum umweltfreundlichen Handeln müssen groß genug sein, um von den Akteuren auch tatsächlich als entscheidungsrelevant angesehen zu werden.

Die von Seiten der Politik zu prägende rahmengebenden Zukunftsvision würde damit quasi als eine Art Katalysator für private Investitionen in eine Digitalisierung für einen verbesserten Umwelt-, und/oder Klimaschutz, wirken.

9.2 Politische Handlungsempfehlungen zu digitalen Plattformen

9.2.1 Politische Dynamiken

Aus den zuvor angestellten Überlegungen zu digitalen Plattformen folgt, dass eine umweltpolitisch motivierte Regulierung der Plattformökonomie zweierlei Wege gehen kann. Auf der einen Seite können Plattformen dadurch adressiert werden, dass politische Entscheidungsträger:innen Regeln für bestimmte Branchen setzen, in denen Plattformen eine zentrale Rolle spielen. Beispiele für solche indirekten Regelsetzungen, die das Handeln digitaler Plattformen strukturieren, sind vielfältig. In Städten wie Berlin und Amsterdam müssen Plattformen wie Airbnb bspw. aufgrund der eingeführten Obergrenzen für Kurzzeitvermietungen nun stärker zwischen kommerziellen und nicht-kommerziellen Angeboten differenzieren (Pentzien 2019; van Doorn 2019). Gerichtsurteile in Kalifornien und Italien haben Arbeitsplattformen wie Uber oder Deliveroo dazu verpflichtet, ihre Fahrer:innen als Arbeitnehmer:innen zu reklassifizieren (Pentzien 2020). Und haftungsrechtliche Vorstöße wie das deutsche Netzwerkdurchsetzungsgesetz verpflichten Anbieter:innen sozialer Netzwerke wie Facebook oder Twitter dazu, rechtswidrige Inhalte nach Kenntnis und Prüfung zu entfernen oder den Zugang zu ihnen zu sperren (Zipursky 2019). Diese Herangehensweise stellt den Hauptmechanismus des sich im Entstehen befindenden plattformspezifischen Politikfeldes dar. Umweltpolitische Aspekte spielen in diesen Rahmensetzungen jedoch, wenn überhaupt, nur eine untergeordnete Rolle.

Vielversprechender für die umweltpolitische Mobilisierung von digitalen Plattformen sind aktuelle Dynamiken im Bereich der Unternehmensverantwortung in Verbindung mit den großen gesellschaftlichen Herausforderungen wie Klima- und Biodiversitätsschutz, die zum einen u. a.

durch die CO_2-Bepreisung die Rahmenbedingungen des Wirtschaftens deutlich verändern und zugleich die Entwicklungs- und Innovationsrichtung durch die Europäischen und deutschen Klimazielen gesetzt werden. Damit werden zunehmend gesellschaftliche und politische Anforderungen an die Produktions- und Konsumptionsstrukturen gestellt. Diese orientieren sich weniger allein an einem Produkt oder Produktionsprozess, sondern beziehen die vor- und nachgelagerten Bereiche mit ein. Mithin werden Unternehmen vor diesem Hintergrund mit neuen Anforderungen konfrontiert, die sich nicht mehr allein auf die spezifischen Aktivitäten eines Unternehmens beziehen, sondern aufgrund des regulativen Umfeldes zunehmend die gesamte Lieferkette in den Blick nehmen. Mithin wird ein systemischer Zugang relevant, wie es insbesondere im Kontext der Lieferkettengesetze der Fall ist.[135] Im Folgenden werden drei zentrale Dynamiken, die auch für die umweltpolitische Regulierung von Plattformen Relevanz entwickeln können, dargelegt:

Lieferkettengesetze

Die regulativen Maßnahmen zur Transparenz entlang der Lieferkette (Lieferkettengesetze) – insbesondere mit Blick auf Verletzung der Menschenrechte, aber auch, insbes. mit Blick auf die kommende EU-Regulierungen auf Umweltbelastungen – fordern die Transparenzschaffung ein. Diese Transparenzschaffung adressiert zum einen die interessierte Öffentlichkeit (Skandalisierungen), zum anderen aber auch Finanzinstitutionen und andere gesellschaftliche Akteure. Für die betroffenen Unternehmen können Transparenzverpflichtungen geschäftsschädigend und ggf. sogar strafbewehrt sein. Mit den Lieferkettengesetzen ist auch verbunden, dass die Verantwortung von Unternehmen nicht mehr an den Werkstoren endet, sondern im Grundsatz Verantwortung auch für die (vorgelagerte) Lieferkette übernommen werden muss. Offen bleibt jedoch, inwiefern Plattformen rechtlich als Akteure in der Lieferkette der durch sie vermittelten Güter definiert werden können.

Paris-Abkommen und Erweiterung der Unternehmensverantwortung – Shell-Urteil

Einen weiteren Schub in Richtung Verantwortung für die Wertschöpfungskette hat das (noch nicht rechtskräftige) Shell-Urteil in Holland ausgelöst, in welchem die Unternehmen letztlich auch Verantwortung für upstream und downstream mit Blick auf die Klimarelevanz übernehmen müssen. Ähnliche Klagen stehen aktuell in Deutschland an. Auch hier wird deutlich, dass die Verantwortung nicht am Werkstor enden kann. Diese Anforderungen werden gegenwärtig insbesondere an (energieintensive) Unternehmen gestellt. Spezifische Ansätze für Plattformen sind gegenwärtig rechtlich nicht verankert. Allerdings ist gerade bei produktionsorientierten Plattformen im B2B-Bereich relevant, dass sich bspw. Unternehmen dem Geschäftsmodell der Plattformen annähern und von daher ggf. rechtliche Verantwortlichkeiten erhalten bleiben.

Selbstverpflichtungen/Regulierungen

In der Folge des Paris-Abkommens haben viele Großunternehmen Selbstverpflichtungen zur Erreichung der Klimaneutralität abgegeben. Diese Dynamiken haben auch Auswirkungen auf Plattformen. Wie am Fallbeispiel BMW aufgezeigt wurde, sammelt das Unternehmen relevante Umweltinformationen über ihre IoT-Plattformen und nutzt B2B-(Informations-)Plattformen zur Generierung von Informationen und Daten entlang ihrer Wertschöpfungsketten, sowohl mit Blick auf Menschenrechtsverletzungen als auch auf Umweltfaktoren. Diese Aktivitäten wurden bereits lange vor den Lieferkettengesetzen verfolgt, letztlich im Wesentlichen um (Reputations-) Risiken zu vermeiden. In eine ähnliche Richtung zielen auch die noch immer sehr weichen CSR-

[135] Weitere relevante regulatorische Treiber sind bspw. die EU Taxonomie oder Regulierungen zur Kreislaufwirtschaft.

Berichterstattungs-Anforderungen an die *nicht-finanzielle Berichterstattung*. Erst in jüngerer Zeit sind in diesem Kontext neue Dynamiken festzustellen.

9.2.2 Handlungsempfehlungen

Die klimapolitischen Ambitionen (nicht zu verwechseln mit Maßnahmen) der Europäischen Union und auch Deutschlands sind als weitreichend einzustufen. Mit der CO_2-Bepreisung und vor allem auch dem perspektivisch erweiterten CO_2-Zertifikatshandel und weiterer Regulierungen werden die Rahmenbedingungen für Wirtschaft und Gesellschaft grundlegend verändert. Damit werden, ähnlich wie durch die Digitalisierung, umfassende Strukturwandelprozesse angestoßen, die u. a. bestehende Geschäftsmodelle entwerten und Suchprozesse für neue nachhaltigere Geschäftsmodelle auslösen. Hervorzuheben ist dabei, dass die Strukturwandelprozesse, die durch die Digitalisierung angestoßen werden, mit Blick auf Umwelteffekte a priori richtungslos sind. Die Strukturwandelprozesse, die durch die Klimapolitik angestoßen werden, sind hingegen zielorientiert. Mit Blick auf die auslösenden Faktoren der Strukturwandelprozesse geht es um die Richtungssicherheit dieses doppelten Transformationsprozesses mithin um die Entwicklung der Rahmenbedingungen für den Umwelt- und Klimaschutz, bei denen die Digitalisierung und die Geschäftsmodelle der Plattformökonomien den ökologischen Transformationsprozess unterstützen oder gar erst ermöglichen.

Wie mehrfach herausgearbeitet wurde, hat sich spätestens mit dem Paris-Abkommen ein globaler Konsens dahingehend herausgebildet, dass der Klimawandel eine elementare Herausforderung für die Weltgemeinschaft darstellt. Dieser Konsens bezieht sich dabei nicht nur auf die Staaten, die diese Vereinbarung unterzeichnet haben, sondern umfasst letztlich (fast) alle Akteure des sozio-technischen Systems: Dazu gehören (Plattform-) Unternehmen, Banken, Versicherungen, aber auch zivilgesellschaftliche Organisationen. Ein Wandel der Strukturen ist erforderlich und ist eben nicht allein durch staatliche Aktivitäten möglich, sondern erfordert auch die Ko-Produktion, u. a. durch die genannten Akteure des sozio-technischen Systems.

Überträgt man diese sich gegenwärtig abzeichnenden Entwicklungen zur Unternehmens-verantwortung auch auf die Unternehmen der Plattformökonomie, so wären Regulierungen denkbar, die darauf abzielen, dass Plattformbetreiber:innen die Verantwortung für die von ihnen vertriebenen Produkte (mit-) übernehmen und letztlich auf ihre Kompatibilität mit Blick auf Klima- und Biodiversitätsprobleme oder in der Perspektive auch Ressourcenprobleme nachweisen müssen. Dies ist auf der regulativen Ebene aktuell noch „Zukunftsmusik“, auf der Ebene der freiwilligen Selbstverpflichtungen wäre es allerdings ein konsequenter und erforderlicher Schritt.

Weitere Ansatzpunkte in der Schnittstelle zwischen Staat, Recht und Markt durch Regulierungsbehörden:

- Nutzung des Wissens über die Funktionsmechanismen der Plattformen und möglichen Ansatzpunkten von Regulierungen (Stichwort: ökologisches Marktdesign), die die latent vorhandenen umweltorientierten Potenziale der Plattformen und der Digitalisierung erschließen.
- Vorgabe von Informationspflichten und insbesondere Bereitstellung konkreter und standardisierter Daten zur Klimarelevanz von Prozessen und Produkten gerade auch mit Blick auf die Lieferketten.
- Vorgabe von verpflichtenden Informationsbereitstellungen von (Plattform-) Unternehmen für Stakeholder und Konsumenten (bspw. Nachhaltigkeitsfilter).

- Nutzung der Chancen von Produktionsökosystemen durch:
  - Unterstützung von Modellprojekten bspw. im Kontext von B2B, wenn für bestimmte Umweltbelange noch keine entwickelten Systeme bestehen (bspw. Kreislaufwirtschaft). Dabei sollten sowohl Standards gesetzt werden als auch neue (risikoreiche) Geschäftsmodelle unterstützt werden. Vielfach ist dies besonders erschwert, wenn vielfältige Akteure einbezogen werden müssen.
  - Entwicklung bzw. Unterstützung von (open source) Datenplattformen mit einem besonderen Fokus auf umweltbezogenen Daten, Bereitstellung von Daten, die der öffentlichen Verwaltung grundsätzlich vorliegen und veröffentlichungsfähig sind und die von relevanten Stakeholdern genutzt werden können.

Mustermann, Max. 2017. *Musterbuch – Nebentitel.* 1. Berlin : Musterverlag, 2017. S. 20-30.

10 Literaturverzeichnis

Accenture (2016): „Accenture Technology Vision for Oracle 2016. Trend 3: Platform Economy“, 12.

Achleitner, A. (2018): *Gabler Wirtschaftslexikon*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden [Online]. Verfügbar unter: https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/start-unternehmen-42136/version-265490 (Aufgerufen: 20.10.2021).

Agroideal (n. d.): *What is agroideal* [Online]. Verfügbar unter: https://agroideal.org/en/ (Aufgerufen: 18.10.2021).

Aloi, D. (2019): `Cornell team, EPA to partner on emissions big data project´, *Cornell Chronicle*, 30 May [Online]. Verfügbar unter: https://news.cornell.edu/stories/2019/05/cornell-team-epa-partner-emissions-big-data-project (Aufgerufen: 20.10.2021).

Amazon (2020a): „Climate Pledge Friendly helps you discover and shop for more sustainable products.“ amazon.com. 2020. https://www.amazon.com/b?ie=UTF8&node=21221607011.

Amazon (2020b): „Verbesserung unserer Verpackung“. 2020. https://nachhaltigkeit.aboutamazon.de/umwelt/kreislaufwirtschaft/verbesserung-unserer-verpackungsaus.

Artificial Intelligence Ethics Impact Group (2020): From Principles to Practice. An interdisciplinary framework to operationalise AI ethics. Hg. v. Bertelsmann Stiftung. Gütersloh.

Association of Pacific Rim Universities Mimited (Hg.) (2020): Artificial Intelligence for Social Good.

Bag, S.; Pretorius, J. H. C. (2020): „Relationships between industry 4.0, sustainable manufacturing and circular economy: proposal of a research framework“. *International Journal of Organizational Analysis* ahead-of-print (ahead-of-print). https://doi.org/10.1108/IJOA-04-2020-2120.

Bandura (2018): The Case for a Digital Ecosystem for the Environment: Bringing together data, algorithms and insights for sustainable development.

BDI (2021): „Auf dem Weg zu einem europäischen Lieferkettengesetz“. 6. April 2021. https://bdi.eu/artikel/news/auf-dem-weg-zu-einem-europaeischen-lieferkettengesetz/.

Beckert, B. et al. (2020): Beiträge zur Analyse der Digitalisierung aus Innovationsperspektive, Fraunhofer ISI Discussion Papers - Innovation Systems and Policy Analysis, No. 68, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe.

Beckert, B.; Schuhmacher, J. (2013): Szenarien für die Gigabitgesellschaft. Wie die Digitalisierung die Gesellschaft verändert. Stuttgart: Fraunhofer Verlag IRB. Volltext at: http://verlag.fraunhofer.de/bookshop/buch/Szenarien-f%C3%BCr-die-Gigabitgesellschaft/239824.

Behrendt, S.; Henseling, C.; Scholl, G., Hrsg. (2019): *Digitale Kultur des Teilens: mit Sharing nachhaltiger Wirtschaften*. Research. Wiesbaden, Germany: Springer Gabler.

Belk, R. (2010): „Sharing“. *Journal of Consumer Research* 36 (5): 715–34. https://doi.org/10.1086/612649.

Belleflamme, P.; Peitz, M. (2016): „Platforms and Network Effects“. In *Handbook of Game Theory and Industrial Organization, Volume II*. Edward Elgar Publishing. https://doi.org/10.4337/9781788112789.

Bendel, O. (ohne Jahr a): Mensch-Maschine-Interaktion. Hg. v. Gabler Wirtschaftslexikon. Online verfügbar unter https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/mensch-maschine-interaktion-54079.

Bendel, O. (ohne Jahr b): Virtuelle Realität. Hg. v. Gabler Wirtschaftslexikon. Online verfügbar unter https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/virtuelle-realitaet-54243, zuletzt geprüft am 12.03.21.

Berendt, B. (2018): AI for the Common Good?! Pitfalls, challenges, and Ethics Pen-Testing. Online verfügbar unter http://arxiv.org/pdf/1810.12847v2.

Berg, H.; Wilts, H. (2019): „Digital Platforms as Market Places for the Circular Economy—Requirements and Challenges“. *NachhaltigkeitsManagementForum | Sustainability Management Forum* 27 (1): 1–9. https://doi.org/10.1007/s00550-018-0468-9.

Berger, M., Finkbeiner, M. (2017): VERUM 2.0: Vereinfachte Umweltbewertung des Umweltbundesamtes (VERUM 2.0), https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-03-31_texte_28-2017_verum-2-0.pdf.

bevh; Systain (2018): „Weissbuch ‚Nachhaltigkeit im Interaktiven Handel‘. Version 2.0: Inklusive aktueller Trendprognosen 2017/18“. https://www.bevh.org/fileadmin/content/04_politik/bevh_Weissbuch_Nachhaltigkeit.pdf.

Binswanger, M. (2001): Technological progress and sustainable development: What about the rebound effect? Ecological Economics 36(1), S. 119-132.

Birch, T. (2020): `Wildlife Insights sharpens its vision with updated AI model and helps treasured Australian wildlife recover´ [Online]. Verfügbar unter: https://medium.com/google-earth/today-wildlife-insights-is-announcing-new-features-and-enhancements-to-the-ai-model-that-powers-481a8af7a1bf (Aufgerufen: 18.10.2021).

Bitkom (2018): Digitalisierung gestalten mit dem Periodensystem der Künstlichen Intelligenz. Ein Navigationssystem für Entscheider. Berlin.

Bitkom (2020): https://www.bitkom.org/sites/default/files/2020-09/bitkom-charts-pk-privacy-29-09-2020.pdf.

Bitkom e.V. und DFKI [Hrsg.] (2017): Künstliche Intelligenz. Wirtschaftliche Bedeutung, gesellschaftliche Herausforderungen, menschliche Verantwortung. Berlin.

Bitkom e.V. und DFKI [Hrsg.] (2017): *Künstliche Intelligenz. Wirtschaftliche Bedeutung, gesellschaftliche Herausforderungen, menschliche Verantwortung*. Berlin.

Bitkom, DFKI (2017): Künstliche Intelligenz. Wirtschaftliche Bedeutung, gesellschaftliche Herausforderungen, menschliche Verantwortung. Hg. v. Bitkom e.V. und DFKI.

BMU (2019): Unsere Förderinitiative "KI-Leuchttürme". https://www.bmu.de/themen/nachhaltigkeit-digitalisierung/digitalisierung/unsere-foerderinitiative-ki-leuchttuerme-.

BMU (2020): „Deutsches Ressourceneffizienzprogramm III 2020 – 2023 Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen“. https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Ressourceneffizienz/progress_iii_programm_bf.pdf.

BMU (2020): Umweltpolitische Digitalagenda. https://www.bmu.de/publikation/umweltpolitische-digitalagenda-de.

BMW (2020a): „BMW Group Bericht 2020: Unsere Verantwortung unsere Zukunft“. https://www.bmwgroup.com/content/dam/grpw/websites/bmwgroup_com/ir/downloads/de/2021/bericht/BMW-Group-Bericht-2020-DE.pdf.

BMW (2020b): „BMW AG CDP Climate Change Questionnaire 2020“. CDP. https://www.bmwgroup.com/content/dam/grpw/websites/bmwgroup_com/ir/downloads/en/2021/BMW_AG_CDP_Climate_Change_Questionnaire_2020.pdf.

BMW Group (2019): „Sustainable Value Report 2019“. https://www.bmwgroup.com/content/dam/grpw/websites/bmwgroup_com/responsibility/downloads/de/2020/2020-BMW-Group-SVR-2019-Deutsch.pdf.

BMWi (2019a): „Die volkswirtschaftliche Bedeutung von digitalen B2B-Plattformen im Verarbeitenden Gewerbe“. Berlin. https://www.de.digital/DIGITAL/Redaktion/DE/Digital-Gipfel/Download/2019/digitale-b2b-plattformen-im-verarbeitenden-gewerbe.pdf?__blob=publicationFile&v=3.

BMWi (2019b): „Project GAIA-X. A Federated Data Infrastructure as the Cradle of a Vibrant European Ecosystem“. https://www.data-infrastructure.eu/GAIAX/Redaktion/EN/Publications/project-gaia-x.html.

BMWi (2020): „Souveräne Datenökosysteme für die Automobilindustrie“. Gehalten auf der Workshopreihe zum Förderprogramm Zukunftsinvestitionen Fahrzeughersteller und Zulieferindustrie (Konjunkturpaket 35c), Berlin, Dezember 2. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/W/ws2-gesamtpraesentation.pdf?__blob=publicationFile&v=4.

Boeing, N. (23.03.21): Algorithmen sind auch nur Menschen. In: ZEIT Wissen 2, 23.03.21.

Börjeson, L.; Höjer, M.; Dreborg, K.-H.; Ekvall, T.; Finnveden, G. (2006): Scenario types and techniques: Towards a user's guide. In: Futures 38 (7), S. 723–739. DOI: 10.1016/j.futures.2005.12.002.

Bratton, B. H. (2016): *The Stack. On Software and Sovereignty*. Cambridge, MA: MIT Press. https://mitpress.mit.edu/books/stack.

Breakfreefromplastic (n. d.): `The global movement envisioning a future free from plastic pollution´ [Online]. Verfügbar unter: https://www.breakfreefromplastic.org/ (Aufgerufen: 18.10.2021).

BUND [Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland] (2016): *Jahresbericht 2016* [Online]. Verfügbar unter: https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/bund/bund_jahresbericht_2016.pdf (Aufgerufen: 20.10.2021).

BUND [Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland] (2017): *Jahresbericht 2017* [Online]. Verfügbar unter: https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/bund/bund_jahresbericht_2017.pdf (Aufgerufen: 20.10.2021).

BUND [Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland] (2019a): *Jahresbericht 2019* [Online]. Verfügbar unter: https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/bund/bund_jahresbericht_2019.pdf (Aufgerufen: 20.10.2021).

BUND [Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland] (2019b): *BUND Magazin* [Online]. Verfügbar unter: https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/bund/bundmagazin/bund_bundmagazin_3_2019_gesamt.pdf (Aufgerufen: 18.10.2021).

BUND [Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland] (2020): *Einnahmen des BUND 2020* [Online]. Verfügbar unter: https://www.bund.net/ueber-uns/transparenz/finanzen/einnahmen/ (Aufgerufen: 18.10.2021).

BUND [Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland] (n. d.): Giftfrei einkaufen mit der ToxFox-App‘ [Online]. Verfügbar unter: https://www.bund.net/themen/chemie/toxfox/ (Aufgerufen: 18.10.2021).

BUND [Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland] Köln (n. d. a): ‚Spatzenbotschafter*in im BUND Köln werden‘ [Online]. Verfügbar unter: https://www.bund-koeln.de/themen-und-projekte/tiere-und-pflanzen/vogelschutz/gebaeudebrueter/spatzen-haussperlinge/spatzenbotschafterin/ (Aufgerufen: 18.10.2021).

BUND [Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland] Köln (n. d. b) ‚Hecken und Säume kartieren‘ [Online]. Verfügbar unter: https://www.bund-koeln.de/themen-und-projekte/stadtoekologie/hecken/mitmachen/selbst-kartieren/formular-hecken-kartieren/ (Aufgerufen: 20.10.2021).

Bundesregierung (2014): *Digitale Agenda 2014-2017*, Berlin.

Bundesregierung (2018): Strategie Künstliche Intelligenz der Bundesregierung, https://www.bmbf.de/files/Nationale_KI-Strategie.pdf.

Burmeister, K.; Fink, A.; Mayer, C.; Schile, A.; Schulz-Montag, B. (2019): Szenario-Report: KI-basierte Arbeitswelten 2030. Hg. v. Fraunhofer IAO.

Cameron, K. et al. (2016): 'Sharing more widely: data at the heart of evidence, policy and transformation at Defra', *Proceedings: Frontiers of Data Science for Policy.* [Online]. Verfügbar unter: https://zenodo.org/record/571399#.YXE0KxpBxPY (Aufgerufen: 18.10.2021).

Carlile, C. (2020): „Is Amazon's new eco-label another greenwash attempt?" *ethical consumer* (blog). 11. November 2020. https://www.ethicalconsumer.org/retailers/amazons-new-eco-label-another-greenwash-attempt.

Catena-X. (2021): „Catena-X Automotive Network". Berlin, Mai 12. https://catena-x.net/fileadmin/user_upload/intro_praesenationen/de_overview_catena-x_v1.00.pdf.

Cath, C.; Wachter, S.; Mittelstadt, B.; Taddeo, M.; Floridi, L. (2018): Artificial Intelligence and the 'Good Society': the US, EU, and UK approach. In: Science and engineering ethics 24 (2), S. 505–528. DOI: 10.1007/s11948-017-9901-7.

CDP (2021): „What we do". 2021. https://www.cdp.net/en/info/about-us/what-we-do.

Chen, J.; Zhou, D.; Zhao, Y.; Wu, B.; Wu, T. (2020): „Life Cycle Carbon Dioxide Emissions of Bike Sharing in China: Production, Operation, and Recycling". *Resources, Conservation and Recycling* 162 (November): 105011. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105011.

Cioffi, R.; Travaglioni, M.; Piscitelli, G.; Petrillo, A.; Parmentola, A. (2020): „Smart Manufacturing Systems and Applied Industrial Technologies for a Sustainable Industry: A Systematic Literature Review". *Applied Sciences* 10 (8): 2897. https://doi.org/10.3390/app10082897.

Circle Economy (2021): The Circularity Gap Report 2021. Online verfügbar unter https://www.circle-economy.com/resources/circularity-gap-report-2021.

Codagnone, C.; Bertin, M. (2016): „Scoping the sharing economy: Origins, definitions, impact and regulatory issues". https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2783662.

Crawford, K.; Dobbe, R.; Dryer, T.; Fried, G.; Green, B.; Kaziunas, E. et al. (2019): AI Now 2019 Report. Hg. v. AI Now Institute. New York.

Cruz, C. O.; Miranda Sarmento, J. (2020): „"Mobility as a Service" Platforms: A Critical Path towards Increasing the Sustainability of Transportation Systems". *Sustainability* 12 (16): 6368. https://doi.org/10.3390/su12166368.

da Silveira, A. B.; Dellacasa Levrini, G. R.; Ertz, M. (2021): „How Digital Platforms Materialize Sustainable Collaborative Consumption: A Brazilian and Canadian Bike-Sharing Case Study". *Journal of International Consumer Marketing*, Mai, 1–21. https://doi.org/10.1080/08961530.2021.1907828.

Dalby, O.; Sinha, I.; Unsworth, R. K. F.; McKenzie, L. J.; Jones, B.L.; Cullen-Unsworth, L.C. (2021): 'Citizen Science Driven Big Data Collection Requires Improved and Inclusive Societal Engagement', *Frontiers in Marine Science* [Online]. Verfügbar unter: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2021.610397/full (Aufgerufen: 20.10.2021).

Dalle, J. M.; den Besten, M.; Menon, C. (2017): ´Using Crunchbase for Economic Research`*, OECD Science, Technology and Industry Working Papers* [Online]. Verfügbar unter: https://www.oecd-ilibrary.org/industry-and-services/using-crunchbase-for-economic-and-managerial-research_6c418d60-en (Aufgerufen: 20.10.2021).

Datta, D.; Islam, N. R.; Self, N.; Meadows, A.; Simeone, J.; Outhwaite, W.; Keong, C.H.; Smith, A.; Walker, L.; Ramakrishnan, N. (2020): 'Detecting Suspicious Timber Trades', präsentiert auf: Conference on Innovative Applications Of Artificial Intelligence Conference (IAAI- 20) At: New York City, US, *ResearchGate* [Online]. Verfügbar unter: https://www.researchgate.net/publication/339538517_Detecting_Suspicious_Timber_Trades (Aufgerufen: 21.10.2021).

Defra [Department for Environment, Food and Rural Affairs] (2019): *Clean Air Strategy 2019* [Online]. Verfügbar unter: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/770715/clean-air-strategy-2019.pdf (Aufgerufen: 18.10.2021).

Defra [Department for Environment, Food and Rural Affairs] Science Advisory Council (2018): *How can Defra become a fully data driven department?* [Online]. Verfügbar unter: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/684865/sac-data-defra-data-driven-report.pdf (Aufgerufen: 18.10.2021).

Denham, E. (2017): Big data, artificial intelligence, machine learning and data protection. Hg. v. ico.

Deutsche Rechnungslegungs Standards Committee e.V. (2021): „CSR-STUDIE: Abschlussbericht zur vom BMJV beauftragten Horizontalstudie sowie zu Handlungsempfehlungen für die Überarbeitung der CSR-Richtlinie". BMJV. https://www.bmjv.de/SharedDocs/Downloads/DE/PDF/Berichte/2021_CSR_Studie.pdf?__blob=publicationFile&v=2.

DFKI (ohne Jahr): Kognitive Assistenzsysteme. Online verfügbar unter https://www.dfki.de/web/forschung/forschungsbereiche/kognitive-assistenzsysteme/, zuletzt geprüft am 12.03.21.

DHL (2021): „Unser Weg zu null Emissionen in Deutschland". 2021. https://www.dhl.de/de/privatkunden/kampagnenseiten/gogreen.html.

Die Bundesregierung (2018): Strategie Künstliche Intelligenz der Bundesregierung.

Discroll et al. (2018): `A biodiversity-crisis hierarchy to evaluate and refine conservation indicators´, *Nature Ecology & Evolution* 2, p. 775–781 [Online]. Verfügbar unter: https://www.nature.com/articles/s41559-018-0504-8 (Aufgerufen: 18.10.2021).

DKE German Commission for Electrical, Electronic & Information Technologies of DIN and VDE (2020): German Standardization Road Map on Artificial Intelligence.

Döbel, I.; Leis, M.; Molina, M.; Neustroev, D.; Petzka, H.; Riemer, A. et al. (2018): Maschinelles Lernen. Eine Analyse zu Kompetenzen, Forschung und Anwendung. Hg. v. Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. München.

EcoVadis (2018): „EcoVadis CSR-Bewertungsmethodologie Überblick & Prinzipien". V2.2 DE.

EcoVadis (2021): „Carbon Action Lösungen für globale Lieferketten". 2021. https://ecovadis.com/de/solutions/carbon/.

Eichler, R. (2021): „Zalando setzt auf nachhaltige Verpackungen". *Onlinehändler News* (blog). 15. Juli 2021. https://www.onlinehaendler-news.de/online-handel/haendler/135065-zalando-nachhaltige-verpackungen.

Ellen MacArthur Foundation (Hg.) (2019): Artificial Intelligence and the Circular Economy. AI as a Tool to Accelerate the Transition.

Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz (2020): Bericht der Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz – Gesellschaftliche Verantwortung und wirtschaftliche, soziale und ökologische Potenziale.

EPA [Environmental Protection Agency] (2016): *EPA Budget in Brief* [Online]. Verfügbar unter: https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P100LK5H.PDF?Dockey=P100LK5H.PDF (Aufgerufen: 18.10.2021).

EPA [Environmental Protection Agency] (2020a): *EPA Budget in Brief*. [Online]. Verfügbar unter: https://www.epa.gov/sites/production/files/2020-02/documents/fy-2021-epa-bib.pdf (Aufgerufen: 18.10.2021).

EPA [Environmental Protection Agency] (2020b): *About EPA. Our Mission and What we Do.* [Online]. Verfügbar unter: https://www.epa.gov/aboutepa/our-mission-and-what-we-do (15.10.20). (Aufgerufen: 18.10.2021).

Erdmann, L. (2011): Quantifizierung der Umwelteffekte des privaten Gebrauchtwarenhandels am Beispiel von eBay. In (Hrsg.: Siegfried Behrendt, Birgit Blättel-Mink, Jens Clausen): Wiederverkaufskultur im Internet. Chancen für nachhaltigen Konsum am Beispiel von eBay. Springer Berlin Heidelberg.

Erdmann, L.; Forge, S.; Houston, K.; Williams, R. (2010): Evaluation of the Information and Communication Technology for Energy Efficiency (ICT4EE) Forum Roadmap: Joint Report of the Independent Panel of Experts. Brüssel: European Commission.

Erdmann, L.; Hilty, L. (2010): Scenario Analysis: Exploring the Macroeconomic Impacts of Information and Communication Technologies on Greenhouse Gas Emissions. In: Journal of Industrial Ecology 14(5), S. 826-843.

Escursell, S.; Llorach-Massana, P.; Roncero, M. B. (2021): „Sustainability in E-Commerce Packaging: A Review". *Journal of Cleaner Production* 280 (Januar): 124314. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124314.

European Commission (2015): Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy. Hg. v. European Commission. Online verfügbar unter https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52015DC0614&from=EN.

European Commission (n. d.): *Departments and executive agencies* [Online]. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/info/departments/environment_en (Aufgerufen: 18.10.2021).

Evans, D. S.; Schmalensee, R. (2007): „The Industrial Organization of Markets with Two-Sided Platforms". *Competition Policy International* 3 (1). https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1094820.

Evans, P. C.; Gawer, A. R. (2016): „The Rise of the Platform Enterprise: A Global Survey".

Falck, O.; Koenen, J. (2020): „Industrielle Digitalwirtschaft - B2B Plattformen". München: Ifo Institut, BDI.

FAO [Food and Agriculture Organization of the United Nations] (2020): *Report of the Seventh Project Steering Committee: Sustainable Management of Tuna Fisheries and Biodiversity Conservation in the ABNJ* [Online]. Verfügbar unter: https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/common_oceans/docs/Report%20of%20the%20Final%20Project%20Steering%20Committee%20Meeting%20-%20Sustainable%20Management%20of%20Tuna%20Fisheries%20and%20Biodiversity%20Conservation%20in%20the%20ABNJ.pdf (Aufgerufen: 20.10.2021).

FedEx (2020): „FedEx and Microsoft join forces to transform commerce". 18. Mai 2020. https://newsroom.fedex.com/newsroom/fedex-surround/.

Feldkamp, L. (2016): `We Can Have Oceans Teeming with Fish with FishFace Technology´ [Online]. Verfügbar unter: https://blog.nature.org/science/2016/10/17/put-face-vanishing-fish-fishface-fisheries-science-technology-overfishing-data/ (Aufgerufen: 20.10.2021).

Floridi, L.; Cowls, J.; Beltrametti, M.; Chatila, R.; Chazerand, P.; Dignum, V. et al. (2018): AI4People-An Ethical Framework for a Good AI Society: Opportunities, Risks, Principles, and Recommendations. In: Minds and machines 28 (4), S. 689–707. DOI: 10.1007/s11023-018-9482-5.

Fraunhofer ISI (2015): Industrie 4.0: Zehn Thesen zur Zukunft des Standorts Deutschland. Diskussionspapier des Fraunhofer ISI. Online verfügbar unter: http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/profil/de/Industrie_4_0-Thesen.pdf.

Fraunhofer ISI (2016): Auswirkungen des digitalen Wandels auf Umwelt, Stadtentwicklung und Klimaschutz. Kurzstudie Wissenschaftliches Fachgespräch Digitalisierung und Umwelt.

Frenken, K.; Schor, J. (2017): „Putting the Sharing Economy into Perspective". *Environmental Innovation and Societal Transitions* 23 (Juni): 3–10. https://doi.org/10.1016/j.eist.2017.01.003.

Friedewald, M.; Pohoryles, R. J. (Hrsg.) (2015): Privacy and security in the digital age, Routledge, London.

Friedewald, M.; Schiering, I.; Martin, N. (2019): Datenschutz-Folgenabschätzung in der Praxis: Herausforderungen bei der Implementierung eines innovativen Instruments der DSGVO", DuD - Datenschutz und Datensicherheit, 43(8).

Friedrich, R.; Ploner, F.; Schäfer, C. T.; Disselhoff, T.; Petkau, A.; Hennemann, C. et al. (2021): Potenziale der schwachen künstlichen Intelligenz für die betriebliche Ressourceneffizienz. Hg. v. VDI Zentrum Ressourceneffizienz. Berlin.

Future of Humanity Institute (2018): The Malicious Use of Artificial Intelligence: Forecasting, Prevention, and Mitigation.

Gandenberger, C. (2016): Potenziale und Grenzen zur Steigerung der Ressourceneffizienz durch innovative Produkt-Dienstleistungssysteme. Kurzanalyse Nr. 9 im Rahmen des Projekts RohPolRess für das Umweltbundesamt. Verfügbar unter: http://www.umweltbundesamt.de/dokument/potenziale-grenzen-zur-steigerung-der.

Gandenberger, C., Gotsch, M., Miemiec, M. (2017): Strategische Elemente nachhaltigen Wirtschaftens. Umweltwirtschaftsforum uwf (2017) 25:247–254. https://doi.org/10.1007/s00550-017-0466-3

Gandenberger, C. (2021): Innovationen für die Circular Economy - Aktueller Stand und Perspektiven: Ein Beitrag zur Weiterentwicklung der deutschen Umweltinnovationspolitik. Ein Beitrag zur Weiterentwicklung der deutschen Umweltinnovationspolitik. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau (Umwelt, Innovation, Beschäftigung, 01).

Gaskill, M. (2018): `Counting on Fish´ [Online]. Verfügbar unter: https://www.nature.org/en-us/magazine/magazine-articles/counting-on-fish/ (Aufgerufen: 20.10.2021).

Gawer, A. (2014): „Bridging Differing Perspectives on Technological Platforms: Toward an Integrative Framework". *Research Policy* 43 (7): 1239–49. https://doi.org/10.1016/j.respol.2014.03.006.

Geissinger, A.; Laurell, C.; Öberg, C.; Sandström, C. (2019): „How Sustainable Is the Sharing Economy? On the Sustainability Connotations of Sharing Economy Platforms". *Journal of Cleaner Production* 206 (Januar): 419–29. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.196.

GeSi (2015): Global e-Sustainability Initiative (GeSi): #SMARTer2030 ICT Solutions for 21st Century Challenges. http://smarter2030.gesi.org/downloads/Full_report.pdf.

GeSI (2019): Digital with Purpose: Delivering a SAMRTer2030.

Gillespie, T. (2010): „The Politics of 'Platforms'". *New Media & Society* 12 (3): 347–64. https://doi.org/10.1177/1461444809342738.

Globil (n. d.): `Amazon River dolphins aerial scan´ [Online]. Verfügbar unter: https://globil-panda.hub.arcgis.com/app/fccb2b4744494ce78f4e5965a3c991a7 (Aufgerufen: 18.10.2021).

Gode, S. (2020): „CO_2-Kompensation: Bringt es wirklich etwas, einen Klima-Ausgleich beim Online-Shopping zu zahlen?“ *Business Insider* (blog). 19. August 2020. https://www.businessinsider.de/better-capitalism/nachhaltigkeit/co2-kompensation-was-bringt-klima-ausgleich-beim-online-shopping/.

Goldfarb, B. (2015): `A good catch´ [Online]. Verfügbar unter: https://www.nature.org/en-us/magazine/magazine-articles/a-good-catch/ (Aufgerufen: 18.10.2021).

Gomes, C.; Dietterich, T.; Barrett, C.; Conrad, J.; Dilkina, B.; Ermon, S. et al. (2019): Computational sustainability. In: Commun. ACM 62 (9), S. 56–65. DOI: 10.1145/3339399.

Gossen, M.; Frick, V. (2018): „Brauchst du das wirklich? Wahrnehmung und Wirkung suffizienzfördernder Unternehmenskommunikation auf die Konsummotivation.“ *Umweltpsychologie* 22 (2): 11–32.

Gossen, M.; Frick, V. (2019): „Digitalisierung von Märkten und Lebensstilen: Neue Herausforderungen für nachhaltigen Konsum“. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-10-16_texte_124-2019_digitalisierung-von-maerkten-und-lebensstilen.pdf.

Gossen, M.; Pentzien, J.; Peuckert, J. (2019): „What Use Is It Really for Sustainability? Potentials and Impacts of Peer-to-Peer Sharing in the Domains of Accommodation and Mobility“. *NachhaltigkeitsManagementForum | Sustainability Management Forum* 27 (2): 125–38. https://doi.org/10.1007/s00550-019-00488-8.

Gotsch, M.; Erdmann, L. (2018): Identifizierung und Analyse von Trendthemen mit potenziell hoher Umweltrelevanz. Zwischenbericht zu AP 2. Digitalisierung ökologisch nachhaltig nutzbar machen.

Gotsch, M., Erdmann, L. Eberling, E. (2020): Digitalisierung ökologisch nachhaltig nutzbar mache. Entwicklung von Handlungsempfehlungen zu den wichtigsten umweltpolitischen Maßnahmen in ausgewählten Trendthemen der Digitalisierung mittels der Durchführung von Stakeholderdialogen. UBA Texte 171/2020.

Gransche, B.; Erdmann, L.; Klöpper, M.; Meurer, J. (2015): Gestaltungsoptionen technischer Assistenzsysteme unter dem Blickwinkel der Nachhaltigkeit. Arbeitspapier im Arbeitspaket 1 (AP 1.2c) im INNOLAB Projekt "Living Labs in der Green Economy": Realweltliche Innovationsräume für Nutzerintegration und Nachhaltigkeit".

Gransche, B.; Shala, E.; Kimpeler, S.; Hubig, C.; Alpsancar, S.; Harrach, S. (2014): Wandel von Autonomie und Kontrolle durch neue Mensch-Technik-Interaktionen. Schlussbericht Wissenschaftliche Vorprojekte aus dem Bereich der Mensch-Technik-Interaktion für den demografischen Wandel.

Greenpeace (2016): *Turn the tide: Human Rights Abuses and Illegal Fishing in Thailand’s Overseas Fishing Industry* [Online]. Verfügbar unter: https://www.greenpeace.or.th/report/Turn-The-Tide.pdf (Aufgerufen: 18.10.2021).

Greenpeace (2018): `New satellite data reveals world’s largest NO2 air pollution emission hotspots’, *Greenpeace Media Briefing* [Online]. Verfügbar unter: https://storage.googleapis.com/planet4-international-stateless/2018/10/07426a79-no2-air-pollution-analysis-greenpeace.pdf (Aufgerufen: 18.10.2021).

Greenpeace (2019a): *Burning down the house* [Online]. Verfügbar unter: https://storage.googleapis.com/planet4-international-stateless/2019/11/5c8a9799-burning-down-the-house-greenpeace-indonesia-fires-briefing.pdf (Aufgerufen: 18.10.2021).

Greenpeace (2019b): *30x30. A Blueprint for Ocean Protection.* [Online]. Verfügbar unter: https://www.greenpeaceoceanblueprint.org/ (Aufgerufen: 18.10.2021).

Greenpeace (2019c): `A Spatial Distribution Mapping of China’s Chemicals Industry’, *Greenpeace East Asia Media Briefing´* [Online]. Verfügbar unter: https://storage.googleapis.com/planet4-eastasia-stateless/2019/11/897e4ac5-897e4ac5-a-spatial-distribution-mapping-of-china%E2%80%99s-chemicals-industry-gpea-media-briefing.pdf (Aufgerufen: 18.10.2021).

Greenpeace (2020): *Toxic Air: The price of fossil fuels* [Online]. Verfügbar unter: https://www.greenpeace.org/static/planet4-southeastasia-stateless/2020/02/21b480fa-toxic-air-report-110220.pdf (Aufgerufen: 18.10.2021).

Greenpeace (2021): „Presseerklärung: Greenpeace-Recherche zeigt: Amazon zerstört Neuware". *Greenpeace* (blog). 20. Mai 2021. https://www.greenpeace.de/presse/presseerklaerungen/greenpeace-recherche-zeigt-amazon-zerstoert-neuware.

Gusenbauer, M. (2019): „Google Scholar to Overshadow Them All? Comparing the Sizes of 12 Academic Search Engines and Bibliographic Databases". *Scientometrics* 118 (1): 177–214. https://doi.org/10.1007/s11192-018-2958-5.

Hagemann, H. (2015): „Umweltrelevante Produktinformationen im E- Commerce – Chancen für nachhaltigen Konsum". https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_91_2015_umweltrelevante_produktinformationen_im_e-commerce.pdf.

Hagendorff, T.; Geminn, C.; Lamla, J.; Karaboga, M.; Krämer, N.; Nebel, M.; Uhlmann, M. (2020): Policy Paper. Risiken Künstlicher Intelligenz für die menschliche Selbstbestimmung. In: Forum Privatheit und selbstbestimmtes Leben in der digitalen Welt.

Hallmann, C. A.; Sorg, M.; Jongejans, E.; Siepel, H.; Hofland, N.; Schwan, H. et al. (2017): `More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected area´, *PLoS ONE*, 12(10) [Online]. Verfügbar unter: https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0185809#sec010 (Aufgerufen: 18.10.2021).

Hallstedt, S.; Isaksson, O.; Öhrwall Rönnbäck, A. (2020): „The Need for New Product Development Capabilities from Digitalization, Sustainability, and Servitization Trends". *Sustainability* 12 (23): 10222. https://doi.org/10.3390/su122310222.

Hatiboglu, B.; Schuler, S.; Bildstein, A.; Hämmerle, M. (2019): Einsatzfelder von Künstlicher Intelligenz im Produktionsumfeld. Kurzstudie im Rahmen von "100 Orte für Industrie 4.0 in Baden-Württemberg".

Haucap, J.; Kehder, C.; Loebert, I. (2020): „B2B-Plattformen in Nordrhein-Westfalen: Potenziale, Hemmnisse und Handlungsoptionen".

HDE (2019): „Online Monitor 2019". 2019. https://einzelhandel.de/images/publikationen/Online_Monitor_2019_HDE.pdf.

Hecker, D.; Döbel, I.; Petersen, U.; Rauschert, A.; Schmitz, V.; Voss, A. (2017): Zukunftsmarkt Künstliche Intelligenz. Potenziale und Anwendungen. Hg. v. Fraunhofer-Allianz Big Data.

HEG-KI (2018): Ethik-Leitlinien für eine Vertrauenswürdige KI.

HEG-KI (2019): Eine Definition der KI. Wichtigste Fähigkeiten und Wissenschaftsgebiete. Hg. v. Europäische Kommission. Brüssel.

Helmond, A. (2015): „The Platformization of the Web: Making Web Data Platform Ready". *Social Media + Society* 1 (2): 1–11. https://doi.org/10.1177/2056305115603080.

Heyen, D.; Fischer, C.; Barth, R.; Brunn, C.; Grießhammer, R.; Keimeyer, F.; Wolff, F. (2013): Mehr als nur weniger. Suffizienz: Notwendigkeit und Optionen politischer Gestaltung. Öko-Institut Freiburg.

Hilty, L.; Aebischer, B. (Hg.) (2015): ICT innovations for sustainability. ICT4S; Inaugural ICT4S Conference; International Conference on Information and Communication Technologies for Sustainability. Cham, Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer (Advances in Intelligent Systems and Computing, 310).

Hino, M.; Benami, E. & Brooks, N. (2018): `Machine learning for environmental monitoring.´ *Nature Sustainability* (1)*, p. 583-588* [Online]. Verfügbar unter: https://www.nature.com/articles/s41893-018-0142-9 (Aufgerufen: 18.10.2021).

Hino, M.; Benami, E. & Brooks, N. (2018): Machine learning for environmental monitoring. *Nat Sustain* **1,** 583–588 (2018). https://doi.org/10.1038/s41893-018-0142-9.

Hintemann, R. (2018): Studie zur Entwicklung von Rechenzentren im Jahr 2017. Berlin: Borderstep Institut. https://www.borderstep.de/publikation/hintemann-r-2018-studie-zur-entwicklung-von-rechenzentren-im-jahr-2017-berlin-borderstep-institut/.

Hise, C. M.; Obermeyer, B.; Ahlering, M.; Wilkinson, J.; Fargione, J. (2020): 'Site wind right: Identifying low-impact wind development areas in the Central United States', posted to *bioRxiv* [Online]. Verfügbar unter: https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2020.02.11.943613v1/ (Aufgerufen: 20.10.2021).

Hoffmann, D. (2020): „Intelligentes Zusammenspiel". *AUTOMOBIL-Produktion*, 2020, SPEZIAL-Digitale Automation Auflage.

Horner, N. C. et al. (2016): *Known unknowns: indirect energy effects of information and communication technology*, Environmental Research Letters 11.10: 103001.

Huber, J. (2000): Industrielle Ökologie. Konsistenz, Effizienz und Suffizienz in zyklusanalytischer Betrachtung. In: Simonis, U. (Hg.): Global Change. Baden-Baden: Nomos.

Huberty, M. (2015): `Awaiting the second big data revolution: From digital noise to value creation´*, The Journal of Industry, Competition and Trade* 15, p. 35-47 [Online]. Verfügbar unter: https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10842-014-0190-4.pdf (Aufgerufen: 18.10.2021).

ICIJ [International Consortium of Investigative Journalists] (2012a): *Looting The Seas 1* [Online]. Verfügbar unter: https://www.icij.org/investigations/looting-the-seas/ (Aufgerufen: 20.10.2021).

ICIJ [International Consortium of Investigative Journalists] (2012b): *Looting The Seas 2* [Online]. Verfügbar unter: https://www.icij.org/investigations/looting-the-seas-ii/ (Aufgerufen: 20.10.2021).

ICIJ [International Consortium of Investigative Journalists] (2012c): *Looting The Seas 3* [Online]. Verfügbar unter: https://www.icij.org/investigations/looting-seas-iii/ (Aufgerufen: 20.10.2021).

ICIJ [International Consortium of Investigative Journalists] (2012d): 'About this project: Looting the Seas 1' [Online]. Verfügbar unter: https://www.icij.org/investigations/looting-the-seas/about-project-3/ (Aufgerufen: 18.10.2021).

ICIJ [International Consortium of Investigative Journalists] (2012e): 'Methology: Behind the numbers in Looting the Seas 3' [Online]. Verfügbar unter: https://www.icij.org/investigations/looting-seas-iii/methodology-behind-numbers/ (Aufgerufen: 18.10.2021).

IDC [International Data Corporation] [Hrsg.] (2017): *IDC's Worldwide Big Data and Analytics Software Taxonomy.*

IDG (2016): The Outlook for Big Data and Artificial Intelligence (AI). https://www.idg.com/the-outlook-for-big-data-and-artificial-intelligence-ai/ (23.10.20).

IDG [International Data Group] (2016): *The Outlook for Big Data and Artificial Intelligence (AI)*. [Online]. Verfügbar unter: https://www.idg.com/the-outlook-for-big-data-and-artificial-intelligence-ai/ (Aufgerufen: 18.10.2021).

Ifm [Institut für Mittelstandsforschung] Bonn (n. d.): *KMU-Definition der Europäischen Kommission* [Online]. Verfügbar unter: https://www.ifm-bonn.org/definitionen/kmu-definition-der-eu-kommission (Aufgerufen: 18.10.2021).

iit (2019): Institut für Innovation und Technik (iit). Autoren: Tobias Jetzke, Stephan Richter, Jan-Peter Ferdinand, Samer Schaat. Künstliche Intelligenz im Umweltbereich. Anwendungspotenziale und Zukunftsperspektiven im Sinne der Nachhaltigkeit. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-06-04_texte_56-2019_uba_ki_fin.pdf.

iit (Hg.) (2018): Potenziale der Künstlichen Intelligenz im Produzierenden Gewerbe in Deutschland. Berlin.

Interreg (2019): *DaRe to connect: Grenzüberschreitende Vernetzung ökologischer Schutzgebiete im Donauraum* [Online]. Verfügbar unter: https://www.interreg.de/INTERREG2014/DE/Projekte/GuteBeispiele/UmweltundNatuerlicheRessourcen/DL/dl-daretoconnect.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (Aufgerufen: 18.10.2021).

Jauernig, H.; Braun, K. (2019): „Die Retourenrepublik". *Spiegel Online*, 12. Juni 2019. spiegel.de/wirtschaft/soziales/amazon-zalando-otto-die-retouren-republik-deutschland-a-1271975.html.

Jena, M. C.; Mishra, S. K.; Moharana, H. S. (2020): „Application of Industry 4.0 to Enhance Sustainable Manufacturing". *Environmental Progress & Sustainable Energy* 39 (1): 13360. https://doi.org/10.1002/ep.13360.

Jensen, D. (2019): The promise and peril of a digital ecosystem for the planet. Key decisions are needed in the next 12 months to set in motion a robust architecture and governance framework. Online verfügbar unter https://medium.com/@davidedjensen_99356/building-a-digital-ecosystem-for-the-planet-557c41225dc2.

Jetzke, T.; Richter, S., Ferdinand, J.-P.; Schaat, S. (2019): Künstliche Intelligenz im Umweltbereich. Anwendungsbeispiele und Zukunftsperspektiven im Sinne der Nachhaltigkeit. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau (Texte, 56).

JNCC [Joint Nature Conservation Committee] (2019a): 'JNCC broadens access to satellite data – development of analysis-ready data (ARD)' [Online]. Verfügbar unter: https://jncc.gov.uk/news/jncc-broadens-access-to-satellite-data-development-of-analysis-ready-data/ (Aufgerufen: 18.10.2021).

JNCC [Joint Nature Conservation Committee] (2019b): 'JNCC harnesses satellite imagery for the public sector' [Online]. Verfügbar unter: https://jncc.gov.uk/news/jncc-harnesses-satellite-imagery-for-the-public-sector-the-living-england-initiative/ (Aufgerufen: 20.10.2021).

JNCC [Joint Nature Conservation Committee] (2019c): 'New natural capital valuation tool takes comprehensive account of biodiversity' [Online]. Verfügbar unter: https://jncc.gov.uk/news/new-natural-capital-valuation-tool-takes-comprehensive-account-of-biodiversity/ (Aufgerufen: 20.10.2021).

Judson, R. (2018): 'ToxValDB: Compiling Publicly Available In Vivo Toxicity Data'. Presented at EPA's Computational Toxicology Communities of Practice Monthly Meeting, RTP, NC, December 20 https://doi.org/10.23645/epacomptox.7800653.

Judson, R. (2019): 'Open / Big Data opportunities and challenges at EPA', presented at Society of Toxicology annual meeting Panel Discussion on IUTOX Open Data in a Big Data World: A Toxicology Perspective [Online]. Verfügbar unter: https://epa.figshare.com/articles/presentation/Open_Big_Data_Opportunities_and_Challenges_at_EPA/7890263/1 (Aufgerufen: 18.10.2021).

Kadner, S.; Kobus, J.; Hansen, E.; Akinci, S.; Elsner, P.; Hagelüken, C. et al. (2021): Circular Economy Roadmap für Deutschland. Hg. v. Circular Economy Initiative Deutschland. acatech; SYSTEMIQ. München, London.

Kagermann, H.; Lukas, W.; Wahlster, W. (2011): Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. In: VDI Nachrichten Nr. 13 S. 2. [Online]. Verfügbar unter: https://www.dfki.de/fileadmin/user_upload/DFKI/Medien/News_Media/Presse/Presse-Highlights/vdinach2011a13-ind4.0-Internet-Dinge.pdf

Kahlenberg, W.; Keppner, B.; Uhle, C.; Richter, S.; Jetzke, T. (2018): „Die Zukunft im Blick: Konsum 4.0: Wie Digitalisierung den Konsum verändert“. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/fachbroschuere_konsum_4.0_barrierefrei_190322.pdf.

Kahlenborn, W.; Clausen, J.; Behrendt, S.; Göll, E. (2019): Auf dem Weg zu einer Green Economy - Wie die sozialökologische Transformation gelingen kann. Bielefeld: Transcript.

Kenney, M.; Rouvinen, P.; Tio Seppälä, T.; Zysman, J. (2019): „Platforms and Industrial Change“. *Industry and Innovation* 26 (8): 871–79. https://doi.org/10.1080/13662716.2019.1602514.

Kenney, M.; Zysman, J. (2016): „The Rise of the Platform Economy“. *Issues in Science and Technology* 32 (3): 61–69.

Kettenburg, A. (2020): Künstliche Intelligenz - Gemeinwohl und Nachhaltigkeit statt nur Profit. https://netzpolitik.org/2020/kuenstliche-intelligenz-gemeinwohl-und-nachhaltigkeit-statt-nur-profit/.

Kettenburg, A. J. (2019): Artificial Intelligence for Sustainability. On theoretical limitations, practical potentials and political discourses. Hg. v. LUCSUS (Master Thesis Series in Environmental Studies and Sustainability Science, 027).

Kinnaird, M. (n. d.): ‘Wildlife Insights’ [Online]. Verfügbar unter: https://www.worldwildlife.org/projects/wildlife-insights/ (Aufgerufen: 18.10.2021).

Köppl-Turyna, M., Briglauer, W., Koch, P., Wolf, M., Schwarzbauer, W., Gotsch, M., Eberling, E. (2021): Digitalisierung und Klimawandel: Hebeltechnologien, -anwendungen und Gesamteffekt der Digitalisierung auf die CO2-Emissionen. Studie im Auftrag von A1 Telekom Austria AG.

Kolk, A.; Ciulli, F. (2020): „The Potential of Sustainability-Oriented Digital Platform Multinationals: A Comment on the Transitions Research Agenda“. *Environmental Innovation and Societal Transitions* 34 (März): 355–58. https://doi.org/10.1016/j.eist.2019.12.008.

Kargermann, P.; Polak, P.; Rakowski, R. (2020): „The Challenges of Defining the Term “Industry 4.0”“. *Society* 57 (6): 631–36. https://doi.org/10.1007/s12115-020-00555-7.

KPMG (2020): „Consumer Barometer“. https://hub.kpmg.de/hubfs/LandingPages-PDF/consumer-barometer-01-2020-nachhaltigkeit-sec.pdf?utm_campaign=Consumer%20Barometer%201%2F2020&utm_medium=email&_hsmi=83973064&_hsenc=p2ANqtz--XZEoITwUwVhrx6woJEWR48RWDOk_IiKGGpmkvZ3Y9ADr5dtYzOc_3giPRbnd-OHoZ7q92Ced0NJUIHtUzfLAt2O9w6g&utm_content=83973064&utm_source=hs_automation.

Kratochwill, L.; Richard, P., Babilon, L.; Rehmann, F.; Mamel, S.; Fasbender, S. (2020b): Künstliche Intelligenz. Vom Hype zur energiewirtschaftlichen Realität. Vertiefte Analyse von KI-Anwendungsfeldern in der Energiewirtschaft. Hg. v. dena. Berlin.

Kratochwill, L.; Richard, P.; Mamel, S.; Brey, M.; Schätz, K. (2020a): Globale Trends der künstlichen Intelligenz und deren Implikationen für die Energiewirtschaft. dena. Online verfügbar unter https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2020/dena-ANALYSE_Globale_Trends_der_kuenstlichen_Intelligenz_und_deren_Implikationen_fuer_die_Energiewirtschaft.pdf, zuletzt geprüft am 09.09.2021.

Kuittinen, M.; Häkkinen, T. (2020): `Reduced carbon footprints of buildings: new Finnish standards and assessments´, *Buildings & Cities, 1(1), p. 182–197* [Online]. Verfügbar unter: https://journal-buildingscities.org/articles/10.5334/bc.30/ (Aufgerufen: 18.10.2021).

Lehmann, S. (2019): „E-Commerce: Amazon gründet Klimainitiative“. 20. September 2019. https://logistik-heute.de/news/e-commerce-amazon-gruendet-klimainitiative-18392.html.

Lell, O.; Muster, V.; Thorun, C. (2020): „Förderung des nachhaltigen Konsums durch digitale Produktinformationen: Bestandsaufnahme und Handlungsempfehlungen". https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2020_11_17_texte_212_2020_digitalisierung_nachhaltiger_konsum_wirtschaftkonsum.pdf.

Lerch, C.; Gotsch, M. (2015): Digitalization for Product-Service Systems in Manufacturing Firms – A Case Study Analysis, in: Research-Technology Management, Special Issue: Service Innovation, in: Baines, T; Euchner, J. (Eds.). Vol. 58, No. 5. Pp.45-52.

Lerch, C.; Jäger, A.; Meyer, N. (2017): Readiness I4.0 Baden-Württemberg: Stand und Perspektiven der Industrie 4.0 in Baden-Württemberg, Studie für das Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg, im Erscheinen.

Lernende Systeme (ohne Jahr): KI-Landkarte. Hg. v. acatech. Online verfügbar unter https://www.plattform-lernende-systeme.de/ki-landkarte.html, zuletzt geprüft am 09.03.21.

Lobel, O. (2016): „The Law of the Platform". *Minnesota Law Review* 101 (87): 87–166.

Ludmann, S. (2019): „Ökologische Betrachtung des Peer-to-Peer Sharing". In *Digitale Kultur des Teilens - Mit Sharing nachhaltiger Wirtschaften*, 71–94. Wiesbaden: Springer Gabler.

Ma, Y.; Rong, K.; Luo, Y.; Wang, Y.; Mangalagiu, D.; Thornton, T. F. (2019): „Value Co-Creation for Sustainable Consumption and Production in the Sharing Economy in China". *Journal of Cleaner Production* 208 (Januar): 1148–58. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.135.

Mainzer, K. (2016): Künstliche Intelligenz — Wann übernehmen die Maschinen? Springer Berlin Heidelberg.

Mangiaracina, R.; Marchet, G.; Perotti, S.; Tumino, A. (2015): „A Review of the Environmental Implications of B2C E-Commerce: A Logistics Perspective". *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 45 (6): 565–91. https://doi.org/10.1108/IJPDLM-06-2014-0133.

MARCO [Mid-Atlantic Regional Council On The Ocean] (2019): *Mid-Atlantic Ocean Forum 2019: Advancing intergovernmental collaboration & ocean planning* [Online]. Verfügbar unter: https://www.midatlanticocean.org/mid-atlantic-ocean-forum-advancing-intergovernmental-collaboration-ocean-planning/ (Aufgerufen: 18.10.2021).

Martin, N.; Matt, C.; Niebel, C.; & Blind, K. (2019): How Data Protection Regulation Affects Startup Innovation, under review bei: Information System Frontiers.

Maryland Department of Transportation (2019*): Maryland forges public-private partnership for smart ponds to help protect Chesapeake Bay* [Online]. Verfügbar unter: https://www.mdot.maryland.gov/tso/pages/newsroomdetails.aspx?newsId=443&PageId=38 (Aufgerufen: 18.10.2021).

Mattes, K.; Jäger, A.; Kelnhofer, A.; Gotsch, M. (2017): Energieeffizienz im Betriebsalltag - Chancen durch Energiemanagement und Qualifikation. Mitteilungen aus der ISI-Erhebung „Modernisierung der Produktion", Nr. 70.

Meilă, A. D. (2018): „Sustainable Urban Mobility in the Sharing Economy: Digital Platforms, Collaborative Governance, and Innovative Transportation". *Contemporary Readings in Law and Social Justice* 10 (1): 130. https://doi.org/10.22381/CRLSJ10120186.

MGI 2018: McKinsey Global Institute. NOTES FROM THE FRONTIER MODELING THE IMPACT OF AI ON THE WORLD ECONOMY. https://www.mckinsey.de/~/media/McKinsey/Locations/Europe%20and%20Middle%20East/Deutschland/News/Presse/2018/2018-09-05%20-%20MGI%20AI-Studie%20Dampfmaschine/MGI-Studie_Notes_from_the_Frontier_2018.ashx.

Micale, B. L. (2020): 'World Wildlife fund partners with Discovery Analytics Center on automated system to help save forests' [Online]. Verfügbar unter: https://vtnews.vt.edu/articles/2020/10/vtdacWWF.html (Aufgerufen: 18.10.2021).

Microsoft News Center (2020): „Open Manufacturing Platform expands: Anheuser-Busch InBev, BMW Group, Bosch, Microsoft and ZF team up to accelerate manufacturing innovation at scale". 19. Februar 2020. https://news.microsoft.com/2020/02/19/open-manufacturing-platform-expands-anheuser-busch-inbev-bmw-group-bosch-microsoft-and-zf-team-up-to-accelerate-manufacturing-innovation-at-scale/.

Mid-Atlantic Ocean Forum (2019): Advancing Intergovernmental Collaboration & Ocean Planning (Konferenz). Videomitschnitte auf https://www.midatlanticocean.org/mid-atlantic-ocean-forum-advancing-intergovernmental-collaboration-ocean-planning/.

Moazed, A.; Johnson, N. L. (2016): *Modern Monopolies: What It Takes to Dominate the 21st Century Economy*. NOOK Book. https://www.barnesandnoble.com/w/modern-monopolies-alex-moazed/1123308451?ean=9781250091901.

Motiva Finland (n. d.): 'Change in Services: Search for a waste management service provider in Materiaalitori' [Online]. Verfügbar unter: https://www.motiva.fi/files/16145/Materiaalitori_-_TSV_Service_-_Brochure_(English).pdf (Aufgerufen: 18.10.2021).

MS / PWC (2019): Microsoft and PWC. How AI can enable a Sustainable Future. https://www.pwc.co.uk/sustainability-climate-change/assets/pdf/how-ai-can-enable-a-sustainable-future.pdf.

Müller, F.; Kohlmeyer, R.; Krüger, F.; Kosmol, J.; Krause, S.; Dorer, C.; Röhreich, M. (2020): Leitsätze einer Kreislaufwirtschaft. Hg. v. Umweltbundesamt.

Müller, J. M.; Kiel, D.; Voigt, K.-I. (2018): „What Drives the Implementation of Industry 4.0? The Role of Opportunities and Challenges in the Context of Sustainability". *Sustainability* 10 (1): 247. https://doi.org/10.3390/su10010247.

Muster, V.; Grießhammer, F.; Fischer, R. (2020): „Evaluation des Nationalen Programms für Nachhaltigen Konsum: Ex-ante-Betrachtung und Kurzbewertung ausgewählter Maßnahmen". 210/2020. Institut für Verbraucherpolitik.

NABU [Naturschutzbund Deutschland e.V.] (2018): *Jahresbericht 2018* [Online]. Verfügbar unter: https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/nabu/190729-nabu-jahresbericht-2018.pdf (Aufgerufen: 18.10.2021).

NABU [Naturschutzbund Deutschland e.V.] (2019): *Jahresbericht 2019* [Online]. Verfügbar unter: https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/nabu/200820-nabu-jahresbericht-2019.pdf (Aufgerufen: 18.10.2021).

NABU [Naturschutzbund Deutschland e.V.] (2020): `Den Abwärtstrend der Artenkenntnis gemeinsam stoppen´ [Online]. Verfügbar unter: http://www.nabu-naturschutzstation-muensterland.de/presse/den-abwaertstrend-der-artenkenntnis-gemeinsam-stoppen.html (Aufgerufen: 18.10.2021).

NABU [Naturschutzbund Deutschland e.V.] (n. d.): `Natur beobachten macht Spaß – Naturgucker´ [Online]. Verfügbar unter: https://www.nabu.de/tiere-und-pflanzen/aktionen-und-projekte/naturgucker/index.html?werbecode=rk (Aufgerufen: 18.10.2021).

Nara, E. O. B.; Becker da Costa, M.; Baierle, I. C.; Schaefer, J. L.; Brittes Benitez, G.; Lima do Santos, L. M. A.; Brittes Benitez, L. (2021): „Expected Impact of Industry 4.0 Technologies on Sustainable Development: A Study in the Context of Brazil's Plastic Industry". *Sustainable Production and Consumption* 25 (Januar): 102–22. https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.07.018.

National Public Radio (2016): 'Lead Poisoning in Michigan Highlights Aging Water Systems Nationwide', 2 January, [Online]. Verfügbar unter: https://www.npr.org/2016/01/02/461735226/lead-poisoning-in-michigan-highlights-weakened-water-systems-nationwide?t=1634211913966 (Aufgerufen: 18.10.2021).

Nijland, H.; van Meerkerk, J. (2017): „Mobility and Environmental Impacts of Car Sharing in the Netherlands". *Environmental Innovation and Societal Transitions*, Sustainability Perspectives on the Sharing Economy, 23 (Juni): 84–91. https://doi.org/10.1016/j.eist.2017.02.001.

Obermaier, R.; Mosch, P. (2019): „Digitale Plattformen – Klassifizierung, ökonomische Wirkungslogik und Anwendungsfälle in einer Industrie 4.0". In *Handbuch Industrie 4.0 und Digitale Transformation: Betriebswirtschaftliche, technische und rechtliche Herausforderungen*, herausgegeben von Robert Obermaier, 379–417. Wiesbaden: Springer Fachmedien. https://doi.org/10.1007/978-3-658-24576-4_17.

Oláh, J.; Kitukutha, N.; Haddad, H.; Pakurár, M.; Máté, D.; Popp, J. (2018): „Achieving Sustainable E-Commerce in Environmental, Social and Economic Dimensions by Taking Possible Trade-Offs". *Sustainability* 11 (1): 89. https://doi.org/10.3390/su11010089.

Our Ocean (2019): 'Detect: IT Fish: Using Tech to take the Fight to IUU fishing' [Online]. Verfügbar unter: https://ourocean2019.no/blog/detect-it-fish-using-tech-to-take-the-fight-to-iuu-fishing/ (Aufgerufen: 20.10.2021).

Pentzien, J. (2019): „Disrupting Regulation? State Capacities in the Digital Platform Economy". In *Contours of the Illiberal State: Governing Circulation in the Smart Economy*, herausgegeben von Boris Vormann und Christian Lammert, 147–76. Frankfurt a. M.: Campus Verlag.

Pentzien, J. (2020): „The Politics of Platform Cooperativism - Political and Legislative Drivers and Obstacles for Platform Cooperativism in the United States, Germany, and France". ICDE Research Reports. New York City: Institute for the Cooperative Digital Economy, The New School.

Peuckert, J.; Pentzien, J. (2019): „Nachhaltige Governance des Peer-to-Peer Sharing". In *Digitale Kultur des Teilens: Mit Sharing nachhaltiger Wirtschaften*, herausgegeben von Siegfried Behrendt, Christine Henseling, und Gerd Scholl, 177–211. Wiesbaden: Springer Fachmedien. https://doi.org/10.1007/978-3-658-21435-7_10.

Pfaff, M.; Ostertag, K. (2021): Kurzstellungnahme. Förderung von Projekten im Bereich der Kreislaufwirtschaft im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI).

Pickard, B. R.; Baynes, J.; Mehaffey, M.; Neale, A. C. (2016): 'Translating Big Data into Big Climate Ideas´ *The Solutions Journal* [Online]. Verfügbar unter: https://thesolutionsjournal.com/2016/02/22/translating-big-data-into-big-climate-ideas/ (Aufgerufen: 18.10.2021).

Poleshova, A. (2020): „Anteil der Urlaubsreisen (ab 5 Tage Dauer) nach Buchungsart in Deutschland im Jahr 2020". *Statista* (blog). 2020. https://de.statista.com/statistik/daten/studie/28161/umfrage/buchungsverhalten-bei-der-urlaubsunterkunft-nach-genutzten-medien/.

Pouri, M. J.; Hilty, L. M. (2018): „ICT-Enabled Sharing Economy and Environmental Sustainability—A Resource-Oriented Approach". In *Advances and New Trends in Environmental Informatics*, herausgegeben von Hans-Joachim Bungartz, Dieter Kranzlmüller, Volker Weinberg, Jens Weismüller, und Volker Wohlgemuth, 53–65. Progress in IS. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99654-7_4.

Praxpack (2020): „Versandverpackungen: Bestandsaufnahme von Mengen und Materialdaten". 2020. https://www.praxpack.de/fileadmin/user_upload/materialien/praxPACK_Werkstattpapier_Bestandsaufnahme_Versandverpackungen_Mengen.pdf.

Priestland, E. (2019): `Inspired to tackle plastic pollution? Try a brand audit!´ [Online]. Verfügbar unter: https://www.greenpeace.org/international/story/24177/fight-plastic-pollution-with-brand-audit/ (Aufgerufen: 18.10.2021).

Raimondo, S.; Vivian, D. N.; Barron, M. G. (2010): *Web-based Interspecies Correlation Estimation (Web-ICE) for Acute Toxicity: User Manual Version 3.1*, Environmental Protection Agency, https://www.epa.gov/sites/default/files/documents/WebICE_User_manual.pdf.

Rajala, R.; Hakanen, E.; Mattila, J.; Seppälä, T.; Westerlund, M. (2018): „How Do Intelligent Goods Shape Closed-Loop Systems?" *California Management Review* 60 (3): 20–44. https://doi.org/10.1177/0008125618759685.

Rao, P.; Balasubramanian, S.; Vihari, N.; Jabeen, S.; Shukla, V.; Chanchaichujit, J. (2021): „The E-Commerce Supply Chain and Environmental Sustainability: An Empirical Investigation on the Online Retail Sector". Herausgegeben von Albert W. K. Tan. *Cogent Business & Management* 8 (1): 1938377. https://doi.org/10.1080/23311975.2021.1938377.

Renewable Energy world (2020): `New "Site Wind Right" energy map released for Central U.S.´[Online]. Verfügbar unter: https://www.renewableenergyworld.com/wind-power/de-risks-wind-development-by-identifying-low-conflict-sites/#gref (Aufgerufen: 18.10.2021).

RePack (2021): „Our project, packaging with a positive impact". 2021. https://www.repack.com/impact/.

Revenga, C. (2016): 'FishPath: Setting fisheries on the path to sustainability' [Online]. Verfügbar unter: https://www.conservationgateway.org/ConservationPractices/Marine/SustainableFisheries/Documents/FishPath%20FactSheet%20Final_03_02_16%20(1).pdf (Aufgerufen: 18.10.2021).

Rischar, H. (2020): `Inside Maryland´s mission to tackle stormwater´, *Waste today* [Online]. Verfügbar unter: https://www.wastetodaymagazine.com/article/maryland-stormwater-mitigation/ (Aufgerufen: 18.10.2021).

RMI (2021): „Minerals Due Diligence". 2021. http://www.responsiblemineralsinitiative.org/minerals-due-diligence/.

Roblek, V.; Meško, M.; Podbregar, I. (2021): „Impact of Car Sharing on Urban Sustainability". *Sustainability* 13 (2): 905. https://doi.org/10.3390/su13020905.

Rohde, F.; Wagner, J.; Reinhard, P.; Petschow, U.; Meyer, A.; Voß, M.; Mollen, A. (2021) Nachhaltigkeitskriterien für künstliche Intelligenz. Schriftenreihe des IÖW 220/21. ISBN 978-3-940920-24-9.

Roland Berger (2018): Artificial intelligence: A smart move for utilities. https://eu-smartcities.eu/sites/default/files/2018-04/roland_berger_artificial_intelligence_utilities_en.pdf.

Rolnick, D.; Donti, P. L.; Kaack, L. H.; Kochanski, K.; Lacoste, A.; Sankaran, K. et al. (2019): Tackling Climate Change with Machine Learning. Online verfügbar unter http://arxiv.org/pdf/1906.05433v2.

Santarius et al. (2020): Hoffnung für den Umweltschutz oder Klimaproblem. https://netzpolitik.org/2020/hoffnung-fuer-den-umweltschutz-oder-oekoproblem/.

Sartal, A.; Bellas, R.; Mejías, A. M.; García-Collado, A. (2020): „The Sustainable Manufacturing Concept, Evolution and Opportunities within Industry 4.0: A Literature Review". *Advances in Mechanical Engineering* 12 (5): 1687814020925232. https://doi.org/10.1177/1687814020925232.

Sartorius, C.; Gandenberger, C. (2016): Entwicklung der Innovationsdynamik bei Ressourceneffizienztechnologien. Kurzanalyse Nr. 8 im Rahmen des Projekts RohPolRess für das Umweltbundesamt. Verfügbar unter: http://www.umweltbundesamt.de/dokument/christian-sartorius-carsten-gandenberger-fraunhofer.

Schmidt, H. (2021): „Plattform-Index 15 im Vergleich mit Dow Jones, Nasdaq Composite und Dax 30 seit Kalenderwoche 29/16". *Platform Fund* (blog). 2021. https://www.plattform-index.com/.

Schmidt, M. (2008): Die Bedeutung der Effizienz für Nachhaltigkeit - Chancen und Grenzen. In: Hartard, S.; Schaffer, A.; Giegrich, J. (Hg.): Ressourceneffizienz im Kontext der Nachhaltigkeitsdebatte. Baden-Baden: Nomos.

Schor, J. B. (2017): „Does the sharing economy increase inequality within the eighty percent?: findings from a qualitative study of platform providers“. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society* 10 (2): 263–79.

Schreier, J. (2019): „BMW, Microsoft und die Open Manufacturing Platform“. 9. April 2019. https://www.industry-of-things.de/bmw-microsoft-und-die-open-manufacturing-platform-a-819296/.

Schuh, G.; Anderl, R.; Dumitrescu, R.; Krüger, A.; ten Hompel, M. (Hrsg.) (2020): Der Industrie 4.0 Maturity Index in der betrieblichen Anwendung.Aktuelle Herausforderungen, Fallbeispiele und Entwicklungstrends [Online]. Verfügbar unter: https://www.acatech.de/publikation/der-industrie-4-0-maturity-index-in-der-betrieblichen-anwendung/

Seibold, S.; Grossner, M. M.; Weisser, W. W.; Simons, N. K.; Blüthgen, N.; Müller, J.; Ambarli, D.; Ammer, C.; Bauhus, J.; Fischer, M.; Habel, J. C.; Linsenmair, K. E.; Nauss, T.; Penone, C.; Prati, D.; Schall, P.; Schulze, E.; Vogt, J.; Wöllauer, S. (2019): `Arthropod decline in grasslands and forests is associated with landscapelevel drivers´, *Springer Nature* 574, p. 671-674 [Online]. Verfügbar unter: https://www.nature.com/articles/s41586-019-1684-3 (Aufgerufen: 18.10.2021).

Shankar, V.; Venkatesh, A.; Hofacker, C.; Naik, P. (2010): „Mobile Marketing in the Retailing Environment: Current Insights and Future Research Avenues“. *Journal of Interactive Marketing* 24 (2): 111–20. https://doi.org/10.1016/j.intmar.2010.02.006.

Shapiro, A.C.; Nijsten, L.; Schmitt, S.; Tibaldeschi, P. (2015): `Globil: WWF´s global observation and biodiversity information portal´, präsentiert auf: 36th International Symposium on Remote Sensing of Environment [Online]. Verfügbar unter: https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XL-7-W3/511/2015/isprsarchives-XL-7-W3-511-2015.pdf (Aufgerufen: 18.10.2021).

Simonis, U. (2004): Ökologische Modernisierung der Industriegesellschaft. In: Zukunftsforschung im Spannungsfeld von Visionen und Alltagshandeln. IZT Werkstattbericht 64, S. 29-46.

Solar Energy Industry Association (SEIA) (2021): ‘California Solar’ [Online]. Verfügbar unter: https://www.seia.org/state-solar-policy/california-solar (Aufgerufen: 18.10.2021).

Srnicek, N. (2017): *Platform Capitalism*. Cambridge Malden, MA: Polity.

Srnicek, N. (2018): *Plattform-Kapitalismus*. Übersetzt von Ursel Schäfer. 1. Auflage. Hamburg: Hamburger Edition.

Staab, P.; Geschke, S.-C. (2019): *Ratings als arbeitspolitisches Konfliktfeld: das Beispiel Zalando*. Bd. 429. Schriftenreihe Hans-Böckler-Stiftung. Düsseldorf: Hans-Böckler-Stiftung. http://www.boeckler.de/pdf/p_study_hbs_429.pdf.

Statista (2020): „Umsatz durch E-Commerce (B2C) in Deutschland in den Jahren 1999 bis 2020“. 2020. https://de.statista.com/statistik/daten/studie/253188/umfrage/umsatzstarke-warengruppen-im-online-handel-in-deutschland/.

Statista (2021): „Warengruppen im Online-Handel nach dem Umsatz in Deutschland in den Jahren 2018 bis 2020“. 2021. https://de.statista.com/statistik/daten/studie/253188/umfrage/umsatzstarke-warengruppen-im-online-handel-in-deutschland/.

Stobberup, K.; Anganuzzi, A.; Arthur-Dadzie, M.; Baidoo-Tsibu, G.; Hosken, M.; Kebe, P.; Kuruc, M.; Loganimoce, E.; Million, J.; Scott, G.; Spurrier, L.; & Tavaga, N. (2021): `Electronic monitoring in tuna fisheries: strengthening monitoring and compliance in the context of two developing states´. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*, 664, p. 85 [Online]. Verfügbar unter: https://www.fao.org/documents/card/en/c/cb2862en/ (Aufgerufen: 18.10.2021).

Straube, F.; Figiel, A.; Nitsche, B. (2018): „Herausforderungen und Lösungen für den städtischen Wirtschaftsverkehr auf der letzten Meile – neue Konsumententrends beeinflussen die Logistik der Zukunft“. In

Handbuch der kommunalen Verkehrsplanung, Loseblattsammlung, herausgegeben von Jürgen Gies, Jürgen Huber, Oliver Mietzsch, Claudia Nobis, Ulrike Reutter, Roman Ringwald, Katalin Saary, und Oliver Schwedes. Berlin/Offenbach: Wichmann. https://www.vde-verlag.de/buecher/537400/hkv-handbuch-der-kommunalen-verkehrsplanung.html.

Thau, D.; Ahumada, J. A.; Birch, T.; Fegraus, E.; Flores, N.; Jetz, W.; Kays, R.; Kinnaird, M.; Kulkarni, S.; Lyet, A.; O'Brien, T. G.; Palmer, J.; Schuttler, S.; Duong, M.; Oliver, R.; Zhao, J. Y.; McShea, W. J. (2019): 'Artificial Intelligence's Role in Global Camera Trap Data Management and Analytics via Wildlife Insights.' *Biodiversity Information Science and Standards* 3: e38233 [Online]. Verfügbar unter: https://doi.org/10.3897/biss.3.38233 (Aufgerufen: 18.10.2021).

The Royal Society (2020): Digital technology and the planet: harnessing computing to achieve net zero. Online verfügbar unter https://royalsociety.org/topics-policy/projects/digital-technology-and-the-planet/.

The Royal Society (Hrg.) (2019): Protecting privacy in practice: The current use, development and limits of Privacy Enhancing Technologies in data analysis, https://royalsociety.org/-/media/policy/projects/privacy-enhancing-technologies/privacy-enhancing-technologies-report.pdf.

Thielbörger, P.; Diekjobst, R. (2021): „Meilenstein für Unternehmen und Menschenrechte". *Legal Tribute Online* (blog). 1. Juni 2021. https://www.lto.de/recht/hintergruende/h/shell-klima-prozess-den-haag-verpflichtung-reduzierung-co2-emissionen-unternehmen-menschenrechte/.

Throup (2017): 'Finding needles in haystacks using satellites.' [Online]. Verfügbar unter: https://davethroupea.wordpress.com/2017/02/10/finding-needles-in-haystacks-using-satellites/ (Aufgerufen: 18.10.2021).

TNC [The Nature Conservancy] (2017) 'Natural Solutions Toolkit. Geospatial Decision Support Tools and WebApps to catalyse conservation' [Online]. Verfügbar unter: https://www.conservationgateway.org/ConservationPractices/Marine/crr/library/Documents/TNC_CoastalResilience_NST2017.pdf (Aufgerufen: 18.10.2021).

TNC [The Nature Conservancy] (2018a): 'Taking Fisheries Management Beyond the Scale' [Online]. Verfügbar unter: https://www.nature.org/en-us/newsroom/taking-fisheries-management-beyond-the-scale// (Aufgerufen: 18.10.2021).

TNC [The Nature Conservancy] (2018b): 'Sprawling Soy: Can a new tool help manage the Crop´s footprint?' [Online]. Verfügbar unter: https://www.nature.org/en-us/what-we-do/our-insights/perspectives/sprawling-soy-can-a-new-tool-help-manage-the-crops-footprint/ (Aufgerufen: 18.10.2021).

TNC [The Nature Conservancy] (2019a): *Annual report 2019* [Online]. Verfügbar unter: https://georpatial.tnc.org/documents/62b6502403ce41578ac522cc11a6a9df/explore (Aufgerufen: 18.10.2021).

TNC [The Nature Conservancy] (2019b): 'Living Melbourne: Our metropolitan urban forest' [Online]. Verfügbar unter: https://www.nature.org/content/dam/tnc/nature/en/documents/australia/2019LivingMelbourne_Strategy_online.pdf (Aufgerufen: 18.10.2021).

TNC [The Nature Conservancy] (2019c): *Living Melbourne: Technical report* [Online]. Verfügbar unter: https://www.nature.org/content/dam/tnc/nature/en/documents/australia/LivingMelbourne_TechnicalReport.pdf (Aufgerufen: 18.10.2021).

TNC [The Nature Conservancy] (2019d): 'Building Green Cities' [Online]. Verfügbar unter: https://www.nature.org/en-us/about-us/where-we-work/united-states/maryland-dc/stories-in-maryland-dc/mddc-how-we-work-cities/ (Aufgerufen: 18.10.2021).

TNC [The Nature Conservancy] (2020a): 'Living Melbourne: Greenprinting a Metropolis' [Online]. Verfügbar unter: https://www.nature.org/en-us/what-we-do/our-insights/perspectives/living-melbourne--greenprinting-a-metropolis/ (Aufgerufen: 18.10.2021).

TNC [The Nature Conservancy] (2020b): *Site Wind right: Accelerating a Clean, Low-Impact Energy Future* [Online]. Verfügbar unter: https://www.nature.org/en-us/what-we-do/our-priorities/tackle-climate-change/climate-change-stories/site-wind-right/?src=prt.nac.eg.x.REW (Aufgerufen: 18.10.2021).

TNC [The Nature Conservancy] (2020c): 'Mid-Atlantic Seascape' [Online]. Verfügbar unter: https://www.nature.org/en-us/about-us/where-we-work/united-states/virginia/stories-in-virginia/mid-atlantic-seascape/ (Aufgerufen: 18.10.2021).

TNC [The Nature Conservancy] (n. d. a): 'Fishface: Using Technology to change the way fisheries are managed' [Online]. Verfügbar unter: https://www.conservationgateway.org/ConservationPractices/Marine/SustainableFisheries/Documents/FishFace_TNC_final_12_18_15.pdf (Aufgerufen: 18.10.2021).

Tucker, C. (2018): „Network Effects and Market Power: What Have We Learned in the Last Decade?" *Antitrust* Spring 2018: 72–79.

UBA (2022): Grüne Informationstechnik - Green IT. https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/gruene-informationstechnik-green-it

UBA (2021): Energieverbrauch für fossile und erneuerbare Wärme. https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-fuer-fossile-erneuerbare-waerme#warmeverbrauch-und-erzeugung-nach-sektoren.

UBA [Hrsg.] (2015): Green Economy: an Engine for Development? UBA-Texte, 45/2015. Dessau-Roßlau.

UBA [Hrsg.] (2017): Übergang in eine Green Economy: Systemische Hemmnisse und praktische Lösungsansätze. Analysen, Thesen, Workshop-Ergebnisse. UBA-Texte, 02/2017. Dessau-Roßlau.

UBA [Umweltbundesamt] [Hrsg.] (2015): *Green Economy: an Engine for Development?* Dessau-Roßlau: UBA-Texte.

UBA [Umweltbundesamt] [Hrsg.] (2017): *Übergang in eine Green Economy: Systemische Hemmnisse und praktische Lösungsansätze. Analysen, Thesen, Workshop-Ergebnisse*, Dessau-Roßlau: *UBA-Texte.*

UBA Österreich [Umweltbundesamt Österreich] (2018): Grenzen trennen: Natur verbindet!' [Online]. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.at/dare-to-connect (Aufgerufen: 18.10.2021).

UBA; Stallmann, M. (2020): „Pressemitteilung: Klimabilanz von Online- und Ladenkauf: Das Produkt entscheidet". Text. Umweltbundesamt. 11. Dezember 2020. https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/klimabilanz-von-online-ladenkauf-das-produkt.

University of Helsinki, Reaktor Education (ohne Jahr): Elements of AI. Online verfügbar unter https://www.elementsofai.com/, zuletzt geprüft am 08.03.2021.

Urgewald (2017): *Jahresbericht 2016/2017* [Online]. Verfügbar unter: https://urgewald.org/sites/default/files/7107892_Jahresbericht_2016_2017_10.compressed.pdf (Aufgerufen: 18.10.2021).

Urgewald (2018): *Jahresbericht 2018* [Online]. Verfügbar unter: https://urgewald.org/sites/default/files/media-files/7111306_Jahresbericht_2018_05a.pdf (Aufgerufen: 18.10.2021).

Urgewald (2021): *Gobal Coal Exit List 2021* [Online]. Verfügbar unter: https://coalexit.org/database (Aufgerufen: 18.10.2021).

Usama, A.; Sroufe, R.; Shahbaz, M. (2021): „Industry 4.0 and the Circular Economy: A Literature Review and Recommendations for Future Research“. *Business Strategy and the Environment* 30 (4): 2038–60. https://doi.org/10.1002/bse.2731.

van Doorn, N. (2019): „A New Institution on the Block: On Platform Urbanism and Airbnb Citizenship“. *New Media & Society*, Oktober, 1461444819884377. https://doi.org/10.1177/1461444819884377.

van Loon, P.; McKinnon, A. C.; Deketele, L.; Dewaele, J. (2014): „The Growth of Online Retailing: A Review of Its Carbon Impacts“. *Carbon Management* 5 (3): 285–92. https://doi.org/10.1080/17583004.2014.982395.

Vandal, T.; Kodra, E.; Ganguly, S.; Michaelis, A.; Nemani, R.; Ganguly, A. R. (2017): DeepSD: Generating High Resolution Climate Change Projections through Single Image Super-Resolution. Online verfügbar unter http://arxiv.org/pdf/1703.03126v1.

Violette, M.; Cyril, P.; Schiffmann, J. (2018): Data-Driven Predesign Tool for Small-Scale Centrifugal Compressor in Refrigeration. In: Journal of Engineering for Gas Turbines and Power 140 (12). DOI: 10.1115/1.4040845.

Voosen, P. (2020): Europe builds 'digital twin' of Earth to hone climate forecasts. In: Science (New York, N.Y.) 370 (6512), S. 16–17. DOI: 10.1126/science.370.6512.16.

Walz, R.; Gotsch, M.; Gandenberger, C.; Peters, A.; Günther, E. (2017): "Nachhaltiges Wirtschaften - Stand der Transformation zu einer Green Economy", Working Paper No. S3/2017, Fraunhofer ISI, Karlsruhe.

Ward-Caviness, C. (2019): `Big Data Offers Big Insights into Links Between Environment, Heart Health´, *The EPA Blog*, 30 April [Online]. Verfügbar unter: https://blog.epa.gov/2019/04/30/big-data-offers-big-insights-into-links-between-environment-heart-health/ (Aufgerufen: 20.10.2021).

Watson (2020): „Umweltschützer kritisieren: Plastikmüll von Amazon landet im Meer“. 15. Dezember 2020. https://www.watson.de/nachhaltigkeit/amazon/185867661-umweltschuetzer-kritisieren-plastikmuell-von-amazon-landet-im-meer.

WCS [Wildlife Conservation Society] Newsroom (2020): ‘New Tech Lets Us Track Real-Time Health of Coral Reefs Around the World’ [Online]. Verfügbar unter: https://newsroom.wcs.org/News-Releases/articleType/ArticleView/articleId/14520/New-Tech-Lets-Us-Track-Real-Time-Health-of-Coral-Reefs-Around-the-World.aspx/ (Aufgerufen: 18.10.2021).

WEF (2018): World Economic Forum (WEF). Harnessing Artificial Intelligence for the Earth. http://www3.weforum.org/docs/Harnessing_Artificial_Intelligence_for_the_Earth_report_2018.pdf.

Williams, A. (2017): ‘Progress in Using Big Data in chemical Toxicity Research at the National Center for Computational Toxicology’ [Online]. Verfügbar unter: https://cfpub.epa.gov/si/si_public_file_download.cfm?p_download_id=532569 (Aufgerufen: 18.10.2021).

Wines, M.; Schwartz, J. (2016): `Unsafe Lead Levels in Tap Water Not Limited to Flin´, *The New York Times, 8 Februar* [Online]. Verfügbar unter: https://www.nytimes.com/2016/02/09/us/regulatory-gaps-leave-unsafe-lead-levels-in-water-nationwide.html (Aufgerufen: 18.10.2021).

Wirtschaftsinitiative Smart Living (2020): Gebäudeautomation Und Energiemanagement als Wirtschaftliche Maßnahme zur CO2-Minderung in Wohngebäuden. Energiepolitisches Positionspapier der Wirtschaftsinitiative Smart Living.

Witte, K.; Hungerland, N. (2020): Künstliche Intelligenz allein reicht nicht. https://netzpolitik.org/2020/kuenstliche-intelligenz-allein-reicht-nicht/.

WLW (2021): „Über wlw“. 2021. https://www.wlw.de/de/unternehmen/start.

World Bank (n. d. a.): ‘GDP (current US$) – Germany’ [Online]. Verfügbar unter: https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD?locations=DE (Aufgerufen: 18.10.2021).

World Bank (n. d. b.): 'GDP (current US$) – United States' [Online]. Verfügbar unter: https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD?locations=US (Aufgerufen: 18.10.2021).

Wortmann, F.; Ellermann, K.; Kühn, A.; Dumitrescu, R. (2020): „Ideation for Digital Platforms Based on a Companies' Ecosystem". *Procedia CIRP* 91: 559–64. https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.214.

WWF [World Wide Fund For Nature] (2017a): *Annual Report 2017* [Online]. Verfügbar unter: https://files.worldwildlife.org/wwfcmsprod/files/Publication/file/8uj72w5tbg_WWF_2017_AR_FINAL.pdf?_ga=2.178180898.6018163.1634738382-1859477111.1634738382 (Aufgerufen: 20.10.2021).

WWF [World Wide Fund For Nature] (2017b): 'Using public data platforms to assess deforestation risks within Jurisdictions' [Online]. Verfügbar unter: https://wwf.panda.org/wwf_news/?290770/JRA-discussion-paper (Aufgerufen: 18.10.2021).

WWF [World Wide Fund For Nature] (2018): *Annual Report 2018* [Online]. Verfügbar unter: https://files.worldwildlife.org/wwfcmsprod/files/Publication/file/lq1iufupp_WWF_Annual_Report_2018.pdf?_ga=2.178180898.6018163.1634738382-1859477111.1634738382 (Aufgerufen: 20.10.2021).

WWF [World Wide Fund For Nature] (2019a): 'New technology helps WWF and partners study whales in one of the most remote places on the planet' [Online]. Verfügbar unter: https://www.worldwildlife.org/stories/new-technology-helps-wwf-and-partners-study-whales-in-one-of-the-most-remote-places-on-the-planet (Aufgerufen: 18.10.2021).

WWF [World Wide Fund For Nature] (2019b): *Annual Report 2019* [Online]. Verfügbar unter: http://assets.worldwildlife.org/financial_reports/37/reports/original/WWF-AR2019-FINALPAGES.pdf?1582917951&_ga=2.12818035.535990812.1620987788-1776170283.1620987788 (Aufgerufen: 18.10.2021).

WWF [World Wide Fund For Nature] (2020): 'Employing AI to evaluate wildlife population on a global scale' [Online]. Verfügbar unter: https://www.worldwildlife.org/magazine/issues/winter-2020/articles/employing-ai-to-evaluate-wildlife-populations-on-a-global-scale (Aufgerufen: 18.10.2021).

WWF [World Wide Fund For Nature] (2021): 'Introducing Arcnet: An innovative, proactice approach to arctic marine conservation' [Online]. Verfügbar unter: https://arcticwwf.org/newsroom/the-circle/sea-change-managing-the-arctic-ocean/introducing-arcnet-an-innovative-proactive-approach-to-arctic-marine-conservation/?utm_source=Polar+Panda&utm_campaign=fc373013cd-polarpanda_COPY_01&utm_medium=email&utm_term=0_1279fc16ce-fc373013cd-431452109 (Aufgerufen: 18.10.2021).

WWF [World Wide Fund For Nature] (n. d. a): 'Technology helps fight illegal fishing' [Online]. Verfügbar unter: https://www.worldwildlife.org/stories/technology-helps-fight-illegal-fishing (Aufgerufen: 18.10.2021).

WWF [World Wide Fund For Nature] (n. d. b): 'Saving Forests with Big Data and Forensics' [Online]. Verfügbar unter: https://www.worldwildlife.org/projects/saving-forests-with-big-data-and-forensics (Aufgerufen: 18.10.2021).

Ympäristöministeriö [Umweltministerium Finnlands] (2018) *Strategy 2030: Paths of Action of the Strategy* [Online]. Verfügbar unter: https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Paths_of_action_of_the_strategy_EN-A0E01BF6_34E4_4545_A8BE_F07C22F4065E-138048.pdf/9bce88b8-2dc1-79cb-90be-57723854ef46/Paths_of_action_of_the_strategy_EN-A0E01BF6_34E4_4545_A8BE_F07C22F4065E-138048.pdf?t=1603259436833 (Aufgerufen: 18.10.2021).

Zalando (2020): „Fortschrittsbericht zu Nachhaltigkeit 2020". https://corporate.zalando.com/de/fortschrittsbericht-nachhaltigkeit-2020.

Zarra, A.; Simonelli, F.; Lenaerts, K.; Luo, M.; Baiocco, S.; Ben, S.; Li, W.; Echikson, W.; Kilhoffer, Z. (2019): „Sustainability in the Age of Platforms". Final Report. EMSD Challenge Fund. Brussels: Centre for European

Policy Studies (CEPS) & Academy of Internet Finance (AIF). https://www.ceps.eu/wp-content/uploads/2019/06/Sustainability-in-the-Age-of-Platforms-2.pdf.

Zhang, D.; Mishra, S.; Brynjolfsson, E.; Etchemendy, J.; Ganguli, D.; Grosz, B. et al. (2021): The AI Index 2021 Annual Report. Hg. v. AI Index Steering Committee, Human-Centered AI Institute, Stanford University.

Zimmermann, T.; Memelink, R.; Rödig, L. (2020): „Die Ökologisierung des Onlinehandels Neue Herausforderungen für die umweltpolitische Förderung eines nachhaltigen Konsums". https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2020_12_03_texte_227-2020_online-handel.pdf.

Zipursky, R. (2019): „Nuts About NETZ: The Network EnforcementAct and Freedom of Expression". *Fordham International Law Journal* 42 (4): 1325–74.

Zuboff, S. (2019): *The Age of Surveillance Capitalism: The Fight for a Human Future at the New Frontier of Power*. 1. Aufl. New York: PublicAffairs.

11 Anhang

11.1 Interviewleitfaden KI-Experten-Interviews

Themengebiet 1: Chancen von KI-Anwendungen im spezifischen Aufgabenfeld

- Was sind mögliche (ökologische) Anwendungen für KI-basierte Lösungen im spezifischen Aufgabenfeld?
- Wo bestehen die größten Chancen dieser KI-Anwendungen für die Umwelt im spezifischen Aufgabenfeld?

Themengebiet 2: Ökologische Herausforderungen, die sich durch KI-Anwendungen im spezifischen Aufgabenfeld ergeben

- Wie ist in Fällen von besonders energie- und datenintensiver KI ein positiver Netto-Effekt der KI-Anwendung zu erzielen?
- Was sind potenzielle ökologische Risiken von KI-Anwendungen im spezifischen Aufgabenfeld?
- Wo bestehen die größten Risiken von KI-Anwendungen im spezifischen Aufgabenfeld?

Themengebiet 3: Gesetzliche und regulatorische Maßnahmen als Leitplanken

- Wie kann der Umweltschutz in die KI-Algorithmen integriert werden?
- Wie kann eine Legitimierung der KI-basierten Ergebnisse sichergestellt werden?
- Welche Anreize bräuchte es, um eine Ausgestaltung und Anwendung von KI zu ermöglichen, welche die Ziele des BMU unterstützt?
- Sind gesetzliche Vorgaben und Regularien notwendig, um eine Ausgestaltung und Anwendung von KI zu erreichen, welche die Ziele des BMU unterstützen?
- Auf welcher Ebene wären diese konkret nötig (national/ Europäisch)?

11.2 Interviewleitfaden zur Befragung der KI-Leuchtturmprojekte

Themengebiet 1: Potenziale von KI-Lösungen für Umwelt, Klima, Natur und Ressourcen

- Was sind die die größten Potenziale und Chancen, der von Ihnen im Verbundprojekt verfolgten KI-Anwendung für den Umwelt-, Klima-, Natur- und Ressourcenschutz? Ist es möglich, das Potenzial ihrer KI-Anwendung zu quantifizieren?
- Wo sehen Sie, darüber hinaus und generell, in anderen Aufgabenfeldern weitere sinnvolle Anwendungen für den Umwelt-, Klima-, Natur- und Ressourcenschutz für KI-basierte Lösungen?
- Welche Ihnen bekannte Anwendungen der KI bieten in den folgenden Bereichen langfristig das größte Potenzial zur Steigerung von Umwelt-, Klima-, Natur- und Ressourcenschutz?
- Inwieweit müssen bei den oben thematisierten KI-Anwendungen auch mögliche Reboundeffekte, welche anfänglich positive Ergebnisse des Einsatzes der KI-Lösungen einschränken könnten, mitbeachtet werden und wie könnte man diese in den Griff bekommen?

Themengebiet 2: Existenz von strukturellen und regulatorischen Hemmnissen, welche Potenziale von umweltfreundlichen KI-Lösungen behindern

- Was sind die größten strukturellen und regulatorischen Hemmnisse für die Etablierung der von Ihnen im Verbundprojekt verfolgten KI-Anwendung?
- Was sind, Ihrer Meinung nach, generell die größten Hemmnisse für die Etablierung von KI-Anwendungen für den Umwelt-, Klima-, Natur- und Ressourcenschutz?
- Welche Anreize bräuchte es, um eine Ausgestaltung und Anwendung von KI zu ermöglichen, welche die Ziele des Umwelt-, Klima-, Natur- und Ressourcenschutzes unterstützt?
- Sind gesetzliche Vorgaben und Regularien notwendig, um eine Ausgestaltung und Anwendung von KI zu erreichen, welche die Ziele des Umwelt-, Klima-, Natur- und Ressourcenschutzes unterstützen? Wenn ja, welche?

Themengebiet 3: Existenz von Risiken, welche die Anwendung von umweltfreundlichen KI-Technologien behindern

- Was sind die größten Risiken, die mit der von Ihnen im Verbundprojekt verfolgten KI-Anwendung einhergehen?
- Was sind, Ihrer Meinung nach, die größten Risiken, die generell durch KI-Anwendungen entstehen könnten? Gibt es Risiken, die spezifisch bei KI-Anwendungen für den Umwelt-, Klima-, Natur- und Ressourcenschutz entstehen?
- Spielen in Ihrem Vorhaben auch ethische Fragestellungen eine Rolle?

11.3 KI-Anwendungen für die Landwirtschaftswende aus Literatur

	Landwirtschaftswende	Quelle
Bilderkennung und -verstehen	Monitoring von Fischbeständen, mit Erstellung von Datenbanken zu Bild- und Standortdaten von Fischen	(Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz 2020)
	Wald-Management: Schätzung des Kohlenstoffbestands, Automatisierung der Aufforstung, Management von Waldbränden, Erkennung und Reduzierung der Entwaldung	(Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz 2020; Bandura 2018; Rolnick et al. 2019)
	Nachhaltige Ressourcennutzung durch weniger und effizienteren Einsatz von Saatgut, Düngemitteln und anderen Substanzen	(Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz 2020)
	Monitoring und Auswertung der landwirtschaftlichen Flächen, Bestimmung der Bodenfeuchte, Prognosen zum Ernteertrag, oder Erkennung von Schädlingsbefall durch Satellitenaufnahmen	(Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz 2020)
	Automatisches Unkrauterkennungs- und Unkrautbeseitigungssystem	(Vandal et al. 2017; Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz 2020)
	Reduzierung von Ernteverlusten durch frühzeitige Erkennung von Schädlingen und Krankheiten	(Ellen MacArthur Foundation 2019)
	Identifikation, Kartierung und Management der Variabilität von Ackerland, vom Feuchtigkeitsgehalt des Bodens bis zur allgemeinen Gesundheit der Pflanzen	(Ellen MacArthur Foundation 2019)
	Verfolgung von Veränderungen bei Boden- und Küstenerosion, Landwirtschaft, Wald- und Wüstenentwicklung	(Jensen 2019)
	Fernerkundung und Echtzeitüberwachung von Treibhausgasen aus land- und forstwirtschaftlichen Praktiken sowie aus anderen Sektoren	(Rolnick et al. 2019)
	Die Überwachung von Torfgebieten	(Rolnick et al. 2019)
Sprach- und Textverstehen		
Datenmanagement und -analyse	Kampf gegen illegale Abholzung in tropischen Regenwäldern	(Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz 2020)
	Prognose von landwirtschaftlichen Risiken wie Dürre und Ertragsverluste auf Basis von Wetterdaten mit Hilfe von maschinellem Lernen und Erntemodellierungssimulationen	(GeSI 2019)

	Landwirtschaftswende	Quelle
	Globales Klimamodell zur Beurteilung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Landwirtschaft und die Abholzung von Wäldern	(Voosen 2020)
	Entscheidungshilfe für Landwirte, um zu entscheiden, welche Pflanzen wo angebaut werden sollen, wie die Fruchtfolge optimiert werden kann und um den richtigen Zeitpunkt für Aussaat, Kompostierung und Ernte vorherzusagen	(Ellen MacArthur Foundation 2019)
	Förderung der Verwendung von organischem Kompost	(Ellen MacArthur Foundation 2019)
	Bedarfsprognose auf Basis von historischen und Echtzeitdaten zur Reduzierung von Überproduktion und Überbeständen	(Ellen MacArthur Foundation 2019)
	Identifikation und Klassifikation von Pflanzen und Tieren	(Hecker et al. 2017)
	Information der Landwirte über den optimalen Aussaattermin	(Association of Pacific Rim Universities Mimited 2020)
Mensch-Maschine-Interaktion und Assistenzsysteme		
Robotik und autonome Systeme	Smarte Erntemaschine für Grassoden	(Hecker et al. 2017)
	Multifunktionale Agrarroboter-Plattform mit Reihenerkennung und Navigation	(Hecker et al. 2017)
Sensorik und Kommunikation	Tierhaltung: Effizienzsteigerung für Futterausgaben, Haltung und Produktion, sowie Milchviehhaltung	(Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz 2020)
Virtuelle und erweiterte Realität		

11.4 KI-Anwendungen für die Verkehrswende aus Literatur

	Verkehrswende	Quelle
Bilderkennung und -verstehen	Personalisierte Navigationssysteme für Routenempfehlungen	(Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz 2020)
	Strategische Koordination von Verkehrssteuerung und -informationssystemen	(Hecker et al. 2017)
	Verkehrsüberwachung (Modellierung, Simulation, Erkennung von Verkehrsmustern und Abschätzung der Treibhausgasemissionen von Fahrzeugen)	(Rolnick et al. 2019)
	Ersatz oder Reduzierung von Transporten durch die Bereitstellung von Alternativen zum Transport	(Rolnick et al. 2019)
Sprach- und Textverstehen		
Datenmanagement und -analyse	Frachtrouting und -konsolidierung durch Optimierung des komplexen Zusammenspiels von Sendungsgrößen, Verkehrsträgern, Start-Ziel-Paaren und Serviceanforderungen sowie durch Vorhersage von Ankunftszeiten oder Nachfrage, Identifizierung und Planung von Transportstörungen und Gruppierung von Lieferanten nach ihrer geografischen Lage und gemeinsamen Versandzielen	(Rolnick et al. 2019)
	Lernender digitaler Fahrassistent	(Hecker et al. 2017)
	Fahrerzustandserkennung	(Hecker et al. 2017)
	Predictive Maintenace für Railservice	(Hecker et al. 2017)
	Effektiveres Bike-Sharing durch Crowdsourcing-Ansatz zur Neuausrichtung der gemeinsam genutzten Fahrradflotte	(Gomes et al. 2019)
	Modellierung des Reisebedarfs und Planung neuer Verkehrsinfrastruktur zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen	(Rolnick et al. 2019)

	Verkehrswende	Quelle
	Verbesserung der Elektrofahrzeuge (Verbesserung der Algorithmen für Ladeplanung, Engpassmanagement und Vehicle-to-Grid, Forschung und Entwicklung von EV-Batterien)	(Rolnick et al. 2019)
	Effiziente Fahrzeuggestaltung mit ML	(Rolnick et al. 2019)
	Verbesserung der Forschung und Entwicklung von alternativen Kraftstoffen, die zu weniger bzw. keinen THG-Emissionen beitragen, wie z. B. Elektrokraftstoffe, Solarkraftstoffe, Biokraftstoffe, Wasserstoff und vielleicht Erdgas	(Rolnick et al. 2019)
	Verkehrsverlagerung durch ein besseres Verständnis für die Verkehrsmittelwahl der Fahrgäste (Analyse von Reiseumfragedaten, sozialen Medien oder verschiedenen Mobiltelefonsensoren wie GPS)	(Rolnick et al. 2019)
	Verkehrsverlagerung durch Ermöglichung von kohlenstoffarmen Transportoptionen sowohl für den Personen- als auch für den Güterverkehr (z. B. durch die Verbesserung/Bessere Integration von Bike-Sharing- und Elektroroller-Diensten für die urbane Mobilität mit anderen Verkehrsträgern, und Ermöglichung einer schnelleren, zuverlässigeren, effizienteren und einfacheren Nutzung von kohlenstoffarmen Verkehrsmitteln)	(Rolnick et al. 2019)
	Vernetzung und Intermodalität in der Mobilität	(Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz 2020)
	Prozessoptimierung in der Luftfahrtindustrie	(Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz 2020)
	Analyse der Einflüsse der Zersiedelung auf den Energieverbrauch des Verkehrs	(Rolnick et al. 2019)
	Analyse Fahrer- und Fußgängerverhaltens für autonomes Fahren	(Hecker et al. 2017)
Mensch-Maschine-Interaktion und Assistenzsysteme		
Robotik und autonome Systeme	Autonomes Fahren (PKW) und Fliegen	(Hecker et al. 2017)

	Verkehrswende	Quelle
	Flexible Nachfragesteuerung durch Anwendung von autonom fahrenden Kleinbussen für kurze Entfernungen (wo oftmals kein ausreichendes ÖPNV-Angebot bereitgestellt wird – auf weitläufigen Werks- und Gewerbegeländen, in einer Kleinstadt oder zur Anbindung einer Wohnsiedlung oder eines Universitätscampus an den nächsten Schienenverkehrshalt)	(Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz 2020)
	Automatisierte, fahrerlose Schienensysteme	(Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz 2020)
	Autonome und intelligente Assistenzsysteme für Schiffsführung	(Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz 2020)
Sensorik und Kommunikation	Mobilitätsübergreifende Kommunikation durch Schienenvernetzung	(Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz 2020)
Virtuelle und erweiterte Realität	Luftfahrzeug-Instandhaltung (der sogenannte Flugzeug-/Mechanik-Check)	(Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz 2020)

11.5 KI-Anwendungen für die Energiewende aus Literatur

	Energiewende	Quelle
Bilderkennung und -verstehen	Predictive Maintenance durch Erkennung von Korrelationen zwischen den Sensormessdaten und Anlagenausfällen oder Verschleiß	(Kratochwill et al. 2020b)
	Auswertung von Kameraüberwachungen für Schutz gegen feindliche Eingriffe, die zu Sachschäden führen	(Kratochwill et al. 2020b)
Sprach- und Textverstehen		
Datenmanagement und -analyse	KI-unterstützte Netzprognose für Erzeugung und Nachfrage zur Ermöglichung von variablem kohlenstoffarmen Strom (erneuerbare Energien und andere variable Stromerzeuger (Mix mit Erdgas)	(Kratochwill et al. 2020b; Rolnick et al. 2019)
	Optimierung des Netzbetriebs sowie Optimierung und strategische Planung für Erzeugungsanlagen und Netzinfrastruktur	(Kratochwill et al. 2020b; Rolnick et al. 2019)
	Erkennung und Schutz vor Cyberangriffen	(Kratochwill et al. 2020b)
	Ermöglichung der Betriebs- und Bestandsoptimierung für den Verbraucher unter Berücksichtigung benutzerspezifischer Vorlieben und des historischen Verbrauchsverhaltens	(Kratochwill et al. 2020b)
	Individualisierung von Produkten und Marketingmaßnahmen durch Kundenclustering und personalisierte Werbung	(Kratochwill et al. 2020b)
	Beschleunigung der Entwicklung von Batterietechnologien, die die Speicherung von erneuerbaren Energien ermöglichen	(Kratochwill et al. 2020b)
	Management und Kontrolle bestehender kohlenstoffarmer Stromquellen (z. B. Geothermie, Kernspaltung und Wasserkraft aus Staudämmen)	(Rolnick et al. 2019)
	Ermöglichung einer effizienteren Interaktion und Koordination der emissionsarmen Energie-infrastruktur für Elektrofahrzeuge und Fahrräder	(Rolnick et al. 2019)
	Beschleunigung der Fusionsforschung zur Erzeugung von sicherem und kohlenstofffreiem Strom	(Rolnick et al. 2019)
	Reduzierung der Emissionen fossiler Brennstoffe über den gesamten Lebenszyklus	(Rolnick et al. 2019)

	Energiewende	Quelle
	Reduzierung der Energieverluste auf Stromleitungen	(Rolnick et al. 2019)
	Verständnis und Modellierung der Emissionen im Stromnetz	(Rolnick et al. 2019)
	Prozessautomatisierung für Messungen, Abrechnungen und allgemeines Vertriebsgeschäft	(Kratochwill et al. 2020b)
Mensch-Maschine-Interaktion und Assistenzsysteme		
Robotik und autonome Systeme	Fehlerdiagnosen und Anlagenreparaturen in Umgebungen, die für Menschen unwirtlich oder schwer zugänglich sind	(Kratochwill et al. 2020b)
Sensorik und Kommunikation	KI-unterstützte Netzprognose für Erzeugung und Nachfrage zur Ermöglichung von variablem kohlenstoffarmen Strom (erneuerbare Energien und andere variable Stromerzeuger (Mix mit Erdgas)	(Kratochwill et al. 2020b; Rolnick et al. 2019)
	Predictive Maintenance durch Erkennung von Korrelationen zwischen den Sensormessdaten und Anlagenausfällen oder Verschleiß	(Kratochwill et al. 2020b)

11.6 KI-Anwendungen für die Wärmewende aus Literatur

	Wärmewende	Quelle
Bilderkennung und –verstehen	Identifizierung energiebezogener Gebäudeeigenschaften, wie z. B. das Vorhandensein von Photovoltaikanlagen	(Rolnick et al. 2019)
Sprach- und Textverstehen		
Datenmanagement und -analyse	Modeling und Analyse des Energieverbrauchs in Gebäuden	(Rolnick et al. 2019; The Royal Society 2020)
	Intelligente Gebäudemanagementsysteme für effiziente Heiz- und Kühlmusterempfehlungen	(The Royal Society 2020; Rolnick et al. 2019)
	Urbane Planung durch städtische Gebäudeenergiemodelle	(Rolnick et al. 2019)
	Bessere Interaktion und Koordination der emissionsarmen Heizungsinfrastruktur für Fernwärmenetze	(Rolnick et al. 2019)
	Neue Geschäftsmodelle, wie z. B. dezentraler Wärmeverkauf, Wärme als Dienstleistung	(The Royal Society 2020)
Mensch-Maschine-Interaktion und Assistenzsysteme		
Robotik und autonome Systeme		
Sensorik und Kommunikation	Intelligente Heizungssteuerung	(The Royal Society 2020)
Virtuelle und erweiterte Realität		

11.7 KI-Anwendungen für die Kreislaufwirtschaft aus Literatur

	Kreislaufwirtschaft	Quelle
Bilderkennung und -verstehen	Sortierung von gemischten Materialströmen	Ellen MacArthur Foundation (2019)
	Optische Qualitätskontrolle	Hatiboglu et al. (2019)
Sprach- und Textverstehen		
Datenmanagement und -analyse	Geringere Ausschussraten durch Verknüpfung und Auswertung zahlreicher Daten über Maschinengruppen und Produktionssysteme	GeSI (2019), Hatiboglu et al. (2019)
	Design zirkulärer Materialien, Algorithmus analysiert große Datenmengen, Vorhersage der Toxizität von Materialien möglich	Ellen MacArthur Foundation (2019), Rolnick et al. (2020), Gomes et al. (2019)
	Dynamische Bepreisung und Matching Algorithmen für zirkuläre Geschäftsmodelle, z. B. Autos und Fahrräder	Ellen MacArthur Foundation (2019)
	Entscheidungsmodelle für nächste Nutzungsphase zurückgegebener Produkte	Ellen MacArthur Foundation (2019)
	Absatzprognose zur Reduktion von Überproduktion und übermäßiger Lagerhaltung	Rolnick et al. (2020), Hatiboglu et al. (2019), DFKI und Bitkom (2017)
	Datengetriebene Produkt- und Retrofitplanung	VDI RE (2021)
Mensch-Maschine-Interaktion und Assistenzsysteme		
Robotik und autonome Systeme	Sortierung von gemischten Materialströmen	Ellen MacArthur Foundation (2019)
Sensorik und Kommunikation	Essensrestekonvertierung in Biogas, Sensor trackt und optimiert Wasserzufuhr	GeSI (2019)
	Prädiktive Wartung von Maschinen, Anlagen und Produkten	GeSi (2019), Ellen MacArthur Foundation (2019), Rolnick et al. (2020), Hatiboglu et al. (2019)
	Optimierung des Energieverbrauchs in der Produktion	Rolnick et al. (2020), VDI ZRE (2021)
	Berechnung des CO_2-Fußabdrucks von Lieferketten	Kettenburg (2019)
Virtuelle und erweiterte Realität		

11.8 Zuordnung der KI-Startups zu KI-Technologiefelder und Transformationsfelder

	Verkehrswende	Landwirtschaftswende	Energiewende	Wärmewende	Kreislaufwirtschaft
Bilderkennung und -verstehen	Schnelleres Parkplatzfinden	Erkennen von Krankheitsbefall von Pflanzen			Kamera in Mülleimer analysiert Inhalt und Füllgrad, Info über Ort, dadurch Routenoptimierung und Abholung nur, wenn gefüllt
	Analyse von Park-, Fahr-, und Halteverhalten	Waldbrandmonitoring			
		Unterscheidung Unkraut von Beikraut			
		Monitoring von Fischen, z. B. zur gezielten Fütterung			
		Monitoring und Erkennung der Bodenbeschaffenheit für Präzisionslandwirtschaft			
		Methangasdetektion			
		Berechnung der Nachhaltigkeits-auswirkungen von Landwirtschafts-praktiken			
Sprach- und Textverstehen		Erkennen des Ferkelquietschens bei Erdrücken, weniger tote Ferkel			

	Verkehrswende	Landwirtschaftswende	Energiewende	Wärmewende	Kreislaufwirtschaft
Datenmanagement und -analyse	Routenoptimierung	Absatzprognose Catering	Vorhersage des Angebots von Wind- und Solarenergie	Software für Haus-modelle, um Alter-nativen hinsichtlich Energieeffizienz vergleichen zu können	Qualitätsprognose des Zements während Herstellung gibt Aufschluss über Einsatzgebiet
	Analyse Verkehrsdaten zur Erkennung von Mo-bilitätsmustern, Nutz-ung zur Planung von ÖPNV, EV-Ladesta-tionen, etc.	Redistribution von Essensüberproduktion	Modellierung und Vergleich von Smart-Homeoptionen (Solaranlage, Batterie, Lade-station, Heizen, Fenster, ...)		Digitaler Zwilling eines Gebäudes ermöglicht Optimierung, Moni-toring, Wiederverwendung von Bauteilen
	Matching von Fracht- und Logistikanbietern	Vorhersage und Analyse von Pflanzeneigenschaften zur Züchtung	Matching von Anbietern und Nachfragern im Bereich Solaranlagen		Vorhersage der passenden Kleidungsgröße mit wenigen Kundenangaben, 20 % weniger Retouren
		Nachfrageprognose vergänglicher Lebensmittel	Analyse des PV-Potenzials eines Haushalts, Match mit Installateuren		Lieferkettenmodellierung, Nachfragevorhersage, Produktionsoptimierung
			Feingranulare Analyse der entstandenen Emissionen durch Strombedarf, Vorhersage und Optimierung		Sortieralgorithmus für Handel: Klassifikation in beschädigte, weiterverwendbare, etc. Produkte
					Analyse und Vorhersage von Industrieunfällen
Mensch-Maschine-Interaktion und Assistenzsysteme					

	Verkehrswende	Landwirtschaftswende	Energiewende	Wärmewende	Kreislaufwirtschaft
Robotik und autonome Systeme		Mechanische Entfernung von Unkraut mit Robotern	Automatisierte Inspektion von Windrädern mit Drohnen		Roboter erkennt und greift Recyclingmaterial, Recycling wird günstiger
		Indoorfarming mit Robotern, Robo-ter erkennt Reifegrad der Pflanzen, bewegt sich autonom, Roboterein-satz erhöht Wirtschaftlichkeit			Roboter in Mülltonne sortiert Abfall, Vorbereitung Müll durch z. B. Zermahlen, Erfassung Füllgrad Mülltonne
		Autonome Drohnen zur Daten-sammlung für Präzisionsland-wirtschaft			
		Autonome Drohnen sprühen Herbizide/Pestizide			
		Autonomer Roboter sammelt Daten über Bodenbeschaffenheit			
		Autonomer Roboterfisch sammelt Daten zur Erfassung des Umweltzustandes des Meers			
Sensorik und Kommunikation	Schnelleres Parkplatzfinden	Waldbrandmonitoring	Vorhersage Solarproduktion, Loadtime-Shifting	Analyse und Opti-mierung der Ener-gieflüsse in Gebäu-den, z. B. über Smart Meter (Strom, Beleuch-tung, Wärme, Kälte, Wasser)	Prozessoptimierung und -automatisierung durch "Lernen" der Prozesse und anschließender Optimierung (effizienterer Verbrauch Energie, Wasser)

	Verkehrswende	Landwirtschaftswende	Energiewende	Wärmewende	Kreislaufwirtschaft
	Analyse Verkehrsdaten zur Erkennung von Mobilitätsmustern, Beleuchtungssteuerung	dynamische, bedarfsgerechte und automatische Prozesssteuerungen beim Indoorfarming, starke Pesti-zid/Herbizid/Wasser/Dünger-Reduktion	Mustererkennung in Energieverbrauchsdaten	Selbstlernendes Heizkörper-Thermostat	Detektion von Rohrlecks in Firmen, autom. Abschaltung
	Analyse und Optimierung Geschwindigkeit bei Hochseetankern	Monitoring und Erkennung der Bodenbeschaffenheit für Präzisionslandwirtschaft	Konstruktion virtueller Kraft-werke		
	Prediktive Instandhal-tung Schienenverkehr	Optimierung von Dünger aus Bioabfall um Eigenschaften der damit gedüngten Pflanzen zu verbessern	Prediktive Instandhaltung und Produktionsvorhersage Windenergieanlagen		
	Routen- und Auslastungsoptimierung für Ride-Sharing, ÖPNV	Monitoring Bienen und Pollenstimulierung für mehr Honig	Software-Assistenzsystem zur Digitalisierung und Automati-sierung von Netzplanungs- und Netzbetriebsführungsprozessen bei Verteilnetzbetreibern		
	Optimierung und Synchronisation von Ampeln für besseren Verkehrsfluss	Monitoring der Getreidelagerung	KI erkennt, welche Elektro-geräte im Haushalt genutzt werden über Stecker und leitet Strom nur dorthin		
Virtuelle und erweiterte Realität					

11.9 Zuordnung der KI-Forschungsprojekte zu KI-Technologiefelder und Transformationsfelder

	Verkehrswende	Landwirtschaftswende	Energiewende	Wärmewende	Kreislaufwirtschaft
Bilderkennung und -verstehen		Klassifikation von Baumarten und -merkmalen			Monitoring von Bergbauaktivitäten mit Erdobservationsdaten
		Pflanzenzüchtung, z. B. Bewertung der Leistung von Pflanzensorten			Sortierung gemischter Metallfraktionen
		Monitoring und Management von Wald(bränden)			
		Identifikation und Unterschei-dung von Unkraut und Bei-kräutern, starke Herbizid-reduktion			
		Optimierung der Fischflotten durch Erdobservationsdaten			
		Fischbestandsbewertung			
		Kontrolle der Lebensmittel-qualität während Produktion			
Sprach- und Textverstehen					

	Verkehrswende	Landwirtschaftswende	Energiewende	Wärmewende	Kreislaufwirtschaft
Datenmanagement und -analyse	Finden der optimalen Mobilitätslösung für intermodale Reisen für den Endkunden	Abbildung Ernteprozesskette zur vorausschauenden Planung und Steuerung	Zustandsbewertung von Netzen um Vorhersage erweitert und nachgela-gerte Verbesserung von Steuerungsempfehlungen	Modellierung Energienutzungsverhalten in Gebäuden anhand erfassten Verhaltens	
	Modelle und Prognosen zum Verkehrsverhalten und zur Verkehrsentwicklung	Testen und Bewerten von Pflanzenvarianten		Modellierung und Optimierung des Energiesystems eines Gebäudes	
	Verknüpfung der Planung von Transportvolumen mit Tourenplanung	Modellierung des individuel-len Landwirtverhaltens zur Ableitung von Interventionen			
Mensch-Maschine-Interaktion und Assistenzsysteme		Erkennung und Vermeidung negativer Veränderungen im Boden			
Robotik und autonome Systeme		Automatische Wiederauf-forstung mit Luftfahrzeugen, effizienter und an schwer erreichbaren Orten			Sortierung und automa-tisierte Demontage mit Robotern, dadurch schnel-ler, Erkennen spez. Frak-tionen

	Verkehrswende	Landwirtschaftswende	Energiewende	Wärmewende	Kreislaufwirtschaft
		Präzisionslandwirtschaft mit Roboter zur Unkrautent-fernung, starke Herbizid-reduktion			
Sensorik und Kommunikation	Flottenversuche zur Erpro-bung autonomer Fahrzeuge	dynamische, bedarfsgerechte und automatische Prozess-steuerungen beim Indoor-farming	Fehlerfrüherkennung und -diagnose Windenergie-anlagen		Vorausschauende Analyse und Prozessoptimierung in der Produktion
		dynamische Vorhersage des Haltbarkeitsdatums von Lebensmitteln	Systemanalyse von Stromverteilnetzen im Normal- und Kurzschlussbetrieb		
		Identifikation und Unterschei-dung von Unkraut und Beikräutern, starke Herbizidreduktion			
		Monitoring und Management von Wald(bränden)			
		IoT-Lösungen zur Datenbereitstellung und Entscheidungsfindung für Präzisionslandwirtschaft			

	Verkehrswende	Landwirtschaftswende	Energiewende	Wärmewende	Kreislaufwirtschaft
		Kontrolle der Lebensmittel-qualität während Produktion			
		Monitoring und Mustererken-nung in Milchkuhverhalten			
Virtuelle und erweiterte Realität					

11.10 Zuordnung der Potenziale zu KI-Technologiefelder und Transformationsfelder aus den Interviews

	Verkehrswende	Landwirtschaftswende	Energiewende	Wärmewende	Kreislaufwirtschaft
Bilderkennung und -verstehen	Routenoptimierung	Selektive mechanische Unkrautbekämpfung			Erkennung von Materialfraktionen und Stoffgemischen für das Recycling, dadurch höhere Trenngüte und Sortenreinheit von Sekundärrohstoffen
		Bestimmung von Pflanzen-wachstum und -reifegrad			Optimierung der Lagerhaltung
		Zählung und Bestimmung von Insekten			
Sprach- und Textverstehen					Unterstützung eines grüneren Konsums
Datenmanagement und -analyse	Untersuchung und Modellierung multifak-torieller Situationen, z. B. kombinierte Nutzung von Verkehrsmitteln	Entscheidungsunter-stützungssysteme basierend auf Bilderkennung und Sen-sordaten (Satellitenbilder, Temperatur, Boden, ...)	Prognose der Energie-erzeugung durch Erneuerbare z. B. mithilfe von Wettervor-hersagen	Optimierte Energie-systemplanung für Wärme und Strom	
	Multimodale Verkehrssteuerung		Prognose der Energie-erzeugung kann über-führt werden in präzi-sere Kraftwerk-einsatz-planung (z. B. virtuelle Kraftwerke, Last-management), insbesondere operative Planung (bis 1 Tag)	Bedarfserkennung	

	Verkehrswende	Landwirtschaftswende	Energiewende	Wärmewende	Kreislaufwirtschaft
	Verbesserung des Schienenverkehrs		Optimierung von Energiesystemmodellen		
Mensch-Maschine-Interaktion und Assistenzsysteme					
Robotik und autonome Systeme		Autonome Feldroboter	Wartung schwer zugänglicher Gebiete mit Robotern, z. B. Hochsee		
Sensorik und Kommunikation		Selektive mechanische Unkrautbekämpfung	Ausrichtung Windräder nach Windrichtung		Erkennung von Materialfraktionen und Stoffgemischen für das Recycling, dadurch höhere Trenngüte und Sortenreinheit von Sekundärrohstoffen
		Bestimmung von Pflanzenwachstum und -reifegrad	Intelligente Steuerung der Netze und des Anlagenbestandes		
Virtuelle und erweiterte Realität			Softwareanwendungen im Bereich Wartung und Reparatur		