

UMWELT, INNOVATION, BESCHÄFTIGUNG

01/2022

Strukturwandel zu einer Green Economy

Screening besonders betroffener Branchen

von:

Katja Hünecke, Dirk Arne Heyen
Öko-Institut, Darmstadt, Berlin

Katrin Ostertag

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI), Karlsruhe

Herausgeber:

Umweltbundesamt



UMWELT, INNOVATION, BESCHÄFTIGUNG 01/2022

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

Forschungskennzahl 3716 14 101 0

FB000661

Teilbericht (AP 1)

Strukturwandel zu einer Green Economy

Screening besonders betroffener Branchen

von

Katja Hünecke, Dirk Arne Heyen
Öko-Institut, Darmstadt, Berlin

Katrin Ostertag
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung
(Fraunhofer ISI), Karlsruhe

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

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

 [/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

 [/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
Stresemannstr. 128 – 130
10117 Berlin
service@bmu.bund.de
www.bmu.bund.de

Durchführung der Studie:

Öko-Institut e.V.
Postfach 17 71
79017 Freiburg

Fraunhofer ISI
Breslauer Straße 48
76139 Karlsruhe

Abschlussdatum:

März 2021

Fachbegleitung:

Umweltbundesamt, Fachgebiet I 1.4, Dr. Andreas Burger, Dr. Björn Bünger
Bundesumweltministerium; Referat G I 4, Dr. Simon Marr, Elisabeth Guß, Malena Knauth

Publikationen als pdf:

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

ISSN 1865-0538

Dessau-Roßlau, Februar 2022

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

Kurzbeschreibung: Strukturwandel zu einer Green Economy - Screening von Wirtschaftsbranchen hinsichtlich ihrer Betroffenheit durch ökologische Herausforderungen

Im Rahmen des F+E-Vorhabens „Strategien und Handlungsempfehlungen für den ökologischen Strukturwandel in Richtung einer Green Economy“ (FKZ 3716 14 101 0) beschäftigte sich das hier zugrundeliegende Arbeitspaket 1 mit der Frage, welche Branchen aus ökologischen Gründen in besonderem Maße vor einem Strukturwandel stehen.

Vor diesem Hintergrund verfolgte das Arbeitspaket das Ziel, geeignete Methoden und Kriterien zur Identifizierung von Branchen zu sammeln und anzuwenden, für die ein grundlegender Strukturwandel erwartbar bzw. unumgänglich ist – vor dem Hintergrund gesetzter langfristiger Umweltziele und/oder aufgrund umweltbezogener Megatrends (gerade auch jenseits von Klimawandel, Klimaschutz und Klimaanpassung). Zudem sollten ökonomische Trends und Kriterien der Branchen mitberücksichtigt werden.

Dabei wurden die ökologischen Herausforderungen für die Branchen anhand ausgewählter Umweltwirkungskategorien analysiert - qualitativ auf Basis einer Literaturauswertung sowie quantitativ mit Hilfe der Datenbank EXIOBASE. Der Einfluss der ökologischen und ökonomischen Megatrends wurde rein qualitativ analysiert – wobei für die ausgewählten „Hotspot-Branchen“ auch mögliche indirekte Wirkungen berücksichtigt wurden.

Ziel des Arbeitspaketes war es nicht nur, über eine Art Screening ein inhaltliches Bewertungsergebnis zu konkreten Branchen zu erstellen, sondern den Auftraggebenden mit dem dazu entwickelten Ansatz auch ein Instrument zur Verfügung zu stellen, mit dem sich künftig die Analysen aktualisieren und weitere Analysen durchführen lassen. Das Arbeitspaket hatte somit auch einen methodisch explorativen Charakter.

Abstract: Structural change towards a Green Economy: Screening of business sectors affected by environmental challenges

Within the framework of the R&D project "Strategies and recommendations for action for ecological structural change towards a Green Economy" (FKZ 3716 14 101 0), work package 1 dealt with the question which sectors particularly face structural change for environmental reasons.

Against this background, the aim of the work package was to identify and apply suitable methods and criteria for identifying sectors for which a fundamental structural change can be expected or is inevitable. The analysis took place against the background of long-term environmental targets and/or environmental megatrends (also beyond climate change, climate protection and climate adaptation). In addition, economic trends and criteria of the individual sectors were also to be taken into account.

The ecological challenges for the sectors were analysed on the basis of selected environmental impact categories – qualitatively on the basis of a literature review and quantitatively with the aid of the EXIOBASE database. The influence of environmental and economic megatrends was analysed qualitatively – with indirect effects also taken into account for selected “hotspot sectors”.

The aim of the work package was not only to produce results on concrete sectors via a screening process, but also to provide an instrument for updating the analysis and performing further analyses in the future. Therefore, the work package also had a methodologically explorative character.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	8
Tabellenverzeichnis	9
Abkürzungsverzeichnis	10
Zusammenfassung.....	11
Summary	15
1 Einleitung.....	19
1.1 Hintergrund und Zielstellung des Berichts.....	19
1.2 Wirtschaftliche Bedeutung der Sektoren in Deutschland.....	21
1.3 Umweltpolitische Bedeutung der Sektoren.....	24
1.3.1 Klimaschutz	24
1.3.2 Ressourcenschonung	27
2 Methodisches Vorgehen	30
2.1 Grobscreening.....	30
2.2 Analyse der ökologischen Impacts auf Basis eines qualitativen Hotspot-Screenings	31
2.3 Analyse der ökologischen Impacts auf Basis von EXIOBASE	33
2.4 Screening der direkten Betroffenheit von ökologischen Megatrends.....	35
2.5 Weitergehende Analysen für Hotspot-Branchen.....	36
2.6 Reflektion zur methodischen Vorgehensweise.....	39
3 Ergebnisse des Branchenscreenings	44
3.1 Ergebnisse des qualitativen Hotspot-Screenings.....	45
3.1.1 Treibhausgase und Luftschadstoffe	45
3.1.2 Rohstoffinanspruchnahme, Flächeninanspruchnahme und Wasserverbrauch	47
3.1.3 Gesamttranking	49
3.2 Ergebnisse des quantitativen Screenings.....	50
3.3 Darstellung der Schnittmenge des qualitativen Hotspot-Screenings und der quantitativen Auswertung mit EXIOBASE.....	59
3.4 Ergebnisse des qualitativen Screenings der Betroffenheit von ökologischen Megatrends .	60
4 Weitergehende Analyse der identifizierten „Hotspot-Branchen“	63
4.1 Bauwirtschaft	63
4.2 Fahrzeugbau.....	67
4.3 Maschinenbau.....	70

4.4	Energiewirtschaft	73
4.5	Chemieindustrie	77
4.6	Pharmaindustrie.....	80
4.7	Lebensmittel- und Ernährungswirtschaft	84
4.8	Landwirtschaft	88
4.9	Forstwirtschaft.....	92
4.10	Wasserversorgung	95
5	Fazit	98
6	Literatur.....	103
A	Anhang	114
A.1	Bewertungsmatrix Hotspotanalyse (ökologische Relevanz).....	114
A.2	Summarische Bewertungstabelle Hotspotanalyse (ökologische Relevanz)	120
A.3	Bewertungsmatrix Betroffenheit von Megatrends (direkte Betroffenheit)	121
A.4	Summarische Bewertungstabelle Betroffenheit von Megatrends (direkte Betroffenheit)	124

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Entwicklung der Anteile des produzierenden Gewerbes und des Dienstleistungssektors an der gesamtwirtschaftlichen Wertschöpfung Deutschlands (1970-2016).....	22
Abbildung 2:	Bruttowertschöpfung der Wirtschaftsbereiche (in Mrd. Euro)22	
Abbildung 3:	Entwicklung der Beschäftigung in Deutschland nach ausgewählten Sektoren	23
Abbildung 4:	Umsatz der Betriebe des verarbeitenden Gewerbes mit Umsatzanteil > 3,5 % (2017)	24
Abbildung 5:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen ausgewählter Sektoren in Deutschland	25
Abbildung 6:	Emissions-Sektorziele 2030, gegenüber Emissionen 1990.....	26
Abbildung 7:	Rohstoffeinsatz der deutschen Wirtschaft.....	28
Abbildung 8:	Quellen der Literatur- und Onlinerecherche.....	31
Abbildung 9:	Aufbau der EXIOBASE-Datenbank	34
Abbildung 10:	Systemgrenzen der Wertschöpfungskette	40
Abbildung 11:	Bruttowertschöpfung der Branchen (2015)	45
Abbildung 12:	Relevanzbewertung der Branchen für THG und Luftschadstoffe	46
Abbildung 13:	Relevanzbewertung der Branchen für Rohstoff- und, Flächeninanspruchnahme sowie den Wasserverbrauch.....	48
Abbildung 14:	Ranking der Branchen nach dem qualitativen Hotspotscreening	50
Abbildung 15:	Betroffenheit der Branchen von Klimawandel und Ressourcenknappheit	60
Abbildung 16:	Betroffenheit von Biodiversitätsverlust, Entwaldung und Süßwassermangel.....	61
Abbildung 17:	Ranking der Branchen nach dem Screening der ökologischen Megatrends	62
Abbildung 18:	Branchenspezifische Betroffenheit vom Strukturwandel nach Strukturwandeltypen.....	100

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Ökologische Bewertungskriterien für das Hotspot-Screening .32
Tabelle 2:	Betrachtete ökologische Wirkungen34
Tabelle 3:	Methodische Anforderungen39
Tabelle 4:	Branchenauswahl (in alphabetischer Reihenfolge).....44
Tabelle 5:	TOP 10 Sektoren gemessen an THG-Emissionen gesamt und CO ₂ -Emissionen51
Tabelle 6:	TOP 10 Sektoren gemessen an CH ₄ - und N ₂ O-Emissionen51
Tabelle 7:	TOP 10 Sektoren gemessen an RMC und TMC.....52
Tabelle 8:	TOP 10 Sektoren gemessen an Wasserverbrauch und Wasserentnahme53
Tabelle 9:	TOP 10 Sektoren gemessen an NH ₃ und NMVOC53
Tabelle 10:	TOP 10 Sektoren gemessen an NO _x und SO _x54
Tabelle 11:	TOP 10 Sektoren gemessen an PM 2,5 und PM 1055
Tabelle 12:	TOP 10 Sektoren gemessen an Landnutzung55
Tabelle 13:	Sektoren, die in mindestens einer Umweltdimension unter den TOP 10 sind58
Tabelle 14:	Schnittmenge der Branchen aus dem qualitativen Hotspot- Screening sowie der quantitativen Auswertung mit EXIOBASE59

Abkürzungsverzeichnis

BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BWS	Bruttowertschöpfung
CO₂	Kohlendioxid
CH₄	Methan
DE	Deutschland
EEIO	Environmentally Extended Input-Output
FKZ	Forschungskennzahl
Mio.	Millionen
Mrd.	Milliarden
MRIO	Multiregionale Input Output
Nawaro	Nachwachsende Rohstoffe
NMVOC	on-methane volatile organic compounds
NO_x	Stickoxid
N₂O	Lachgas
PM 2,5	Feinstaub
PM10	Feinstaub
RMC	Raw Material Consumption
SO_x	Schwefeloxid
SRU	Sachverständigenrat für Umweltfragen
THG	Treibhausgase
TMC	Total Material Requirement
UBA	Umweltbundesamt

Zusammenfassung

Ökologische Herausforderungen und umweltpolitischen Ziele werden zunehmend zu einem Treiber von wirtschaftlichen Veränderungen und verlangen in den nächsten Jahren einen „ökologischen Strukturwandel“. Die Weltgemeinschaft, die Europäische Union (EU) und die Bundesrepublik haben sich ehrgeizige Ziele gesetzt, um den Klimawandel aufzuhalten. Spätestens im Jahr 2050 wollen die EU und Deutschland Treibhausgasneutralität erreichen. Weitere ehrgeizige Ziele gibt es etwa zur Reduktion des Ressourcenverbrauchs, der Stickstoffemissionen und des Artenverlusts.

Um diese Ziele zu erreichen, genügt es nicht, bestehende Produktionsprozesse und Produkte ein bisschen umweltfreundlicher zu gestalten, zum Beispiel durch Effizienzsteigerungen. Vielmehr ist ein tiefgreifender ökologischer Strukturwandel hin zu einer „Green Economy“ nötig, der viele Produktions- und Versorgungsstrukturen grundlegend ändert und auch Konsummuster der Industrieländer umfasst. Insbesondere das Pariser Klimaschutzziel erfordert schnelle, weitreichende und beispiellose Veränderungen.

Von einem Wandel zur Green Economy werden nicht nur Umwelt- und Gesundheitsvorteile erwartet, sondern in der Summe auch positive Wirkungen auf Wirtschaft und Beschäftigung. Zudem ist es volkswirtschaftlich langfristig günstiger, einen erheblichen Klimawandel zu vermeiden als mit seinen Wirkungen umgehen zu müssen. Strukturwandelprozesse sind aber auch mit wirtschaftlichen Herausforderungen verbunden. Im Fall eines ökologischen Strukturwandels geraten ressourcen- und/oder emissionsintensive Branchen unter Druck: also jene Branchen, die – absolut gesehen und/oder relativ zu ihrer Wertschöpfung – einen hohen Umweltverbrauch aufweisen.

Im Rahmen des F+E-Vorhabens „Strategien und Handlungsempfehlungen für den ökologischen Strukturwandel in Richtung einer Green Economy“ (FKZ 3716 14 101 0) widmete sich das dieser Studie zugrundeliegende Arbeitspaket 1 der Frage, welche Branchen angesichts ökologischer Nachhaltigkeitsziele und ökologischer wie ökonomischer Megatrends in besonderem Maße vor einem Strukturwandel stehen. Unter Strukturwandel werden volks- und regionalwirtschaftliche Bedeutungsverschiebungen zwischen Wirtschaftszweigen und Branchen verstanden. In dieser Studie wird der Begriff noch breiter verstanden und umfasst auch grundlegende Veränderungen von Produktionsprozessen oder Produkten innerhalb einer Branche, etwa den Wandel von einer fossilen zu einer auf erneuerbaren Energien beruhenden Energiewirtschaft. Konjunkturelle oder saisonale Schwankungen machen dagegen noch keinen Strukturwandel aus.

Methodenmix und -reflektion

Die ökologischen Herausforderungen für die Branchen wurden anhand verschiedener Umweltwirkungskategorien analysiert – qualitativ auf Basis einer Literaturschau sowie quantitativ mit Hilfe der Datenbank EXIOBASE. Der Einfluss der Megatrends wurde rein qualitativ analysiert – wobei für die ausgewählten „Hotspot-Branchen“ auch indirekte Wirkungen ökologischer Megatrends berücksichtigt wurden.

Das Branchen-Screening in dieser Studie zeigt, dass ein objektives, transparentes und aussagekräftiges Bewertungssystem nur mit erheblichem Aufwand umsetzbar ist. Insbesondere der Aspekt der Vergleichbarkeit wird erschwert durch unterschiedlich breite Branchenzuschnitte und damit der jeweiligen Betrachtungsmöglichkeiten sowie durch

unterschiedlich gute Datenverfügbarkeit. Es wurden Anforderungen definiert, auf deren Basis eine konsistente und vergleichbare Identifikation der vom Strukturwandel betroffenen Branchen möglich ist. Dazu gehört die Gewährleistung von Transparenz und Nachvollziehbarkeit, die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse, die Objektivität, die Einheitlichkeit und Aussagefähigkeit der hinterlegten Daten und Argumente, die Benutzerfreundlichkeit sowie der handhabbare Aufwand. Es wurde ebenfalls deutlich, dass eine Bewertung der Strukturwandel-Betroffenheit entlang der gesamten Wertschöpfungskette stattfinden muss, da strukturelle Veränderungen und damit auch die Verfügbarkeit von Alternativen nicht auf einer übergeordneten Branchenebene stattfinden, sondern an einzelnen Abschnitten der Produktion oder eines Prozesses passieren.

Die ergänzende Quantifizierung von Umweltwirkungen und ihr sektoraler Vergleich auf Basis multiregionaler Input-Output-Tabellen wie EXIOBASE hat sich als sehr hilfreich erwiesen. Der Vorzug dieses Ansatzes liegt darin, dass er in einem einheitlichen konsistenten Rahmen Kennzahlen für eine breite Palette von Sektoren und Umweltwirkungen liefert. Damit bietet er eine solide Grundlage für sektorale Vergleiche und ist objektivierbar. Allerdings wurde festgestellt, dass einzelne Branchen sehr kleinteilig disaggregiert sind (zum Beispiel Lebensmittelherstellung in sehr viele weitere Untergruppen), während andere Branchen (z. B. Maschinenbau) auf höherem Aggregationsniveau zur Verfügung stehen. Beim Vergleichen müssen diese Unterschiede berücksichtigt werden. Des Weiteren muss beachtet werden, an welcher Stelle der Wertschöpfungskette der Vergleich stattfindet. Branchen, die am Ende der Wertschöpfungskette stehen, könnten so z.B. schlechtere Umweltauswirkungen zugeordnet bekommen. Umgekehrt können Vorleistungsbranchen, die hohe negative Umweltwirkungen verursachen, nicht sichtbar sein, wenn nur am Ende der Wertschöpfungskette verglichen wird.

Ein weiteres Ergebnis des Branchenscreenings: Es ist an dieser Stelle der Analyse nicht möglich, bereits Handlungsempfehlungen für die ausgewählten Branchen/Teilbranchen zu entwickeln, wie sie mit dem anstehenden Strukturwandel umgehen sollen. Dafür sind weitere branchenspezifische Analysen notwendig, wie sie in Arbeitspaket 2 des Projekts erfolgten (vgl. Heyen et al. 2021).

Branchenauswahl und Screening-Ergebnisse

Insgesamt wurden 20 auf Basis eines Grobscreenings ausgewählte Branchen einem ökologischen „Hotspot-Screening“ unterzogen. Konkret waren dies: Automobilwirtschaft, Bauwirtschaft, Chemieindustrie, Elektroindustrie, Energieversorgung, Ernährungswirtschaft, Erzeugung von Nichteisen-Metallen, Erzeugung von Roheisen und Stahl, Forstwirtschaft, Gewinnung von Steinen und Erden, Herstellung von Kunststoffen, Herstellung von Papier und Zellstoff, Landwirtschaft, Logistik/Handel, Luftfahrt, Maschinenbau, Pharmaindustrie, Schifffahrt, Textil- und Bekleidungsindustrie, Wasserversorgung (und Abwasserentsorgung). Die Ergebnisse zeigen, dass die Emission von Treibhausgasen sowie die Inanspruchnahme von Ressourcen die wesentlichen Hotspots bei den betrachteten Branchen sind.

Auf Basis der Ergebnisse des qualitativen Hotspot-Screenings und der quantitativen Analyse mit EXIOBASE ergab sich eine Schnittmenge von Branchen. Angesichts der methodisch doppelten Herleitung kann bei diesen Branchen valide von einer hohen ökologischen Relevanz ausgegangen werden. Wichtig für die Interpretation der Ergebnisse: Die hier als besonders relevant identifizierten Branchen sind dadurch gekennzeichnet, dass sie in mehreren Umweltdimensionen „Hotspots“ sind: in der Regel, aber eben nicht ausschließlich im Hinblick

auf Treibhausgasemissionen, sondern auch im Hinblick auf andere Umweltdimensionen wie Luftschadstoffe oder den Verbrauch von Rohstoffen, Fläche und/oder Wasser.

Die Schnittmenge aus beiden methodischen Vorgehensweisen umfasst folgende acht „High Impact Branchen“ (in alphabetischer Reihenfolge):

- a) Bauwirtschaft
- b) Chemieindustrie
- c) Energiewirtschaft
- d) Fahrzeugbau
- e) Landwirtschaft
- f) Lebensmittelherstellung
- g) Maschinenbau
- h) Pharmaindustrie.

Die zusätzliche Analyse der ökologischen Megatrends zielte auf die Bewertung der Vulnerabilität der o.g. 20 betrachteten Branchen gegenüber den Megatrends. Die Ergebnisse zeigen, dass zunehmende Ressourcenknappheit für viele Branchen zukünftig eine große Rolle spielt, gefolgt vom Klimawandel und dem Megatrend Biodiversitätsverlust. Viele der eben genannten „High-Impact-Branchen“ sind auch vulnerabel gegenüber ökologischen Megatrends. Die nachfolgenden zwei Branchen zählen selbst zwar nicht zu den „High-Impact-Branchen“, sind aber vulnerabel:

- i) Forstwirtschaft
- j) Wasser- und Abwasserwirtschaft.

Weitergehende Betrachtung von zehn „Hotspot-Branchen“

Die insgesamt zehn genannten Branchen (a-j), die mit Blick auf ihre ökologischen Wirkungen und/oder ihrer Vulnerabilität gegenüber den ökologischen Megatrends als besonders relevant bewertet worden waren („Hotspot-Branchen“), wurden anschließend noch einer näheren Betrachtung unterzogen. Hierbei wurden auch die Betroffenheit durch ökonomische Megatrends und die Aussicht auf nachhaltige Geschäftsmodelle berücksichtigt. Ziel war letztlich eine Bewertung, in welchem Ausmaß, die Branchen vor einem Strukturwandel stehen.

Die Analyse der ausgewählten Branchen hat gezeigt, dass einige stark (Energieversorgung, Chemieindustrie, Pharmaindustrie) oder sogar sehr stark (Fahrzeugbau und Landwirtschaft) von einem Strukturwandel betroffen sind. Fünf Branchen wurden als „moderat betroffen“ bewertet (Bauwirtschaft, Maschinenbau, Lebensmittelverarbeitung, Forstwirtschaft und Wasserwirtschaft).

Es konnten drei Typen von (ökologischem) Strukturwandel identifiziert werden:

- Ressourcenbezogener Strukturwandel: Der Änderungsdruck entsteht durch die Verknappung oder Verteuerung der benötigten Ressourcen.
- Produktionstechnisch bedingter Strukturwandel: Der Änderungsdruck entsteht durch Verfahrensänderungen in der Produktion, die technische Möglichkeiten z.B. hinsichtlich Ressourcenschonung oder Energieeffizienz eröffnen.

- Produktbezogener Strukturwandel: Der Änderungsdruck äußert sich auf Ebene des Endprodukts.

Zum überwiegenden Teil handelt es sich bei den zehn „Hotspot-Branchen“ um einen (u.a.) ressourcenbezogenen Strukturwandel (8 Nennungen), seltener ist der (u.a.) produktionstechnologische (5 Nennungen) und produktbezogene Strukturwandel (2 Nennungen). Fünf Branchen stehen sowohl vor einem ressourcen- als auch einem produkt- oder produktionsbezogenen Strukturwandel.

Die Analyse der ökologischen Hotspots der Branchen hat gezeigt, dass nicht nur die notwendige Reduktion von Treibhausgasen künftig einen wesentlichen Einfluss auf strukturelle Änderungen hat. Auch andere ökologische Indikatoren wie Flächeninanspruchnahme, Rohstoffnutzung, Wasserverbrauch oder Abfallaufkommen üben Druck auf einzelne Branchen aus. Daher ist es sehr wichtig, nicht nur die emissionspezifischen Reduktionsziele im Blick zu haben, sondern jeglichen negativen Umweltbelastungen Beachtung zu schenken. Nur die ganzheitliche Betrachtung von potenziellen Herausforderungen unterstützt dabei, Handlungsnotwendigkeiten und auch Potenziale für die Branchen möglichst frühzeitig zu erkennen.

Das zeigt auch die Bewertung des Einflusses von ökologischen Megatrends. Dabei werden die Branchen vom „Klimawandel“ sowie der „Ressourcenknappheit“ dominiert. Bei der Relevanz der ökonomischen Megatrends sticht die Digitalisierung heraus. Acht der zehn betrachteten Branchen werden von diesem Megatrend beeinflusst. Der Megatrend Bevölkerungswachstum spielt bei sechs Branchen eine wesentliche Rolle.

Das Branchenscreening und die Bewertung der ökologischen Herausforderungen zeigen: viele Branchen stehen vor einem notwendigen Strukturwandel. Die zentrale Herausforderung besteht darin, frühzeitig zu reagieren und den erwartbaren Strukturwandel der Branchen so zu gestalten, dass die ökologischen Ziele erreicht werden und gleichzeitig Wertschöpfung und Beschäftigung zumindest branchenübergreifend in Deutschland erhalten bleiben.

Es wird empfohlen, solch ein Branchenscreening in regelmäßigen Abständen von wenigen (z.B. fünf) Jahren durchzuführen. Dies hat den Hintergrund, dass sich im Zuge voranschreitender Megatrends, technologischer Entwicklung sowie der Diskussion oder des Inkrafttretens von neuen umweltpolitischen Strategien und Gesetzen die Rahmenbedingungen und möglichen Entwicklungspfade für die Branchen ändern bzw. präzisieren können.

Für die Ausarbeitung konkreter Handlungsempfehlungen zur Bewältigung des Strukturwandels einer Branche bedarf es neben der Kenntnis strukturpolitischer Erfolgsfaktoren noch weitergehender und vertiefter branchenspezifischer Analysen: etwa zu Wertschöpfungsketten, Verflechtungen und Beschäftigungsstruktur (Bestands- und Verlaufsanalysen) sowie zu nachhaltigen Geschäftsalternativen und ihren Potenzialen. Neben Fachveröffentlichungen sind ergänzend Gespräche mit Branchen-Stakeholdern und weiteren Expert*innen empfehlenswert. Einen Schritt in diese Richtung ging das Arbeitspaket 2 dieses Projekts mit Fallstudien zu ausgewählten Branchen (vgl. Heyen et al. 2021).

Summary

Ecological challenges and environmental policy goals are increasingly becoming a driver of economic change and for "ecological structural change" in the upcoming years. The global community, the European Union (EU) and the Federal Republic of Germany have set ambitious targets to halt climate change. The EU and Germany aim to achieve greenhouse gas neutrality by 2050 at the latest. There are further ambitious targets for reducing resource consumption, nitrogen emissions and species loss, for example.

To achieve these goals, it is not enough to make existing production processes and products slightly more environmentally friendly, for example by increasing efficiency. Rather, a far-reaching ecological structural change toward a "Green Economy" is needed that fundamentally changes many production and supply structures and encompasses consumption patterns in the industrialized countries. The Paris climate protection target requires rapid, far-reaching and unprecedented changes.

A change to a Green Economy is expected to bring not only environmental and health benefits, but also positive effects on the economy and employment overall. Moreover, it is economically more advantageous in the long term to avoid significant climate change than to have to deal with its effects. However, structural change processes are also associated with economic challenges. In the case of ecological structural change, resource-intensive and/or emissions-intensive industries come under pressure: i.e., those industries that – in absolute terms and/or relative to their value added – have a high environmental consumption.

As part of the R&D project "Strategies and recommendations for action for ecological structural change towards a Green Economy" (FKZ 3716 14 101 0), this study discusses the question which sectors are particularly facing structural change in view of environmental sustainability goals and ecological and economic megatrends.

"Structural change" is understood as shifts between economic sectors and branches in terms of their significance for a national and regional economy. In this study, the term is understood more broadly and includes fundamental changes in production processes or products within an industry, such as the change from a fossil fuel-based to a renewable energy-based electricity sector. By contrast, cyclical or seasonal fluctuations do not yet constitute structural change.

Mix of methods and reflection on them

The ecological challenges for the business sectors were analysed on the basis of various environmental impact categories – qualitatively based on a literature review and quantitatively using the EXIOBASE database. The impact of megatrends was analysed only qualitatively, with indirect effects of ecological megatrends also taken into account for the selected hotspot industries.

The sector screening in this study shows that an objective, transparent and meaningful evaluation system can only be implemented with considerable effort. In particular, the aspect of comparability is hampered by differences in the breadth of industry sectors and thus in the availability of respective options for analysis, as well as by differences in the availability of data. Requirements have been defined on the basis of which a consistent and comparable identification of the industries affected by structural change is possible. These include ensuring transparency and traceability, reproducibility of results, objectivity, uniformity and meaningfulness of data and arguments used, user-friendliness and manageable effort. It also

became clear that an assessment of the structural change impact must take place along the entire value chain, since structural changes and thus also the availability of alternatives do not take place at a superordinate sector level but happen at individual sections of production.

The complementary quantification of environmental impacts and their sectoral comparison based on multi-regional input-output tables such as EXIOBASE has proven to be very helpful. The merit of this approach is that it provides key data for a wide range of sectors and environmental impacts within a single consistent framework. Thus, it provides a solid basis for sectoral comparisons and can be objectified. However, it was found that individual sectors are disaggregated at very small levels (for example, food into many more subgroups), while other sectors (for example, mechanical engineering) are available at higher levels of aggregation. When making comparisons, these differences must be taken into account. Furthermore, it must be taken into account at which point of the value chain the comparison takes place. Business sectors at the end of the value chain could, for example, be assigned worse environmental impacts. Conversely, upstream sectors that causes high negative environmental impacts may not be visible if the comparison is made at the end of the value chain.

Another result of the sector screening: it is not possible at this point of the analysis to already develop recommendations for action for the selected (sub-) sectors on how they should deal with upcoming structural change. Further sector-specific analyses are necessary, as they were carried out in work package 2 of the project (Heyen et al. 2021).

Sector selection and results

A total of 20 business sectors selected on the basis of a rough screening were subjected to an environmental hotspot screening. These include: Automotive industry; construction; chemical industry; electronics industry; energy supply; food industry; production of non-ferrous metals; production of pig iron and steel; forestry; quarrying; production of plastics; production of paper and pulp; agriculture; logistics/retail; aviation; mechanical engineering; pharmaceutical industry, shipping; textile and clothing industry; water supply (and wastewater disposal).

Based on the results of the qualitative hotspot screening and the quantitative analysis with EXIOBASE, an intersection of relevant sectors emerged. In view of the methodologically double derivation, a high ecological relevance can be validly assumed for these sectors. Important for the interpretation of the results: The sectors identified as particularly relevant are characterized by being problem hotspots in several environmental dimensions: usually, but not exclusively, in terms of greenhouse gas emissions, but also in terms of other environmental dimensions such as air pollutants or the consumption of raw materials, land and/or water.

The intersection of the two methodological approaches includes the following eight "high impact industries" (in alphabetical order of the German terms):

- a) Construction
- b) Chemical industry
- c) Energy supply
- d) Automotive industry
- e) Agriculture
- f) Food industry

- g) Mechanical engineering
- h) Pharmaceutical industry.

The additional analysis of environmental megatrends aimed at evaluating the vulnerability of the sectors considered. The results show that increasing resource scarcity could play a major role for many sectors in the future, followed by climate change and the megatrend of biodiversity loss. Many of the high-impact sectors just mentioned are also vulnerable to ecological megatrends. The following two sectors are not high-impact sectors themselves, but they are vulnerable:

- i) Forestry
- j) Water and wastewater management.

Further consideration of ten "hotspot sectors"

The overall ten sectors (a-j) particularly relevant in terms of their ecological impact and/or their vulnerability to ecological megatrends ("hotspot sectors") have then been analysed in more depth. In this context, the impact of economic megatrends and the prospect of sustainable business models were also taken into account. The target was to assess to which extent the sectors are facing structural change.

The analysis of the selected sectors has shown that some are strongly (energy supply, chemical industry, pharmaceutical industry) or even very strongly (vehicle manufacturing and agriculture) affected by structural change. Five sectors were rated as "moderately affected by structural change" (construction, mechanical engineering, food processing, forestry and water management).

Three types of (ecological) structural change could be identified:

- ▶ Resource-related structural change: The pressure for change arises from the scarcity or increase in price of the required resources.
- ▶ Production-related structural change: The pressure to change arises from process changes in production that open up technical possibilities, e.g. with regard to resource conservation or energy efficiency.
- ▶ Product-related structural change: The pressure for change manifests itself at the level of the end product.

For the most part, the ten "hotspot sectors" are facing (among other types) resource-related structural change (8 mentions), with production technology-related (5 mentions) and product-related structural change (2 mentions) being less common. Five sectors are facing both resource-related and product- or production-related structural change.

The analysis of the environmental problem hotspots has shown that not only the necessary reduction of greenhouse gases will have a significant impact on structural changes in the future. Other environmental indicators such as land use, raw material use, water consumption or waste generation also exert pressure on individual sectors. It is therefore very important not only to focus on emission-specific reduction targets, but also to pay attention to any negative environmental impacts. Only a holistic view of potential challenges helps to identify the need for action and also the opportunities for the sectors as early as possible.

This is also shown by the assessment of the influence of environmental megatrends. The sectors are dominated by "climate change" and "scarcity of resources". Digitalisation stands out in terms of the relevance of economic megatrends. Eight of the ten industries considered are influenced by this megatrend. The population growth megatrend plays a significant role in six industries.

The sector screening and the assessment of the environmental challenges have shown that many sectors are facing an imperative structural change. The key challenge is to react to it at an early stage and to shape the expected structural change of the industries in such a way that the ecological goals are achieved and, at the same time, value creation and employment are maintained in Germany, at least across all sectors.

It is recommended that such a sector screening be carried out at regular intervals of a few (e.g. five) years. The background to this is that the framework conditions and possible development paths for the industries can change (or become more precise) in the course of ongoing megatrends, technological development and the discussion or entry into force of new environmental policy strategies and laws.

In addition to knowledge of structural policy success factors, the development of concrete recommendations for action to manage the structural change of a sector requires even more extensive and in-depth industry-specific analyses: for example, on value chains, interdependencies and employment structure (stock and development analyses) as well as on sustainable business alternatives and their potential. In addition to in-depth studies, discussions with industry stakeholders and other experts are recommended. Work package 2 of this project took a step in this direction with case studies on selected industries (Heyen et al. 2021).

1 Einleitung

1.1 Hintergrund und Zielstellung des Berichts

Viele Wirtschaftsbranchen (und teilweise auch Regionen) stehen vor einem Strukturwandel (zum Strukturwandelbegriff, s. Textbox am Ende des Abschnitts). Die Gründe sind vielfältig: zu sozioökonomischen Megatrends wie Globalisierung und Digitalisierung kommt die notwendige Erfüllung anspruchsvoller Klima- und Umweltziele hinzu.

Im Rahmen des F+E-Vorhabens „Strategien und Handlungsempfehlungen für den ökologischen Strukturwandel in Richtung einer Green Economy“ (FKZ 3716 14 101 0) beschäftigte sich das hier zugrundeliegende Arbeitspaket 1 mit der Frage, welche konkreten Branchen angesichts (inter-)nationaler Nachhaltigkeitsziele und ökologischer wie ökonomischer Megatrends in besonderem Maße vor einem Strukturwandel stehen.

BMUB und UBA (2012) charakterisieren den Begriff „Green Economy“ als „eine mit Natur und Umwelt im Einklang stehende, innovationsorientierte Volkswirtschaft, die schädliche Emissionen und Schadstoffeinträge in alle Umweltmedien vermeidet, auf einer Weiterentwicklung der Kreislaufwirtschaft beruht und regionale Stoffkreisläufe so weit wie möglich schließt, den Einsatz nicht erneuerbarer Ressourcen absolut senkt, insbesondere durch eine effizientere Nutzung von Energie, Rohstoffen und anderen natürlichen Ressourcen und die Substitution nicht-erneuerbarer Ressourcen durch nachhaltig erzeugte erneuerbare Ressourcen, langfristig eine ausschließlich auf erneuerbaren Energien basierende Energieversorgung erreicht und die biologische Vielfalt sowie Ökosysteme und ihre Leistungen erhält, entwickelt und wiederherstellt“. Dabei seien auch soziale Aspekte zu berücksichtigen.

In der Summe können vom Übergang zu einer Green Economy positive Beschäftigungswirkungen ausgehen (Lehr et al. 2015; Sievers et al. 2019; ILO 2018; OECD 2017). Zudem ist es volkswirtschaftlich gesehen langfristig günstiger, einen erheblichen Klimawandel zu vermeiden als mit seinen Wirkungen umgehen zu müssen (UNEP 2009, Stern 2006, IPCC 2014, Lühr et al. 2014, Klepper et al. 2017).

Bei jedem Strukturwandel gibt es jedoch auch Branchen und Technologien, die unter Druck geraten. Es ist zu erwarten, dass von einem ökologisch bedingten Strukturwandel v.a. jene Branchen betroffen sind, die – absolut und/oder relativ zu ihrer Wertschöpfung – einen hohen Umweltverbrauch aufweisen, also besonders ressourcen- und/oder emissionsintensiv sind. Beispiele sind die fossile Energiewirtschaft, energieintensive Industrien, die Chemie, der Luft- und Automobilverkehr oder die Landwirtschaft (vgl. auch die Vorgängerstudie „Ökologische Modernisierung“, Knopf et al. 2016).

Teilweise fehlen aber auch noch systematische bzw. vertiefte Analysen, in welchen (Teil-) Bereichen Anpassungsfriktionen drohen und „stranded investments“ als Folge einer verspäteten Strukturanpassung entstehen können. Die IG Metall (2019) stellt im Zuge der Erstellung ihres Transformationsatlas zudem fest: „Viele Arbeitgeber haben keine Strategie zur Bewältigung der Transformation“.

Ohne frühzeitige Anpassung drohen Betriebe und Beschäftigte in diesen Branchen zu „Verlierern“ zu werden; eventuell auch ganze Regionen oder Kommunen, wenn ihre Wirtschaftsstruktur stark von einer Branche dominiert wird (wie in der Lausitz von der Braunkohle, in Ludwigshafen von der Chemie oder in Wolfsburg, Stuttgart und Ingolstadt von

der Automobilherstellung). Von besonderer Brisanz kann es sein, wenn der Strukturwandel in einem Land durch weltwirtschaftliche Entwicklungen getrieben und beschleunigt wird (wie etwa in der Automobilindustrie durch China bei der Elektromobilität oder durch den amerikanischen Druck auf Diesel-Autos).

Im Sinne nachhaltiger Entwicklung sollte es Ziel staatlichen Handelns sein, dass ein Strukturwandel ohne zu große soziale Härten und wirtschaftliche Anpassungsfriktionen verläuft. Dies ist auch aus umweltpolitischer Perspektive geboten, weil die Gefahr besteht, dass der Transformationsprozess durch Widerstand blockiert oder zumindest verlangsamt wird. Eine solche Blockade könnte mittelfristig zu weiteren negativen wirtschaftlichen und sozialen Entwicklungen führen, wenn der Strukturwandel dann später innerhalb sehr kurzer Zeit ablief („Strukturbruch“). Eine frühzeitige Gestaltung des Strukturwandels kann damit wirtschaftliche und soziale Friktionen vermeiden.

Vor diesem Hintergrund verfolgte das Arbeitspaket das Ziel, geeignete Methoden und Kriterien zur Identifizierung von Branchen bzw. Technologien zu sammeln und anzuwenden, für die ein grundlegender Strukturwandel erwartbar bzw. unumgänglich ist – vor dem Hintergrund gesetzter langfristiger Umweltziele und/oder aufgrund umweltbezogener Megatrends (gerade auch jenseits von Klimawandel, Klimaschutz und Klimaanpassung). Zudem sollten ökonomische Trends und Kriterien der Branchen mitberücksichtigt werden.

Übergeordnetes Ziel des Arbeitspaketes war es nicht nur, ein inhaltliches Bewertungsergebnis für die betrachteten und vom Strukturwandel betroffenen Branchen zu erstellen, sondern den Auftraggebern mit dem dazu entwickelten Ansatz auch ein Instrument zur Verfügung zu stellen, mit dem sich künftig die Analysen aktualisieren und weitere Analysen durchführen lassen. Das Arbeitspaket hatte somit auch einen methodisch explorativen Charakter.

Die wesentlichen Analyseschritte fanden im Zeitraum 2018 – 2019 statt, und somit auch vor der Corona-Pandemie, deren Auswirkungen hier somit nicht berücksichtigt werden konnten.

Strukturwandel

Der Begriff des Strukturwandels geht zurück auf den Ökonomen Jean Fourastié (1949/1969) (vgl. Reuter & Zinn 2011). Nach ihm ist Strukturwandel die Entwicklung von der Agrar- über die Industrie- zur Dienstleistungsgesellschaft (Tertiärisierung). Sein Ansatz greift jedoch zu kurz, da nicht nur der von ihm definierte technische Fortschritt als Einflussfaktor Relevanz hat.

In einem breiteren Verständnis werden unter „Strukturwandel“ stetige Veränderungen in einer Volkswirtschaft verstanden, die meist tiefgreifende und langfristige Folgen haben. Weitere Einflussfaktoren für einen Strukturwandel, neben dem technischen Fortschritt, sind z.B. eine veränderte Nachfrage, ein Wandel bei Preisen oder verfügbare Ressourcen. Auch die „internationale Arbeitsteilung“ kann eine Rolle spielen. Konjunkturelle oder saisonale Schwankungen machen dagegen noch keinen Strukturwandel aus (Zart & Untiedt 2018, Reuter & Zinn 2011).

Strukturwandel kann auf drei Ebenen stattfinden:

1. **Sektoraler Strukturwandel:** ist die langfristige, in der Regel irreversible Umschichtung von Nachfrage, Produktion und Beschäftigung zwischen einzelnen Sektoren einer Volkswirtschaft (RWI 2000). Beispielfhaft zu nennen sind der volkswirtschaftliche

Bedeutungsrückgang der Landwirtschaft oder des Steinkohlebergbaus, und der Zuwachs von Dienstleistungen, u.a. im IT-Bereich.

2. **Intrasektoraler Strukturwandel:** bezeichnet die Veränderungen in der Arbeitsteilung innerhalb einzelner Sektoren der Volkswirtschaft. Dies bezieht sich z.B. auf Verschiebungen zwischen Produktions- und Dienstleistungstätigkeiten. Hiermit verbunden ist ein Mehrbedarf an höherqualifizierten Beschäftigten (Gablers Wirtschaftslexikon 2019).
3. **Regionaler Strukturwandel:** zeigt die Veränderungen von ökonomischen Strukturen innerhalb von regionalen Wirtschaftsräumen. Diese Veränderungen haben eine hohe Bedeutung für die gesamtwirtschaftliche Entwicklung der Region. Standortdeterminanten bestimmen Richtung und Ausmaß des regionalen Strukturwandels (Zarth & Untiedt 2018). Beispielhaft genannt sei das Ruhrgebiet, welches sich seit der Kohlekrise von 1958 zum Dienstleistungszentrum gewandelt hat bzw. auch wandeln musste (Ruhr Guide 2019). Aktuell sind die Diskussionen in den Braunkohleregionen und auch an deutschen Steinkohlestandorten (s. hierzu Exkurs zur Kohlekommission auf Seite 21).

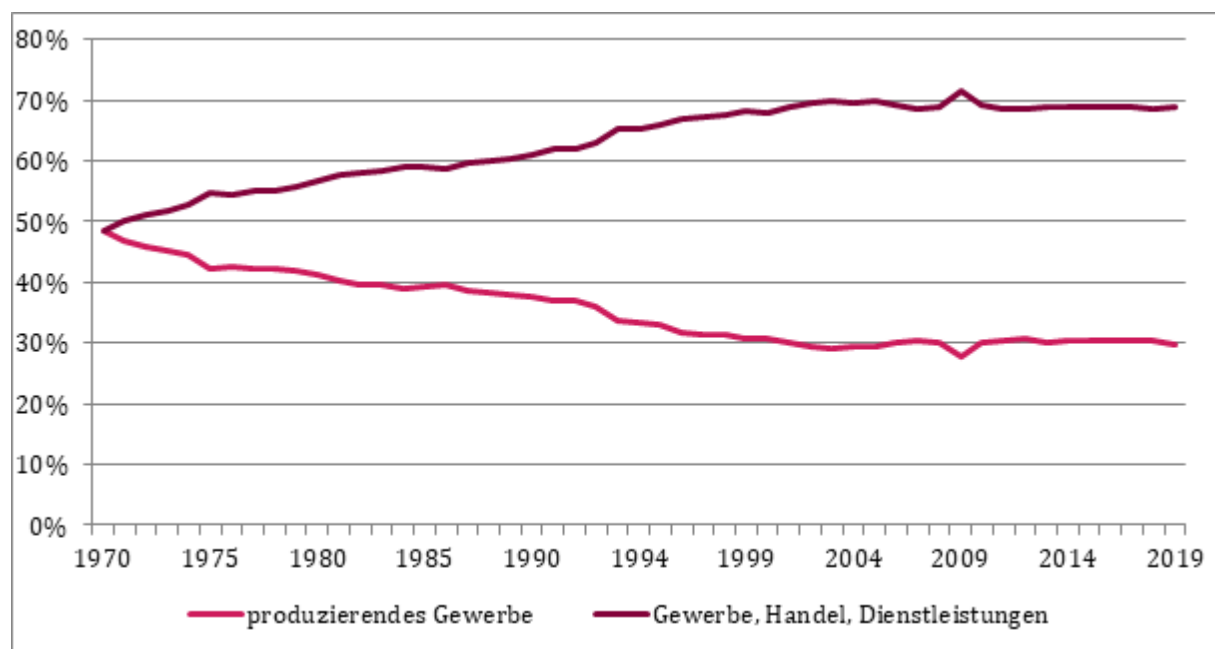
Der vorliegende Bericht impliziert ein offen-breites Verständnis vom Strukturwandel, der auf den genannten drei Ebenen stattfinden kann und grundlegende Veränderungen innerhalb oder zwischen Branchen mit sich bringt. Damit einher gehen immer tiefgreifende, langfristige Folgen.

Im Folgenden werden einige allgemeine Informationen zur wirtschaftlichen und ökologischen Bedeutung der Wirtschaftssektoren in Deutschland präsentiert. Im Anschluss wird in Kapitel 2 das methodische Vorgehen zum Branchenscreening erläutert und reflektiert. In Kapitel 3 werden die Ergebnisse des breiten Branchenscreening vorgestellt und diskutiert. Kapitel 4 beschreibt für ausgewählte, besonders relevante Branchen näher, inwieweit diese vor einem Strukturwandel stehen. In Kapitel 5 wird ein Fazit gezogen.

1.2 Wirtschaftliche Bedeutung der Sektoren in Deutschland

Eine Transformation der Industrie in Deutschland wurde bereits Mitte 1990er Jahre deutlich, als der Wertschöpfungsanteil des produzierenden Gewerbes einen Tiefpunkt erreichte. Abbildung 1 zeigt die Entwicklung der Wertschöpfungsanteile des produzierenden Gewerbes (inkl. Baugewerbe) im Vergleich mit der Entwicklung der Wertschöpfungsanteile des Dienstleistungssektors. Der strukturelle Wandel wird deutlich: Trotz leichter Stabilisierung der Industrie ist der strukturprägende Anstieg des Dienstleistungssektors markant. Erklären lässt sich diese Entwicklung unter anderem damit, dass die Nachfrage nach Dienstleistungen mit wachsendem Einkommen zunimmt (Koch 2018).

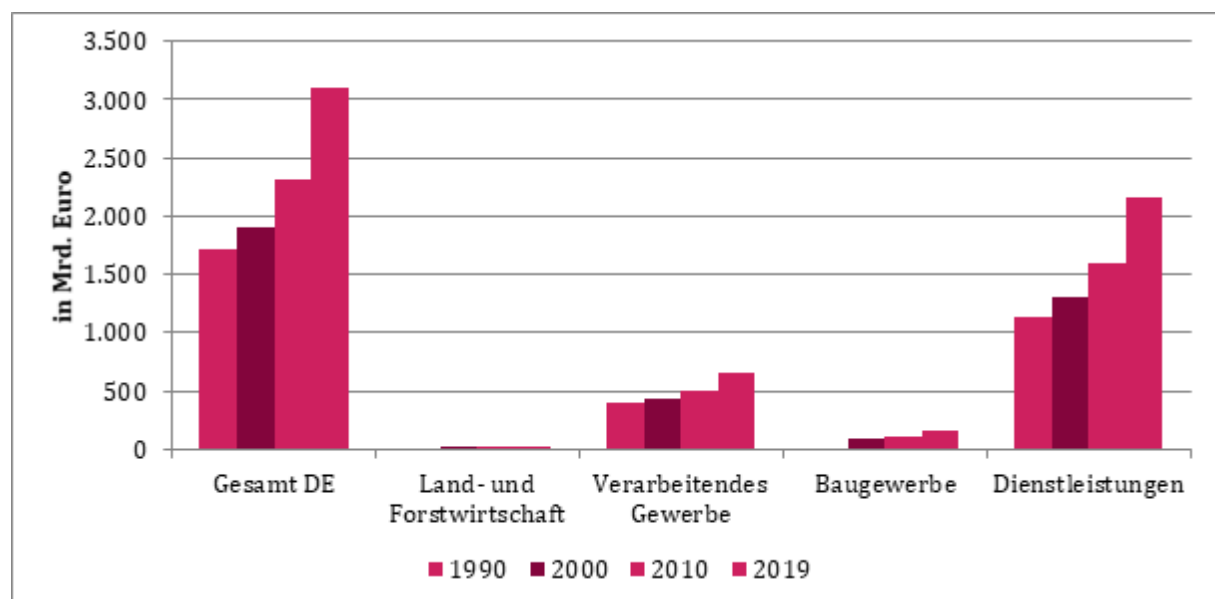
Abbildung 1: Entwicklung der Anteile des produzierenden Gewerbes und des Dienstleistungssektors an der gesamtwirtschaftlichen Wertschöpfung Deutschlands (1970-2016)



Quelle: Stat. Bundesamt 2020

Die Bruttowertschöpfung im Dienstleistungssektor ist im Jahr 2019 um 19 % im Vergleich zu 2000 angestiegen und im verarbeitenden Gewerbe um 33 % (siehe Abbildung 2). Die gesamte Volkswirtschaft ist im gleichen Zeitraum um 39 % gewachsen.

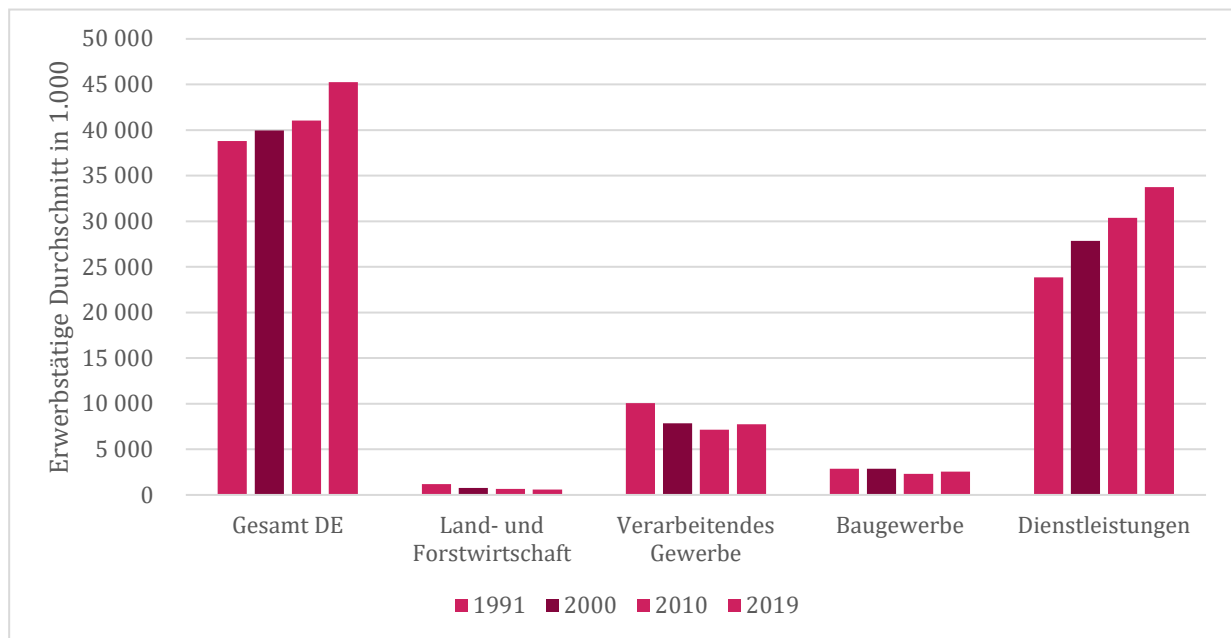
Abbildung 2: Bruttowertschöpfung der Wirtschaftsbereiche (in Mrd. Euro)



Quelle: Stat. Bundesamt 2020

Dies wirkt sich auch auf die Beschäftigung in den Sektoren aus (s. Abbildung 3). Seit dem Jahr 2000 sind die Beschäftigtenzahlen im Verarbeitenden Gewerbe gesunken. Seit 2010 ist ein leichter Anstieg (9 %) zu erkennen. Der Dienstleistungssektor zeigt einen stetigen Anstieg der Beschäftigung. Seit 1970 hat sich die Anzahl der Beschäftigten im Dienstleistungssektor mehr als verdreifacht (Stat. Bundesamt 2020).

Abbildung 3: Entwicklung der Beschäftigung in Deutschland nach ausgewählten Sektoren

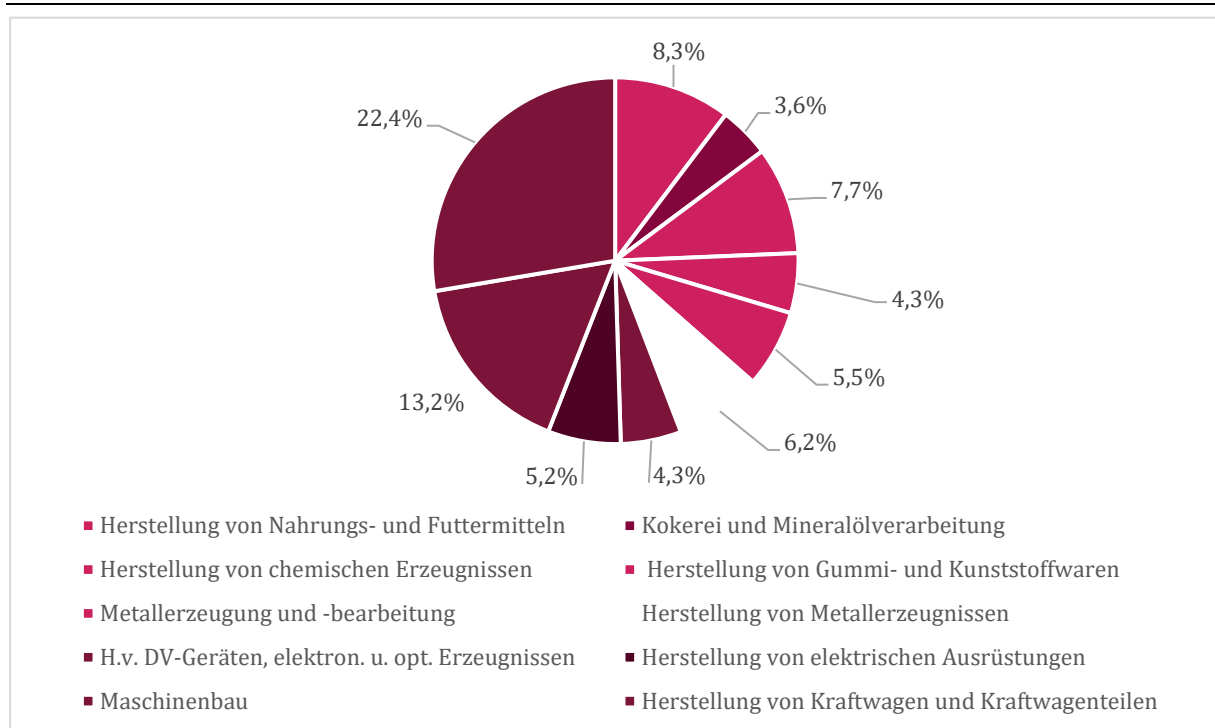


Quelle: Stat. Bundesamt 2020

Gleichwohl bleibt das verarbeitende Gewerbe ein wesentlicher Kernsektor der deutschen Wirtschaft. Auch 2019 hatte Deutschland wieder gestiegene Leistungsbilanzüberschüsse, getrieben von der Nachfrage aus anderen EU-Ländern und den USA. Diese lagen im Mai 2019 bei 18,7 Mrd. Euro (Destatis 2019). Deutschland ist damit im europäischen Vergleich immer noch relativ stark von Industrieunternehmen geprägt, wenngleich der Anteil von Dienstleistungen an den gesamten Exporten in den vergangenen Jahrzehnten deutlich gestiegen ist. Allerdings ist der Anteil der Dienstleistungsexporte an den Gesamtexporten mit 18 % im Ländervergleich als äußerst gering anzusehen (Koch 2018).

Abbildung 4 zeigt die Umsatzverteilung der Betriebe innerhalb des verarbeitenden Gewerbes, deren Umsatzanteil größer als 3,5 % ist. Mit 22,4 % hat die Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen die größte Bedeutung, gefolgt vom Maschinenbau (13,2 %) und der Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln (8,3 %).

Abbildung 4: Umsatz der Betriebe des verarbeitenden Gewerbes mit Umsatzanteil > 3,5 % (2017)



Quelle: Stat. Bundesamt 2018

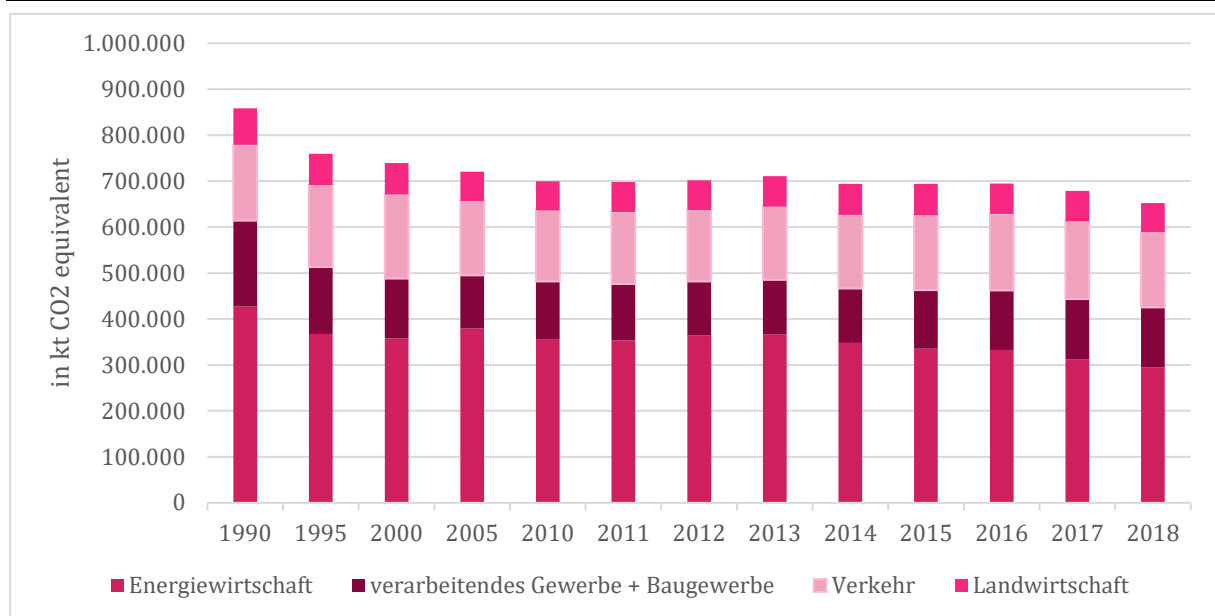
1.3 Umweltpolitische Bedeutung der Sektoren

Die Sektoren haben unterschiedliche Bedeutung in Sachen Umweltfolgen, müssen aber alle ihren Beitrag zu globalen und nationalen Nachhaltigkeitszielen leisten.

Im Folgenden beschränken wir uns auf die beiden wichtigen Aspekte Klimaschutz und Ressourcenschonung. Diese sind datenseitig sehr gut erfasst und branchenübergreifend gut vergleichbar.

1.3.1 Klimaschutz

Im Klimaschutzplan (BMU 2016) wurde als Leitbild der zukünftigen nachhaltigen Entwicklung die weitgehende Treibhausgasneutralität bis 2050 für Deutschland verankert. Mit dem Bundesklimaschutzgesetz 2019 wurde die Erreichung definierter Klimaziele erstmals gesetzlich verankert (Dt. Bundestag 2019). Vor diesem Hintergrund ist die Entwicklung der Treibhausgasemissionen ein wichtiger Indikator, der u.a. zum Monitoring für die Erreichung der Klimaschutzziele herangezogen wird. Abbildung 5 zeigt die Entwicklung der Emissionen seit 1990 für ausgewählte Sektoren. Die Treibhausgasemissionen des verarbeitenden Gewerbes sind verglichen mit dem Jahr 1990 um 30 % gesunken.

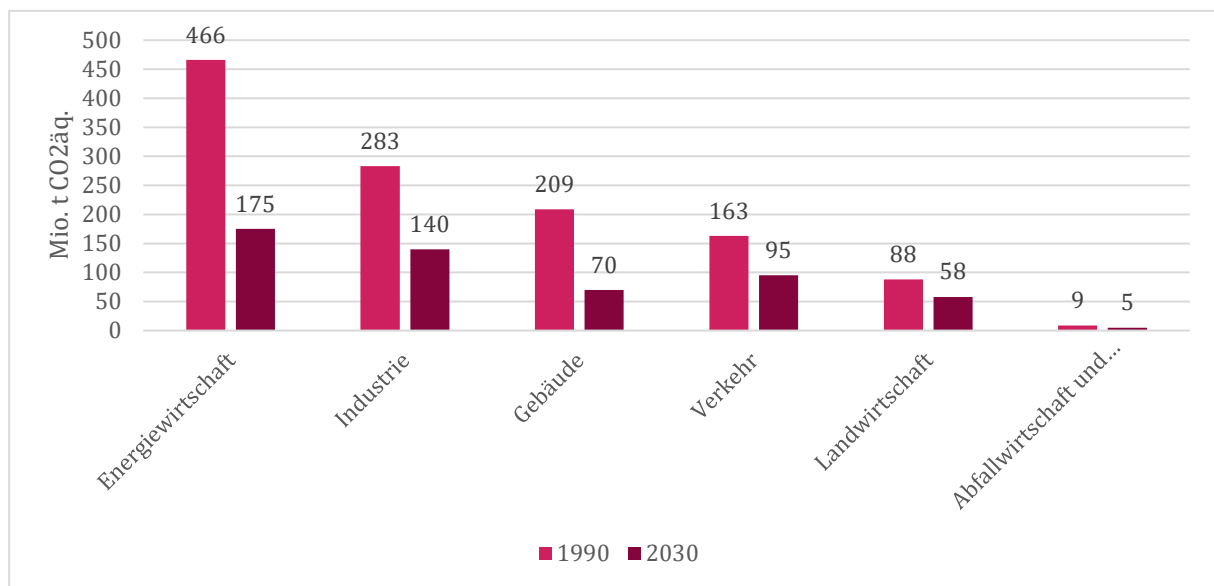
Abbildung 5: Entwicklung der Treibhausgasemissionen ausgewählter Sektoren in Deutschland


Quelle: UBA 2020

Der Klimaschutzplan beinhaltet zudem konkrete Beiträge für die einzelnen Wirtschaftssektoren zur Zielerreichung bis 2030, die im Rahmen des Bundesklimaschutzgesetzes (Dt. Bundestag 2019) rechtlich verbindlich verankert wurden. Insgesamt ist das Ziel eine Minderung der Treibhausgasemissionen bis 2030 von mindestens 55 Prozent (gegenüber 1990) zu erreichen. Dabei dürfen die Gesamtemissionen laut Bundesklimaschutzgesetz bis 2030 maximal 543 Mio. t betragen. Die Pfade sind dabei so angelegt, dass sie über 2030 hinaus deutliche Minderungen mit dem Ziel der Treibhausgasneutralität ermöglichen und vorbereiten.

Das Gesamtziel bis 2030 wird auf die Sektoren Energiewirtschaft, Gebäude, Verkehr, Industrie, Landwirtschaft und Abfallwirtschaft verteilt und mit entsprechenden Zielkorridoren, den sogenannten „Sektorzielen“ definiert. Abbildung 6 zeigt diese Sektorziele für 2030. Ein geringerer Minderungsbeitrag eines Sektors muss durch einen entsprechend höheren Beitrag anderer Sektoren ausgeglichen werden.

Es wird deutlich, dass der Umbau der Energiewirtschaft von zentraler Bedeutung ist. Entsprechend dem notwendigen Rückgang der fossilen Energieträger hatte die Bundesregierung 2018 die Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“ (kurz „Kohlekommission“) eingesetzt. Ziel der Kommission war es u.a. einen breiten gesellschaftlichen Konsens über die Gestaltung des energie- und klimapolitisch begründeten Strukturwandels in Deutschland herzustellen (BMW 2019 a), insbesondere mit Blick auf einen Kohleausstieg (siehe Textbox: Exkurs zur Kohlekommission).

Abbildung 6: Emissions-Sektorziele 2030, gegenüber Emissionen 1990

Quelle: BMU 2019 d

Exkurs zur Kohlekommission

Die sogenannte „Kohlekommission“ hat den klimapolitisch notwendigen Strukturwandel in der Energiewirtschaft vorbereitet, indem sie im Januar 2019 sowohl Empfehlungen für den Ausstieg aus der Kohleverstromung in Deutschland als auch für die notwendigen flankierenden Strukturstärkungsmaßnahmen in den Kohleregionen formuliert hat. Die Empfehlungen an die Bundesregierung waren ein Kompromiss unterschiedlicher gesellschaftlicher Gruppen und Interessen.

Die Kohlekommission hatte die Aufgabe, den Spagat zwischen Wirtschafts- und Beschäftigungsinteressen und Klimaschutz zu meistern. Dazu wurden neben der klimapolitischen und wirtschaftspolitischen Ausgangslage auch die strukturpolitischen und rechtlichen Rahmenbedingungen analysiert. Die gezielte Maßnahmendefinition zur Adressierung der Reduktionsbeiträge im Energiesektor gehörte ebenfalls zum Auftrag der Kommission. Diese Maßnahmen waren auf drei Schwerpunkte fokussiert (BMW 2019 a):

1. Maßnahmen zum Beitrag der Energiewirtschaft, um die Lücke zur Erreichung des 40-Prozent-Reduktionsziels so weit wie möglich zu reduzieren.
2. Maßnahmen, die das 2030er Ziel für den Energiesektor zuverlässig erreichen, einschließlich einer umfassenden Folgenabschätzung.
3. Maßnahmen zur schrittweisen Reduzierung und Beendigung der Kohleverstromung, einschließlich eines Abschlussdatums und der notwendigen rechtlichen, wirtschaftlichen, sozialen, renaturierungs- und strukturpolitischen Begleitmaßnahmen.

Dieses Maßnahmenpaket adressiert sowohl ökologische, ökonomische als auch soziale Aspekte und soll damit die wirtschaftliche Entwicklung, die Sozialverträglichkeit und den Klimaschutz kombinieren.

Im Detail erfolgte die Analyse der Auswirkungen auf die konkreten Kohleregionen. Effekte, die durch den regionalen Strukturwandel ausgelöst werden, sollen durch regionale Entwicklungskonzepte „aufgefangen“ werden. Die Entwicklungsnotwendigkeiten wurden großräumig gedacht, so dass z.B. Infrastruktur, Mobilität und Kommunikationstechnik ebenfalls Themen der zukünftigen nachhaltigen Entwicklung waren.

Festgestellt wurde u.a., dass das klimapolitisch motivierte vorzeitige Ende der Kohleverstromung tiefgreifende Veränderungen in den Wertschöpfungsstrukturen der deutschen, insbesondere der regionalen Wirtschaft auslöst. Dabei gibt es nicht **die** eine Maßnahme, die erfolgreich die Wirtschaftskraft einer Region erhält und gleichzeitig den klimapolitischen Notwendigkeiten Stand hält. Es wird eine kontinuierliche Gestaltung vorgeschlagen, die stetig überprüft und ggf. angepasst werden kann bzw. muss.

Vor diesem Hintergrund ist eine wesentliche Feststellung, dass Strukturwandel und entsprechend Strukturentwicklung ein stetiger Prozess sind, der einer Strategie mit vielfältigen Maßnahmen, regelmäßiger Überprüfung und bedarfsorientierter Anpassung bedarf. Hierfür sind Organisationsstrukturen notwendig, die der Vielfalt der betroffenen Akteure wie auch der Vielfalt der Maßnahmen gerecht wird und angemessener Finanzierung, um Planungssicherheit zu gewährleisten. Folgende Kriterien für die Strukturentwicklung wurden definiert (BMW 2019 a):

- ▶ Wirksamkeit der Strukturentwicklungsmaßnahmen bezogen auf positive direkte und indirekte Beschäftigungseffekte, Wertschöpfung, Kompetenzaufbau, Qualifizierung, Wettbewerbsfähigkeit,
- ▶ Finanzielle Nachhaltigkeit, wobei neben den Investitionskosten auch die Betriebs- und Folgekosten in Betracht gezogen werden,
- ▶ Ökologische und soziale Nachhaltigkeit muss gewährleistet sein,
- ▶ Übertragbarkeit der Projekte und Ansätze,
- ▶ Regionale Bedeutsamkeit,
- ▶ Vernetzung der Akteure und Einbeziehung aller relevanten Akteure,
- ▶ Monitoring.

Aber auch die anderen Sektoren müssen zur Minderung der Treibhausgase beitragen und dementsprechend einen analogen Strukturwandel einleiten. Neben Einsparungen durch Energieeffizienz sind Alternativen zu fossiler Ressourcennutzung oder neue ressourcenschonende Geschäftsmodelle mögliche Maßnahmen, die getroffen werden müssen. All diese Maßnahmen bedeuten Veränderungen für die Wirtschaftssektoren, nicht nur für die direkt betroffenen, sondern auch für vor- und nachgelagerten Branchen.

1.3.2 Ressourcenschonung

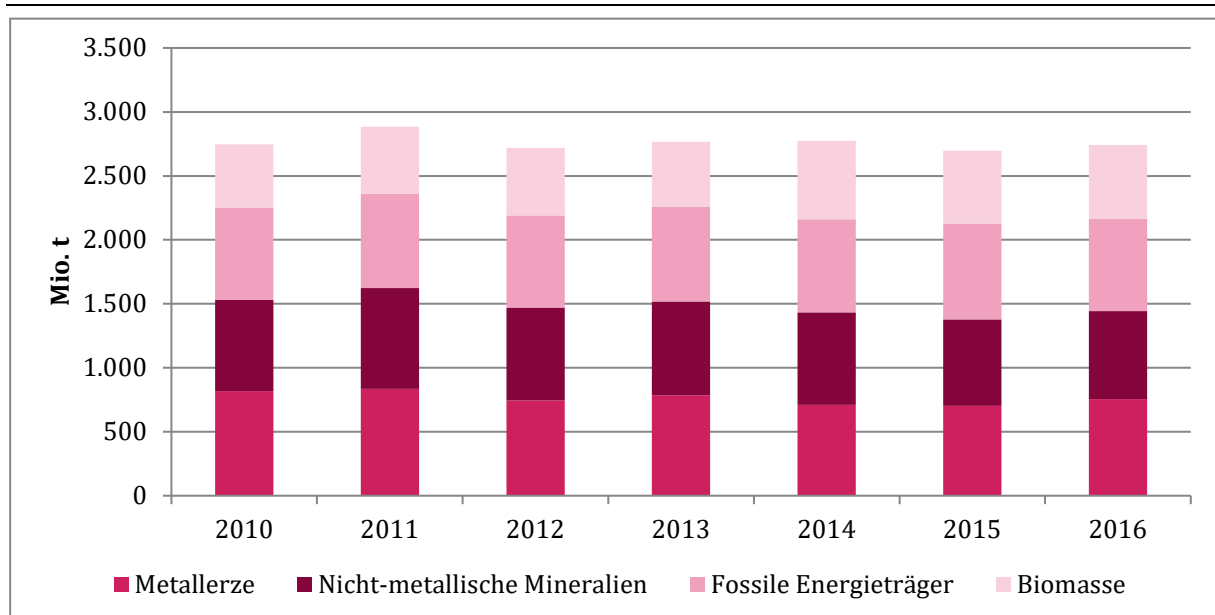
Neben der klimapolitisch betriebenen Reduktion von Treibhausgasen ist die Ressourceneffizienz in der Produktion ein zweiter wichtiger Baustein. Unter **Ressourcen** versteht das UBA (2002) „alle Bestandteile der Natur, die für den Menschen einen Nutzen stiften, sei es direkt durch ihren konsumtiven Ge- oder Verbrauch oder indirekt als Einsatzstoffe bei der Produktion von

Sachgütern und Dienstleistungen (nicht-erneuerbare Rohstoffe, fossile Energieträger; erneuerbare, nachwachsende Rohstoffe; genetische Ressourcen; ständig fließende Ressourcenströme wie Sonnenenergie, Wind und Wasser; der Boden)“. **Rohstoffe** werden entsprechend unter dem Begriff Ressourcen subsummiert. Unter dem Begriff Rohstoff ist ein Stoff oder Stoffgemisch definiert, „der/das als eine natürliche Ressource aus seiner/ihrer natürlichen Quelle noch keine Bearbeitung erfahren hat. Der Rohstoff wird aufgrund seines Gebrauchswertes aus der Natur gewonnen und entweder direkt konsumiert oder als Ausgangsmaterial für die weitere Verwendung in der Produktion eingesetzt“ (Giegrich et al. 2012). Die Rohstoffnutzung bezeichnet „jeglichen Zugriff des Menschen auf Rohstoffe“ (UBA 2015 a). Die Nutzung bezieht dabei die gesamte Wertschöpfungskette des Rohstoffes ein. Dazu gehören die Entnahme, die Aufbereitung, die Veredelung und Verarbeitung, die eigentliche Nutzung sowie die abschließende Entsorgung bzw. die Wiederaufbereitung im Rahmen der Rohstoffrückgewinnung.

Gemäß BMU (2019) liegt das Ziel einer nachhaltigen Ressourcenwirtschaft darin, dass wirtschaftliche Wachstum und den Wohlstand vom Einsatz natürlicher Ressourcen zu entkoppeln. Das „Deutsche Ressourceneffizienzprogramm“ (ProgRess III) legt den Fokus aber nicht nur auf die Steigerung der Effizienz, sondern auch darauf, inwieweit der Einsatz von Rohstoffen, zum Beispiel in Umwelttechnologien, auch natürliche Ressourcen schützt (BMU 2020).

Lutter et al. (2018) beschreiben die Rolle der Wirtschaft bei der Nutzung der natürlichen Ressourcen. Der Primärrohstoffeinsatz umfasst dabei alle Rohstoffe, die eine Volkswirtschaft direkt und indirekt zur Herstellung ihrer Güter verwendet. Abbildung 7 zeigt den Anstieg des Rohstoffeinsatzes in der deutschen Wirtschaft seit 2010 aufgeteilt nach Rohstoffarten. Demnach haben die Materialgruppen Metallerze, nicht-metallische Mineralien und fossile Energieträger einen Anteil von ca. 30 %. Der Rest entfällt auf die Biomasse. Von den 2,6 Mrd. t eingesetzten Rohstoffen in Deutschland in 2014 wurden 58 % importiert.

Abbildung 7: Rohstoffeinsatz der deutschen Wirtschaft



Quelle: Statistisches Bundesamt 2020

Der Rohstoffeinsatz unterscheidet sich stark nach Primär-, Sekundär- und Tertiärsektor. Der größte Anteil entfällt auf den Tertiär-, also Dienstleistungssektor (49 %), gefolgt vom verarbeitenden Gewerbe (45 %). Der Primärsektor hat mit 6 % einen vergleichsweise geringen Anteil am Rohstoffeinsatz (Lutter et al. 2018). Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Sektor die Rohstoffe direkt aus der Umwelt entnimmt, während die beiden anderen Sektoren die Rohstoffe zur Herstellung ihrer jeweiligen Güter und Dienstleistungen einsetzen.

Den größten Anteil am deutschen Rohstoffeinsatz hat der Bausektor. Auf ihn entfallen 22 % der (320 Mio. t) Rohstoffe, gefolgt von der Herstellung von Produkten aus Metallerzen und nicht-metallischen Mineralien. Hierzu gehört z.B. die Automobilindustrie (20 % bzw. 300 Mio. t). Die Herstellung von Nahrungsmitteln und damit die Nutzung von Biomasse liegt mit einem Anteil von 15 % in einer ähnlichen Größenordnung (230 Mio. t). Diese drei Wirtschaftssektoren waren damit in 2014 für 57 % des gesamten Rohstoffeinsatzes verantwortlich (Lutter et al. 2018).

Die Analyse zeigt, dass die unterschiedlichen Wirtschaftssektoren sowohl in Bezug auf die Reduktion von Treibhausgasen als auch auf den Einsatz von Rohstoffen unterschiedliche Bedarfe und Strategien brauchen. Der Transformationsbedarf bzw. die Anpassungsnotwendigkeiten müssen branchenspezifisch betrachtet werden, um einerseits frühzeitig Maßnahmen zu ergreifen und andererseits mögliche neue Geschäftsfelder und Strategien langfristig etablieren zu können.

2 Methodisches Vorgehen

2.1 Grobscreening

In einem ersten Schritt wurde anhand eines Grobscreenings analysiert, welche Branchen oder Teilbranchen durch eine ambitionierte Umweltpolitik in absehbarer Zeit vor einem Strukturwandel stehen. Das Grobscreening auf Basis einer Literatur- und Onlinerecherche (Abbildung 8) wurde als erste Näherung genutzt, um einen Überblick über bestehende Branchen sowie die Verfügbarkeit von qualitativen und quantitativen Informationen zu den bestehenden Branchen zu erhalten.

Das Hauptauswahlkriterium war die ökologische Relevanz: Als relevant wurden Branchen definiert, die eine besondere Bedeutung für die Erreichung von Umweltzielen (durch Reduktion der Umweltinanspruchnahme) haben bzw. die von ökologischen Megatrends besonders betroffen sind. Verstärkt wurde die Relevanz durch Betroffenheit von ökonomischen Modernisierungsstrategien (z.B. Umstellung der Produktion im Hinblick auf Ressourcenschonung, Digitalisierung der Lieferketten) und Megatrends.

Mit Blick auf die Umweltinanspruchnahme wurden in Anlehnung an das Statistische Bundesamt (2018 c) die ökologische Belastung durch Rohstoffinanspruchnahme und die Emission von klimaschädlichen Treibhausgasen als die beiden Indikatoren ausgewählt, die aufgrund ihrer besonderen Relevanz im Rahmen des Grobscreenings betrachtet werden. Die ökologische Relevanz kann prinzipiell qualitativ und/oder quantitativ belegt und beschrieben werden. Im Fall des Grobscreenings wurde sie zunächst qualitativ auf Basis sowohl qualitativer als auch quantitativer Informationen bewertet.

Im Rahmen des Grobscreenings wurde zudem die ökonomische Bedeutung der Branchen quantitativ betrachtet, um eine Einschätzung für die weitere Strukturierung der Branchen im Hinblick auf ökologische Hotspots und das damit verbundene Screening zu gewinnen. Dafür wurden strukturelle ökonomische Daten wie Bruttowertschöpfung, Beschäftigung und Umsatz der Wirtschaftssektoren ausgewertet.

Neben der Ebene der Branchen wurden auch spezifischere Teilbranchen / Anwendungsbereiche sowie nachhaltige Geschäftsfelder gescreent. Dazu gehören z.B. nachhaltige Produkt- oder Prozessinnovationen sowie Technologien, die zukünftig erwartbar sind.

Bei der angewendeten Methode handelte es sich um ein Grobscreening, inspiriert vom Horizon Scanning, worauf aufbauend im weiteren Verlauf der Arbeiten detaillierte Analysen stattfinden können. Das Ziel dieser Methode ist es, sowohl der Umweltforschung Hinweise für mögliche neue Prioritäten zu geben, als auch der Umweltpolitik Gestaltungsspielräume aufzuzeigen. Dies geschieht vor allem im Sinne des Vorsorgeprinzips. Behrendt et al. (2014) benennen folgende Aufgaben und Funktionen des Horizon Scanning:

- ▶ Zusammentragen von Informationen über aufkommende, relevante Entwicklungen,
- ▶ Darstellung auch unterschiedlicher Entwicklungen zukünftiger Ereignisse,
- ▶ Unterstützung von Politikformulierung und Politikentwicklung.

Abbildung 8: Quellen der Literatur- und Onlinerecherche

Quelle: eigene Darstellung Öko-Institut e.V.

Im Ergebnis der Recherche entstand eine Auswahlliste von 59 Branchen/Teilbranchen oder Anwendungsbereichen. Es erfolgte eine erste grobe Bewertung ihrer ökologischen Relevanz anhand der zwei Kriterien Ressourceninanspruchnahme und Emission von Treibhausgasen. Anhand dieser groben Bewertung wurden in Abstimmung mit dem Auftraggeber 20 besonders relevant erscheinende Branchen/Teilbranchen ausgewählt, um eine bearbeitbare Anzahl an Branchen zu erhalten, die im weiteren Verlauf einem fundierteren und genaueren Hotspot- sowie Megatrend-Screening unterzogen wurden (s. folgende Abschnitte).

2.2 Analyse der ökologischen Impacts auf Basis eines qualitativen Hotspot-Screenings

Das Hotspot-Screening stellt einen Prozess dar, durch den systematischer als beim Grobscreening erfasst werden soll, welche Branchen in welchem Umweltwirkungsbereich besondere Problemrelevanz und damit besonderen Änderungsdruck haben, die sogenannten „Hotspots“. Diese Analyse wurde für die 20 Branchen/Teilbranchen durchgeführt (s. Kap. 3).

Für das Hotspot-Screening wurde ein Analyseraster definiert, dass die ökologische Bedeutung und Vulnerabilität der Branchen/Anwendungsbereiche erfasst. Ziel war es, qualitative Informationen für ausgewählte Kriterien zu ermitteln und, wenn vorhanden, durch quantitative Informationen zu ergänzen.

Dafür wurde ein Set aus ökologischen Kriterien festgelegt. Diese sind in Tabelle 1 dargestellt. Im Unterschied zu anderen Projekten und der Mehrzahl der Analysen sollte es in diesem Projekt bewusst nicht nur um die Problembereiche Klimawandel & Klimaanpassung gehen.

Auf Basis einer Literatur- und Onlinerecherche wurde anhand der vorgestellten Kriterien analysiert, welche Branchen jeweils eine besondere Problemrelevanz haben und somit von ökologischen Modernisierungsstrategien potenziell besonders betroffen sind. Der Schwerpunkt der Wirkungsbetrachtung und -bewertung lag dabei auf Deutschland.

Tabelle 1: Ökologische Bewertungskriterien für das Hotspot-Screening

Ökologisches Bewertungskriterium	Beschreibung
Treibhausgasemissionen	CO ₂ -Emissionen, z.B. durch den Einsatz von fossilen Energien, aber auch weitere THG-Emissionen, z.B. Methan aus der Landwirtschaft
Emission von Luftschadstoffen	Freisetzung von Gasen und Partikeln (u.a. Stickstoff z.B. in Form von Schwefel, Ammoniak oder Stickoxiden aus denen sich sekundärer Feinstaub bilden kann) in die Außenluft, z.B. durch Industrieanlagen, Verkehr oder Landwirtschaft
Rohstoffinanspruchnahme	Bezieht sich auf den Verbrauch von mineralischen und biotischen Rohstoffen, bei den Verfügbarkeitsrisiken oder auch Nutzungskonkurrenzen auftreten können; Wasser und Flächen als Ressource werden extra betrachtet
Flächeninanspruchnahme	Beanspruchung von (bis dato) naturbelassenen Flächen für wirtschaftliche, Siedlungs- und Verkehrszwecke
Wasserverbrauch	Bezieht sich sowohl auf die Nutzung von Wasser, z.B. in der Landwirtschaft, als auch auf die Entstehung von Abwasser
Sonstiges	z.B. Auswirkungen auf Biodiversität

Quelle: eigene Zusammenstellung nach UBA (2017)

Zur Strukturierung und zum Vergleich der Informationen wurde eine Matrix angelegt. Hierbei zeigte sich, dass die Kriterien – genauer die Verfügbarkeit und Vergleichbarkeit der Informationen – stark von der Definitionsebene der Branche abhingen. Branchen, die im Rahmen der offiziellen Statistik gemäß Gliederung der Wirtschaftszweige (WZ 2008) definiert sind, sind hinsichtlich ihrer emissionsseitigen Datenverfügbarkeit sehr gut einheitlich abzudecken. Sobald Teilbranchen im Fokus liegen, wird die Datenverfügbarkeit zur Emission von Luftschadstoffen sehr gering. In Bezug auf die Kriterien Flächeninanspruchnahme, Wasserverbrauch etc. ist die Datenverfügbarkeit auch auf übergeordneter Branchenklassifikationsebene geringer. Dadurch, sowie aufgrund der unterschiedlichen Definitionsbreite der Branchen, reduziert sich auch die Vergleichbarkeit der Ergebnisse. Auf der Ebene dieses Hotspot-Screenings erfolgte die Betrachtung auf übergeordneter Branchenebene. Allerdings ist auch hier der Aufwand zur Datenerhebung hoch.

Die Bewertung orientierte sich letztlich an der Leitfrage, inwieweit die Branche zu den jeweiligen Umweltproblemen beiträgt. Die qualitative Bewertung erfolgte verbal-argumentativ und beruht auf der Literaturrecherche sowie eigener Expertise. Die Bewertung erfolgte unabhängig durch mehrere Personen, um letztlich zu einer gemeinsamen Einschätzung zu kommen. Die Kurzfassung der Einschätzung ist in der Matrix festgehalten (siehe Anhang 1.1).

Zwecks Identifikation von Hotspots erfolgte die Bewertung der Branchen zudem anhand einer dreistufigen Skala, die sowohl farblich als auch mit Zahlenwerten hinterlegt ist. Dies dient zum einen der Visualisierung der Bewertungsmatrix, zum anderen erleichtert es die Auswertung und grafische Darstellung der Ergebnisse:

1. Relevanter Hotspot (rot, 3 Punkte)
2. Moderat relevanter Hotspot (gelb, 2 Punkte)
3. Nicht relevanter Hotspot (grau, 1 Punkt)

Die Summe der Bewertungen ergab eine Liste von zehn Branchen, die aus ökologischer Sicht von besonderer Relevanz sind (s. Kapitel 3.1.3). Dabei erfolgte keine Gewichtung der verschiedenen Umweltwirkungskategorien.

Die Ergebnisse der kriterienbasierten Bewertung sind immer noch als grob einzustufen und weisen ein hohes Maß an Bewertungsspielraum und somit subjektiven (Experten-) Einfluss auf. Dennoch konnte so eine erste Branchenbewertung erfolgen, die im weiteren Verlauf der Arbeiten spezifiziert wurde.

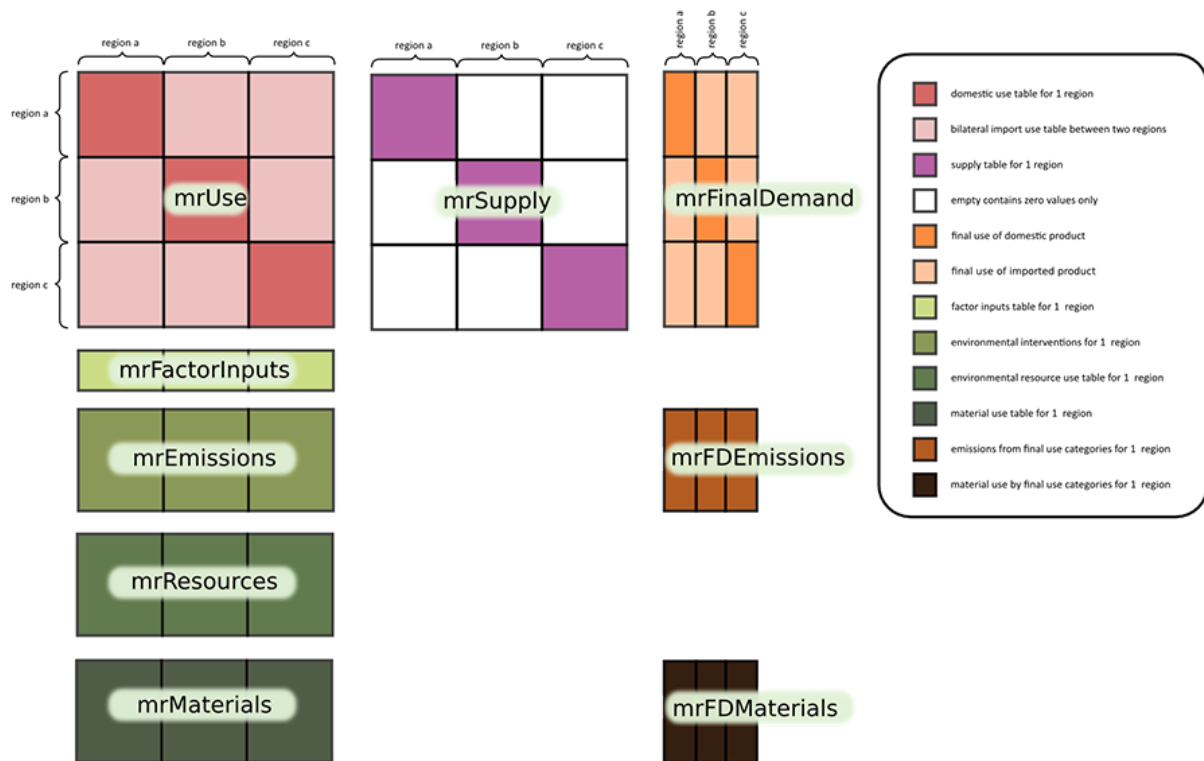
2.3 Analyse der ökologischen Impacts auf Basis von EXIOBASE

Für die Quantifizierung der Umweltwirkungen und ihren sektoralen Vergleich wurden ergänzend „Environmentally Extended Input-Output (EEIO)“-Tabellen herangezogen, da sie unter Beachtung der Besonderheit einzelner Wertschöpfungsketten eine sektorale Zuteilung unterschiedlicher Umweltauswirkungen erlauben (siehe z. B. Kitzes 2013). In dieser Studie wurde die multiregionale Input-Output (MRIO) Datenbank EXIOBASE verwendet (Tukker et al. 2013; Wood et al. 2015; Stadler et al. 2018).

Input-Output Datenbanken bilden die Lieferbeziehungen zwischen Wirtschaftsbereichen und von diesen an die Endnachfrage (Konsum, Investitionen etc.) ab. Multiregionale Versionen stellen die Wirtschafts- und Endnachfragebereiche einzelner Länder bzw. Weltregionen zueinander in Beziehung und erlauben somit die Betrachtung komplexer internationaler Lieferketten. Die aktuelle Version (v3.3) von EXIOBASE unterteilt die globale Wirtschaft in 49 Länder bzw. Weltregionen und unterscheidet zwischen 200 Produktgruppen.

Mithilfe detaillierter Umwelterweiterungen können Ressourcenkonsum und Umweltwirkungen einzelner Wirtschaftsbereiche (Hersteller der 200 unterschiedlichen Produktgruppen) ermittelt werden. Dabei werden Vorleistungen miteinbezogen, auch wenn sie im Ausland erbracht werden (zum Aufbau von EXIOBASE vgl. Abbildung 9). So entsteht beispielsweise im Gesundheitssektor bei einer Impfung Ressourcenkonsum nicht nur durch Einsatz von Impfstoff, Spritze und Kanüle, sondern z. B. auch durch die Verwendung der Gebäude- und IT-Infrastruktur. Diese Vorleistungen anderer Wirtschaftsbereiche an den Gesundheitssektor sind notwendig, damit dieser seine Leistungen erbringen kann. Die dadurch entstehenden Umweltwirkungen werden nach dieser Logik dem nachfragenden Sektor zugeordnet.

Abbildung 9: Aufbau der EXIOBASE-Datenbank



Quelle: Baartmans o. J.

Der MRIO-Ansatz eignet sich besonders zur Bemessung von Umweltwirkungen im Kontext internationaler Wertschöpfungsketten, da sie die Verflechtung der globalen Wirtschaft detailliert abbilden und somit die Betrachtung von „Rucksäcken“ der inländischen Produktion und der im Ausland anfallenden Umweltauswirkungen erlauben. Dies unterscheidet den Ansatz auch von Daten des Statistischen Bundesamts (siehe DESTATIS 2016). EXIOBASE erlaubt außerdem die Betrachtung einer Vielzahl von Umweltwirkungen, von denen hier 15 ausgewählt wurden (vgl. Tabelle 2). Es liefert damit einen konsistenten Rahmen für quantitative Kennzahlen, die direkte und indirekte Emissionen erfassen und sowohl Sektoren als auch Umweltwirkungen breit abdecken.

Tabelle 2: Betrachtete ökologische Wirkungen

Kategorie	Einzelne Dimensionen
Klimawandel	THG in Summe, CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
Ressourcenkonsum	RMC, TMC, Wasserverbrauch /-entnahme (blau)*
Schadstoffe	SO _x , NO _x , NH ₃ , NMVOC, PM 10, PM 2,5
Landnutzung	In Anspruch genommene land- und forstwirtschaftliche Fläche

Quelle: Eigene Darstellung

* „Blau“ bezieht sich auf Grund- oder Oberflächenwasser, das zur Herstellung eines Produktes genutzt und nicht mehr in ein Gewässer zurückgeführt wird (Umweltbundesamt o. J.)

2.4 Screening der direkten Betroffenheit von ökologischen Megatrends

Neben dem Screening von ökologischen Impact-Hotspots wurde – analog zur in Kap. 2.2 dargestellten Hotspot-Analyse – ein qualitatives Screening der Betroffenheit derselben 20 Branchen gegenüber ökologischen Megatrends vorgenommen. Dazu gehören Megatrends wie Klimawandel, Ressourcenknappheit und Entwaldung. Unter einem Megatrend wird ein langfristiger Veränderungsprozess verstanden, der mit hoher Wahrscheinlichkeit eintritt und wodurch globale Auswirkungen auf Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft erwartet werden (BMU 2008). Hintergrund des zusätzlichen Einbezugs von Megatrends im Rahmen dieses Arbeitspaketes ist daher auch, zukünftige Entwicklungen zu berücksichtigen, die nicht direkt umweltpolitisch getrieben sind, aber die Branchen stark strukturell und letztlich auch die gesamtwirtschaftliche Entwicklung negativ beeinflussen können (Grömling und Haß 2009).

Das Megatrend-Screening berücksichtigte im ersten Arbeitsschritt vorerst nur die direkte (natürlich-physikalische) Betroffenheit durch ökologische Megatrends, da die Komplexität an direkten und indirekten Betroffenheiten¹ schwer transparent und nachvollziehbar darstellbar und damit auch bewertbar wäre.

Unter direkter Betroffenheit werden natürlich-physikalische Phänomene verstanden, die die Produktion direkt betreffen. Beispielsweise wird durch den Megatrend Klimawandel und die damit verbundene Erwärmung erwartet, dass sich die Anbaubedingungen für weite Teile der Landwirtschaft verschlechtern und entsprechender Anpassung durch robustere Pflanzen, Bewässerung etc. bedürfen. Ein weiteres Beispiel betrifft die Verknappung von Rohstoffen. Diese Rohstoffknappheiten erschweren und/oder verteuern die Produktion bestimmter Güter.

Für die Analyse der direkten Betroffenheit der Branche gegenüber ökologischen Megatrends wurden folgende Megatrends diskutiert:

- ▶ Klimawandel
- ▶ Ressourcenknappheit
- ▶ Süßwassermangel
- ▶ Biodiversitätsverlust
- ▶ Entwaldung

Die Analyse der Betroffenheit erfolgte auf Basis von Literatur- und Expert*innen-Einschätzung. Des Weiteren wurde – wie in der Analyse der ökologischen Hotspots – anhand einer dreistufigen Skala bewertet, die sowohl farblich als auch mit Zahlenwerten hinterlegt ist:

1. Hohe (direkte) Betroffenheit von ökologischen Megatrends (rot, 3 Punkte)
2. Moderate (direkte) Betroffenheit von ökologischen Megatrends (gelb, 2 Punkte)
3. Keine/geringe direkte Betroffenheit von ökologischen Megatrends (grau, 1 Punkt)

¹ Indirekte Betroffenheit von ökologischen Megatrends bezieht sich z.B. auf die Reaktion an Beschaffungs- und Absatzmärkten oder auch der Einfluss von regulatorischen Maßnahmen (s. auch Kapitel 2.5)

Die Summe der Bewertung ergab eine Liste von acht Branchen, die stark direkt von ökologischen Megatrends betroffen sind (s. Kapitel 3.4).

2.5 Weitergehende Analysen für Hotspot-Branchen

Vor dem Hintergrund der vorgestellten Impact- und Megatrend-Analysen wurden letztlich zehn Branchen ausgewählt, die näher untersucht wurden. So findet sich in Kapitel 4 für jede dieser Branchen eine Art Steckbrief, die nicht nur die jeweiligen Ergebnisse der bisher dargestellten Analysen zusammenfassen, sondern auch zusätzliche Analysepunkte beinhalten.

Ökonomische Kerndaten der Branchen

Die folgenden ökonomischen Kerndaten wurden berücksichtigt:

- ▶ **Bruttowertschöpfung:** Die Bruttowertschöpfung ist ein Indikator, der den Wert der im Produktionsprozess erzeugten Waren und Dienstleistungen einer Volkswirtschaft abbildet. Die Bruttowertschöpfung wird zu Herstellungspreisen bewertet, das heißt ohne die auf die Güter zu zahlenden Steuern (Gütersteuern), aber einschließlich der empfangenen Gütersubventionen (Destatis 2019 b).
- ▶ **Beschäftigung:** Der Indikator gibt an, wie viele Menschen direkt in der jeweiligen Branche beschäftigt sind.
- ▶ **Handelsintensitäten:** Dieser Indikator misst, wie stark eine Branche in internationale Handelsströme eingebunden ist. Daraus ergeben sich Hinweise auf das Ausmaß, in dem sie dem internationalen Wettbewerb ausgesetzt ist und vom weltwirtschaftlichen Umfeld abhängig ist. Die Berechnung erfolgt pro Wirtschaftsbereich und setzt die Summe der Gesamtexporte und -importe ins Verhältnis zum Produktionswert. Datenquelle ist die Fachserie 18, Reihe 1.4 von Destatis. Die Ex- und Importe nach Gütergruppen werden teilweise weniger stark disaggregiert ausgewiesen als die Produktionswerte. Deshalb liegen für manche der in Kapitel 4 betrachteten Wirtschaftsbereiche nur Angaben für übergeordnete Gütergruppen vor. Da die Produktionswerte zum Zeitpunkt der Analyse für 2017 noch nicht oder nur sehr lückenhaft vorlagen, werden die Werte nur bis 2016 betrachtet. Ein Wert von 1 bedeutet, dass Exporte und Importe in Summe mit dem Produktionswert gleichauf liegen. Der tatsächliche Wert kann über oder unter 1 liegen. Als Vergleichswert ziehen wir den Durchschnitt über das gesamte produzierende Gewerbe heran². Dieser ist zwischen 2010 und 2016 von 0,83 auf 0,9 leicht gestiegen.

Je nach Branche wurden zur besseren Einordnung weitere Daten erhoben, z.B.

- ▶ **Bauinvestitionen:** „Bauinvestitionen werden aus dem Zugang an neuen Bauten und den Käufen abzüglich Verkäufen von gebrauchten Bauten während einer Periode ermittelt. Für die gesamte Volkswirtschaft saldieren sich Käufe und Verkäufe von gebrauchten Bauten, sodass der gesamtwirtschaftliche Wert der Bauinvestitionen aus der Summe aller Zugänge

² Für die deutsche Wirtschaft als Ganzes liegt die Handelsintensität relativ stabil bei 0,005 – also deutlich unter dem Wert des produzierenden Gewerbes.

an neuen Bauten (Wohngebäude und Nichtwohngebäude) sowie Abgänge gebildet wird“ (Stat. Bundesamt 2019 e).

- ▶ Bruttoanlageinvestitionen: „Diese umfassen den Erwerb abzüglich der Veräußerungen von Anlagegütern durch gebietsansässige Produzenten in einem Zeitraum. Dazu zählen die Käufe neuer Anlagegüter (einschließlich aller eingeführten und selbsterstellten Anlagegüter) sowie die Käufe abzüglich der Verkäufe gebrauchter Anlagegüter. Zu den Anlagegütern zählen produzierte Güter, die länger als ein Jahr in der Produktion eingesetzt werden. Größere Reparaturen, die zu einer wesentlichen Steigerung des Wertes einer Anlage führen und/oder deren Nutzungsdauer verlängern, sind ebenfalls Bestandteil der Bruttoanlageinvestitionen“ (Stat. Bundesamt 2019 e).
- ▶ Anteil der Exporte: Im Rahmen der Außenhandelsstatistik werden Im- und Exporte erfasst. Dies umfasst sowohl den Intrahandel (innerhalb der EU) als auch den Extrahandel (Handel mit Drittstaaten, d.h. außerhalb der EU).
- ▶ Umsatz: Der Umsatz entspricht dem Wert der verkauften Waren und Dienstleistungen, auf die Umsatzsteuer erhoben wird. Der Umsatz wird zu Verkaufspreisen bewertet.
- ▶ Ausgaben für Forschung und Entwicklung.

Indirekte Betroffenheit der Branchen durch ökologische Megatrends

Nachdem im Screening bereits die direkte (natürlich-physikalische) Betroffenheit der Branchen durch ökologische Megatrends analysiert wurde, wird für die ausgewählten Hotspot-Branchen die Megatrend-Analyse um die Analyse der *indirekten* Betroffenheit durch die bereits im vorherigen Kapitel benannten ökologischen Megatrends erweitert. Eine indirekte Betroffenheit von Branchen durch ökologische Megatrends kann sowohl durch marktliche als auch regulatorische Reaktionen auf diese Megatrends gegeben sein:

- ▶ marktlich
 - Die Betroffenheit von Beschaffungsmärkten durch ökologische Megatrends kann sich indirekt und in der Regel negativ auf eine Abnehmerbranche auswirken, z.B. durch Engpässe oder höhere Preise bei Rohstoffimporten.
 - Steigende oder fallende Nachfrage auf Absatzmärkten in Folge ökologischer Megatrends kann sich indirekt und unterschiedlich auf Herstellerbranchen auswirken, z.B. positiv durch den Anstieg der Aufträge für Gebäudesanierung oder die wachsende Nachfrage nach Klimageräten.
- ▶ regulatorisch
 - Hierzu gehört die Betroffenheit durch regulatorische Gegenmaßnahmen als politische Reaktion auf den Megatrend, etwa zum Klimaschutz (z.B. strengere Auflagen oder CO₂-

Bepreisung) und zur Klimaanpassung (z.B. Regelungen zum Hochwasserschutz wie im Hochwasserschutzgesetz II³ verankert⁴)

Betroffenheit der Branchen durch sozio-ökonomische Megatrends

Eine Analyse der Betroffenheit durch sozio-ökonomische Megatrends war ebenfalls ein Teil der erweiterten Hotspot-Analyse. Folgende sozio-ökonomische Megatrends wurden berücksichtigt:

- ▶ Globalisierung
- ▶ Digitalisierung
- ▶ Bevölkerungswachstum (zumindest global)
- ▶ Anstieg der Energienachfrage
- ▶ Wachsender (globaler) Wohlstand, wachsende Ungleichheiten.

Die genannten Megatrends können den Strukturwandel maßgeblich beeinflussen. Globalisierung und der wachsende Wohlstand etwa begünstigen das gesamtwirtschaftliche Wachstum. Dies wiederum hat Einfluss auf die Verfügbarkeit und v.a. die ökonomische Realisierbarkeit von alternativen nachhaltigen Geschäftsmodellen, neuen Produkten oder Technologien. Durch den Megatrend der Digitalisierung werden Herausforderungen, aber auch Chancen für die Unternehmen insbesondere des verarbeitenden Gewerbes gesehen. Unter dem Stichwort „Industrie 4.0“ entwickeln sich Innovationsdynamiken und eine interne „Tertiarisierung“ in der Industrie durch die intelligente Vernetzung von Maschinen und Abläufen mit Hilfe von Informations- und Kommunikationstechnologie (BMW 2019 b). Dies führt zu veränderten Produktions- und Beschäftigungsstrukturen in den Betrieben (Blöcker 2014). Jeder Trend impliziert Chancen und Risiken, die auch branchenspezifisch sind. Der Einbezug der Megatrends in die Analyse des Strukturwandels ist damit ein wesentlicher Baustein (BMU 2008).

Die möglichen Konsequenzen der Corona-Pandemie, u.a. mit der offensichtlich gewordenen Vulnerabilität internationaler (just in time) Lieferketten, konnten im Rahmen dieses Projekts nicht mehr berücksichtigt werden (die Analysen erfolgten 2018-19).

Nachhaltige Geschäftsalternativen für die Branchen

Auch vor dem Hintergrund der Megatrend-Analysen werden für die zehn Branchen zudem beispielhaft nachhaltige Alternativen (z.B. neue Geschäftsmodelle, Produkte oder Technologien innerhalb der Branche) in den Steckbriefen analysiert und diskutiert (s. Kapitel 4). Schließlich kann die Verfügbarkeit nachhaltiger Alternativen innerhalb einer Branche den Strukturwandel für diese erheblich erleichtern.

³ BGBl (2017): Gesetz zur weiteren Verbesserung des Hochwasserschutzes und zur Vereinfachung von Verfahren des Hochwasserschutzes (Hochwasserschutzgesetz II) v. 30. Juni 2017

⁴ Der Hochwasserschutz umfasst ein Hochwasserrisikomanagement, wie z.B. an potenzielles Hochwasser angepasstes Bauen, technische Maßnahmen, Verhaltensvorsorge, die Vor- und Nachbereitung eines Hochwasserereignis. Dies ist auch mit ökonomischen Reaktionen verbunden. Im Falle des HochwasserschutzG II, profitiert die Wirtschaft von den Umstellungsinvestitionen der Normadressaten. Hierdurch entstehen Wertschöpfungseffekte i.H.v. bis zu 800 Mio. Euro (Hünecke et al. 2019).

Art und Ausmaß des Strukturwandels

Abschließend werden für die zehn Branchen die Art des Strukturwandels sowie dessen Ausmaß (von moderat bis sehr stark) zusammenfassend beurteilt. Dabei werden drei Arten (Typen) von Strukturwandel unterschieden, wobei es auch zu Mischformen kommen kann:

- ▶ **Ressourcenbezogener Strukturwandel:** Der Änderungsdruck entsteht durch die (mögliche künftige) Verknappung oder Verteuerung der benötigten Ressourcen. Dies kann durch ökologische, ökonomische und/oder politische Einflüsse verursacht sein.
- ▶ **Produktionstechnisch bedingter Strukturwandel:** Der Änderungsdruck entsteht durch Verfahrensänderungen in der Produktion, die technische Möglichkeiten z.B. hinsichtlich Ressourcenschonung oder Energieeffizienz eröffnen. Diese können sowohl politisch als auch ökonomisch intendiert sein. Ökologisch bedingte Auswirkungen wie geänderte Umweltbedingungen (z. B. Wasserknappheit) können ebenfalls neue Produktionsweisen erfordern (z. B. Bewässerungssysteme in der Landwirtschaft).
- ▶ **Produktbezogener Strukturwandel:** Der Änderungsdruck entsteht überwiegend auf Ebene des Endprodukts. Dies kann durch technische Entwicklung, veränderte Nachfrage, und/oder veränderte politische Rahmenbedingungen ausgelöst sein. Ökologische Gründe bei diesem Typus sind unter anderem Emissionen in der Nutzungsphase (z. B. bei Fahrzeugen).

2.6 Reflektion zur methodischen Vorgehensweise

Das Hotspot-Screening hat gezeigt, dass ein objektives, transparentes und aussagekräftiges System nur mit erheblichem Aufwand umsetzbar ist. Insbesondere der Aspekt der Vergleichbarkeit wird erschwert durch unterschiedlich breite Branchenzuschnitte und damit der jeweiligen Betrachtungsmöglichkeiten sowie durch unterschiedlich gute Datenverfügbarkeit.

Eine Methode zur konsistenten Identifikation der vom Strukturwandel betroffenen Branchen sollte idealiter den folgenden Anforderungen gerecht werden (s. Tabelle 3):

Tabelle 3: Methodische Anforderungen

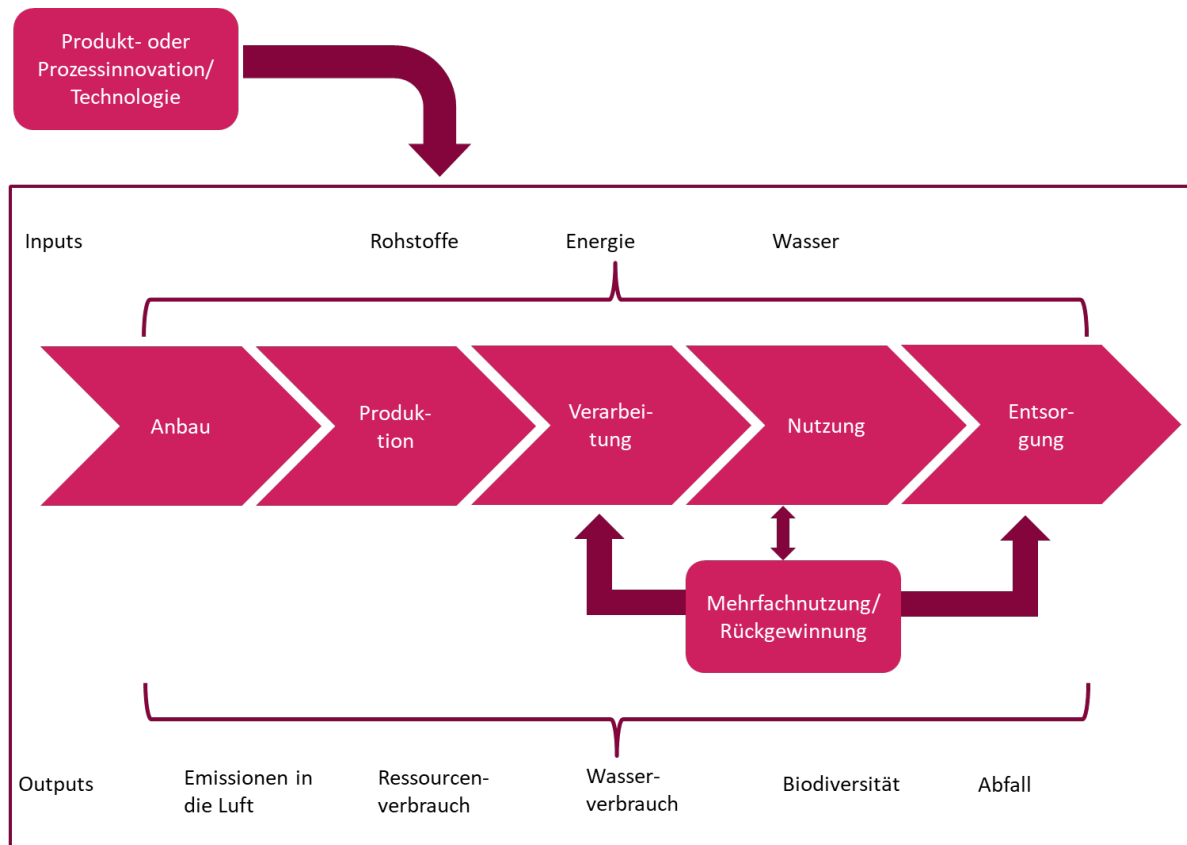
Anforderung	Erläuterung
Transparenz und Nachvollziehbarkeit	Der Ablauf der Bewertung soll für alle Beteiligten durchschaubar und nachvollziehbar sein.
Reproduzierbarkeit	Die Datenverfügbarkeit oder die Verfügbarkeit von qualitativen Informationen soll auch nach Projektende gewährleistet sein.
Objektivität	Die Ergebnisse der generierten Bewertung sollte personenunabhängig sein.
Einheitlichkeit	Die Bewertungsstruktur soll konsistent sein und auch zu einer widerspruchsfreien Bewertung der zu bewertenden Alternativen führen.
Aussagefähigkeit	Die Ergebnisse der angewendeten Methoden müssen erkennbar und möglichst präzise sein. (siehe auch Nachvollziehbarkeit)

Anforderung	Erläuterung
Benutzerfreundlichkeit	Die Bewertungsmethode sollte nach Möglichkeit leicht und gut verständlich sein, damit die Anwendung auch durch Laien möglich und umsetzbar ist.
Aufwand	Für die Bewertungsmethode sollte der zeitliche und personelle Aufwand vertretbar sein.

Quelle: eigene Darstellung nach Fornauf 2015

Es wurde deutlich, dass eine Bewertung der Strukturwandel-Betroffenheit entlang der gesamten Wertschöpfungskette stattfinden muss. Dies ist sehr relevant, da strukturelle Veränderungen und damit auch die Verfügbarkeit von Alternativen nicht auf einer übergeordneten Branchenebene stattfinden, sondern an einzelnen Abschnitten der Produktion oder eines Prozesses passieren. Aus diesem Grund wird vorgeschlagen, folgende Systemgrenzen der Wertschöpfungskette in ein Screening einzubeziehen (s. Abbildung 10):

Abbildung 10: Systemgrenzen der Wertschöpfungskette



Quelle: eigene Darstellung Öko-Institut e.V.

Für das Screening sollte daher ein Lebenszyklusansatz gewählt werden, der vom Rohstoffinput bis zum Abfall reicht. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass keine Hotspots ausgelassen oder übersehen werden. Ziel sollte es sein, relevante Beiträge der einzelnen Wertschöpfungskettenglieder zu ökologischen Problemen in den Umweltdimensionen Klima (THG-Emissionen) und

Luft, Ressourcenverbrauch (inkl. Flächennutzung), Wasser, Biodiversität und Abfall zu bewerten.

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes war es nur möglich, ein oberflächliches, dafür aber sehr breites Screening durchzuführen. Der Vorteil dieses breiten Ansatzes war es, einen relativ guten Überblick über die Branchen in Deutschland zu erhalten, die über mehrere Umweltdimensionen einen hohen ökologischen Impact und somit Transformationsbedarf haben.

Grundsätzlich wurde festgestellt, dass ein **Grobscreening auf Literaturbasis** (s. Kap. 2.1) ohne methodische Spezialkenntnisse durchgeführt werden kann. Der Aufwand ist jedoch auch hier nicht zu unterschätzen, da eine Vielzahl an Literaturquellen gescannt wird und ggf. auch Expert*innen-Interviews geführt werden müssen. Je nach Fokus der Fragestellung, z.B. auf die Umweltwirkung, ist eine qualitative Bewertung mit begrenzter Vergleichbarkeit möglich, wobei diese allerdings stark subjektiv geprägt sein kann. Erste Erkenntnisse zu umweltbezogenen Hotspots sind bereits auf dieser Ebene des Screenings möglich, allerdings nur mit der Einschränkung, dass die Vergleichbarkeit zwischen den identifizierten Branchen kaum gegeben ist. Vielmehr handelt es sich um eine Sammlung von Branchen, denen relevante Umweltwirkungs-Hotspots zugeordnet wurden. Empfehlenswert ist beim Grobscreening einen Farbcode einzusetzen, z.B. ein Ampelsystem. Diese erste Sammlung von Branchen kann ggf. sehr umfangreich sein. Ein Ampelsystem hilft, relevante und weniger relevante Branchen zu erfassen, aber den Fokus z.B. nur auf die sehr relevanten Branchen zu legen. An dieser Stelle profitiert die Systematik von ihrer Transparenz, da auch mehrere bearbeitenden Personen ihre Einschätzung geben können und daraus ein gemeinsamer „Mittelwert“ gebildet werden kann.

Trotz seiner offensichtlichen Nachteile (schwierige Vergleichbarkeit, subjektive Färbung) ist ein Grobscreening als Startpunkt empfehlenswert. Denkbar ist hier auch eine Ausweitung der Screening Methode, z.B. durch Methoden der Trendforschung, wie das Horizon Scanning. Eine stringente Anwendung des Horizon Scanning könnte insbesondere für Teilbranchen oder neue Geschäftsfelder interessant sein.

Die weitere Fokussierung und Einengung der Auswahl mit Hilfe des **qualitativen Hotspot-Screenings** (s. Kap. 2.2) ist geeignet, um den ökologisch bedingten Änderungsdruck von Branchen näher zu identifizieren. Es wäre auch möglich Hotspots innerhalb der jeweiligen Wertschöpfungskette zu identifizieren. Das Hotspot-Screening hat sich als aussagefähig herausgestellt, da somit erstens die Grobbewertung untermauert wurde und zweitens die ökologische Relevanz detaillierter analysiert wurde.

Besonders vorteilhaft bei dieser Methode sind die Bewertung und der Vergleich verschiedener Umweltwirkungsbereiche und eine Priorisierung in der Summe. Bewährt hat sich auch die Nutzung eines Farbcodes, was u.a. bei der Visualisierung bzw. auch weiteren Eingrenzung von Branchen hilfreich ist.

Nichtsdestotrotz bleibt die Objektivität beschränkt: die Einschätzung der Relevanz durch unterschiedliche Quellen und Expert*innen kann unterschiedlich bewertet werden. Die abschließende Bewertung und Auswahl der Branchen nach der Summe ihrer Punkte aus allen Umweltwirkungskategorien kann zudem den Blick auf Branchen verdecken, die nur in einer oder zwei der Umweltbereiche problematisch sind, dafür aber so stark, dass sie schon deswegen vor einem ökologisch bedingten Strukturwandel stehen.

Die Hotspot-Analyse kann ergänzend auf die **Quantifizierung von Umweltwirkungen** und ihren sektoralen Vergleich **auf Basis multiregionaler EEIO wie EXIOBASE** zurückgreifen (vgl.

Abschnitt 2.3). Der Vorzug dieses Ansatzes liegt darin, dass er in einem einheitlichen konsistenten Rahmen Kennzahlen für eine breite Palette von Sektoren und Umweltwirkungen liefert. Damit bietet er eine solide Grundlage für sektorale Vergleiche. Der Ansatz ist außerdem objektivierbar und gut für ein Screening geeignet, weil er auch Ergebnisse liefern kann, die vom „Mainstream“, also dem bisher etablierten Wissen abweichen. Im Fall solcher „kontra-intuitiver“ Ergebnisse wäre es von Vorteil, vertiefende Analysen vorzusehen, um die Befunde zu plausibilisieren.

Neben den direkten werden auch die indirekten Emissionen, d. h. die – zum Teil auch im Ausland anfallenden – Emissionen der Vorleistungen eines Sektors, einbezogen. Damit werden internationale Wertschöpfungsketten gut abgebildet. Internationale Verlagerungseffekte z. B. im Sinne eines Carbon Leakage, schlagen sich so nicht in einer (scheinbaren) Verbesserung der Kennzahlen wieder.

Der Ansatz hat allerdings auch Schwachstellen:

- ▶ Manche Branchen werden sehr kleinteilig aufgesplittet (zum Beispiel Lebensmittel in sehr viele weitere Untergruppen), während andere Branchen (z. B. Maschinenbau) aggregiert ausgewiesen werden. Beim Anstellen sektoraler Vergleiche müssen diese Unterschiede berücksichtigt werden, zum Beispiel indem sehr kleinteilige EXIOBASE-Sektoren zu größeren Einheiten aggregiert werden. Dies wurde in dieser Studie für Lebensmittel, Energieversorgung und Chemikalien gemacht.
- ▶ Die Berücksichtigung von indirekten Emissionen kann dazu führen, dass Branchen am Ende der Wertschöpfungskette systematisch besonders schlechte Kennzahlen aufweisen.
- ▶ Eine einstufige Analyse verstellt zudem den Blick auf die Frage, welche Wertschöpfungsstufen besonders problematisch sind und ggf. vor einem Strukturwandel stehen. Dies würde einen zweiten Analyseschritt erfordern, in dem man die indirekten Emissionen nach Vorleistungssektoren betrachtet. Dies ist innerhalb des Datenbanksystems möglich und wurde zum Beispiel im ReFo-Plan-Projekt „Ressourcenschonung im Gesundheitswesen“ (FKZ 3717 31 104 0) bereits gemacht (Umweltbundesamt und Fraunhofer ISI 2018).
- ▶ Darüber hinaus gilt es zu bedenken, dass in der öffentlich verfügbaren Version der EXIOBASE-Datenbank die aktuellsten Zahlen relativ alt sind (2011). Neuere Daten (bis 2015) sind nur dem EXIOBASE-Konsortium zugänglich.
- ▶ Zeitreihen, die Trends aufzeigen könnten, sind nur begrenzt machbar, da Strukturbrüche in der Datengrundlage ihre Interpretation erschweren.
- ▶ Da es sich nicht um eine amtliche Statistik handelt, ist ihr Fortbestand und ihre Aktualisierung mit gewissen Unsicherheiten verbunden.

Im Hinblick auf die oben aufgeführten methodischen Anforderungen schneidet das quantitative Screening auf Basis von EXIOBASE – zusammenfassend betrachtet – im Hinblick auf Transparenz und Nachvollziehbarkeit, Reproduzierbarkeit, Objektivität, Einheitlichkeit und

Aussagefähigkeit dennoch gut ab. Sowohl zur Generierung als auch zur Interpretation der Ergebnisse sind jedoch Expertenkenntnisse nötig. Der Aufwand einer Input-Output-Analyse ist überschaubar, vertiefende Analysen für die Plausibilisierung überraschender Ergebnisse sollten jedoch zusätzlich vorgesehen werden.

Die hier durchgeführten Analysen mit ihrem Methodenmix können allesamt nicht ohne Aufwand fortgeschrieben werden. Das Branchen-Screening muss immer erneut gestartet werden. Auch ist es an dieser Stelle der Analyse nicht möglich, bereits Handlungsempfehlungen für die ausgewählten Branchen/Teilbranchen zu entwickeln, wie sie mit dem anstehenden Strukturwandel umgehen sollen. Dafür sind weitere branchenspezifische Analysen notwendig, wie sie in Kapitel 4 skizziert, bzw. in den Vertiefungsfallstudien in AP 2 des Projekts durchgeführt werden (vgl. Heyen et al. 2021).

Es wird dennoch empfohlen, solch ein Branchenscreening in regelmäßigen Abständen von wenigen (z.B. fünf) Jahren durchzuführen. Dies hat den Hintergrund, dass sich im Zuge voranschreitender Megatrends, technologischer Entwicklung sowie der Diskussion oder des Inkrafttretens von neuen umweltpolitischen Strategien und Gesetzen die Rahmenbedingungen und möglichen Entwicklungspfade für die Branchen ändern (bzw. präzisieren) können.

Die im Rahmen dieser Studie erfolgte Hotspot-Identifikation und Priorisierung auf der Basis der Bewertung in mehreren (gleichgewichteten) Umweltdimensionen hat Vorteile – insbesondere für die Identifikation relevanter Branchen jenseits des häufig betrachteten Klimawandelthemas, sowie für die Vermeidung späterer Problemverlagerungen. Es bedarf jedoch auch immer des Blicks auf einzelne Umweltdimensionen, denn eine Branche kann vor einem Strukturwandel stehen, auch wenn sie in nur einem Bereich ein „Hotspot“ ist, hierfür aber wiederum von besonderer Bedeutung ist.

3 Ergebnisse des Branchenscreenings

Das Grobscreening wurde für mehr als 50 (Teil-)Branchen durchgeführt. Im Ergebnis wurden daraus 20 Branchen ausgewählt, die einem Hotspot- und Megatrend-Screening unterzogen wurden. Diese Auswahl erfolgte in enger Abstimmung mit dem Auftraggeber (s. Tabelle 4).

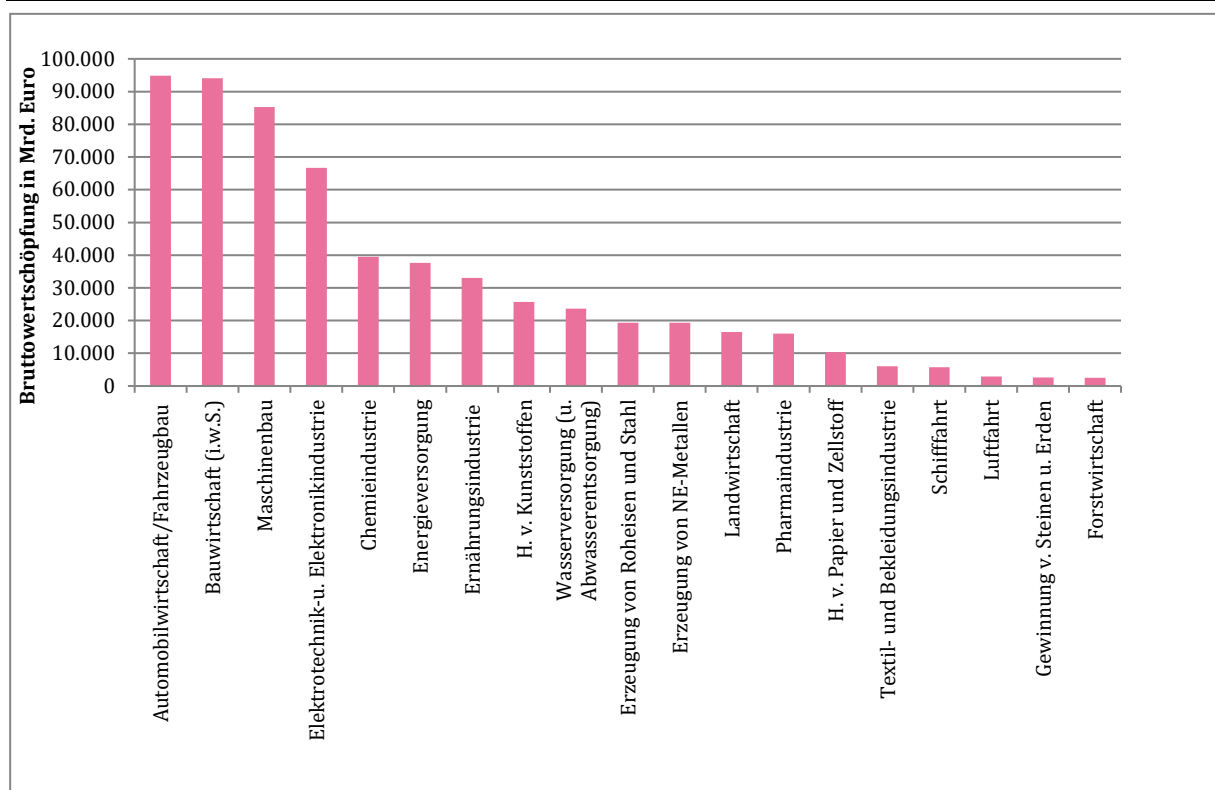
Tabelle 4: Branchenauswahl (in alphabetischer Reihenfolge)

Branche	Branche (Fortsetzung)
Automobilwirtschaft/Fahrzeugbau	Herstellung von Papier und Zellstoff
Bauwirtschaft (i.w.S.)	Herstellung von Kunststoffen
Chemieindustrie	Landwirtschaft
Elektrotechnik- u. Elektronikindustrie	Logistik/Handel
Energieversorgung	Luftfahrt
Ernährungswirtschaft	Maschinenbau
Erzeugung von NE-Metallen	Pharmaindustrie
Erzeugung von Roheisen und Stahl	Schifffahrt
Forstwirtschaft	Textil- und Bekleidungsindustrie
Gewinnung von Steinen und Erden	Wasserversorgung (u. Abwasserentsorgung)

Quelle: eigene Zusammenstellung

Abbildung 11 zeigt einen Überblick über die Relevanz der Branchen in Bezug auf deren Bruttowertschöpfung. Die höchste Bruttowertschöpfung hat demnach die Automobilbranche mit einem Anteil von 6 % an der Gesamtbruttowertschöpfung, gefolgt von der Bauwirtschaft (Anteil von 5,9 %) und dem Maschinenbau (5,4 %). Ein Strukturwandel hat hier große Bedeutung für den Wirtschaftsstandort Deutschland. Am unteren Ende stehen die Forstwirtschaft und die Branche zur Gewinnung von Steinen und Erden.

Betrachtet man die Anzahl möglicher betroffener Unternehmen steht die Bauwirtschaftsbranche an erster Stelle, gefolgt von der Landwirtschaft und der Forstwirtschaft. Die letzten beiden Branchen sind aus Sicht ihrer Bruttowertschöpfung deutlich kleiner als die Bau- oder Automobilbranche, haben jedoch trotzdem eine hohe volkswirtschaftliche Bedeutung.

Abbildung 11: Bruttowertschöpfung der Branchen (2015)

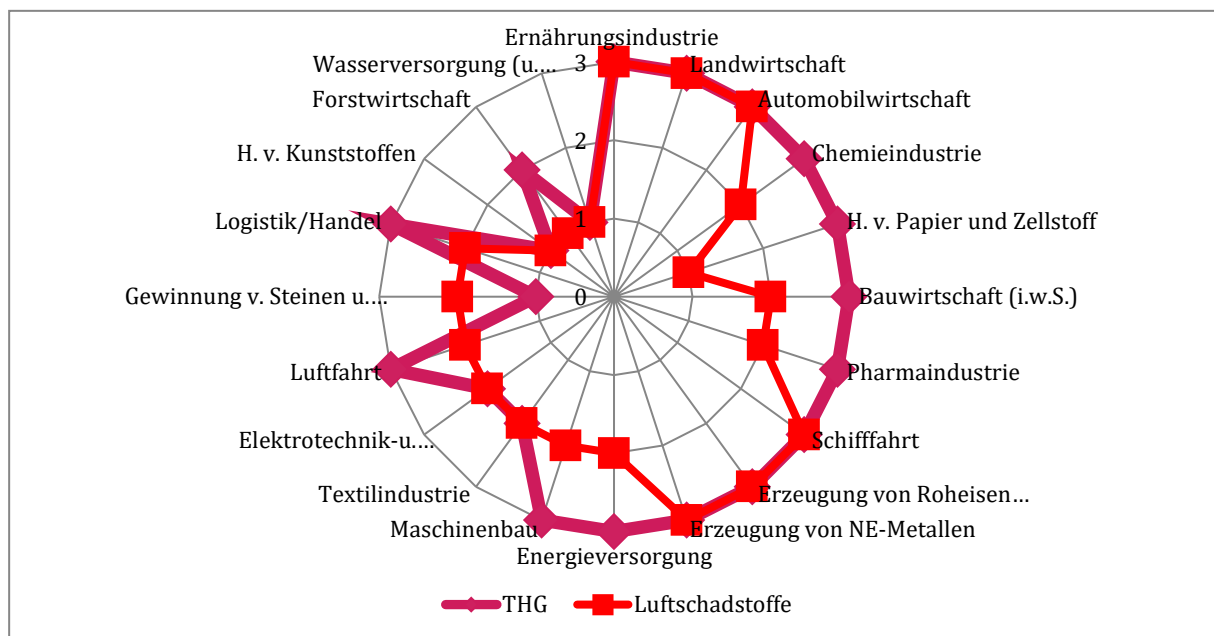
Quelle: eigene Berechnung, Destatis 2017, BMEL 2017

3.1 Ergebnisse des qualitativen Hotspot-Screenings

Im Folgenden werden zunächst die wesentlichen Ergebnisse des qualitativen Hotspot-Screenings vorgestellt. Die vollständige Matrix ist im Anhang A.1 enthalten.

3.1.1 Treibhausgase und Luftschadstoffe

Abbildung 12 zeigt die Bewertung der Branchen und ihrer Produkte mit Blick auf ihre Relevanz für die Emission von Treibhausgasen und Luftschadstoffen. Die mit hoher Relevanz (3) bewerteten Branchen werden anschließend kurz beschrieben. Detaillierte Bewertungen ausgewählter Branchen sind zudem den jeweiligen Steckbriefen in Kapitel 4 zu entnehmen.

Abbildung 12: Relevanzbewertung der Branchen für THG und Luftschadstoffe


Quelle: eigene Bewertung auf Basis der Matrix in Anhang A.1

Legende: 3 - besonders relevante Branche bezogen auf die Umweltwirkungskategorie, 2 - relevante Branche bezogen auf die Umweltwirkungskategorie, 1 - weniger relevante Branche bezogen auf die Umweltwirkungskategorie

- Die **Energieversorgungsbranche** ist der Hauptverursacher von klimaschädlichen Treibhausgasemissionen in Deutschland. Etwa die Hälfte der energiebedingten Treibhausgasemissionen entfällt auf diese Branche. Der Ausstoß von CO₂ hat mit 98 % den größten Anteil.
- In der **Ernährungswirtschaft** entstehen mehr als die Hälfte der Treibhausgasemissionen bei der Erzeugung von Rohstoffen und diese Emissionen fallen auch überwiegend in Deutschland an (Nill et al. 2017). Des Weiteren erfolgt ein hoher Ausstoß an Luftschadstoffen. Ein Hotspot für Schadstoffemissionen ist der Pflanzenanbau, d.h. die Wertschöpfungsstufe der Rohstoffproduktion, sowie die Tierzucht, bei der etwa 25 % der nationalen Schadstoffemissionen entstehen. Hierbei entfallen allerdings große Teile auf die Landwirtschaft (u.a. Ammoniakemissionen).
- Die **Landwirtschaft** trägt in Deutschland maßgeblich zur Emission klimaschädlicher Gase bei. Dafür verantwortlich sind vor allem Methan-Emissionen aus der Tierhaltung, das Ausbringen von Wirtschaftsdünger (Gülle, Festmist) sowie Lachgas-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden als Folge der Stickstoffdüngung (mineralisch und organisch).
- Eine weitere besonders von ökologischen Hotspots geprägte Branche ist die **Chemieindustrie**. 2,7% der CO₂-Emissionen in Deutschland entfallen auf diese Branche. In Bezug auf den Ausstoß von Luftschadstoffen wurde die Chemiebranche als moderat in Bezug auf den Ausstoß von Staub- und Schwermetallemissionen bewertet.

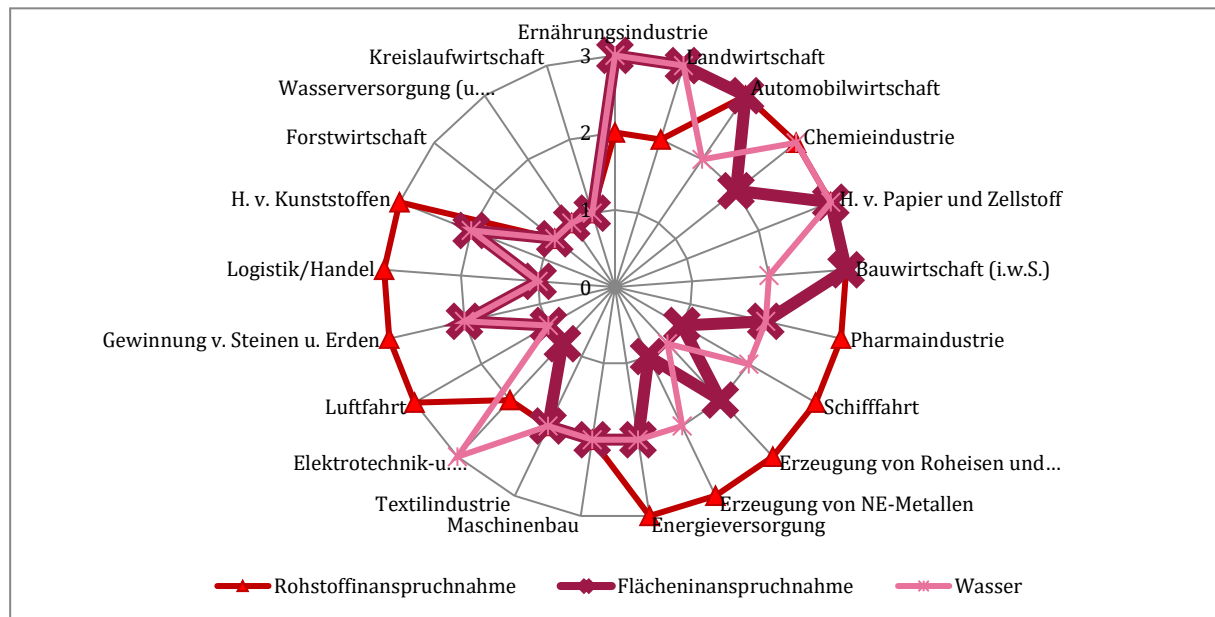
- ▶ Auch die **Pharmaindustrie** ist durch ihre energieintensive Produktherstellung ein großer Emittent von Treibhausgasen.
- ▶ Die energieintensive **Herstellung von Papier und Zellstoff** führt dazu, dass die Branche weltweit der fünftgrößte Energieverbraucher ist. Dazu kommen noch die Transporte der Rohstoffe und der Produkte.
- ▶ Die **Erzeugung von Roheisen und Stahl** ist ein relevanter Hotspot für THG-Emissionen, da es sich um eine sehr energieintensive Branche handelt. Ein hoher Anteil an THG entsteht bei der Verarbeitung in Deutschland. Die Emissionen, die durch den Stromverbrauch bei der Produktion entstehen, entsprechen einem Fünftel des Gesamtverbrauchs.
- ▶ Bei der **Erzeugung von Nicht-Eisenmetallen** (NE-Metalle) entsteht ein Großteil der Schadstoffemissionen in der weiteren Verarbeitung der NE-Metalle (über 40 %). Die sehr rohstoffintensive Branche verbraucht vor allem Kupfer und Aluminium. NE-Metalle werden v.a. im Fahrzeugbau, im Bauwesen, in der Elektrotechnik oder im Maschinenbau benötigt.
- ▶ Im **Maschinenbau** erfolgt der hohe Ausstoß an THG-Emissionen aufgrund der energieintensiven Herstellung der Vorprodukte. Ungefähr 90% der Emissionen entstehen bei der Rohstoffgewinnung bzw. der Herstellung der Vorprodukte wie Metall oder Aluminium.
- ▶ Bei der **Automobilbranche** entstehen ca. 90% der Emissionen auf den vorgelagerten Wertschöpfungsstufen, d.h. mehr als die Hälfte der Emissionen entsteht bei der Produktion von Vorprodukten, und zwar bei der Metallverarbeitung und beim Strombezug für die Herstellung der verbauten Metalle. Des Weiteren entsteht eine hohe Klimarelevanz der Fahrzeuge während der Nutzungsphase, insbesondere durch den Einsatz von konventionellen Kraftstoffen.
- ▶ Bei der **Luftfahrtbranche** entstehen durch den Einsatz von Verbrennungsantrieben hohe THG-Emissionen (Kohlendioxid und Wasserdampf, zusammen ca. 95%). Diese wirken direkt in der Atmosphäre und sind damit ein besonders relevanter Hotspot.
- ▶ Bei der **Schifffahrt** werden hohe CO₂-Emissionen durch den Einsatz von fossilen Brennstoffen erzeugt. Ebenfalls entstehen hohe Emissionen durch Feinstaub, Dieselruß und Stickoxide. Dies gilt insbesondere in Hafenstädten. Durch den Einsatz von fossilen Brennstoffen ist auch die Ressourceninanspruchnahme (hier: von mineralischen Rohstoffen für Schiffsdiesel) hoch.
- ▶ Als letzte relevante Branche in Bezug auf klimaschädliche Emissionen ist die **Logistikbranche** zu nennen. Ursache für die steigenden THG-Emissionen ist das Wachstum bei den Warentransporten, u.a. aufgrund von steigendem Onlinehandel.

3.1.2 Rohstoffinanspruchnahme, Flächeninanspruchnahme und Wasserverbrauch

Im Folgenden werden besonders relevante Branchen in Bezug auf die Inanspruchnahme von Rohstoffen, Flächeninanspruchnahme und Wasserverbrauch beschrieben. Die Kurzbeschreibung richtet sich nach dem Kriterium der Ressourceninanspruchnahme. Insofern bei den als besonders relevant bewerteten Branchen auch Wasserverbrauch und/oder Landnutzung mit „3“ bewertet wurden, wird dies ebenfalls erwähnt. Abbildung 13 stellt die Ergebnisse für das

Hotspotscreening der drei Umweltwirkungskategorien grafisch dar. Eine detaillierte Beschreibung ausgewählter Branchen erfolgt in den Steckbriefen in Kapitel 4.

Abbildung 13: Relevanzbewertung der Branchen für Rohstoff- und, Flächeninanspruchnahme sowie den Wasserverbrauch



Quelle: eigene Bewertung auf Basis der Matrix in Anhang A.1

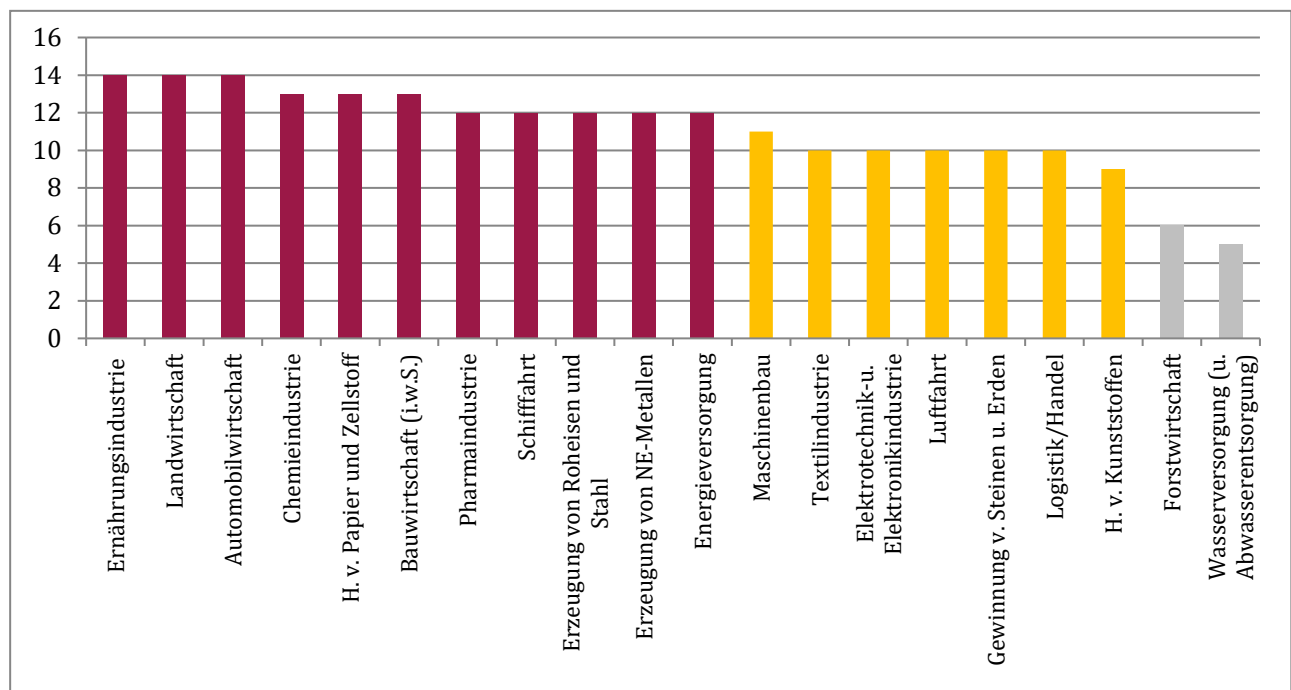
Legende: 3 - besonders relevante Branche bezogen auf die Umweltwirkungskategorie, 2 - relevante Branche bezogen auf die Umweltwirkungskategorie, 1 - weniger relevante Branche bezogen auf die Umweltwirkungskategorie

- ▶ Bei der **Energieversorgung** besteht eine relevante Rohstoffinanspruchnahme von fossilen Rohstoffen, insbesondere Kohle, Erdöl und Erdgas.
- ▶ Die **Chemiebranche** hat einen hohen fossilen Ressourcenverbrauch, den sie z.B. zur Deckung der hohen Energienachfrage oder für den Einsatz von Primärrohstoffen, z.B. Erdöl, benötigt. Des Weiteren ist der Wasserverbrauch sehr hoch. Die Branche ist für ca. 10% des deutschen Abwassers zuständig.
- ▶ Bei der **Pharmaindustrie** erfolgt eine hohe Ressourceninanspruchnahme bei der Produktherstellung, u.a. durch den Einsatz von biogenen Rohstoffen und Wasser.
- ▶ Die **Herstellung von Kunststoffen** ist ressourcenintensiv durch den Einsatz von Erdöl als fossiler Basisrohstoff. Zukünftig wird mit einer steigenden Nachfrage nach Biokunststoffen und dem entsprechenden Anstieg der Nachfrage nach biogenen Ressourcen gerechnet.
- ▶ Die **Herstellung von Papier und Zellstoff** verbraucht große Mengen der Ressource Holz. Ebenfalls steigen die eingesetzten Mengen an Dünger und Pestiziden, um Ertragssteigerungen zu generieren. Die Branche generiert einen hohen Wasserverbrauch während des Herstellungsprozesses und erhöht den Flächendruck, durch den Anstieg von Plantagenflächen, welche die wachsende Holznachfrage decken sollen.

- ▶ Die Branche „**Gewinnung von Steinen und Erden**“ ist mit einem hohen Abbau von Sand und Kies verbunden. Dieser Rohstoff wird überwiegend in der Baustoffindustrie genutzt.
- ▶ In der **Bauwirtschaft** besteht ein hoher Bedarf u.a. an Sand für die Beton und Zementherstellung sowie Bauxit für die Herstellung von Aluminiumbauteilen. Des Weiteren besteht ein Hotspot durch die Flächenversiegelung, die auf die Ausweitung der Bautätigkeiten (Bauboom) zurückzuführen ist.
- ▶ Bei der **Erzeugung von Roheisen und Stahl** wird z.B. rund ein Drittel des in Deutschland produzierten Brandkalks eingesetzt. Daher ist die Ressourceninanspruchnahme ein Hotspot.
- ▶ Auch die **Herstellung von Nichteisenmetallen** wurde als sehr rohstoffintensiv bewertet. Dies gilt vor allem auf den Verbrauch von Kupfer und Aluminium. Nichteisenmetalle werden im Fahrzeugbau, Bauwesen, Elektrotechnik oder im Maschinenbau benötigt.
- ▶ Die **Automobilherstellung** hat einen hohen Verbrauch an Rohstoffen bei der Metallherstellung/-verarbeitung sowie in der Nutzungsphase. Hier werden fossile Brennstoffe eingesetzt. Des Weiteren wird zukünftig der Strommix relevant, da hier der Rohstoffeinsatz für die Nutzung bei Elektroantrieben ausschlaggebend für die Nachhaltigkeit ist. Des Weiteren kann Flächenkonkurrenz bei der Herstellung von nachhaltigen Kraftstoffen in der Nutzungsphase auftreten.
- ▶ Bei der **Luftfahrtbranche** besteht eine hohe Rohstoffinanspruchnahme durch den Einsatz fossiler Brennstoffe. Zukünftig wird mit steigender Nachfrage nach nachwachsenden Rohstoffen für den Einsatz von Biokerosin gerechnet.
- ▶ Bei der **Schifffahrt** erfolgt eine hohe Ressourceninanspruchnahme durch den Einsatz fossiler Brennstoffe.
- ▶ Die wachsende **Logistikbranche und der Handel** benötigen aufgrund des Einsatzes fossiler Kraftstoffe große Mengen an Erdöl.

3.1.3 Gesamtranking

Abbildung 14 zeigt das Ranking der ausgewählten Branchen in der Summe der Relevanzpunkte über alle betrachteten (und gleich bewerteten) Umweltdimensionen (s. auch Anhang A.2). Rot dargestellt sind die Branchen mit den meisten Punkten, die also in mehreren Umweltproblembereichen eine hohe Relevanz aufweisen. Am relevantesten sind demnach die Ernährungswirtschaft und die Landwirtschaft sowie die Automobilwirtschaft, gefolgt von der Chemieindustrie, Bauwirtschaft und der Herstellung von Papier und Zellstoff. Die Pharmaindustrie, Schifffahrt, Erzeugung von Eisen und Stahl, Erzeugung von Nichteisenmetallen sowie die Energieversorgung stehen an dritter Stelle des Rankings.

Abbildung 14: Ranking der Branchen nach dem qualitativen Hotspotscreening


Quelle: eigene Darstellung, basierend auf Anhang A.2

Legende: **rot** - besonders relevante Hotspots, **gelb** - relevante Hotspots, **grau** - keine Hotspots

Anhang A.2 zeigt außerdem, dass die Emission von Treibhausgasen sowie die Inanspruchnahme von Ressourcen die häufigsten Hotspots bei den betrachteten Branchen sind.

3.2 Ergebnisse des quantitativen Screenings

Mit dem quantitativen Ansatz basierend auf EXIOBASE wurden 200 Sektoren in Bezug auf 15 Umweltdimensionen untersucht. Dies sind:

- Treibhausgase (als Summe sowie CO₂, CH₄ und N₂O jeweils separat),
- Luftschadstoffe (SO_x, NO_x, NH₃, NMVOC, PM₁₀, PM_{2.5}),
- Ressourcenkonsum (RMC, TMC, Landnutzung, Wasserverbrauch und Wasserentnahme).

Die Umweltwirkung wurde anhand des prozentualen Beitrags eines Sektors zu den Gesamtwerten für den betrachteten Umweltindikator normiert.

Tabelle 5 bis Tabelle 12 zeigen die „TOP 10“, also die zehn Sektoren mit den prozentual größten Beiträgen zu jeder der Umweltdimensionen. Außerdem werden drei weitere Sektoren ausgewiesen, die sich durch Aggregation mehrerer EXIOBASE-Produktgruppen ergeben, um die Vergleichbarkeit mit den Sektoren in der qualitativen Analyse oben herzustellen.

Tabelle 5: TOP 10 Sektoren gemessen an THG-Emissionen gesamt und CO₂-Emissionen

Rang	THG im Sektor...	Anteil	CO ₂ im Sektor...	Anteil
1	Bauwirtschaft	12,9 %	Bauwirtschaft	14,8 %
2	Gesundheitsdienstleistungen und Soziale Arbeit	6,1 %	Gesundheitsdienstleistungen und Soziale Arbeit	6,0 %
3	Fahrzeugbau	4,5 %	Fahrzeugbau	4,9 %
4	Lebensmittelprodukte a. n. g.	4,1 %	Öffentl. Verwaltung, ..., Sozialversicherung ^a	4,0 %
5	Öffentl. Verwaltung, ..., Sozialversicherung ^a	3,7 %	Strom aus Kohle	3,9 %
6	Motorenbenzin	3,6 %	Maschinenbau	3,5 %
7	Chemikalien a. n. g.	3,5 %	Immobilien-Dienstleistungen	3,5 %
8	Strom aus Kohle	3,3 %	Chemikalien a. n. g.	3,5 %
9	Maschinenbau	3,3 %	Luftverkehrsdienstleistungen	3,1 %
10	Immobilien-Dienstleistungen	3,1 %	Motorenbenzin	3,0 %
	Lebensmittel (Summe)	9,5 %	Lebensmittel (Summe)	5,52 %
	Chemie (Summe)	4,6 %	Chemie (Summe)	4,67 %
	Energiewirtschaft (Summe)	7,3 %	Energiewirtschaft (Summe)	8,53 %
	Gesamtwert Deutschland (kt)	808.746	Gesamtwert Deutschland (kt)	803.664

Quelle: EXIOBASE, Berechnungen des Fraunhofer ISI

Tabelle 6: TOP 10 Sektoren gemessen an CH₄- und N₂O-Emissionen

Rang	CH ₄ im Sektor ...	Anteil	N ₂ O im Sektor ...	Anteil
1	Lebensmittelprodukte a. n. g.	9,5 %	Lebensmittelprodukte a. n. g.	16,7 %
2	Motorenbenzin	7,7 %	Gesundheitsdienstleistungen und Soziale Arbeit	7,3 %
3	Gesundheitsdienstleistungen und Soziale Arbeit	6,1 %	Milchprodukte	5,3 %
4	Milchprodukte	5,9 %	Rindfleischprodukte	4,5 %
5	Leder und Lederprodukte	5,3 %	Gemüse, Obst, Nüsse	4,3 %
6	Bauwirtschaft	4,2 %	Hotel- und Restaurantdienstleistungen	3,6 %
7	Chemikalien a. n. g.	4,0 %	Weizen	3,4 %

Rang	CH ₄ im Sektor ...	Anteil	N ₂ O im Sektor ...	Anteil
8	Gas/Diesel	3,9 %	Bauwirtschaft	3,3 %
9	Rindfleischprodukte	3,8 %	Fleischprodukte a. n. g.	3,3 %
10	Fahrzeugbau	3,0 %	Öffentl. Verwaltung, Sozialversicherung ^a	3,1 %
	Lebensmittel (Summe)	24,7 %	Lebensmittel (Summe)	37,23 %
	Chemie (Summe)	4,6 %	Chemie (Summe)	2,15 %
	Energiewirtschaft (Summe)	1,7 %	Energiewirtschaft (Summe)	1,89 %
	Gesamtwert Deutschland (kt)	4.930	Gesamtwert Deutschland (kt)	151

Quelle: EXIOBASE, Berechnungen des Fraunhofer ISI

Tabelle 7: TOP 10 Sektoren gemessen an RMC und TMC

Rang	RMC im Sektor ...	Anteil	TMC im Sektor ...	Anteil
1	Bauwirtschaft	20,0 %	Bauwirtschaft	18,1 %
2	Öffentl. Verwaltung, ..., Sozialversicherung ^a	6,3 %	Strom aus Kohle	6,0 %
3	Lebensmittelprodukte a. n. g.	5,6 %	Gesundheitsdienstleistungen und Soziale Arbeit	5,7 %
4	Gesundheitsdienstleistungen und Soziale Arbeit	5,3 %	Lebensmittelprodukte a. n. g.	4,9 %
5	Chemikalien a. n. g.	4,8 %	Öffentl. Verwaltung, Sozialversicherung ^a	4,9 %
6	Fahrzeugbau	3,7 %	Fahrzeugbau	4,1 %
7	Immobilien-Dienstleistungen	3,1 %	Chemikalien a. n. g.	3,7 %
8	Maschinenbau	2,8 %	Maschinenbau	3,0 %
9	Gemüse, Obst, Nüsse	2,4 %	Immobilien-Dienstleistungen	3,0 %
10	Radio-, TV-, Kommunikationsgeräte	2,3 %	Gemüse, Obst, Nüsse	2,2 %
	Lebensmittel (Summe)	11,77 %	Lebensmittel (Summe)	10,24 %
	Chemie (Summe)	5,26 %	Chemie (Summe)	4,31 %
	Energiewirtschaft (Summe)	2,75 %	Energiewirtschaft (Summe)	8,50 %
	Gesamtwert Deutschland (kt)	1.830.478	Gesamtwert Deutschland (kt)	3.855.034

Quelle: EXIOBASE, Berechnungen des Fraunhofer ISI

Tabelle 8: TOP 10 Sektoren gemessen an Wasserverbrauch und Wasserentnahme

Rang	Wasserverbrauch (blau) im Sektor...	Anteil	Wasserentnahme (blau) im Sektor ...	Anteil
1	Anbauprodukte a. n. g.	31,1 %	Strom aus Kernkraft	8,0 %
2	Lebensmittelprodukte a. n. g.	13,4 %	Bauwirtschaft	6,9 %
3	Gemüse, Obst, Nüsse	6,9 %	Gesundheitsdienstleistungen und Soziale Arbeit	6,7 %
4	Gesundheitsdienstleistungen und Soziale Arbeit	5,9 %	Fahrzeugbau	6,3 %
5	Fischprodukte	4,4 %	Chemikalien a. n. g.	5,7 %
6	Ölsaaten	2,7 %	Strom aus Kohle	5,3 %
7	Fleischprodukte a. n. g.	2,7 %	Maschinenbau	4,6 %
8	Chemikalien a. n. g.	2,5 %	Lebensmittelprodukte a. n. g.	3,4 %
9	Tabakprodukte	2,4 %	Möbel, andere verarbeitete Produkte a. n. g.	3,0 %
10	Hotel- und Restaurantdienstleistungen	2,4 %	Öffentl. Verwaltung, Sozialversicherung ^a	3,0 %
	Lebensmittel (Summe)	25,52 %	Lebensmittel (Summe)	8,56 %
	Chemie (Summe)	2,71 %	Chemie (Summe)	8,27 %
	Energiewirtschaft (Summe)	0,23 %	Energiewirtschaft (Summe)	17,4 %
	Gesamtwert Deutschland (Mm3)	232.611	Gesamtwert Deutschland (Mm3)	25.168

Quelle: EXIOBASE, Berechnungen des Fraunhofer ISI

Tabelle 9: TOP 10 Sektoren gemessen an NH₃ und NMVOC

Rang	NH ₃ im Sektor ...	Anteil	NMVOC im Sektor	Anteil
1	Lebensmittelprodukte a. n. g.	17,6 %	Gesundheitsdienstleistungen und Soziale Arbeit	19,6 %
2	Milchprodukte	8,1 %	Chemikalien a. n. g.	9,9 %
3	Gesundheitsdienstleistungen und Soziale Arbeit	7,1 %	Motorenbenzin	9,0 %
4	Geflügel	4,3 %	Bauwirtschaft	5,9 %
5	Rindfleischprodukte	4,3 %	Fahrzeugbau	5,1 %
6	Schweinefleischprodukte	3,5 %	Gas/Diesel	4,9 %

Rang	NH ₃ im Sektor ...	Anteil	NM _{VOC} im Sektor	Anteil
7	Fleischprodukte a. n. g.	3,4 %	Lebensmittelprodukte a. n. g.	3,3 %
8	Hotel- und Restaurantdienstleistungen	3,2 %	Öffentl. Verwaltung, Sozialversicherung ^a	2,7 %
9	Fischprodukte	2,6 %	Maschinenbau	2,2 %
10	Möbel, andere verarbeitete Produkte a. n. g.	2,6 %	Möbel, andere verarbeitete Produkte a. n. g.	1,9 %
	Lebensmittel (Summe)	42,50 %	Lebensmittel (Summe)	6,34 %
	Chemie (Summe)	1,83 %	Chemie (Summe)	11,28 %
	Energiewirtschaft (Summe)	0,22 %	Energiewirtschaft (Summe)	1,55 %
	Gesamtwert Deutschland (kt)	1.697	Gesamtwert Deutschland (kt)	976

Quelle: EXIOBASE, Berechnungen des Fraunhofer ISI

Tabelle 10: TOP 10 Sektoren gemessen an NO_x und SO_x

Rang	NO _x im Sektor ...	Anteil	SO _x im Sektor	Anteil
1	Bauwirtschaft	10,9 %	Bauwirtschaft	11,4 %
2	Lebensmittelprodukte a. n. g.	5,3 %	Fahrzeugbau	6,9 %
3	Immobilien-Dienstleistungen	4,9 %	Chemikalien a. n. g.	5,6 %
4	Gesundheitsdienstleistungen und Soziale Arbeit	4,9 %	Maschinenbau	5,6 %
5	Fahrzeugbau	4,7 %	Gesundheitsdienstleistungen und Soziale Arbeit	5,1 %
6	Luftverkehrsdienstleistungen	4,5 %	Immobilien-Dienstleistungen	4,2 %
7	Motorenbenzin	3,7 %	Motorenbenzin	4,0 %
8	Öffentl. Verwaltung, ..., Sozialversicherung ^a	3,3 %	Radio-, TV-, Kommunikationsgeräte	3,7 %
9	Maschinenbau	3,2 %	Möbel, andere verarbeitete Produkte a. n. g.	3,2 %
10	Chemikalien a. n. g.	2,6 %	Öffentl. Verwaltung, Sozialversicherung ^a	3,2 %
	Lebensmittel (Summe)	12,36 %	Lebensmittel (Summe)	5,43 %
	Chemie (Summe)	3,82 %	Chemie (Summe)	6,77 %
	Energiewirtschaft (Summe)	3,01 %	Energiewirtschaft (Summe)	3,38 %

Rang	NOx im Sektor ...	Anteil	SOx im Sektor	Anteil
	Gesamtwert Deutschland (kt)	2.762	Gesamtwert Deutschland (kt)	2.001

Quelle: EXIOBASE, Berechnungen des Fraunhofer ISI

Tabelle 11: TOP 10 Sektoren gemessen an PM 2,5 und PM 10

Rang	PM 2,5 im Sektor ...	Anteil	PM 10 im Sektor ...	Anteil
1	Bauwirtschaft	14,9 %	Bauwirtschaft	14,4 %
2	Fahrzeugbau	9,0 %	Fahrzeugbau	9,1 %
3	Maschinenbau	7,1 %	Maschinenbau	7,4 %
4	Gesundheitsdienstleistungen und Soziale Arbeit	4,2 %	Gesundheitsdienstleistungen und Soziale Arbeit	4,3 %
5	Immobilien-Dienstleistungen	3,9 %	Radio-, TV-, Kommunikationsgeräte	4,0 %
6	Radio-, TV-, Kommunikationsgeräte	3,5 %	Chemikalien a. n. g.	3,9 %
7	Chemikalien a. n. g.	3,5 %	Möbel, andere verarbeitete Produkte a. n. g.	3,6 %
8	Öffentl. Verwaltung, ..., Sozialversicherung ^a	3,3 %	Immobilien-Dienstleistungen	3,4 %
9	Andere Transportgeräte	3,2 %	Andere Transportgeräte	3,4 %
10	Möbel, andere verarbeitete Produkte a. n. g.	3,1 %	Öffentl. Verwaltung, Sozialversicherung ^a	3,1 %
	Lebensmittel (Summe)	5,13 %	Lebensmittel (Summe)	4,72 %
	Chemie (Summe)	4,49 %	Chemie (Summe)	4,80 %
	Energiewirtschaft (Summe)	2,45 %	Energiewirtschaft (Summe)	2,56 %
	Gesamtwert Deutschland (kt)	331	Gesamtwert Deutschland (kt)	474

Quelle: EXIOBASE, Berechnungen des Fraunhofer ISI

Tabelle 12: TOP 10 Sektoren gemessen an Landnutzung

Rang	Landnutzung im Sektor...	Anteil
1	Lebensmittelprodukte a. n. g.	17,8 %
2	Rindfleischprodukte	8,1 %
3	Gesundheitsdienstleistungen und Soziale Arbeit	7,7 %
4	Gemüse, Obst, Nüsse	5,6 %

Rang	Landnutzung im Sektor...	Anteil
5	Hotel- und Restaurantdienstleistungen	5,1 %
6	Fleischprodukte a. n. g.	3,1 %
7	Anbauprodukte a. n. g.	2,9 %
8	Kleidung, Pelze	2,9 %
9	Öffentl. Verwaltung, ..., Sozialversicherung ^a	2,9 %
10	Ölsaaten	2,8 %
	Lebensmittel (Summe)	37,65 %
	Chemie (Summe)	2,91 %
	Energiewirtschaft (Summe)	0,30 %
	Gesamtwert Deutschland (nature km2)	631.496

^a Langtitel des Sektors: Öffentliche Verwaltung, Verteidigung, Dienstleistungen der gesetzl. Sozialversicherung

Quelle: EXIOBASE, Berechnungen des Fraunhofer ISI

Die unter den TOP 10 erscheinenden Sektoren und ihr Ranking innerhalb der TOP 10 variieren je nach Umweltindikator. So sind zum Beispiel die TOP 10 bei Lachgas (N₂O) stark von Produktgruppen aus dem Lebensmittelbereich dominiert. Dasselbe gilt für den Ausstoß von Ammoniak (NH₃). Beides geht stark auf die Vorstufe der landwirtschaftlichen Produktion zurück. Stickstoff-(N)-Verbindungen belasten die Umwelt und Gesundheit auf vielfältige Weise. Das Problem wird bereits seit längerem diskutiert. Der SRU hat in diesem Kontext bereits im Jahr 2015 eine übergreifende Stickstoffstrategie angemahnt (SRU 2015) und an Lösungen wird gearbeitet (BMU 2017, 2019 c).

Die Lebensmittel-Produktgruppen sind auch gehäuft unter den TOP 10 des Wasserverbrauchs zu finden. Bei den übrigen Umweltwirkungen tauchen aber häufig dieselben Sektoren auf. Dies zeigt auch Tabelle 13, die die Häufigkeit der TOP-10-Platzierungen zusammenfasst.

Vielleicht überraschend erscheint der Sektor „Gesundheitsdienstleistungen und Soziale Arbeit“ in allen betrachteten Umweltdimensionen unter den TOP 10. Dieses Ergebnis muss mit etwas Vorsicht interpretiert werden. Gewisse Verzerrungen nach oben sind durch die Bewertung der Vorleistungen aus dem pharmazeutischen Sektor zu vermuten. Diese gehen mit einem hohen monetären Wert in die Betrachtung ein und werden mit einem „Rucksack“ belastet, der sich aus einem Durchschnitt verschiedener Chemikalien zusammensetzt. Allerdings weisen auch andere Datenquellen auf eine hohe Umweltrelevanz des Gesundheitssektors hin. So wird zum Beispiel im Kontext der Spurenstoffstrategie der Eintrag pharmazeutischer Wirkstoffe in Gewässer problematisiert. Und detailliertere Analysen des Ressourcenkonsums in Lutter et al. (2018) sowie in einem parallel laufenden Forschungsvorhaben („Ressourcenschonung im Gesundheitssektor - Erschließung von Synergien zwischen den Politikfeldern Ressourcenschonung und Gesundheit“, FKZ 3717 31 104 0) finden zahlreiche Hinweise auf hohe Verbräuche in diesem Bereich. Die häufige Nennung des Sektors „Öffentliche Verwaltung, Verteidigung, Dienstleistungen der gesetzl. Sozialversicherung“ kann zum Teil auch auf diesen Hintergrund zurückgeführt werden. Denn soweit die Gesundheitsleistungen von den

gesetzlichen Krankenkassen getragen werden, ordnet die Input-Output-Logik die mit ihnen verbundenen Umweltwirkungen diesem Sektor zu.

Unter den weiteren häufig in den TOP 10 genannten Produktgruppen sind die Chemikalien – hier methodisch bedingt die Produktgruppe der anderweitig nicht genannten Chemikalien. Diese enthalten u. a. Pharmazeutika, aber auch weitere chemische Grund- und Feinchemikalien⁵. Auch die Bauwirtschaft wird häufig unter den TOP 10 identifiziert. Beide Sektoren sind für ihre großen Stoffströme bekannt und ihre hohe Umweltrelevanz überrascht daher nicht. Da die Bauwirtschaft einen Vorleistungssektor für Immobilien-Dienstleistungen darstellt, sind auch diese mit hohen Umweltwirkungen verbunden und finden sich in vielen Umweltdimensionen unter den TOP 10 wieder.

Weitere Häufungen treten für den Fahrzeugbau und den Maschinenbau auf. Dies sind klassische Sektoren des verarbeitenden Gewerbes. Ihr häufiges Ranking unter den TOP 10 Sektoren bzgl. Umweltwirkungen erklärt sich u. a. aus ihrer Größe gemessen an ihrem Anteil am Bruttoproduktionswert.

Verschiedene Produktgruppen aus dem Bereich der Lebensmittel werden ebenfalls mehrfach genannt. Wenn Lebensmittel im Aggregat betrachtet werden, ist die Nennung unter den TOP 10 noch häufiger. Dies zeigen die separaten Angaben für das Aggregat „Lebensmittel“ in Tabelle 5.

Eine ähnliche Situation tritt bei der Energiewirtschaft auf. Hier finden sich einzelne Produktgruppen, wie Treibstoffe und Strom, mehrfach unter den TOP 10. Wenn man die Energiewirtschaft als Ganzes betrachtet, steigt die Anzahl der Nennung unter den TOP 10.

Ein wichtiger Aspekt des Vorhabens war es, nicht allein auf Treibhausgase und Klimawandel zu schauen, sondern auch den Handlungsdruck zu identifizieren, der aus anderen ökologischen Herausforderungen resultieren kann. Das quantitative Screening mit EXIOBASE identifiziert auch solche Branchen mit starkem Strukturwandeldruck, die bei einem engen Blick auf Treibhausgase und Klimaproblematik nicht zu den TOP 10 gehören. In den Fokus rücken hier Branchen mit hohen Emissionen bei den klassischen Schadstoffen NH₃, NMVOC und Feinstaub sowie mit hohem Wasser- oder Flächenbedarf. Dies sind also Umweltwirkungen, die oft ohne gleichzeitige Klimarelevanz der Branche auftreten. Besonders häufig – in insgesamt 6 Umweltdimensionen⁶ – erscheint hier der Sektor „Möbel, andere verarbeitete Produkte a. n. g.“ unter den TOP 10, gefolgt vom Sektor „Radio-, TV-, Kommunikationsgeräte“, der in 4 Umweltdimensionen zu den TOP 10 gehört.⁷ Wasserverbrauch und -entnahme, NH₃-Emissionen und Landnutzung bringen viele Sektoren unter die TOP 10, die unter Landwirtschaft und Lebensmittelerzeugung fallen. Dies sind Geflügel, Schweinefleischprodukte, Tabakprodukte, Lebensmittelprodukte a. n. g., Fischprodukte und Ölsaaten. Der Sektor „Kleidung, Pelze“ lässt sich als Weiterverarbeiter von Pflanzen(fasern) und Tieren ebenfalls hier zuordnen. Schließlich zählt die Stromerzeugung aus Kernkraft zu den TOP 10 bei der Wasserentnahme.⁸

Tabelle 13 fasst abschließend die Häufigkeit der TOP-10-Platzierungen der Branchen zusammen.

⁵ „Chemikalien a.n.g.“ enthält alle Chemikalien, die nicht als separate Produktgruppe aufgeführt werden. Separate Produktgruppen sind Kunststoffe, Düngemittel, Holzkohle, Additive und flüssige Biotreibstoffe.

⁶ Dies sind Wasserentnahme (blau), NH₃, NMVOC, SO_x, PM 2,5 und PM 10.

⁷ Dies sind RMC, SO_x, PM 2,5 und PM 10.

⁸ Die Umweltdimension radioaktive Strahlung ist in EXIOBASE nicht enthalten.

Tabelle 13: Sektoren, die in mindestens einer Umweltdimension unter den TOP 10 sind

Sektor	Häufigkeit der Nennung in TOP 10
Gesundheitsdienstleistungen und Soziale Arbeit	15
Chemikalien a.n.g.	12
Bauwirtschaft	12
Öffentl. Verwaltung, Verteidigung, Dienstleistungen der gesetzl. Sozialversicherung	12
Lebensmittelprodukte a.n.g.	11
Fahrzeugbau	11
Maschinenbau	10
Immobilien-Dienstleistungen	8
Möbel, andere verarbeitete Produkte a.n.g.	6
Motorenbenzin	6
Gemüse, Obst, Nüsse	5
Strom aus Kohle	4
Hotel- und Restaurantdienstleistungen	4
Fleischprodukte a.n.g.	4
Rindfleischprodukte	4
Radio-, TV-, Kommunikationsgeräte	4
Milchprodukte	3
Luftverkehrsdienstleistungen	2
Anbauprodukte a.n.g.	2
Fischprodukte	2
Gas/Diesel	2
Ölsaaten	2
Andere Transportgeräte	2
Strom aus Kernkraft	1
Leder und Lederprodukte	1
Geflügel	1
Schweinefleischprodukte	1
Tabakprodukte	1

Sektor	Häufigkeit der Nennung in TOP 10
Kleidung, Pelze	1
Weizen	1

Quelle: EXIOBASE, Berechnungen des Fraunhofer ISI

3.3 Darstellung der Schnittmenge des qualitativen Hotspot-Screenings und der quantitativen Auswertung mit EXIOBASE

Aufgrund der Ergebnisse des qualitativen Hotspot-Screenings und der quantitativen Analyse mit EXIOBASE zeigte sich eine Schnittmenge von Branchen. Angesichts der methodisch doppelten Herleitung kann bei diesen Branchen valide von einer hohen ökologischen Relevanz ausgegangen werden.

Tabelle 14 zeigt die Schnittmenge der potenziell vom ökologischen Strukturwandel betroffenen Branchen. Für diese Branchen wurde im weiteren Verlauf des Arbeitspaketes eine tiefergehende Analyse in Bezug auf die Auswirkungen des Strukturwandels vorgenommen (s. Kapitel 4).

Tabelle 14: Schnittmenge der Branchen aus dem qualitativen Hotspot-Screening sowie der quantitativen Auswertung mit EXIOBASE

Branche (in alphabetischer Reihenfolge)
Bauwirtschaft
Chemieindustrie
Energiewirtschaft
Fahrzeugbau
Landwirtschaft
Lebensmittelherstellung
Maschinenbau
Pharmaindustrie

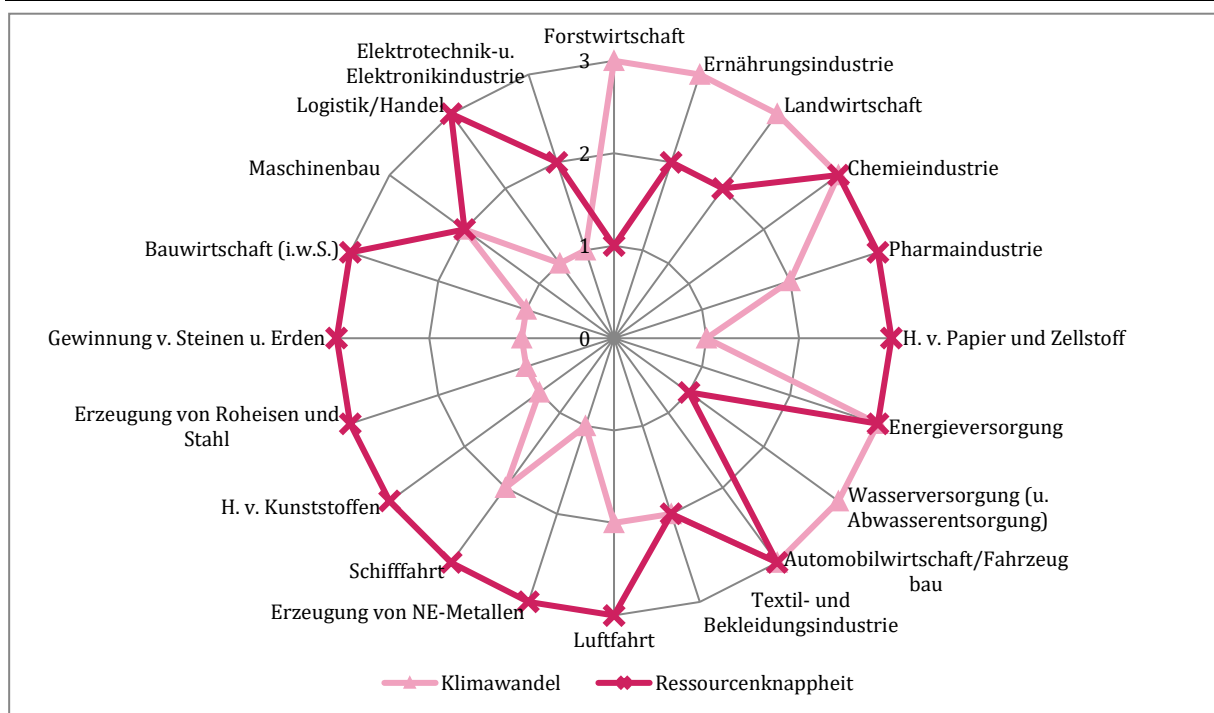
Quelle: eigene Zusammenstellung

3.4 Ergebnisse des qualitativen Screenings der Betroffenheit von ökologischen Megatrends

Das Screening der ökologischen Megatrends zielte auf die Bewertung der Vulnerabilität der betrachteten Branchen. Das gesamte Screening für die 20 Branchen ist im Anhang 1.3 zu finden.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass der Megatrend Ressourcenknappheit für viele Branchen künftig eine große Rolle spielt. Elf von 20 Branchen wurden als sehr vulnerabel eingestuft. Des Weiteren wurden der Megatrend Klimawandel sowie Biodiversitätsverluste als relevant identifiziert. Beim Megatrend Klimawandel wurden sieben Branchen als sehr vulnerabel identifiziert: Forstwirtschaft, Landwirtschaft, Ernährungswirtschaft, Chemieindustrie, Energieversorgung, Wasserversorgung und die Automobilwirtschaft (s. Abbildung 15).

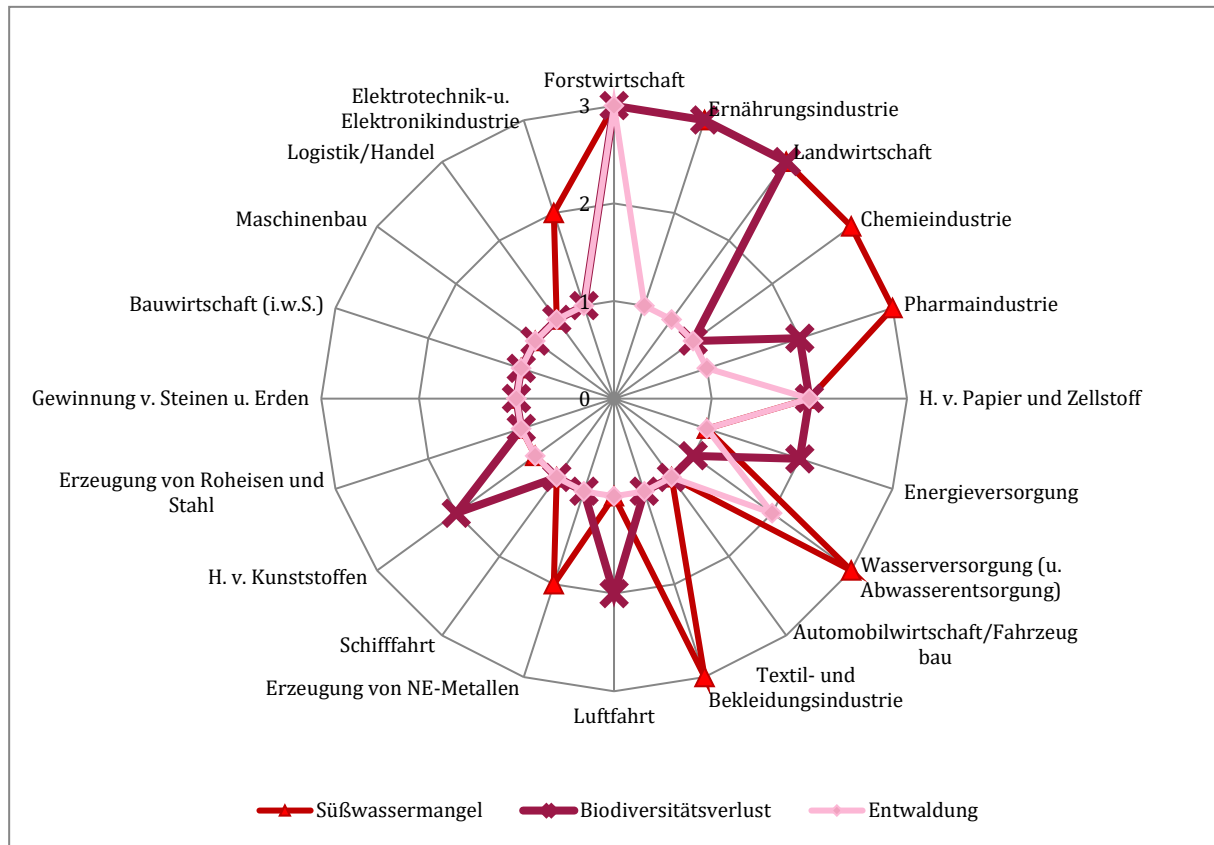
Abbildung 15: Betroffenheit der Branchen von Klimawandel und Ressourcenknappheit



Quelle: eigene Bewertung auf Basis der Matrix in Anhang A.3

Legende: 3 - stark betroffen vom Megatrend, 2 - betroffen vom Megatrend, 1 - wenig betroffen vom Megatrend

In Bezug auf den Megatrend Biodiversitätsverlust sind die Ernährungswirtschaft, die Landwirtschaft und die Forstwirtschaft als besonders relevant bewertet worden. Letztere ist naheliegender Weise auch am stärksten von Entwaldung betroffen (s. Abbildung 16).

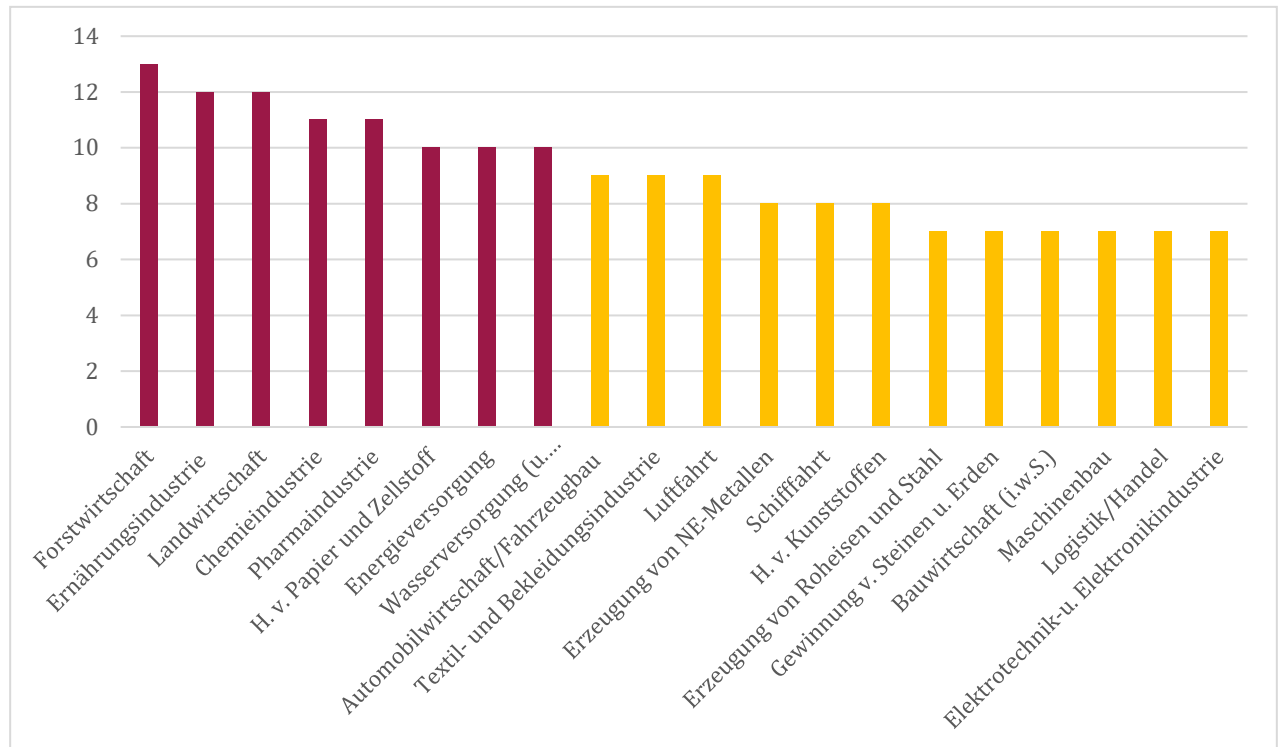
Abbildung 16: Betroffenheit von Biodiversitätsverlust, Entwaldung und Süßwassermangel

Quelle: eigene Bewertung auf Basis der Matrix in Anhang A.3

Legende: 3 - stark betroffen vom Megatrend, 2 - betroffen vom Megatrend, 1 - wenig betroffen vom Megatrend

Der Megatrend Süßwassermangel betrifft besonders die Ernährungswirtschaft, Landwirtschaft, Chemieindustrie, Pharmaindustrie, Forstwirtschaft, Wasserversorgung sowie Textilindustrie.

Abbildung 17 zeigt das Ranking der ausgewählten Branchen in der Summe der Bewertungen zu allen Megatrends. Es gibt sieben Überschneidungen mit den „Top 10“ des qualitativen Hotspot-Screenings. Drei Branchen sind „neu“ hinzugekommen. Dazu zählen die Forstwirtschaft, die Wasserversorgung und die Textil- und Bekleidungsindustrie.

Abbildung 17: Ranking der Branchen nach dem Screening der ökologischen Megatrends


Quelle: eigene Darstellung, basierend auf Anhang A.4

Legende: **rot** – insgesamt stark betroffen von ökologischen Megatrends, **gelb** – insgesamt moderat betroffen von ökologischen Megatrends, **grau** – insgesamt wenig betroffen von ökologischen Megatrends

Für die weitergehende Analyse der vom ökologischen Strukturwandel betroffenen Branchen wird auf die Schnittmenge der ökologischen Hotspot-Analysen in Tabelle 14 zurückgegriffen, da für diese Branchen die Relevanz methodisch sowohl qualitativ als auch quantitativ hergeleitet wurde. Zusätzlich werden aber aus der Megatrend-Analyse hier die beiden Branchen Forstwirtschaft und Wasserversorgung mit aufgenommen, da beide durch ökologische Megatrends stark betroffen sind. Dadurch kann auch geprüft werden, ob das folgende Analyseraster in Kapitel 4 nicht nur für Branchen nützlich ist, die aus Gründen ökologischer Impacts, sondern wegen ihrer Vulnerabilität gegenüber ökologischen Megatrends betroffen sind.

4 Weitergehende Analyse der identifizierten „Hotspot-Branchen“

Im weitergehenden Verlauf erfolgt eine tiefergehende Beschreibung, jedoch keine vollständige Analyse des möglichen Strukturwandels für die zehn ausgewählten „Hotspot-Branchen“ (die acht Branchen aus der in Kapitel 3.3 identifizierten „Schnittmenge“ aus qualitativer und quantitativer Hotspot-Analyse, sowie Forstwirtschaft und Wasserwirtschaft aus der Megatrend-Analyse). Die Branchen werden anhand von Steckbriefen diskutiert.

Jeder Steckbrief beinhaltet die folgenden Kategorien (s. hierzu auch Kapitel 2.5):

- ▶ Kurzbeschreibung
- ▶ Ökonomische Kerndaten (u.a. Bruttowertschöpfung, Beschäftigung, Handelsintensität)
- ▶ Ökologische Hotspots
- ▶ Hotspots bezogen auf die Wertschöpfungskette
- ▶ Betroffenheit von ökologischen Megatrends
- ▶ Indirekte Wirkungen durch ökologische Megatrends
- ▶ Chancen und Risiken durch *ökonomische* Megatrends
- ▶ Alternative (nachhaltige) Geschäftsmodelle
- ▶ Art des Strukturwandels (ressourcen-, produktionstechnologie-, oder produktbezogen)
- ▶ Fazit.

4.1 Bauwirtschaft

Branche	Bauwirtschaft
Kurzbeschreibung	Die statistische Abgrenzung des Sektors ist schwierig, da neben dem Bauen auch Baumaschinen, Baustoffe, Bauunternehmen oder Wohnungsbaugesellschaften dazugehören. Nach Destatis (2019b) setzt sich die Bauwirtschaft aus dem Bauhauptgewerbe und dem Ausbaugewerbe zusammen. Danach werden dem Bauhauptgewerbe die Gruppe „Bau von Gebäuden“ (WZ 41.2), „Bau von Straßen und Bahnverkehrsstrecken“ (WZ 42.1.), „Leitungstiefbau und Kläranlagen“ (WZ 42.2), „Sonstiger Tiefbau“ (WZ 42.9), „Abbrucharbeiten und vorbereitenden Baustellenarbeiten“ (WZ 43.1) und „sonstige spezialisierte Bautätigkeiten“ (WZ 43.9) zugeordnet. Zum Ausbaugewerbe gehören „Bauinstallation“ (WZ 43.2), „Sonstiger Ausbau“ (WZ 43.3) und „Erschließung von Grundstücken, Bauträger“ (WZ 41.1). Die Analyse der Hotspots fokussiert auf den Gebäudebau.
Ökonomische Kerndaten	2018 trug das Baugewerbe 5,3 % zur gesamtwirtschaftlichen Bruttowertschöpfung bei. Der Anteil des Bruttoinlandsproduktes, der für Bauinvestitionen verwendet wurde, war mit 10,3 % nahezu doppelt so hoch. Der Anteil des Baugewerbes an der gesamten Beschäftigung lag bei 5,6 %. Seit dem Ende der Baukrise im Jahr 2005

Branche	Bauwirtschaft
	haben sich die Anteilswerte wieder deutlich erhöht. Damit liegt das Baugewerbe 2018 sowohl bei der Produktion als auch bei der Beschäftigung noch vor wichtigen Industriebereichen wie dem Fahrzeugbau, dem Maschinenbau oder der Chemischen Industrie (Weitz 2019a). 2017 lagen die Bauinvestitionen preisbereinigt um knapp 6 % über dem Niveau von 1991, aber immer noch um 12 % niedriger als 1994. Das BIP legte hingegen im Trend deutlich zu und übertraf 2017 den Wert von 1991 real um 43 %. Entsprechend entwickelten sich die Pro-Kopf-Investitionen: 2017 wurden je Einwohner 3.275 Euro in Bauten investiert, nur minimal mehr als 1991 (Kraus 2019). Der Wohnungsbau ist seit Jahren die bedeutendste Bausparte, 2017 entfielen auf ihn 61 % aller Bauinvestitionen. Die Bedeutung des öffentlichen Baus ist langfristig deutlich zurückgegangen, er machte nur noch knapp 12 % der Bautätigkeit aus. Der Anteil des Wirtschaftsbaus ist relativ konstant geblieben und lag bei 27 %. Das Bauhauptgewerbe war 2017 die größte Produzentengruppe. Zusammen mit dem Ausbaugewerbe entfielen auf das gesamte Baugewerbe nahezu 63 % der Bauinvestitionen. Der Rest sind die in die Bauwerke eingehenden Leistungen des Verarbeitenden Gewerbes, Dienstleistungen, Gebühren sowie Sonstige Bauleistungen, die auch Eigenleistungen privater Haushalte und Schwarzarbeit umfassen (Weitz 2019b). Die Handelsintensität liegt 2016 bei einem Wert von 0,012 und damit sehr weit unterhalb des Durchschnitts des Produzierenden Gewerbes (0,9). Der Sektor ist also stark heimisch ausgerichtet und steht kaum unter internationalem Wettbewerbsdruck. Dies ist plausibel, wenn man sich vor Augen hält, dass der Transportaufwand für Baustoffe sehr hoch ist und die Wertschöpfung meist regional erfolgt.
Ökologische Hotspots	THG-Emissionen: Ziel der Bundesregierung ist es, bis 2050, den Primärenergieverbrauch im Gebäudebereich gegenüber dem Jahr 2008 um 80 % zu reduzieren. Gebäude spielen daher eine wichtige Rolle bei der Gestaltung einer CO₂-armen Zukunft. Deutschlandweit gehören Heizung, Warmwasser, Beleuchtung und Kühlung zu den großen Verbrauchern fossiler Energien. 2017 verbrauchten alle Immobilien ca. 35 % der Endenergie (BMW I 2019). Die Gebäudewärme verursacht CO₂-Emissionen in Höhe von 183 Mio. t CO₂ (Privathaushalte, GHD und Industrie), ein kleiner Teil davon durch die Nutzung von Strom für Wärme (20 Mio. t CO₂) (dena 2016). In Bezug auf die Emission von Treibhausgasen sind sowohl die Vorkette als auch die Nutzungsphase besonders relevant. Der Ausstoß von THG-Emissionen wurde als sehr relevant bewertet. Beispielhaft genannt sei hier die Zementherstellung, bei der große Mengen an CO₂ entstehen. Emissionen sind sowohl rohstoff- als auch energiebedingt. Rohstoffbedingte CO₂-Emissionen entstehen bei der Entsäuerung des Kalksteins und haben einen Anteil von etwa 60 % an den CO₂-Gesamtemissionen. Energiebedingte Emissionen entstehen sowohl direkt bei der Verbrennung der Brennstoffe als auch indirekt durch den Einsatz von elektrischer Energie (VDZ 2017). Beide Energiequellen kommen größtenteils aus fossilen Quellen (Kretschmer 2019). Der größere Teil der Emissionen – 55 Prozent – sind sogenannte Prozess-Emissionen. Die Umwandlung von Kalkstein zu Zementklinker in Zementöfen geht mit einer Freisetzung von Kohlendioxid einher (Kern 2017). Insgesamt fielen in 2017 0,6 t CO₂ pro Tonne Zement an (zum Vergleich: Produktionsmenge in 2017 33 Mio. t, VDZ 2017). Ohne einen Beitrag der Zementindustrie sind die Klimaziele des Sektors nur schwer zu erreichen.

Branche	Bauwirtschaft
	Weitere hohe Energiebedarfe entfallen auf die Herstellung von Aluminium und Stahl, ebenfalls Produkte, die beim Bau von Gebäuden anfallen. Bei der Herstellung von Aluminiumoxid z.B. werden 7-10 GJ Wärme pro Tonne Aluminiumoxid verbraucht. Allerdings gibt es derzeit nur ein Werk in Deutschland, der Großteil wird importiert (FFE 2018). In Deutschland werden jährlich ca. 45 Mio. Tonnen Stahl erzeugt. Die Stahlherstellung erfolgt heute überwiegend durch kohle- bzw. koks-basierte Prozesse zur Reduktion von Eisenerz im Hochofen. Dabei werden große Mengen CO₂ emittiert (dena 2019). Luftschadstoffe: Die Emission von Luftschadstoffen wurde als moderat bewertet. Der Ausstoß findet überwiegend in der Vorkette, v.a. bei der Rohstoffverarbeitung statt. Beispielhaft genannt werden kann die Emission von Stäuben bei der Aufbereitung des Rohmaterials in der Zementherstellung. Ursache für höhere SO₂-Emissionen können von den Drehofenanlagen der Zementindustrie ausgehen und beziehen sich auf die im Rohmaterial enthaltenen Sulfide. Die Zementindustrie versucht jedoch über den Einsatz von Kalkhydrat eine Minderung der SO₂-Emissionen zu erreichen (VDZ 2017). Rohstoffinanspruchnahme: Der Rohstoffbedarf der Branche wird als sehr relevanter Hotspot bewertet. Dazu gehören u.a. Sand für Beton und Kalkstein für die Zementherstellung oder Bauxit für die Herstellung von Aluminiumbauteilen. Für die Herstellung von einer Tonne Primäraluminium werden z.B. zwei Tonnen Aluminiumoxid und damit vier bis sieben Tonnen Bauxit benötigt (FFE 2018). Im Jahr 2017 wurden 39 Mio. t Kalkstein für die Herstellung von Zement in Deutschland eingesetzt. In Abhängigkeit von der Rohstoffsituation am Standort des Zementwerks kann es erforderlich sein, der Rohstoffmischung Eisenerz, Sand oder andere Korrekturstoffe zuzusetzen, um fehlende chemische Bestandteile auszugleichen (VDZ 2017). Der Einsatz von alternativen Rohstoffen oder die Reduktion von Bestandteilen bedarf einiger Voraussetzungen, die die stoffliche Zusammensetzung des Rohstoffs betreffen. Dies hängt auch von der Rohstoffsituation eines Zementwerkes, d. h. der Zusammensetzung des Kalkstein- bzw. Mergelvorkommens ab (VDZ 2017). Flächenverbrauch/Landnutzung: Der Flächenverbrauch wird als sehr relevanter Hotspot bewertet. Die Siedlungsfläche betrug im Jahr 2017 3,2 Mio. ha. Dies entspricht einem Anstieg gegenüber dem Vorjahr in Höhe von 0,7 % (Destatis 2018 d). Der Bauboom der letzten Jahre und die wachsende Nachfrage nach Wohnraum erhöhen den Druck auf die Fläche. Auch der Abbau von Rohstoffen für die Baubranche geht mit Landnutzung und Flächenverbrauch einher (Abbau im Tagebau). Die inländische Entnahme von Rohstoffen im Tagebau geht zwar seit Jahren stetig zurück. Dies bezieht sich jedoch überwiegend auf den Abbau von Kohle. Vom täglichen Flächenverbrauch durch Tagebau entfielen im Jahr 2017 pro Tag rund 4,2 ha auf den Abbau von Baumineralien (UBA 2019 a). Wasserverbrauch/Gewässerbelastung: Der Wasserverbrauch wird als moderat relevanter Hotspot bewertet. Insbesondere in der Vorkette (bei der Herstellung der in der Bauwirtschaft genutzten Produkte wie Aluminium, Stahl oder Zement) besteht das Risiko der Wasserverschmutzung, z.B. beim Abbau von Bauxit (Rüttinger et al. 2016). Sonstiges: Der Sektor verursacht rund 60 % des Abfallaufkommens in Deutschland. Als relevanter Hotspot wird der Anfall von Abfall in der Baubranche bewertet. Im Jahr 2016 sind 214,6 Mio. t mineralische Bauabfälle angefallen. Davon entfielen 125,2 Mio. t (58,3 Prozent) auf Boden und Steine, 58,5 Mio. t (27,3 Prozent) auf Bauschutt, 16,0 Mio. t (7,4 Prozent) auf Straßenaufbruch, 0,6 Mio. t (0,3 Prozent) auf Bauabfälle auf Gipsbasis und 14,3 Mio. t (6,7 Prozent) auf Baustellenabfälle.

Branche	Bauwirtschaft
	Gegenüber dem Vorberichtszeitraum ist der Anfall mineralischer Bauabfälle um knapp 13 Mio. t angestiegen (Kreislaufwirtschaft Bau 2016). Alternativen zur Abfallvermeidung bieten hier die Suche nach Recyclingtechniken sowie der Einsatz von Effizienztechniken.
Hotspots bezogen auf die Wertschöpfungskette	Einsatz von Rohstoffen und Energie während der Produktionsphase (Outputs: THG-Emissionen und Ressourcenverbrauch) Einsatz von Energie während der Nutzungsphase (Output: THG-Emissionen)
Betroffenheit von ökologischen Megatrends	Klimawandel: In Bezug auf den Klimawandel wird die Bauwirtschaft als nicht vulnerabel bewertet. Sie gehört eher zu den Gewinnern des Klimawandels, da die Energiewende mit einem Anstieg der energetischen Sanierung der Gebäude verbunden ist. Dadurch steigen die Bedarfe an Handwerkern. Auch im Falle der Schadensbeseitigung nach Extremwetterereignissen ist die Nachfrage nach Handwerkern groß. Ressourcenknappheit: In Bezug auf die Ressourcenknappheit wird die Branche als moderat vulnerabel bewertet. Dies liegt an der steigenden Nachfrage nach Ressourcen für die Produktion von Baumaterialien als auch für die in der Nutzungsphase benötigte Energie, z.B. für die Gebäudewärme. Süßwassermangel: In Bezug auf den Süßwassermangel wird die Bauwirtschaft als nicht vulnerabel bewertet. Biodiversitätsverlust: In Bezug auf den Biodiversitätsverlust wird die Branche als moderat vulnerabel bewertet. Vor allem im Hinblick auf Siedlungsbebauung muss die steigenden Flächeninanspruchnahme verringert werden, um den Verlust von Biodiversität zu vermeiden. Entwaldung: Die Bauwirtschaft wird als nicht vulnerabel in Bezug auf diesen Megatrend bewertet.
Indirekte Wirkungen durch ökologische Megatrends	marktlich steigende Nachfrage nach Klimageräten oder Anstieg von Aufträgen in der Gebäudesanierung, die ggf. bedingt durch steigende Energiepreise ein Umdenken im Wärmeverbrauch mit sich bringen mögliche Preissteigerung bei Rohstoffimporten, z.B. Bauxit regulatorisch Besteuerung von Baustoffen (Primärbaustoffsteuer) fördert ökologisches Bauen, reduziert die Primärbaustoffinanspruchnahme, erhöht den Einsatz von Alternativen, wie z.B. Recycling und vermindert die Diskriminierung von qualitativ gleichwertigen Recycling-Baustoffen (UBA 2019) Das regulatorische Eingreifen in Waldumwandlung zu Bauland kann sich hemmend auf die Bauwirtschaft auswirken.
Chancen und Risiken durch sozioökonomische Megatrends	Der (mögliche) Bevölkerungsanstieg wird dazu beitragen, dass mehr Wohnraum benötigt wird. Damit ist einerseits ein wirtschaftliches Wachstum des Sektors verbunden, andererseits stehen dem gegenüber auch ein Anstieg der Strom- und Wärmenachfrage sowie ein steigender Ressourcenbedarf. Dies betrifft die ökologischen Hotspots Ressourceninanspruchnahme und Ausstoß von Treibhausgasemissionen.
Alternative (nachhaltige) Geschäftsmodelle	Bauen mit Holz aus nachhaltiger Forstwirtschaft, auch im Hochbau, Wiederverwendung von Bauteilen Recycling von Baustoffen wie z. B. Beton und Gips Einsatz von Abfall- und Reststoffen zur Herstellung von grünem Stahl (zur Reduktion des Einsatzes von Koks)

Branche	Bauwirtschaft
	Substitution Zement: Aus Nebenprodukten wie Schlacke aus der Stahlproduktion oder Flugasche aus Kohlefeuerungen, lassen sich zementähnliche Materialien herstellen (Kretschmer 2019). Substitution fossiler Brennstoffe Schrottbasierte Elektrostahlerzeugung: Anstelle von Roheisen (z. B. Eisenschwamm) kann für die Herstellung bestimmter Stahlprodukte ausschließlich Stahlschrott in einem Elektrolichtbogenofen eingeschmolzen werden (dena 2019).
Art des Strukturwandels	Ressourcenbezogener Strukturwandel
Fazit	Die Bauwirtschaft steht in Bezug auf die Emission von Treibhausgasen sowie die Inanspruchnahme von Ressourcen vor einem Strukturwandel. Es wird erwartet, dass die Branche damit insgesamt und im Vergleich mit anderen Branchen vor einem moderaten Strukturwandel steht.

4.2 Fahrzeugbau

Branche	Fahrzeugbau
Kurzbeschreibung	Die Branche beinhaltet neben dem Bau von Automobilen auch den Bau von Schienen- und Luftfahrzeugen. Die Wertschöpfungskette des Fahrzeugbaus zeichnet sich durch einen breiten Branchenmix in der Lieferkette aus, zu dem vor allem die Metallverarbeitung, die Kunststoff- und die Elektronikindustrie sowie der Maschinenbau zählen (Nill et al. 2017). Daher ist die statistische Abgrenzung ebenfalls sehr breit. Gemäß der Klassifikation der Wirtschaftszweige zählen direkt zur Branche WZ 29 (Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen) und WZ 30 (Sonstiger Fahrzeugbau). Die Analyse der Hotspots fokussiert auf den Bau von Automobilen.
Ökonomische Kerndaten	Die Bruttowertschöpfung belief sich auf einen Anteil von ca. 5 % in 2017 (138 Mrd. Euro) (Stat. Bundesamt 2020). 833.000 Erwerbstätige waren in 2019 in der Branche direkt beschäftigt (Stat. Bundesamt 2021). Dies entspricht einem Anteil von etwa 2 % an der gesamtdeutschen Beschäftigung. Die Bruttoanlageinvestitionen (16,4 Mrd. €) lagen in der Branche 2015 bei 3,3 % der gewerblichen Wirtschaft (BMW I 2016). Die Handelsintensität des Fahrzeugbaus lag 2016 bei einem Wert von 0,94, also leicht über dem Durchschnitt des produzierenden Gewerbes. Dies zeigt eine etwas überdurchschnittliche Verflechtung mit dem Ausland und eine hohe Sensitivität gegenüber dem internationalen Wettbewerb und dem weltwirtschaftlichen Umfeld.
Ökologische Hotspots	THG-Emissionen: Die Emission von Treibhausgasen wird als relevanter Hotspot bewertet. Ca. 70 % der produktionsbedingten THG-Emissionen bei konventionellen Pkw (mit Verbrennungsmotor) (Helms et al. 2019) entstehen auf den vorgelagerten Wertschöpfungsstufen, also bei der Produktion von Vorprodukten. Die THG-Emissionen aus der Vorkette sind wiederum dominiert vom Strombezug für die Verarbeitung und Herstellung der verbauten Metalle. Während der Nutzungsphase der Fahrzeuge entsteht (im Vergleich mit Herstellung und Lebensende) aufgrund der Nutzung von konventionellen Kraftstoffen etwa das Dreifache an THG-Emissionen (Nill et al. 2017, Helms et al. 2019). Im Fall der zukünftig voraussichtlich an Bedeutung deutlich zunehmenden elektrisch angetriebenen Fahrzeuge ist

Branche	Fahrzeugbau
	aufgrund der energieaufwendigen Batterieherstellung heute zunächst von einer etwa doppelten Menge an THG-Emissionen aus der Herstellungsphase auszugehen. Dahingegen reduzieren sich die Emissionen in der Nutzungsphase der Elektrofahrzeuge deutlich (Helms et al. 2019). Mit zunehmender Dekarbonisierung der Energie im Produktionsprozess sinken auch hier die Emissionen. Luftschadstoffe: Die Emission von Luftschadstoffen wird als relevanter Hotspot bewertet. Die Schadstoffemissionen auf der Stufe des Fahrzeugbaus sowie bei der Rohstoffgewinnung sind vergleichsweise gering. Mehr als die Hälfte des Schadstoffausstoßes bezieht sich auf die Herstellung der Vorprodukte und ca. ein Drittel auf die Transportkette. Schadstoffrelevant ist jedoch insbesondere die Nutzungsphase von Fahrzeugen. Diese sind die überwiegende Ursache für gesundheitsgefährdende innerstädtische Luftqualitätsprobleme. Ein Drittel der NO_x-Emissionen in den vorgelagerten Wertschöpfungsstufen sind auf die Transportketten zurückzuführen. Je ein Fünftel wird durch metallverarbeitende Prozesse sowie den Stromverbrauch bei Vor/-Lieferanten verursacht (Nill et al. 2017). Rohstoffinanspruchnahme: Die Rohstoffinanspruchnahme wird als relevanter Hotspot bewertet. Die Branche hat einen hohen Verbrauch an Rohstoffen, z.B. zur Metallherstellung. Bei der Herstellung von Elektrofahrzeugen kommt als zusätzlicher Hotspot die Bereitstellung teils kritisch zu bewertenden Metallen und seltener Erden für die Batterie- und Elektromotorherstellung hinzu. Hier bestehen jedoch, anders als beim Verbrauch fossiler Rohstoffe in der Nutzungsphase konventioneller Fahrzeuge, Möglichkeiten, Materialien nach zu nutzen und zu recyceln. In der Nutzungsphase werden derzeit noch überwiegend fossile Brennstoffe eingesetzt. Der Wechsel zu Biokraftstoffen ist jedoch auch mit möglichen ökologischen Belastungen verbunden. Die Nutzung von Abfällen und Reststoffen als Substrat für fortschrittliche, nachhaltige Biokraftstoffe reduziert die Inanspruchnahme von fossilen Ressourcen. Der mit der Nutzungsphase elektrischer Fahrzeuge verbundene Rohstoffeinsatz hängt wesentlich vom eingesetzten Strommix, aber auch vom Rohstoffbedarf für die Herstellung der Batterie ab. Flächenverbrauch/Landnutzung: Der Flächenverbrauch wird als relevanter Hotspot bewertet. Dies betrifft die Produktionsphase (z.B. kann bei der Rohstoffgewinnung im Hinblick auf Biokraftstoffe Flächenkonkurrenz bei der Herstellung von nachhaltigen Kraftstoffen entstehen), die Nutzungsphase, aber auch die Flächeninanspruchnahme durch das wachsende Straßenverkehrsaufkommen ist ein wesentlicher Treiber, da hier mit Umwandlung von unbebauten in Verkehrs- und auch Siedlungs- und Gewerbeflächen zu rechnen ist. Wasserverbrauch/Gewässerbelastung: Der Wasserverbrauch wird als moderat relevanter Hotspot bewertet. Der Verbrauch verteilt sich gleichmäßig auf die gesamte Wertschöpfungskette. Den höchsten Anteil am Wasserverbrauch hat der Fahrzeugbau an den eigenen Standorten (knapp 40 %). Etwa ein Fünftel des Verbrauchs entfallen jeweils auf die Stufen der direkten Lieferanten, der Vorstufe sowie der Rohstoffgewinnung. Der Wasserverbrauch von der Rohstoffgewinnung bis zum eigenen Standort summiert sich auf 4,1 Liter pro EUR Umsatz (Nill et al. 2017). Ein großer Wasserverbrauch tritt in den Produktionsketten konventioneller Biokraftstoffe beim Biomasseanbau auf, insbesondere wenn bewässert wird. Hier kann es durch den Einsatz von fortschrittlichen Biokraftstoffen zu einer Entlastung

Branche	Fahrzeugbau
	kommen. Ein weiterer Aspekt ist die Gewässerbelastung in Folge von fossiler Kraftstoffgewinnung (z.B. durch ungewolltes Eintreten von Öl in die Gewässer). Sonstiges: In Zuge der Nutzungsphase der Fahrzeuge wird Lärm erzeugt, was ebenfalls als relevanter Hotspot bewertet wird.
Hotspots bezogen auf die Wertschöpfungskette	Produktion von Vorprodukten, aber auch in der Fertigung selbst, insbesondere die metallverarbeitende Industrie (Output: THG-Emissionen, Luftschadstoffe) Flächeninanspruchnahme bei der Rohstoffgewinnung für Biokraftstoffe (Output: Ressourcenverbrauch, Biodiversitätsverlust) Herstellung von Batterien für Elektrofahrzeuge (Output: Rohstoffverbrauch) Hoher Ausstoß von THG-Emissionen in der Nutzungsphase (Output: THG-Emissionen, Luftschadstoffe)
Betroffenheit von ökologischen Megatrends	Klimawandel: Die Branche wird als nicht direkt vulnerabel in Bezug auf den Megatrend bewertet (siehe aber indirekte Wirkung nächste Kategorie). Ressourcenknappheit: Die Branche wird als sehr vulnerabel in Bezug auf den Megatrend bewertet. Dies liegt an der steigenden Nachfrage nach Ressourcen für die Vorproduktion (z.B. Glas, Metalle etc.) sowie für die in der Nutzungsphase benötigten Kraftstoffe. Durch den Umstieg auf Elektromobilität kommt es einerseits zu neuen Rohstoffabhängigkeiten in der Fahrzeugproduktion (v. a. bei der Batterieherstellung). Andererseits wird die Abhängigkeit von fossilen Rohstoffen in der Nutzungsphase reduziert. Bei der Herstellung von Elektrofahrzeugen bestehen, anders als beim Verbrauch fossiler Rohstoffe in der Nutzungsphase konventioneller Fahrzeuge, Möglichkeiten, Materialien nach zu nutzen und zu recyceln. Süßwassermangel: Der Fahrzeugbau wird als nicht vulnerabel in Bezug auf diesen Megatrend bewertet. Biodiversitätsverlust: Der Fahrzeugbau wird als nicht vulnerabel in Bezug auf diesen Megatrend bewertet Entwaldung: Der Fahrzeugbau wird als nicht vulnerabel in Bezug auf diesen Megatrend bewertet
Indirekte Wirkungen durch ökologische Megatrends	Marktlich Verknappung der Rohstoffverfügbarkeit durch starke Nachfrage vieler anderer Sektoren Regulatorisch Maßnahmen zur Begrenzung der THG- und Luftschadstoff-Emissionen im Verkehr setzen die Branche unter Druck.
Chancen und Risiken durch sozioökonomische Megatrends	Die Globalisierung und die Digitalisierung sind die wesentlichen ökonomischen Treiber für die Branche. Neben den Chancen der Entwicklung neuer Antriebstechnologien dürfen die Entwicklungsperspektiven der Zuliefererunternehmen nicht aus dem Blick geraten. Dies entscheidet über die Zukunftsperspektiven der deutschen Automobilindustrie. Dazu gehört z.B. die Fachkräftesicherung. Die Automobilbranche, deren Produktion aufgrund der Vielzahl an benötigten Komponenten und Kompetenzen von einer großen Komplexität gekennzeichnet ist, kann von der Digitalisierung profitieren. Bauer et al. (2018) gehen davon aus, dass der Anteil, der im Zuge der Globalisierung in Billiglohnländer ausgelagerten Produktionsprozesse durch die Einführung von Industrie 4.0 reduziert werden kann. Innovationszyklen und die Entwicklung von Produkten werden dadurch beschleunigt; Produktivitätssteigerungen werden erreicht. Im Fahrzeugbau lässt sich die Digitalisierung nicht nur in der Produktion,

Branche	Fahrzeugbau
	sondern auch direkt im Produkt anwenden: Bei der Montage von Chassis - und Antriebsstrangkomponenten kann man beispielsweise anhand eingebauter Sensorik die Drehmomente, die Vibration und Temperaturen von montierten Lagern messen, um wichtige Informationen über den Zustand und die Nutzung vom Lager zu erfassen. Das digitalisierte Produkt kommt allerdings nur zur Geltung, wenn die erfassten Daten in geeigneter Form interpretiert werden (Bauer et al. 2018). Hier zeigt sich auch die Notwendigkeit der Qualifizierung von Beschäftigten im Hinblick auf die Nutzung von neuen Technologien und computergestützten Systemen, damit die ökonomischen Chancen sozial gerechter verteilt werden. Ein weiteres Risiko wird im Zuge neuer digitaler Mobilitätsangebote erwartet. Dies bezieht sich u.a. auf die Schaffung prekärer Beschäftigung, erhöhter Bedarf an Ressourcen, steigendes Aufkommen an Elektroschrott. (Eine detaillierte Analyse wird im Fallbeispiel im Arbeitspaket 2 dieses Forschungsvorhabens vorgenommen und im entsprechenden Teilbericht dargestellt.)
Alternative (nachhaltige) Geschäftsmodelle	E-Mobilität (alternative Antriebsformen) Car-Sharing (neue Mobilitätskonzepte) Ride Hailing (bedarfsgesteuerte Personenbeförderung via App, allerdings ohne Fahrgastkopplung) Ride Sharing (bedarfsgesteuerte Personenbeförderung mit Fahrgastkopplung)
Art des Strukturwandels	(Primär) Produktbezogener Strukturwandel
Fazit	Insgesamt ist die Automobilbranche für die deutsche Wirtschaft eine bedeutende Branche, die nicht nur zur Bruttowertschöpfung sondern auch zu einem erheblichen Teil der Exportüberschüsse beiträgt (Meißner 2013). Das Besondere an der Branche ist auch, dass es eine regionale Ballung der Produktionsstätten gibt, wodurch der Einfluss des Strukturwandels, mögliche Beschäftigungsrückgänge, regional betrachtet werden müssen. Der Strukturwandel in dieser Branche hat großen Einfluss auf die Beschäftigten, vor allem diejenigen Fachkräfte, die ausschließlich für Verbrennungsmotoren gebraucht werden. Bauer et al. (2018) kommen zu dem Ergebnis, dass in Deutschland durch Elektrifizierung und Produktivität rund 75.000 Arbeitsplätze in der Antriebstechnik wegfallen könnten. Darin ist schon eingerechnet, dass rund 25.000 neue Stellen für Komponenten wie Batterien oder Leistungselektronik entstehen werden. Es wird erwartet, dass die Branche vor einem sehr starken Strukturwandel steht.

4.3 Maschinenbau

Branche	Maschinenbau
Kurzbeschreibung	Der Maschinen- und Anlagenbau (WZ 28) gilt als Kern der deutschen Investitionsgüterindustrie und ist volkswirtschaftlich sowie beschäftigungspolitisch überaus bedeutsam. Die Branche setzt sich zusammen aus der Herstellung von nicht wirtschaftszweigspezifischen Maschinen (WZ 28.1), der Herstellung von sonstigen nicht wirtschaftszweigspezifischen Maschinen (WZ 28.2), der Herstellung von land- und forstwirtschaftlichen Maschinen (WZ 28.3), der Herstellung von Werkzeugmaschinen (WZ 28.4) sowie der Herstellung von Maschinen für sonstige bestimmte Wirtschaftszweige (WZ 28.5) (Stat. Bundesamt 2007). Die Teilbranche „Werkzeugmaschinen“ für Metallverarbeitung ist dabei von besonderer Bedeutung. Wichtigste

Branche	Maschinenbau
Ökonomische Kerndaten	Abnehmerbranche mit einem Anteil von fast 50 % ist die Automobilindustrie (Hersteller und Zulieferer), gefolgt von den anderen Teilbranchen des Maschinenbaus. Die Branche hatte in 2018 einen Umsatz von 232 Mrd. Euro, wovon 60 % exportrelevant waren. In Deutschland sind damit ca. 600.000 Arbeitsplätze direkt vom Export abhängig (VDMA 2019). In den rund 6.500 Unternehmen arbeiten über eine Million Beschäftigte. Im Jahr 2018 gab es einen Anstieg der Beschäftigung um 3,2 % (VDMA 2019). Die Bruttowertschöpfung lag bei 95 Mrd. Euro. Dies ist ein Anteil von 3% an der gesamten Bruttowertschöpfung in Deutschland (Stat. Bundesamt 2018 e). Die Branche tätigte in 2018 Investitionen in Höhe von 7,4 Mrd. Euro (VDMA 2019). Die Handelsintensität liegt 2016 bei einem Wert von 1,01, also leicht über dem Durchschnitt des produzierenden Gewerbes. Dies zeigt eine etwas überdurchschnittliche Verflechtung mit dem Ausland und eine hohe Sensitivität gegenüber dem internationalen Wettbewerb und dem weltwirtschaftlichen Umfeld.
Ökologische Hotspots	THG-Emissionen: Die Emission von Treibhausgasen wird als relevanter Hotspot bewertet. Der Ausstoß an THG-Emissionen ist überwiegend auf die energieintensive Herstellung der Vorprodukte zurückzuführen. Ursächlich dafür sind die Prozessemissionen der Metallverarbeitung, auf die insgesamt ein Drittel der THG-Emissionen in der Lieferkette abfallen. Die Emissionen, die durch den Stromverbrauch in der Produktion, beim Lieferanten sowie im Maschinenbauunternehmen selbst entstehen, machen ebenfalls ein Drittel aus (Nill et al. 2017). Ein Großteil der Emissionen entsteht bei der Rohstoffgewinnung bzw. der Herstellung der Vorprodukte wie Metall oder Aluminium. Luftschadstoffe: Die Emission von Luftschadstoffen wird als moderat relevant bewertet. Der Ausstoß von Schadstoffemissionen (NOx) geschieht überwiegend in der Transportkette und bei den metallverarbeitenden Betrieben. Die Umweltwirkung ist jedoch im Vergleich zur Größe der Branche relativ gering (Nill et al. 2017). Rohstoffinanspruchnahme: Die Ressourceninanspruchnahme wird als moderat relevanter Hotspot bewertet. Dies bezieht sich überwiegend auf die ressourcenintensive Herstellung der Vorprodukte (Metalle), aber vergleichsweise geringe Umweltwirkung im Hinblick auf Ressourceninanspruchnahme entlang der weiteren Wertschöpfungskette. Flächenverbrauch/Landnutzung: Der Flächenverbrauch wird als moderat relevant bewertet. Dies bezieht sich vor allem auf den Bereich der Rohstoffgewinnung, durch z.B. Abbau von Bauxit (Risiko der Waldrodung, v.a. Regenwald). Wasserverbrauch/Gewässerbelastung: Der Wasserverbrauch wird als moderat relevanter Hotspot bewertet. Der Wasserverbrauch ist in den Unternehmen am höchsten (Nill et al. 2017). Problematisch ist die Wasserbelastung, die durch den Anfall von giftigem Rotschlamm beim Bauxitabbau verursacht wird, was zur Verseuchung des Grundwassers führen kann.
Hotspots bezogen auf die Wertschöpfungskette	Einsatz von Energie und Rohstoffen entlang der gesamten Wertschöpfungskette (Output: THG-Emissionen und Ressourcenverbrauch)

Branche	Maschinenbau
Betroffenheit von ökologischen Megatrends	Klimawandel: Die Branche wird als moderat vulnerabel in Bezug auf diesen Megatrend bewertet. Folgen wie Extremwetterereignisse könnten den Import von Rohstoffen wie Metallen negativ beeinflussen, z.B. wenn dadurch die Infrastruktur in den Lieferländern zerstört ist. Ressourcenknappheit: Die Branche wird als moderat vulnerabel gegenüber diesem Megatrend bewertet. Dies bezieht sich auf den Rohstoffbedarf in der Vorkette, v.a. in der metallverarbeitenden Industrie. Die Abhängigkeit von Importen, da Metalle fast vollständig importiert werden, trägt zur Vulnerabilität durch diesen Megatrend bei. Süßwassermangel: Der Maschinenbau wird als nicht vulnerabel in Bezug auf diesen Megatrend bewertet. Biodiversitätsverlust: Der Maschinenbau wird als nicht vulnerabel in Bezug auf diesen Megatrend bewertet Entwaldung: Der Maschinenbau wird als nicht vulnerabel in Bezug auf diesen Megatrend bewertet
Indirekte Wirkungen durch ökologische Megatrends	Marktlich Abhängigkeit von Importen insbesondere bei Metallen, dadurch auch Zerstörung der Umwelt durch den Abbau der Rohstoffe sowie den Bau von Infrastruktur in den entsprechenden Gebieten möglich. Energieintensive Vorproduktion könnte durch den Anstieg der Energiepreise negativ betroffen sein. Die Einsparung von Treibhausgasen steigert den Bedarf an energieeffizienten Technologien und dies in vielen Wirtschaftssektoren. Der Maschinenbau profitiert daher auch von diesem Megatrend. Regulatorisch Maßnahmen gegen Klimawandel und Ressourcenknappheit können die Nachfrage nach Umwelttechnik steigern, z.B. neue Heiztechnologien steigern.
Chancen und Risiken durch sozioökonomische Megatrends	Der Megatrend Digitalisierung kann dazu beitragen, die Ressourcen- und Energieeffizienz zu steigern, den Anteil erneuerbarer Energien zu erhöhen und Anpassungstechnologien für klimafreundliche Produkte in anderen Wirtschaftssektoren zu produzieren. Der Querschnittscharakter der Branche begünstigt die Entwicklung von Umwelttechnik und Umweltschutztechnologien genauso wie von Produktinnovationen (Grömling und Haß 2009). Der Maschinenbau liefert z.B. Innovationen aus der Mess- und Regelungstechnik sowie Automatisierungsverfahren, die in der Landwirtschaft Abläufe auf dem Acker oder im Stall optimieren helfen und damit zur Nachhaltigkeit beitragen. Weitere Beispiele für Digitalisierung und die Rolle des Maschinenbaus sind z.B. die Herstellung von Investitionsgütern im Kraftwerksbau, Heizungsbau und für die Wassertechnologie (Grömling und Haß 2009).
Alternative (nachhaltige) Geschäftsmodelle	Serviceangebote und neue Einsatzbereiche für vorhandene Technologien Neue Technologien für andere Sektoren (z.B. Regelungstechnik für die Landwirtschaft, Bioraffinieren, robotergestützte Lebensmittelverarbeitung)
Art des Strukturwandels	Produkt(technologischer)- und ressourcenbezogener Strukturwandel
Fazit	Die Expertise im Maschinenbau ist ein wichtiger Baustein für ressourcen- und energieeffiziente Prozesse in anderen Wirtschaftssektoren. Die technologischen Neuentwicklungen können dazu beitragen,

Branche	Maschinenbau
	Der Maschinenbau ist eine Branche, die über viele Quervernetzungen in unterschiedlichste Wirtschaftssektoren verfügt und mit Blick auf die eingesetzten technischen Geräte viele unterschiedliche Anforderungen derzeit und auch zukünftig zu bewältigen hat. Es wird erwartet, dass die Branche vor einem moderaten Strukturwandel steht.

4.4 Energiewirtschaft

Branche	Energiewirtschaft
Kurzbeschreibung	Kerngeschäft der Energiewirtschaft (WZ 35) ist die Erzeugung und der Handel von Strom und Wärme. Dazu kommt der Netzbetrieb und damit die Energieverteilung. Zur Energieversorgung gehören die Elektrizitätsversorgung (WZ 35.1), die Gasversorgung (WZ 35.2) und die Wärme- und Kälteversorgung (WZ 35.3) (Stat. Bundesamt 2007).
Ökonomische Kerndaten	Im Jahr 2017 erwirtschaftet die Energiewirtschaftsbranche (ohne Kohlebergbau, Gewinnung von Erdöl und Kokerei) einen Umsatz von knapp 500 Mio. Euro. 230.000 Menschen waren im selben Jahr in der Branche beschäftigt (Stat. Bundesamt 2019 c). 20 % davon entfallen auf die Gaswirtschaft. Die Bruttowertschöpfung belief sich in 2015 auf 45 Mrd. Euro. Dies ist ein Anteil von 2 % an der gesamten Bruttowertschöpfung (Stat. Bundesamt 2018 e). Die Branche wird von einigen großen Unternehmen dominiert (Uniper SE, E.ON, ENBW, Innogy SE und RWE). Daneben gibt es eine große Zahl kleinerer Unternehmen. Die großen Versorger verlieren zunehmend Marktanteile, was sich neben der gesetzlichen Forderung nach mehr Wettbewerb auch durch die steigende Förderung und Nachfrage nach Ökostrom und erneuerbaren Energien erklären lässt. Auch der Trend zur eigenen Energieerzeugung bei den Endverbrauchern trägt dazu bei (Bontrup und Marquardt 2015). Die Handelsintensität kann hier nur als Durchschnitt über die Branchen Energie- und Wasserversorgung sowie Entsorgung (Abschnitte D-E in der Produktionsstatistik) angegeben werden. 2016 liegt der Wert bei 0,11 und damit deutlich unter dem Durchschnitt des Produzierenden Gewerbes. Hält man sich den internationalen Handel mit Energie vor Augen und vergleicht dies mit der Art der Handelsbeziehung bei Wasserversorgung und Entsorgung, ist zu vermuten, dass der Wert für die Energieversorgung allein höher ausfallen dürfte. Eine branchenscharfe Analyse war jedoch im Rahmen dieses Projekts nicht möglich.
Ökologische Hotspots	THG-Emissionen: Die Emission von Treibhausgasen wird als relevanter Hotspot bewertet. Die Energiewirtschaft ist der Hauptverursacher von THG-Emissionen in Deutschland. Etwa die Hälfte der energiebedingten THG-Emissionen entfällt auf die Energiewirtschaft. CO₂ hat mit 98 % den größten Anteil (UBA 2019 e). Die CO₂-Emissionen der Kraftwerke der Energiewirtschaft werden dominiert durch Braunkohlenkraftwerke (53 % im Jahr 2016) und Steinkohlenkraftwerke (32 %). Zusammen verursachen die Kohlekraftwerke 85 % der gesamten Emissionen in den Kraftwerken der Energiewirtschaft (Öko-Institut 2018 a, Icha et al. 2018). Luftschadstoffe: Die Emission von Luftschadstoffen (v.a. Stickoxide, Schwefel) wird als moderat relevant bewertet. Diese Schadstoffe entstehen vor allem bei der Kohleförderung und der Verbrennung selbst. Es gab eine starke Minderung der Luftschadstoffe in den letzten Jahren. Dies ist vor allem auf den Anstieg der Erneuerbaren Energien sowie durch den Neubau effizienter Gaskraftwerke anstelle von emissionsintensiven Braunkohlenkraftwerken zurückzuführen. Durch

Branche	Energiewirtschaft
	die Regelungen zum Kohleausstieg ist mittelfristig eine weitere Reduktion der Luftschadstoffemissionen zu erwarten. Den größten Anteil am Rückgang verzeichnet Schwefeldioxid (ca. 95 %). An den gesamten energiebedingten Emissionen klassischer Luftschadstoffe besitzt Schwefeldioxid allerdings nur einen relativ geringen Anteil (UBA 2019 e). Rohstoffinanspruchnahme: Die Ressourceninanspruchnahme wird als relevanter Hotspot bewertet. Dies bezieht sich auf die Inanspruchnahme von fossilen Rohstoffen, insbesondere Kohle, Erdöl und Erdgas. Erdöl war in 2018 mit einem Anteil von knapp 35 % am Primärenergieverbrauch der wichtigste Energieträger (AGEB 2018). Der Anstieg der Energienachfragen macht einen zukünftigen ressourceneffizienten Umgang mit Rohstoffen unerlässlich. Energie muss effizienter genutzt, zuverlässig gespeichert und erneuerbare Energien weiter erschlossen werden (BGR 2018). Neben den fossilen Ressourcen ist auch ein Anstieg der Nachfrage nach Biomasse für die energetische Nutzung ein Risiko, welches den Druck auf die natürlichen Ressourcen sowie auf Boden und Biodiversität erhöhen kann. Flächenverbrauch/Landnutzung: Der Flächenverbrauch wird als moderat relevanter Hotspot bewertet. Bei der Rohstoffförderung bzw. auch beim Anbau von nachwachsenden Rohstoffen für die nachhaltige energetische Nutzung, können sowohl direkte als auch indirekte Landnutzungseffekte entstehen. Die Nachfrage des Energiesektors nach Alternativen zu fossilen Brennstoffen führt zu einem wachsenden Druck auf die landwirtschaftliche Nutzfläche und hier insbesondere in Bezug auf den Anbau von Energiepflanzen. Durch die Nutzung von Bioenergiepflanzen entstehen Verdrängungseffekte und es können auch hohe THG-Emissionen aus indirekter Landnutzung damit verbunden sein (UBA 2012). Wasserverbrauch/Gewässerbelastung: Der Wasserverbrauch wird als moderat relevanter Hotspot bewertet. Belastungen können durch die Abwärme / Kühlung bei Kohle- und Kernkraftwerken entstehen, was wiederum zur Erwärmung von Flüssen führen kann. In den Kraftwerken dient Wasser unter anderem zum Kühlen. „Ein 500-Megawatt-Kraftwerk kann alle drei Minuten eine Wassermenge verbrauchen, die ein Olympia-Schwimmbecken füllt – rund 2,5 Millionen Liter.“ (Greenpeace 2016). „Auf den Asche-Deponien wird Wasser eingesetzt, um den gesundheitsschädlichen Staub zu binden“ (Greenpeace 2016). Des Weiteren entstehen Belastungen der Gewässer durch den Braunkohletagebau. Der Kohleausstieg wird die Belastungen deutlich reduzieren (Greenpeace 2016). Sonstiges: -
Hotspots bezogen auf die Wert-schöpfungskette	Rohstoffnutzung bei der Energieproduktion (sowohl fossile als auch nachwachsenden Rohstoffe) (Output: THG-Emissionen, Ressourcenverbrauch)
Betroffenheit von ökologischen Megatrends	Klimawandel: Die Branche wird als sehr vulnerabel in Bezug auf den Megatrend bewertet. „Ein fortdauernder Temperaturanstieg, immer häufigere und schwerere Extremwetterereignisse sowie veränderte Niederschlagsmuster werden Auswirkungen auf Energiegewinnung und -versorgung haben, auf den Nachschub an fossilen Brennstoffen, den Betrieb von thermischen und Wasserkraftwerken, auf Übertragungsleitungen.“ (Weltenergieerat et al. 2014) Der Klimawandel bedroht die Anlagen und Infrastrukturen der Energieerzeugung und -verteilung. Es wird erwartet, dass die Öl- und Gasindustrie wahrscheinlich unter mehr Betriebsstörungen und -unterbrechungen infolge von Extremwetterereignissen leiden, sowohl an Land als auch auf See. Kraftwerke,

Branche	Energiewirtschaft
	insbesondere jene in Küstennähe, werden Extremwetterereignisse und den Meeresspiegelanstieg zu spüren bekommen. Öl- und Gaspipelines in Küstennähe sind durch den Ozeananstieg gefährdet, jene in kalten Gegenden durch tauende Permafrostböden. Stürme bedrohen die Stromnetze. Grundsätzlich kann sich der Energiesektor zwar dem Klimawandel anpassen, muss dabei aber mit zusätzlichen Investitionen rechnen (Weltenergieat et al. 2014). Ressourcenknappheit: Die Branche wird als sehr vulnerabel in Bezug auf den Megatrend bewertet. Ressourcenknappheit kann zu einer starken Beeinträchtigung der Energieversorgung führen. Süßwassermangel: Die Branche wird als nicht vulnerabel in Bezug auf diesen Megatrend bewertet. Biodiversitätsverlust: Die Branche wird als moderat vulnerabel in Bezug auf diesen Megatrend bewertet. Der Ab- und Anbau von Rohstoffen für die Energieerzeugungen kann mit negativen Auswirkungen auf die Umwelt verbunden sein, z.B. ist bei einer steigenden Nutzung von biogenen Ressourcen zu erwarten, dass dies zu einer geringen bis hohen Belastung der biologischen Vielfalt führen kann. Auch in Importländern ist mit entsprechenden Umweltbelastungen zu rechnen (Hennenberg et al. 2017). Entwaldung: Die Branche wird als nicht vulnerabel in Bezug auf diesen Megatrend bewertet.
Indirekte Wirkungen durch ökologische Megatrends	Marktlich Die Volatilität der Rohstoffpreise ist in den letzten Jahren vor allem auf die Problematik möglicher Rohstoffknappheit (verstärkt durch geopolitische Auseinandersetzungen und Unsicherheiten) zurückzuführen. Das bezieht sich v.a. auf Öl und Gaslieferungen (PWC 2017 a). Regulatorisch Internationale Vereinbarungen oder auch nationale Sektorziele (Reduktion der THG-Emissionen um 38%) zu CO₂-Emissionen führen zu Anpassungsbedarf bei der Energieerzeugung und damit zum Ausbau der Erneuerbaren Energien oder dem Bau von emissionsarmen Kraftwerken. Hier bestehen auch große Anreize, um neue Energietechnologien am Markt zu etablieren.
Chancen und Risiken durch sozioökonomische Megatrends	Bevölkerungswachstum, Anstieg der Energienachfrage und die Digitalisierung sind wesentliche Megatrends, die die Zukunft der Energiewirtschaft beeinflussen. Die Zunahme von Wohlstand forciert ebenfalls die steigende Nachfrage nach Energie, wodurch das Risiko von Versorgungsunsicherheiten (globale Sicht) steigt und der Druck auf die Ressourcen zunimmt. Damit einher geht ein Anstieg der Preise, der sich auch für die Endverbrauchenden bemerkbar macht. Das Thema Energiearmut wird mittelfristig einen wesentlichen Stellenwert in der Politik bekommen (Öko-Institut 2018). Der BDEW (2015) definiert die Digitalisierung der Energiewirtschaft als Vernetzung von Anwendungen, Geschäftsprozessen und Geräten auf Basis von Internettechnologien unter Verwendung von Sensoren und selbststeuernden Geräten. Roth (2018) nennt beispielhaft den Rollout von Sensoren und Kameras in den Kraftwerken, der eine Fernsteuerung und vorausschauende Wartung der Anlagen (Predictive Maintenance) ermöglicht. Daneben werden Betriebsabläufe, Pläne und Arbeitsprozesse zunehmend digitalisiert. Beispiele hierfür sind die digitale Dokumentation und die Einführung von Workforce-Managementsystemen. Ähnliche Entwicklungen sind im Bereich der Netze erkennbar. Der Ausbau der Netze hin zu einem Smart Grid erlaubt eine optimierte Steuerung der Netze ebenso wie eine vorrausschauende Wartung.

Branche	Energiewirtschaft
	Bezüglich der Folgen der Digitalisierung beschreibt Roth (2018) ein hohes Substituierungspotenzial. Überdurchschnittlich stark betroffen sind Fachkräfte, die in der Energiewirtschaft ein Substituierbarkeitspotenzial von 62,8 Prozent aufweisen. Die Automatisierung betrifft nahezu alle Tätigkeiten: intellektuelle Prozesse wie die Abrechnung und das Kundenmanagement, Steuerungs- und Koordinationsaufgaben wie Netz- und Anlagensteuerung ebenso wie manuelle Tätigkeiten wie das Zählerablesen. Dem Substituierbarkeitspotenzial stehen jedoch auch neue Aufgaben wie der Netzausbau, zunehmende Projektarbeit, Datenanalyse, Kundenkommunikation und der Ausbau neuer Geschäftsfelder und Dienstleistungen, beispielsweise im Bereich E-Mobility und Smart Home, entgegen. Diese sind mit veränderten Qualifikationsanforderungen und damit auch Chancen verbunden (Roth 2018).
Alternative (nachhaltige) Geschäftsmodelle	Dezentrale Erzeugungstechniken (Ladeinfrastrukturen, individuelle Blockheizkraftwerke) Investition in energie- und ressourceneffiziente Erzeugungstechniken Sektorkopplung (Strom und Wärme, Mobilität und Strom) Dekarbonisierung (Reduktion fossiler Brennstoffe) Smart Grids oder smarte Infrastrukturen
Art des Strukturwandels	Ressourcenbezogener und produktionstechnologischer Strukturwandel
Fazit	Die Bedeutung der Energiewirtschaft und damit der Energieversorgung wird in den kommenden Jahren weiter zunehmen. Während die Verstromung von Kohle deutlich abnimmt, steigt die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien (Öko-Institut 2018 b). Aktuelle Szenariorechnungen zeigen, dass ein deutlich verstärkter Ausbau an v.a. Windenergieanlagen an Land sowie Photovoltaik notwendig ist, um das Minderungsziel im Sektor Energiewirtschaft zu erreichen. Die Emissionen der Energiewirtschaft werden von der Kohleverstromung dominiert, daher ist es wichtig, dass die schrittweise Reduktion der Kohleverstromung geordnet auf den Weg gebracht wird. Auch die netzgekoppelte Fernwärme ist zu dekarbonisieren, auch hier sind verstärkt erneuerbare Optionen einzubeziehen. Die Berechnungen zeigen auch, dass geringere Effizienzsteigerungen in den Nachfragesektoren zu einem verstärkten Druck auf den raschen Ausbau der erneuerbaren Energien führen. Die Dekarbonisierung der Stromversorgung erfordert daher einen Ausbau der Stromnetze, eine zusätzliche Leistungsabsicherung in Form von Speichern, Nachfrageflexibilität und den Einsatz von Gasturbinen (Öko-Institut 2018 b). Für das Erreichen der Klimaziele ist es notwendig, dass die absoluten Kohlendioxidemissionen der Stromerzeugung stark sinken. Dazu gehört vor allem der weitere Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, die Reduzierung des Stromhandelsexportüberschusses, der Umstieg auf CO₂-arme Brennstoffe und der Ausbau der Kraft-Wärmekopplung sowie die Effizienzsteigerung bei der Stromerzeugung (Icha et al. 2018). Der Weltenergieat (2014) gibt zu bedenken, dass die Investitionszyklen im Energiesektor üblicherweise 30 Jahre oder mehr betragen: Die Entscheidungen der kommenden Jahrzehnte sind daher mit ausschlaggebend für die Frage, ob die Branche zur Einhaltung des 2°-Limits beiträgt oder aber zu dessen Überschreitung (Weltenergieat 2014). Es wird erwartet, dass die Branche vor einem starken Strukturwandel steht.

4.5 Chemieindustrie

Branche	Chemieindustrie
Kurzbeschreibung	Die Chemieindustrie (WZ 20) steht mit einem Großteil ihrer Produkte am Anfang der Wertschöpfungskette. Die Chemiebranche ist daher ein bedeutender Zulieferer für viele Branchen (VCI und Prognos 2013). Zur Chemiebranche gehören die Herstellung von chemischen Grundstoffen, Düngemitteln und Stickstoffverbindungen, Kunststoffen in Primärformen und synthetischem Kautschuk in Primärformen (WZ 20.1), die Herstellung von Schädlingsbekämpfungsmitteln, Pflanzenschutz- und Desinfektionsmitteln (WZ 20.2), die Herstellung von Anstrichmitteln, Druckfarben und Kittungen (WZ 20.3), die Herstellung von Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Körperpflegemitteln sowie von Duftstoffen (WZ 20.4), die Herstellung von sonstigen chemischen Erzeugnissen (WZ 20.5) sowie die Herstellung von Chemiefaser (WZ 20.6) (Stat. Bundesamt 2007).
Ökonomische Kerndaten	Im Jahr 2016 waren mit der Herstellung chemischer Erzeugnisse in 1.645 Betrieben rund 331.000 Personen beschäftigt. Die Herstellung chemischer Grundstoffe stellt die größte Kategorie mit über 50 Prozent aller Beschäftigten dar. Die übrigen fünf Bereiche enthalten demgegenüber eine breite Palette von Spezialchemikalien, die auf der Basis chemischer Grundstoffe produziert werden. Das größte Segment innerhalb der Spezialchemikalien bilden sonstige chemische Erzeugnisse (z. B. Pyrotechnik, Klebstoffe und ätherische Öle) mit 18,8 Prozent der Beschäftigten der Chemieindustrie in Deutschland im Jahr 2016. Mit leichtem Abstand folgen Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Körperpflegemittel mit 13 Prozent sowie Anstrichmittel, Druckfarben und Kittungen mit 11,2 Prozent (Gehrke et al. 2018). Während im Jahr 2016 die Chemischen Grundstoffe über die Hälfte aller Beschäftigten stellten, fanden sich hier nicht einmal 40 Prozent der Betriebe (631 von 1.645), auf der anderen Seite wurden jedoch fast zwei Drittel des Umsatzes erzielt (86 von 136,5 Milliarden Euro). Dieser Branchenteil ist daher von großen Betrieben dominiert. Der Anteil an Kleinbetrieben ist in der Branche eher gering. Der Jahresumsatz lag bei annähernd 136,5 Milliarden Euro, wovon fast 60 Prozent im Ausland erzielt wurden. Der Umsatz ist seit 2013 rückläufig. Dies bezieht sich sowohl auf das Inland als auch auf das Ausland. Dies liegt vor allem an den gesunkenen Rohstoffpreisen, insbesondere für Mineralöl. Dadurch sind die Erzeugerpreise für Chemiewaren gesunken. Bedingt durch den Preisdruck und Qualitätswettbewerb auf dem globalen Markt, lassen sich Preiserhöhungen nur schwer durchsetzen (Gehrke et al. 2018). Die Bruttowertschöpfung lag in 2015 bei ca. 46 Mrd. Euro. Dies entspricht einem Anteil von 2 % an der gesamten Bruttowertschöpfung (Stat. Bundesamt 2018 e). Die Handelsintensität liegt 2016 bei einem Wert von 1,49, also deutlich über dem Durchschnitt des produzierenden Gewerbes. Dies zeigt eine starke Verflechtung mit dem Ausland und eine hohe Sensitivität gegenüber dem internationalen Wettbewerb und dem weltwirtschaftlichen Umfeld.
Ökologische Hotspots	THG-Emissionen: Die Emission von Treibhausgasen wird als relevanter Hotspot bewertet. Die chemische Industrie ist eine energieintensive Industrie und neben der Pharmaindustrie die einzige Industrie, bei der Kohlenstoff sowohl die Hauptbasis für die Energieversorgung als auch die stoffliche Grundlage für viele Produkte darstellt. Insgesamt hat der Sektor seine THG-Emissionen aus Energieverbrauch und Prozessen seit 1990 deutlich reduziert, jedoch hat die chemische Industrie nach wie vor einen signifikanten Anteil an den THG-

Branche	Chemieindustrie
	Emissionen in Deutschland. Im Jahre 2015 war die Grundstoffchemie mit 23 Mt CO₂ der Industriesektor mit den zweithöchsten Treibhausgas-Emissionen in Deutschland. Die Branche verursacht demnach 12% aller Industrieemissionen in Deutschland. Hinzu kommen Emissionen petrochemischer Vorprodukte (Geres et al. 2018). Der Großteil der Emissionen erfolgt am Produktionsstandort (Nill et al. 2017). Luftschadstoffe: Die Emission von Luftschadstoffen wird als moderat relevanter Hotspot bewertet. Dies bezieht sich auf den Ausstoß von Staub- und Schwermetallemissionen in die Luft. Etwa ein Drittel dieser Emissionen entfallen auf die Lieferkette (Nill et al. 2017). Rohstoffinanspruchnahme: Die Ressourceninanspruchnahme wird als relevanter Hotspot bewertet. Die Branche hat einen hohen Verbrauch an fossilen Ressourcen, z.B. zur Deckung der hohen Energienachfrage oder dem hohen Einsatz von Primärrohstoffen z.B. Erdöl. Mit einem Anteil von 87 % liegt die stoffliche Einsatzmenge fossiler Rohstoffe in der chemischen Industrie deutlich über den 13 % biogener Rohstoffe, die in der chemischen Industrie eingesetzt werden (FNR 2018). Die biogenen Rohstoffe unterteilen sich in 43 % Fette und Öle, 14 % Chemiezellstoff, 11 % Stärke, 6 % Zucker, 4 % Proteine und 21 % Sonstiges (FNR 2018). Flächenverbrauch/Landnutzung: Der Flächenverbrauch wird als moderat relevanter Hotspot bewertet. Dies bezieht sich v.a. auf eine steigende Nutzung von biogenen Ressourcen. Der Anteil biobasierter Chemieprodukte ist heute noch gering. Es wird damit gerechnet, dass dieser Anteil bis 2030 auf 18,5 % steigen wird (Gehrke et al. 2018). Bei der Nutzung von Anbaubiomasse als biogene Ressource besteht das Risiko einer steigenden Intensivierung der Flächennutzung. Hinzu kommen weitere Risiken durch neue Flächeninanspruchnahmen (z.B. Umwandlung von Grünland und Wäldern). Dies wird vor allem im Ausland erwartet, v.a. Asien und Afrika (Nill et al. 2017). Wasserverbrauch/Gewässerbelastung: Der Wasserverbrauch wird als relevanter Hotspot bewertet. Die Branche ist für rund 12 % des deutschen Abwassers zuständig (Stand 2016) (UBA 2019 c). Fast die Hälfte des Wassers in der Wertschöpfungskette wird in Deutschland verbraucht, größtenteils an den eigenen Standorten der Chemieindustrie. Ein Drittel wird in Regionen mit Wasserknappheit verbraucht, insbesondere in Asien (Nill et al. 2017). Sonstiges: Ein weiterer als relevant bewerteter Hotspot ist die Entstehung von gefährlichen Abfällen. Etwa 7,5 % der gefährlichen Abfälle entfallen auf die Branche (inkl. Pharmaindustrie) (UBA 2019 c). Das Gesamtabfallaufkommen der deutschen chemischen Industrie lag 2017 gemäß PRTR-Datenbank bei etwa 3 Mio. t/a. Davon waren ca. 1,4 Mio. t/a gefährliche Abfälle und 1,6 Mio. t/a nicht-gefährliche Abfälle (Quelle: UBA 2019 d). Der Anteil der gefährlichen Abfälle am Gesamtabfallaufkommen beträgt somit in der chemischen Industrie 46 % und ist damit im Branchenvergleich überproportional hoch. Die Gesamtverwertungsquote der gefährlichen Abfälle in der Chemie liegt bei etwa zwei Drittel. Der überwiegende Teil wird energetisch verwertet (Golla 2017).
Hotspots bezogen auf die Wertschöpfungskette	Einsatz von Rohstoffen und Energie in der Produktionsphase (Outputs: THG-Emissionen und Ressourcenverbrauch) Wassereinsatz bei der Rohstoffgewinnung sowie in der Produktionsphase (Output Wasserverbrauch)

Branche	Chemieindustrie
Betroffenheit von ökologischen Megatrends	Klimawandel: Die Branche wird als sehr vulnerabel gegenüber diesem Megatrend bewertet. Dies bezieht sich z.B. auf Produktions- und Logistikprozesse für den Erhalt des Rohstoffes Erdöl. Durch Überflutungen können Produktionsanlagen und Infrastruktur von Zulieferern zerstört werden (Küfner 2019). Ressourcenknappheit: Die Branche wird als sehr vulnerabel in Bezug auf diesen Megatrend bewertet. Ressourcen wie Boden, Wasser, fossile und mineralische Rohstoffe sowie Energie stehen nicht unbegrenzt zur Verfügung. Deutschland verfügt kaum über eigene Rohstoffquellen und muss seine mineralischen wie auch seine fossilen Rohstoffe überwiegend zu Weltmarktpreisen importieren. Des Weiteren versucht die Branche über den Einsatz von biogenen Ressourcen nachhaltiger zu werden. Allerdings sieht z.B. der Bioökonomierat (2014) einen Systemwandel hin zu einer biobasierten Wirtschaft im Chemiesektor kritisch. Sie sehen, dass aufgrund der wirtschaftlichen Stärke und der bestehenden Strukturen ein Wandel schwierig ist. Sie gehen davon aus, dass biologische Verfahren und biobasierte Rohstoffe dort zum Einsatz kommen werden, wo die Produkte sich durch verbesserte Eigenschaften im Markt differenzieren oder wirtschaftlicher herzustellen sind als mit herkömmlichen chemischen Produkten. In Bezug auf mögliche Potenziale, die die chemische Industrie nutzen kann, sehen Bioökonomierat (2014) nicht die Substitution als Ziel, sondern eher die Entwicklung von neuen biobasierten Produkten. Süßwassermangel: Die Branche wird als sehr vulnerabel in Bezug auf diesen Megatrend bewertet. Dies betrifft derzeit bereits Regionen, die von Wassermangel betroffen sind. Eine Beeinträchtigung der Wasserversorgung durch den Klimawandel kann jedoch auch in Deutschland zu Problemen für die Branche – aufgrund ihres hohen Wasserbedarfs – führen. Biodiversitätsverlust: Die Branche wird als nicht vulnerabel in Bezug auf diesen Megatrend bewertet. Entwaldung: Die Branche wird als nicht vulnerabel in Bezug auf diesen Megatrend bewertet.
Indirekte Wirkungen durch ökologische Megatrends	Marktlich Die Chemieindustrie, insbesondere die Grundstoffchemie, ist sehr energieintensiv. Die steigende Energienachfrage und die damit verbundenen steigende Energiepreisen haben Einfluss auf die Produktionskosten der Branche. Hinzu kommt das Risiko der Abhängigkeit von Rohstoffimporten, auch aus Krisengebieten (z.B. Erdöl), was wiederum einen Anstieg der Preise beinhalten könnte. Die Chemiebranche könnte jedoch vom steigenden Bedarf an Pflanzenschutz- und Düngemitteln profitieren. Des Weiteren könnte die Branche in vielen Ländern Beiträge zur Lebensmittelversorgung leisten (z.B. für die Wasseraufbereitung oder bei der Konservierung von Lebensmitteln) (Grömling und Haß 2009). Regulatorisch Verteuerung kohlenstoffbasierter Energieträger und die Erhöhung des Anteils zu erstergeordneter Emissionszertifikate könnten die Branche unter Druck setzen.
Chancen und Risiken durch sozioökonomische Megatrends	Infolge des Bevölkerungswachstums und zunehmender Industrialisierung steigt die Nachfrage nach anorganischen Grundstoffen insbesondere in Asien und Südamerika (VCI und Prognos 2013). Dies ist positiv für den Außenhandel der deutschen Chemiebranche.

Branche	Chemieindustrie
	Auch die Digitalisierung hat Einfluss auf die Branche. Dies soll v.a. auf die Steigerung der Effizienz abzielen, durch die Verbesserung operativer Prozesse, Datenerfassung zum Marktverhalten oder den Aufbau von digitalen Netzwerken. Dafür planen die Chemieunternehmen in den nächsten drei bis fünf Jahren insgesamt mehr als eine Milliarde Euro in Digitalisierungsprojekte oder neue digitale Geschäftsmodelle zu investieren. Digitalisierung wird damit ein integraler Bestandteil der Chemieindustrie (Deloitte 2017). In Folge der Globalisierung werden zunehmend nicht-fachliche Bereiche wie Verwaltung oder IT ausgelagert. Aufgrund von Transportkosten und Flexibilisierungsmöglichkeiten werden Produktions- und z. T. auch Forschungsstandorte zunehmend in verschiedenen Regionen und speziell der stark wachsenden Region Asien-Pazifik aufgebaut (Gehrke et al. 2018).
Alternative (nachhaltige) Geschäftsmodelle	Recycling von biogenem CO₂ über strombasierte Brennstoffe oder Chemikalien auf Basis von erneuerbarem Strom (PtX), wobei die Energieintensität noch wesentlich zunehmen würde Einsatz von biobasierten Grundchemikalien Modularisierung von Produktionsanlagen zur Flexibilisierung von Produktion und Wartung der Betriebssysteme Angebot von kundenspezifischeren Produkten, um höheres Differenzierungspotenzial zu haben Entwicklung von neuen Materialien für den Gebäudebau, erneuerbare Energietechnik, Biotechnologie etc.
Art des Strukturwandels	Ressourcenbezogener Strukturwandel
Fazit	Die Branche wird auch zukünftig große Bedeutung haben, nicht zuletzt, da sie der Vorlieferant für viele andere Branchen ist. VCI und Prognos (2013) gehen davon aus, dass durch die starke Verflechtung innerhalb der deutschen Industrie, mit einem Wachstum chemieintensiver Branchen zu rechnen ist. Die Integration der Chemiesparten untereinander ist dabei eine deutsche Besonderheit und wird als zentraler Wettbewerbsvorteil beschrieben. Deutschland bleibt bis 2030 eines der wenigen Länder, die sowohl eine starke Basischemie als auch eine große Spezialchemie haben (VCI und Prognos 2013). Gehrke et al. (2018) stellen fest, dass Investitionen der Branche, verursacht durch lange Entscheidungszeiträume und Bürokratie in Bezug auf Chemikalienzulassung an ausländische Standorte verlagert werden. Dies betrifft strukturell vor allem die Basischemie. Der Fokus der Chemieindustrie muss auf der Ressourceneffizienz liegen, u.a. um die Abhängigkeit von Importen und den Einsatz von fossilen Rohstoffen zu reduzieren. Eine detaillierte Analyse wird im Rahmen einer Fallstudie im Bericht zu Arbeitspaket 2 vorgenommen. Es wird erwartet, dass die Branche vor einem starken Strukturwandel steht.

4.6 Pharmaindustrie

Branche	Pharmaindustrie
Kurzbeschreibung	Die Pharmaindustrie (WZ 21) ist ein wesentlicher Baustein der Gesundheitsversorgung in Deutschland. Dazu zählen die Herstellung von pharmazeutischen Grundstoffen (WZ 21.1) sowie die Herstellung von

Branche	Pharmaindustrie
Ökonomische Kerndaten	pharmazeutischen Spezialitäten und sonstigen pharmazeutischen Erzeugnissen (WZ 21.2) (Stat. Bundesamt 2007). In Deutschland sind mit Stand 2018 364 pharmazeutische Unternehmen mit mehr als 20 Beschäftigten gemeldet (Stat. Bundesamt 2019 d). Es gibt weniger kleine Unternehmen: 44,4 % der Betriebe haben weniger als 100 Mitarbeiter, im Verarbeitenden Gewerbe sind es zum Vergleich 72 %. Über 50 % aller Beschäftigten arbeiten in Großunternehmen mit mehr als 500 Beschäftigten (Gehrke 2014). 2018 waren in der pharmazeutischen Industrie in Deutschland fast 120.000 Personen beschäftigt (Stat. Bundesamt 2019 d). Der Branchenumsatz lag bei 54 Mrd. Euro (Stand 2018). Dies entspricht 3 % des Gesamtumsatzes im verarbeitenden Gewerbe (Stat. Bundesamt 2019 d). Der Großteil der Pharmaerzeugnisse (87 %) wird mit sogenannten pharmazeutischen Spezialitäten, d. h. verbrauchsfertige Arzneimittel und Impfstoffe erwirtschaftet (VFA 2018) Die Bruttowertschöpfung belief sich in 2015 auf 23 Mrd. Euro. Dies entspricht einem Anteil von 1 % an der gesamten Bruttowertschöpfung. Bezogen auf das verarbeitende Gewerbe beläuft sich der Anteil auf 4 % (Stat. Bundesamt 2017 a, Stat. Bundesamt 2018 e). Die deutsche Pharmaindustrie ist sehr stark auf den Weltmarkt ausgerichtet: Gut zwei Drittel des Umsatzes werden im Ausland erzielt (VFA 2018). Die Pharmaindustrie ist eine forschungsintensive Branche. In 2012 arbeiteten ca. 20 % der Beschäftigten in der Forschung (VFA 2018). Im Jahr 2016 reinvestierte sie 11 % ihres Umsatzes aus eigenen Erzeugnissen in interne Projekte der Forschung und Entwicklung (F&E). Damit liegt die Pharmaindustrie vor Branchen wie dem Automobil-, Luft-/ Raumfahrzeug- und Maschinenbau sowie der chemischen Industrie. Die Handelsintensität liegt 2016 bei einem Wert von 2,27. Das ist der Spitzenreiter unter den ausgewählten Hot Spot Branchen. Der Wert liegt sehr weit über dem Durchschnitt des produzierenden Gewerbes von 0,9. Dies zeigt eine sehr ausgeprägte Verflechtung mit dem Ausland und eine sehr große Sensitivität gegenüber dem internationalen Wettbewerb und dem weltwirtschaftlichen Umfeld.
Ökologische Hotspots	THG-Emissionen: Die Emission von Treibhausgasen wird als relevanter Hotspot bewertet. Dies ist auf die energieintensive Herstellung der Produkte zurückzuführen. Kohlenstoff ist – wie auch bei der chemischen Industrie (s. Steckbrief Chemieindustrie) – sowohl die Hauptbasis für die Energieversorgung als auch die stoffliche Grundlage für viele Produkte. Ein großer Teil der Energie wird für die energieintensive Produktion von Basischemikalien benötigt. In 2018 gehen die Prognosen nach einer Reduktion der letzten Jahre wieder von einem Anstieg der Emissionen aus (BMU 2019 d). Luftschadstoffe: Die Emission von Luftschadstoffen wird als moderat relevanter Hotspot bewertet. Dies bezieht sich auf den Ausstoß von Staub- und Schwermetallemissionen in die Luft, die bei der Herstellung von Chemikalien als Rohstoff für die Arzneimittelproduktion entstehen. Die meisten Emissionen in die Luft, die in dieser Branche entstehen, stammen aus der Erzeugung und dem Verbrauch von Energie. Rohstoffinanspruchnahme: Die Ressourceninanspruchnahme wird als relevanter Hotspot bewertet. Die hohe Ressourceninanspruchnahme bezieht sich z.B. auf den Einsatz von biogenen und fossilen Primärrohstoffen sowie Wasser bei der

Branche	Pharmaindustrie
	Produktion. Die Effizienzsteigerung beim Ressourcen- und Rohstoffeinsatz spielt auch vor dem Hintergrund der Kosten für ein diesbezüglich rohstoffarmes Land wie Deutschland eine zentrale Rolle im internationalen Wettbewerb. Der spezifische Ressourcenbedarf und die Effizienz bei der Herstellung pharmazeutischer Produkte sind ein wichtiger Aspekt für die Branche (IG Metall 2015). Flächenverbrauch/Landnutzung: Der Flächenverbrauch wird als moderat relevanter Hotspot bewertet. Dies bezieht sich vor allen auf die steigende Nutzung von biogenen Ressourcen. Auch in der Pharmaindustrie soll durch die Nutzung von biogenen Ressourcen der dominierende Anteil der fossilen Rohstoffe substituiert werden (Bioökonomierat 2014). Bei der Nutzung von Anbaubiomasse als biogene Ressource besteht allerdings das Risiko einer steigenden Intensivierung der Flächennutzung. Hinzu kommen weitere Risiken durch neue Flächeninanspruchnahmen (z.B. Umwandlung von Grünland und Wäldern). Dies wird vor allem im Ausland erwartet, v.a. Asien und Afrika (Nill et al. 2017). Wasserverbrauch/Gewässerbelastung: Der Wasserverbrauch wird als relevanter Hotspot bewertet. Wasser ist ein Schlüsselbestandteil, der in der Branche in hohem Maß verwendet wird. Wasser dient z.B. als Bestandteil bei der Lösungsmittelverarbeitung, bei der Formulierung und Herstellung von pharmazeutischen Produkten sowie pharmazeutischen Wirkstoffen oder Zwischenprodukte (Gupta 2016). Neben dem Wasserverbrauch kann auch eine Wasserbelastung durch die chemischen Wirkstoffe und ihre Abbauprodukte entstehen, da diese in den Wasserkreislauf gelangen und damit das Ökosystem stören. Sonstiges: Ein weiterer als relevant bewerteter Hotspot ist die Entstehung von gefährlichen Abfällen. Etwa 7,5 % der gefährlichen Abfälle entfallen auf die Chemie-Branche inkl. Pharmaindustrie (UBA 2019 c) (s. Steckbrief Chemiebranche).
Hotspots bezogen auf die Wert-schöpfungskette	Einsatz von Rohstoffen und Energie in der Produktionsphase (Outputs: THG-Emissionen und Ressourcenverbrauch) Wassereinsatz bei der Rohstoffgewinnung sowie in der Produktionsphase (Output Wasserverbrauch)
Betroffenheit von ökologischen Megatrends	Klimawandel: Die Branche wird als moderat vulnerabel gegenüber diesem Megatrend bewertet. Dies bezieht sich z.B. auf Produktions- und Logistikprozesse für den Erhalt des Rohstoffes Erdöl (s. Steckbrief Chemieindustrie). Ressourcenknappheit: Die Branche wird als sehr vulnerabel gegenüber diesem Megatrend bewertet. Ressourcen wie Boden, Wasser, abiotische und biotische Rohstoffe stehen nicht unbegrenzt zur Verfügung (s. Steckbrief Chemieindustrie). Süßwassermangel: Die Branche wird als sehr vulnerabel gegenüber diesem Megatrend bewertet. Dies betrifft derzeit bereits Regionen, die von Wassermangel betroffen sind. Eine Beeinträchtigung der Wasserversorgung durch den Klimawandel kann jedoch auch in Deutschland zu Problemen für die Branche – aufgrund ihres hohen Wasserbedarfs – führen. Biodiversitätsverlust: Die Branche wird als moderat vulnerabel gegenüber diesem Megatrend bewertet. Durch den Verlust von Biodiversität könnten der Branche pflanzliche Wirkstoffe verloren gehen. Entwaldung: Die Branche wird als nicht vulnerabel in Bezug auf diesen Megatrend bewertet.

Branche	Pharmaindustrie
Indirekte Wirkungen durch ökologische Megatrends	Marktlich Die Branche ist energie- und ressourcenintensiv. Die steigende Nachfrage nach Rohstoffen und die damit verbundenen steigenden Preise (sowohl für Energie als auch für Primärrohstoffe) haben Einfluss auf die Produktionskosten der Branche. Hinzu kommt die Abhängigkeit von Rohstoffimporten, auch aus Krisengebieten (z.B. Erdöl), was Einfluss auf die Rohstoffe (Verfügbarkeit, Preise) haben kann. Regulatorisch Eine Verteuerung kohlenstoffbasierter Energieträger und die Erhöhung des Anteils zu ersteigernder Emissionszertifikate können für die energieintensive Branche mit steigenden Kosten verbunden sein.
Chancen und Risiken durch sozioökonomische Megatrends	Die Branche profitiert vom Megatrend Bevölkerungswachstum. Durch die steigende Lebenserwartung und ökologische Megatrends wie Klimawandel steigt der Bedarf an neuen Impfstoffen oder Medikamenten (z.B. durch die mögliche Ausbreitung von Malaria) (Grömling und Haß 2009). Aufgrund des steigenden Wohlstandes verbreiten sich auch die in den industrialisierten Ländern bekannten Zivilisationskrankheiten, wie Herz-Kreislauf-Erkrankungen oder Diabetes. Die Globalisierung erhöht die Gefahr von Pandemien. Auch hier profitiert die Branche vom wachsenden Arzneimittelbedarf (Gehrke 2014). Die Digitalisierung bezieht sich in der Branche auf „höhere Datendurchlässigkeit für eine intelligent vernetzte Produktion und Wertschöpfungskette. Die Branche hat jedoch vergleichsweise hohe rechtliche und technische Standards, die insbesondere im Bereich der IT-Sicherheit/Cybersecurity noch nicht ausreichend adressiert sind. Daher wird von einem inkrementellen Digitalisierungsprozess ausgegangen, der von dem bereits bestehenden hohen Automatisierungsgrad in der Prozessfertigung ausgeht und sich dabei von Fertigungsindustrien wie der Automobilbranche unterscheidet“ (BMW 2019 a). „Die Nutzung digitaler Anwendungen zielt dabei auf Produktivitätsgewinne für eine hochspezialisierte Branche, die in den bereits hoch-optimierten Anlagen kaum noch weitere Effizienzsteigerungen zulassen“ (BMW 2019 a). Damit einher geht der Wunsch nach einer Optimierung des Ressourceneinsatzes (BMW 2019 a). Aber die Digitalisierung der Branche soll nicht nur Effizienzoptionen nutzen, sondern soll auch den Endverbrauchenden zu Gute kommen (z.B. durch Genomsequenzen und computergestützte Wirkstoffe). Damit gehen Risiken bezüglich des Datenschutzes und des Schutzes der Persönlichkeitsrechte einher. Entsprechend müssen auch hier Maßnahmen zur Datensicherheit mitgedacht werden.
Alternative (nachhaltige) Geschäftsmodelle	3-D-Pharmazeutika⁹ Anwendung von künstlicher Intelligenz automatisierte Labore Anbieten von Apps, um Patienten an ihr Medikament zu erinnern oder die Dosierung zu überprüfen Entwicklung von Biopharmazeutika und Biosimilars¹⁰
Art des Strukturwandels	Ressourcenbezogener Strukturwandel

⁹ Hierbei handelt es sich um Arzneimittel, die mittels 3-Druck-Technologie produziert werden. Im Gegensatz zur herkömmlichen Produktionsmethode können so auch Kleinstserien oder maßgeschneiderte Medikamente, die wiederum mehrere Medikamente enthalten, hergestellt werden.

¹⁰ Hierbei handelt es sich um biotechnologisch erzeugte Produkte, d.h. generisch erzeugte Arzneimittel.

Branche	Pharmaindustrie
Fazit	Die Branche wird auch zukünftig große Bedeutung haben, nicht zuletzt, da durch das globale Bevölkerungswachstum, die steigende Lebenserwartung und den Klimawandel ein steigender Bedarf an Arzneimitteln vorhanden ist. Die Digitalisierung kann hier auch dazu beitragen, die Gesundheitskosten für die Gesellschaft zu reduzieren. Der Fokus der Pharmaindustrie muss auf der Ressourceneffizienz liegen, u.a. um die Abhängigkeit von Importen und den Einsatz von fossilen Rohstoffen zu reduzieren. Es wird erwartet, dass die Branche vor einem starken Strukturwandel steht.

4.7 Lebensmittel- und Ernährungswirtschaft

Branche	Lebensmittel- und Ernährungswirtschaft
Kurzbeschreibung	Die Lebensmittel- und Ernährungswirtschaft in Deutschland besteht zu einem überwiegenden Anteil (90%) aus kleinen und mittelständischen Unternehmen (< 250 Beschäftigte) (BVE 2019). Wichtige Teilbranchen der Ernährungsindustrie (WZ 10) sind die Fisch- und Fleischwarenindustrie (WZ 10.1), die Milchindustrie (WZ 10.5), die Süß- und Backwarenindustrie (WZ 10.7), die Herstellung von nicht-alkoholischen und alkoholischen Getränken (WZ 11) und die Verarbeitung von Obst und Gemüse (WZ 10.3) (BVE 2019, Stat. Bundesamt 2007).
Ökonomische Kerndaten	Mit einem Gesamtumsatz von rund 180 Milliarden Euro und über 600.000 Beschäftigten in über 6.100 Betrieben ist die Ernährungsindustrie der viertgrößte Industriezweig Deutschlands (BVE 2019). Die umsatzstärkste Teilbranche ist die Herstellung von Fleisch- und Fleischprodukten (23,7 Mrd. Euro) gefolgt von der Herstellung von Milchprodukten (15,1 Mrd. Euro) sowie der Herstellung von Backwaren (9,7 Mrd. Euro) (BVE 2019). Die Bruttowertschöpfung lag in 2017 bei 41 Mrd. Euro. Dies sind 1 % der Gesamtbruttowertschöpfung (Stat. Bundesamt 2020 b). Der deutsche Markt ist ein wichtiger Absatzkanal für die Branche. Der Anteil der Exporte stieg in 2018 um 6,3 Prozent auf 60,1 Milliarden Euro an. Nach der EU sind China, die USA und die Schweiz die wichtigsten Exportmärkte für verarbeitete Lebensmittel. Der Hauptabsatzkanal bleibt jedoch das Inland, hier stiegen die Umsätze um 4,1 Prozent auf 119,4 Milliarden Euro (BVE 2019). Die Handelsintensität der Lebensmittelherstellung kann hier nur als Durchschnitt über die Branchen Nahrungs- und Futtermittel, Getränke und Tabakerzeugnisse angegeben werden. 2016 liegt sie bei einem Wert von 0,67. Das ist etwas unter dem Durchschnitt des produzierenden Gewerbes und zeigt eine im Vergleich etwas geringere Sensitivität gegenüber dem internationalen Wettbewerb und dem weltwirtschaftlichen Umfeld.
Ökologische Hotspots	THG-Emissionen: Die Emission von Treibhausgasen wird als relevanter Hotspot bewertet. Dabei entstehen mehr als die Hälfte der Treibhausgasemissionen bei der Erzeugung von Rohstoffen, d.h. in der landwirtschaftlichen Produktion. Ca. 30 % fallen beim Lieferanten an. Insgesamt entstehen die Emissionen auch überwiegend in Deutschland (Nill et al. 2017). Für die Nahrungsmittelverarbeitung und -zubereitung ist ein hoher Energieaufwand notwendig, der in größerem Umfang zu den THG-Emissionen der nachgelagerten Bereiche der Landwirtschaft beiträgt als Transport, Lagerung und Handel. Für einzelne Produkte, die z.B. eine Kühlung erfordern, entstehen ebenfalls erhebliche THG-Emissionen (Osterburg et al. 2013). Insbesondere die Herstellung

Branche	Lebensmittel- und Ernährungswirtschaft
	von Fleisch- und Milchprodukten verursacht ca. ein Viertel der THG-Emissionen der Branche. Die Produktion von Getränken und sonstigen Nahrungsmitteln hat einen hohen Energieverbrauch. Dies betrifft vor allem die Zuckerindustrie. Neben der Produktion ist auch der Transport von Gütern mit THG-Emissionen verbunden. Die Höhe der Transportemissionen hängt jedoch von der Transportleistung und dem Transportmittel ab. Nach Osterburg et al. (2013) sind LKW aufgrund ihres hohen Emissionsfaktors für 93 % der transportbedingten Emissionen verantwortlich. Würden diese Transporte auf Bahn oder Binnenschiffen transportiert, würde der Anteil der Emissionen reduziert werden (Osterburg et al. 2013). Luftschadstoffe: Die Emission von Luftschadstoffen wird als relevanter Hotspot bewertet. Ein hoher Ausstoß an Luftschadstoffen entsteht in der Vorkette, d.h. beim Pflanzenanbau, einem der Rohstoffproduzenten für die Ernährungsindustrie, und bei der Tierzucht. Etwa 25 % der nationalen Schadstoffemissionen inkl. großer Teile der Emissionen der Landwirtschaft entfallen auf diese Branche (u.a. Ammoniak aus der Landwirtschaft) (WWF 2012). Rohstoffinanspruchnahme: Die Ressourceninanspruchnahme wird als moderater Hotspot bewertet. Dies bezieht sich z.B. auf den Einsatz von Düngemitteln beim Anbau (Vorkette Landwirtschaft) und damit in der Rohstoffproduktion und bei fossil betriebenen Fahrzeugen/Transport der Rohstoffe und Produkte. Ein weiterer Aspekt ist die Inanspruchnahme von Rohstoffen wie Palmöl, das immer wieder in Zusammenhang steht mit Aspekten wie Flächeninanspruchnahme durch Verlust von Regenwald, damit verbunden der Gefährdung bedrohter Tierarten sowie Konflikten über Landrechte. Palmöl ist weltweit das bedeutendste Pflanzenöl. Rund ein Drittel des weltweiten Pflanzenölbedarfs wird durch Palmöl gedeckt und es findet u.a. großen Einsatz bei der Herstellung von Lebensmitteln. Der Palmölverbrauch der Branche belief sich in 2015 auf ca. 246.000 t (BVE 2017). Das Ersetzen von Palmöl durch andere Pflanzenöle hätte allein für Deutschland die vier- bis fünffache Anbaufläche zur Folge (WWF 2016). Flächenverbrauch/Landnutzung: Der Flächenverbrauch wird als relevanter Hotspot bewertet. Die Landnutzung betrifft größtenteils die Rohstoffgewinnung (Pflanzenanbau, gefolgt von Tierproduktion). Durch die Flächennutzung für die Rohstoffproduktion können sowohl direkte als auch indirekte Landnutzungseffekte ausgelöst werden (Nill et al. 2017). Wasserverbrauch/Gewässerbelastung: Der Wasserverbrauch wird als relevanter Hotspot bewertet. Der hohe Wasserverbrauch und auch eine hohe Wasserbelastung durch den Einsatz von Pestiziden und Düngemitteln beziehen sich zu zwei Dritteln auf die Rohstofferzeugung. Der Pflanzenanbau als auch der Anbau von Futtermitteln für die Fleischproduktion sind sehr wasserintensiv (Nill et al. 2019). Für ein Kilogramm Rindfleisch beispielsweise müssen mehr als 15.000 Liter Wasser aufgebracht werden (Waterfoodprint 2019). Sonstiges: In Bezug auf die Lebensmittelbranche gibt es zwei weitere relevante Hotspots: Verpackungsabfälle und Lebensmittelabfälle. In Deutschland fielen im Jahr 2016 18,2 Millionen Tonnen an Verpackungsabfällen an. Nahrungsmittel, Getränke und Heimtierfutter machten im Jahr 2015 zu etwa 60,4 Prozent den Verpackungsverbrauch privater Endverbraucher aus (BVE 2019). Anfall von Lebensmittelabfällen während der Herstellung beziffert WWF (2015) wie folgt: 10 % bei der Getreideverarbeitung, 15 % in der Veredlung von Hackfrüchten, wie Kartoffeln und Zuckerrüben, 5 % in der Ölsaatenverarbeitung, 2 % im Obst- und Gemüsesegment; 5 % in der Fleischverarbeitung, 1 % in der Milchverarbeitung. Verluste auf dieser Prozessstufe sind vor allem zurückzuführen auf Beschädigung

Branche	Lebensmittel- und Ernährungswirtschaft
	und Verderb beim Transport, Verpacken und während der Lagerung, auf technische Störungen im Betriebsablauf und in der Qualitätssicherung, z.B. als aussortierte Ware, und auf Überproduktion. Auf Qualitätssicherungsmaßnahmen und Überproduktion entfallen im Einzelfall bis zu 40 % aller entsprechenden Verluste, was ein deutliches Indiz für eine teilweise Vermeidbarkeit von Prozessverlusten sein kann.
Hotspots bezogen auf die Wertschöpfungskette	Einsatz von Energie in der Produktion/Verarbeitung (Output: THG-Emissionen und Luftschadstoffe) Einsatz von Energie während des Transportes (Output: THG-Emissionen und Luftschadstoffe) Einsatz von Wasser beim Anbau der Rohstoffe (Output: Wasserverbrauch)
Betroffenheit von ökologischen Megatrends	Klimawandel: Die Branche wird als sehr vulnerabel gegenüber diesem Megatrend bewertet. Dies liegt vor allem an der Abhängigkeit von Ernteerträgen der Landwirtschaft und daraus abgeleitet, möglichen schwankenden Preisen für Rohstoffe. Die Beeinträchtigung der Wasserversorgung oder Extremwetterereignisse sind Beispiele, die großen Einfluss auf die Erträge haben können. Ressourcenknappheit: Die Branche wird als moderat vulnerabel gegenüber diesem Megatrend bewertet. Dies liegt vor allem an der Verfügbarkeit von landwirtschaftlichen Rohstoffen und daraus abgeleitet, möglichen schwankenden Preisen für Rohstoffe. Süßwassermangel: Die Branche wird als sehr vulnerabel in Bezug auf diesen Megatrend bewertet. Dies ist auf den hohen Wasserverbrauch in der Herstellung der Vorprodukte zurückzuführen. Biodiversitätsverlust: Die Branche wird als sehr vulnerabel in Bezug auf diesen Megatrend bewertet. Der Verlust der Artenvielfalt oder das Bienensterben wirkt sich negativ auf den Anbau der Rohstoffe aus. Artensterben findet nicht nur an Land, sondern auch im Wasser statt, daher besteht auch hier Druck auf Teilbranchen wie die Herstellung von Fischprodukten. Entwaldung: Die Branche wird als nicht vulnerabel in Bezug auf diesen Megatrend bewertet.
Indirekte Wirkungen durch ökologische Megatrends	Marktlich Wetter-/klimabedingte Ernteschwankungen sind u.a. eine Ursache für die Preisvolatilität der Landwirtschaft, was wiederum negative Auswirkungen auf die Ernährungsindustrie als Weiterarbeiter der Rohstoffe aus der Landwirtschaft haben kann. Die Flächeninanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrsfläche und damit die anhaltende Flächenzersiedelung tragen zum Verlust von landwirtschaftlicher Nutzfläche bei und stehen damit nicht mehr für die Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln zur Verfügung (UBA 2019 h). Dies hat ebenfalls indirekte Auswirkungen auf die Bereitstellung von Rohstoffen für die Ernährungsindustrie. Die verstärkte Nachfrage nach Agrarrohstoffen für den Nicht-Lebensmittelbereich (z.B. für die energetische oder stoffliche Nutzung) kann ebenfalls für Preisanstiege und Rohstoffknappheit sorgen. Regulatorisch Die nationalen Sektorziele zur Reduktion von Treibhausgasen definieren für den Sektor Landwirtschaft eine Reduktion der THG-Emissionen um 34 % bis 2030 gegenüber 1990 (BMU 2019d). Damit verbunden sind intensive Anpassungsmaßnahmen, wie z.B. Extensivierung der Landwirtschaft oder

Branche	Lebensmittel- und Ernährungswirtschaft
Chancen und Risiken durch sozio-ökonomische Megatrends	Reduktion des Tierbestandes. Dies hat Auswirkungen auf die Verfügbarkeit von Rohstoffen in der weiterverarbeitenden Industrie. Infolge der demografischen Entwicklung (Bevölkerungswachstum) sowie sozialer und kultureller Trends und Lifestyles steigt die Nachfrage nach gesundheitsfördernden Lebensmitteln. Auch der Anstieg ernährungsbedingter Krankheiten (wie Allergien, Diabetes oder Adipositas) unterstützt diese Entwicklung. In den letzten Jahren entstehen immer mehr zielgruppenspezifische Nischenmärkte, die u.a. umwelt- und klimafreundlich sind, wodurch auch Innovationen vorangetrieben werden. Beispielhaft zu nennen wären vegane Lebensmittel oder Fair Trade Produkte (Voss 2013, BVE 2019). Die Digitalisierung ist ebenfalls ein sehr relevanter Megatrend, der die Branche langfristig beeinflusst. Durch Digitalisierung könnten z.B. Echtzeitinformationen in eine ressourcensparende Produktion umgesetzt und die lückenlose Rückverfolgbarkeit der Lebensmittel sichergestellt werden. Auch können vernetzte Systeme dabei helfen, den Energieverbrauch, die Fertigung, die Chargenverfolgung oder den Rohstoffeinsatz zu optimieren (BVE 2019). Der Megatrend Globalisierung trägt u.a. dazu bei, dass die Branche stark reguliert wird, z.B. in Bezug auf Lebensmittelsicherheit bei Einführung von neuen Produkten. BVE (2019) fordert hier einen Bürokratieabbau und beklagt hohe Erfüllungs- und Umstellungsaufwendungen. Gleichzeitig würden veraltete oder doppelte Regelungen unverhältnismäßig hohe Kosten verursachen (BVE 2019). Der weltweite Wettbewerb und der damit verbundene Kostendruck wirken sich ebenfalls auf die Branche aus. Beispielhaft nennt hier BVE (2019) die steigenden Energiekosten sowie die zunehmende Volatilität auf den Rohstoffmärkten (Anstieg der Rohstoffpreise). Exporthemmnisse würden ebenfalls eine Rolle spielen (BVE 2019).
Alternative (nachhaltige) Geschäftsmodelle	Biologische Landwirtschaft Verbesserung der Lebensmitteltechnologien und Verarbeitung im Hinblick auf Reduktion von Nahrungsmittelabfällen Alternative Fleischproduktion: In-Vitro-Fleisch Milchfreie Lebensmittel Intelligente Verpackungen
Art des Strukturwandels	Ressourcen- und produktbezogener Strukturwandel
Fazit	Die Branche der Lebensmittelherstellung hat große Bedeutung, vor allem, da sie 80 Mio. Menschen allein in Deutschland mit Nahrungsmitteln versorgt. Damit verbunden ist ein hoher Verbrauch an Energie, Wasser und Rohstoffen. Durch den Einsatz von neuen Technologien (u.a. Digitalisierung) in der Lebensmittelverarbeitung können einerseits Energie und Ressourcen eingespart und andererseits Lebensmittelabfälle vermieden werden. Damit entstehen nicht nur wirtschaftliche Vorteile für den Sektor, sondern auch eine Entlastung von Umwelt und Klima. Aber es gilt auch die Verantwortung der Verbrauchenden zu adressieren. Viele Menschen hinterfragen bereits die industrielle Nahrungsmittelproduktion. Und kaum eine andere Branche ist so auf das Vertrauen der Menschen angewiesen.

Branche	Lebensmittel- und Ernährungswirtschaft
	Transparenz und Nachhaltigkeit sind zwei Schwerpunktthemen, die die Branche nutzen kann, um politische Rahmenbedingungen umzusetzen. Es wird erwartet, dass die Branche vor einem moderaten Strukturwandel steht.

4.8 Landwirtschaft

Branche	Landwirtschaft
Kurzbeschreibung	Der Sektor Landwirtschaft (WZ 01) beinhaltet den Anbau einjähriger Pflanzen (WZ 01.1), den Anbau mehrjähriger Pflanzen (WZ 01.2), den Betrieb von Baumschulen sowie Anbau von Pflanzen zu Vermehrungszwecken (WZ 01.3), die Tierhaltung (WZ 01.4), die gemischte Landwirtschaft (WZ 01.5), die Erbringung von landwirtschaftlichen Dienstleistungen (WZ 01.6) sowie die Jagd, Fallenstellerei und damit verbundene Tätigkeiten (WZ 01.7).
Ökonomische Kerndaten	Die Landwirtschaft produziert pflanzliche und tierische Rohstoffe, die in nachgelagerten Wirtschaftssektoren, wie z.B. dem Ernährungsgewerbe (s. Steckbrief Lebensmittel- und Ernährungswirtschaft), weiterverarbeitet werden. In 2016 erwirtschafteten ca. 275.000 Betriebe (Trend rückläufig) Waren im Wert von 50 Mrd. Euro (BMEL 2018 a, BMEL 2018 b). Es wird erwartet, dass die Zahl der Betriebe bis 2040 auf rd. 100.000 sinkt. Allerdings wird prognostiziert, dass die Betriebsgrößen im Vergleich zu heute ansteigen, und zwar von 60,5 auf ca. 160 ha. (DZ Bank 2017). Die Bruttowertschöpfung belief sich im Jahr 2017 auf 15 Mrd. Euro. Dies ist ein Anteil von 0,6 % an der gesamten Bruttowertschöpfung (Stat. Bundesamt 2020 b). In 2016 waren ca. 1 Mio. Menschen in der Landwirtschaft beschäftigt. Davon sind nahezu die Hälfte Familienarbeitskräfte und Betriebsinhaber (BMEL 2018 b). Der internationale Handel spielt für die Landwirtschaft eine große Rolle. Sowohl bei den Agrarexporten als auch bei den Agrarimporten steht Deutschland weltweit an dritter Stelle (UBA 2018 b). Die deutschen Agrarimporte beliefen sich 2017 auf 83 Mrd. Euro und die Agrarexporte auf 71 Mrd. Euro (BMEL 2018 b). Deutschland ist also Nettoimporteur von Agrar- und Ernährungsgütern. Die Handelsintensität kann hier nur als Durchschnitt über die Branchen Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei (Abschnitt A in der Produktionsstatistik) angegeben werden. 2016 liegt sie bei einem Wert von 0,82. Das ist relativ nah am Durchschnitt des produzierenden Gewerbes.
Ökologische Hotspots	THG-Emissionen: Die Emission von Treibhausgasen wird als relevanter Hotspot bewertet. 80% der Emissionen resultieren überwiegend aus der Tierhaltung (Methan) und dem Düngemiteleinsatz (Wirtschaftsdünger) (BMU 2019 d). Die energiebedingten Emissionen (beispielsweise durch die Verwendung von Kraftstoffen oder durch die Wärmenutzung für Trocknungsprozesse) fallen nicht in die Berichtspflicht des Landwirtschaftssektors, sondern in die des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistung (Wiegmann et al. 2016). Nach BMU (2019) emittierte die deutsche Landwirtschaft im Jahr 2018 70 Mio. t CO₂-Äquivalente. Dies entspricht 8 % des gesamten THG-Ausstoßes (BMU 2019 d). Luftschadstoffe: Die Emission von Luftschadstoffen wird als relevanter Hotspot bewertet. Dazu gehören Lachgas-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden als Folge der Stickstoffdüngung (mineralisch und organisch) oder dem Umbruch von Grünland und Niedermoorstandorten (UBA 2018 b). Eine weitere zunehmende Quelle ist die Lagerung von Gärresten aus Energiepflanzen, die aus

Branche	Landwirtschaft
	der Biogasproduktion kommen. Weitere indirekte Lachgas-Emissionen entstehen durch überschüssige, reaktive Stickstoffverbindungen in Böden (UBA 2018 b). Bei den Luftschadstoffemissionen wird zukünftig eine Entlastung erwartet. Hier ist z.B. eine Reduktion von Ammoniakemissionen auf den landwirtschaftlichen Flächen zu erwarten, da aufgrund des reduzierten Tierbestands weniger Wirtschaftsdünger ausgebracht wird. Rohstoffinanspruchnahme: Die Ressourceninanspruchnahme wird als moderat relevanter Hotspot bewertet. Die Rohstoffinanspruchnahme bezieht sich v.a. auf den Einsatz von Düngemitteln und die Rohstoffe, die beim Anbau und beim Einsatz von fossil betriebenen Fahrzeugen/Transporte der Rohstoffe und zur weiteren Verarbeitung eingesetzt werden. Flächenverbrauch/Landnutzung: Der Flächenverbrauch wird als relevanter Hotspot bewertet. Deutschland nutzte 2015 für die Erzeugung pflanzlicher und tierischer Lebensmittel im In- und Ausland eine Fläche von 19,4 Mio. ha. Im Inland standen aber nur 14,2 Mio. ha für den Anbau von Nahrungsmitteln zur Verfügung. Folglich ist Deutschland Nettoimporteur von „virtueller“ Agrarfläche (UBA 2018 b). Mit der Flächennutzung geht auch ein steigendes Risiko in Bezug auf die biologische Vielfalt einher. Der Einsatz von Pestiziden und Pflanzenschutzmitteln gefährdet die Artenvielfalt ebenso wie Monokulturanbau. Wasserverbrauch/Gewässerbelastung: Der Wasserverbrauch wird als moderat relevanter Hotspot bewertet. Dies bezieht sich u.a. auf die Ausbreitung der Bewässerungslandwirtschaft (v.a. im Ausland), eine hohe Wasserbelastung durch Nitrate, die z.B. durch Düngung ins Grundwasser gelangen (UBA 2018 b). In der deutschen Landwirtschaft ist der Wasserverbrauch hoch, wird aber überwiegend aus Regenwasser gespeist (Dt. Bauernverband 2017, UBA 2019 f).
Hotspots bezogen auf die Wertschöpfungskette	Einsatz von Düngemitteln während des Anbaus von Nahrungs- und Futtermitteln sowie die Tierhaltung (Output: Treibhausgasemissionen, Luftschadstoffemissionen, Wasserverbrauch) Flächennutzung durch Pflanzen- und Tierproduktion (Output: Ressourceninanspruchnahme)
Betroffenheit von ökologischen Metatrends	Klimawandel: Die Branche wird als sehr vulnerabel gegenüber diesem Megatrend bewertet. Die Branche ist abhängig von Ernteerträgen. Diese können durch Extremwetterereignisse oder Dürren erheblich beeinträchtigt werden. Temperaturänderungen und Änderungen des Wasserhaushalts haben großen Einfluss auf die landwirtschaftliche Produktion. Insbesondere in derzeit bereits wirtschaftsschwachen Regionen der Erde kann dieser Megatrend zur weiteren Verstärkung der Nahrungsmittelunsicherheit und damit zum Anstieg des Hungers führen (FAO 2019). Nach IPCC (2014) sind unter anderem Grundnahrungsmittel wie Weizen, Mais und Reis besonders betroffen. „Projektionen zufolge wird der Klimawandel zu stärker schwankenden Preisen bei landwirtschaftlichen Grunderzeugnissen und einer verringerten Qualität führen. Der Klimawandel wird Ökosysteme beeinträchtigen oder gar zerstören, die vielfältige, für die landwirtschaftliche Produktion unerlässliche Dienstleistungen erbringen (beispielsweise Verbreitung von Samen, Abbau von Abfallstoffen, Bereitstellung von Nährstoffen). Nach dem Verlust von Lebensräumen ist der Klimawandel die weltweit größte Bedrohung für Bestäuberinsekten wie Bienen oder Hummeln“ (IPCC 2014). Ressourcenknappheit: Die Branche wird als moderat vulnerabel gegenüber diesem Megatrend bewertet. Dies bezieht sich überwiegend auf den Verfügbarkeit von Düngemitteln.

Branche	Landwirtschaft
	Süßwassermangel: Die Branche wird als sehr vulnerabel in Bezug auf diesen Megatrend bewertet. „Veränderte Niederschlagsmengen und -muster sowie der Rückgang von Schnee, Eis und Gletschern wirken sich in vielen Regionen auf die Wasserkreisläufe und damit auf Menge und Qualität des verfügbaren Wassers aus. Mit jedem weiteren Grad Celsius Erwärmung ist damit zu rechnen, dass für weitere sieben Prozent der Weltbevölkerung die erneuerbaren Wasserressourcen um mindestens 20 Prozent abnehmen“ (IPCC 2014). Biodiversitätsverlust: Die Branche wird als sehr vulnerabel in Bezug auf diesen Megatrend bewertet. Insbesondere der Verlust der Artenvielfalt, z.B. das Bienensterben, wirken sich negativ auf den Anbau der Rohstoffe aus. Dies hat großen Einfluss auf das Ökosystem Boden und damit auf die Produktionsgrundlage für die Landwirtschaft. Entwaldung: Die Branche wird als nicht vulnerabel in Bezug auf diesen Megatrend bewertet.
Indirekte Wirkungen durch ökologische Megatrends	Marktllich Wetter-/klimabedingte Ernteschwankungen sind u.a. eine Ursache für die Preisvolatilität der Landwirtschaft. Die Flächeninanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrsfläche und damit die anhaltende Flächenzersiedelung tragen zum Verlust von landwirtschaftlicher Nutzfläche bei. Betroffene Flächen stehen damit nicht mehr für die Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln zur Verfügung (UBA 2019 h). Die verstärkte Nachfrage nach Agrarrohstoffen für den Nicht-Lebensmittelbereich (z.B. für die energetische oder stoffliche Nutzung) kann ebenfalls für Preisanstiege sorgen. Regulatorisch Die nationalen Sektorziele zur Reduktion von Treibhausgasen definieren für den Sektor Landwirtschaft eine Reduktion der THG-Emissionen von 34 % ggü. 1990 (BMU 2019 d). Damit verbunden sind intensive Anpassungsmaßnahmen, wie z.B. Reduktion des Düngemitelesinsatzes oder Reduktion des Tierbestandes, die zur Zielerreichung notwendig sind. Denkbar: verstärkte Besteuerung von treibhausgasintensiven Lebensmitteln (z.B. Erhöhung der Mehrwertsteuer auf Fleisch) könnte die Tierhaltungswirtschaft unter Druck setzen.
Chancen und Risiken durch sozio-ökonomische Megatrends	Das globale Bevölkerungswachstum, der Anstieg der Energienachfrage und die Zunahme von Armut/Wohlstand stellen die Landwirtschaft zukünftig vor große Herausforderungen. Immer mehr Menschen müssen weltweit ernährt werden, wobei auch veränderte Ernährungsgewohnheiten die Flächeninanspruchnahme erhöhen (z.B. steigender Bedarf an fleischlichen Produkten in Schwellenländern). Gleichzeitig steigt die Nachfrage anderer Wirtschaftssektoren im In- und Ausland nach nachwachsenden Rohstoffen. Die begrenzte Flächenverfügbarkeit und ökologische Megatrends wie der Klimawandel, erfordern dringende Anpassungsmaßnahmen und Investitionen im Sektor. Die Steigerung der Produktivität wäre unerlässlich, sofern nicht pflanzliche Lebensmittel zunehmend tierische ersetzen und die Lebensmittelverschwendung nicht reduziert wird. Dies darf jedoch nicht zu Lasten von Umwelt und Gesellschaft geschehen. Die Digitalisierung ist eine Option, Produktions- und Prozessinnovationen im Sektor zu etablieren. Ziel ist es z.B., die Unterschiede in den Bodeneigenschaften und der Ertragsfähigkeit von Flächen zu erkennen und darauf bei der Bewirtschaftung bedarfsgerecht zu reagieren. Diese Technologieentwicklung

Branche	Landwirtschaft
	führt im Optimalfall zu einer Erhöhung von Erträgen bei einer gleichzeitigen Reduzierung der Aufwendungen und damit der Umweltbeeinträchtigungen. Die Landwirtschaft zählt zu den Wirtschaftszweigen, in denen Digitalisierung eine deutlich effizientere Produktion verspricht. Allerdings sind die neuen Techniken, die allmählich Einzug im Agrarsektor halten, mit hohen Investitionen verbunden. Das verstärkt den Druck zur Bildung größerer Betriebseinheiten. Hinzu kommt die sich verschärfende Nachfolgeproblematik. Spätestens wenn die geburtenstarken Jahrgänge unter den Landwirten in den Ruhestand gehen, ist mit einem neuen Schub beim „Höfesterben“ in Deutschland zu rechnen (DZ Bank 2017).
Alternative (nachhaltige) Geschäftsmodelle	Förderung der ökologischen Landwirtschaft, um die dort steigende Nachfrage besser decken zu können Inwertsetzung von durch die Landwirtschaft erbrachten Ökosystemdienstleistungen, d.h. Einkommensmodelle für die Erwirtschaftung von Umweltleistungen durch grundlegende Änderung der Förderung, bes. der EU-Agrarpolitik (z.B. zur extensivieren Bewirtschaftung zum Moorschutz, zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit, einer möglichst dauerhaften Bodenbedeckung mit organischer Substanz und vielfältigen Fruchtfolgen; Öko-Institut 2017, NABU 2015). Precision Farming, sofern dadurch erreichte Effizienzsteigerungen nicht zu einem verstärkten Preiswettbewerb und nicht zu Lasten der Umwelt erfolgen
Art des Strukturwandels	Ressourcenbezogener und produktionstechnologischer Strukturwandel
Fazit	„Die Agrarwirtschaft ist weltweit eine wichtige Wachstums- und Zukunftsbranche. Angesichts wachsender Weltbevölkerung und begrenzter fossiler Energiequellen wird ihre Bedeutung für die sichere Lebensmittelversorgung und für die Energiegewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen weiter zunehmen“ (iva 2020). Mindestens genauso groß sind die langfristigen Herausforderungen für die Landwirtschaft. Hier sind zuerst die ökologischen Herausforderungen und die Bewältigung der Folgen des Klimawandels zu nennen. In Deutschland zählt hierzu auch die in den 2030er Jahren anstehende „Verrentung“ der geburtenstarken Jahrgänge unter den Bauern (DZ Bank 2017). Die zunehmende Kritik an Arbeitsbedingungen in der tierverarbeitenden Industrie bedingt hoffentlich ebenfalls ein strukturelles Umdenken. Diesetechnischen, sozialen, demographischen und klimatischen Herausforderungen können den landwirtschaftlichen Strukturwandel weiter antreiben und beschleunigen. Sofern politische nicht gegengesteuert wird (bes. durch Änderung der Ziele und Ausrichtung der Förderung zur Unterstützung der Akteure zur Erreichung dieser Ziele). Den zusätzlichen Investitionen und Kosten, die zur Reduktion der Emissionen im Landwirtschaftssektor notwendig sind, stehen kaum Einsparungen auf der Betriebsebene gegenüber. In anderen Branchen wie dem Fahrzeugbau oder der Bauwirtschaft werden Investitionen beispielsweise in Elektroautos oder in Dämmung zumindest teilweise durch die Einsparung von Energiekosten kompensiert (Öko-Institut et al. 2019). Auf der landwirtschaftlichen Betriebsebene führt die gasdichte Abdeckung eines Gärrestelagers weder zu nennenswerten Einsparungen von Betriebskosten, noch können die Kosten beim Verkauf der Produkte eingepreist werden. Die Maßnahmen in der Landwirtschaft, wie Extensivierung oder Abbau der Tierbestände können den wirtschaftlichen

Branche	Landwirtschaft
	Druck auf die Betriebe erhöhen, wenn diese nicht durch veränderte förderrechtliche Rahmenbedingungen oder zusätzliche Instrumente außerhalb des Ordnungsrechts (Öko-Institut 2018 b) flankiert wird. Es wird erwartet, dass die Branche vor einem sehr starken Strukturwandel steht.

4.9 Forstwirtschaft

Branche	Forstwirtschaft
Kurzbeschreibung	Die Forstwirtschaft und Holzeinschlag (WZ 02) umfasst die Forstwirtschaft (WZ 02.1), den Holzeinschlag (WZ 02.2), das Sammeln von wild wachsenden Produkten (ohne Holz) (WZ 02.3) und die Erbringung von Dienstleistungen für Forstwirtschaft und Holzeinschlag (WZ 02.4).
Ökonomische Kerndaten	Neben der Landwirtschaft zählen die Forst- und Holzwirtschaft zu den wichtigsten Produzenten nachwachsender Rohstoffe. Rund 100.000 Beschäftigte in Forstbetrieben erwirtschaften einen Jahresumsatz von 5 Mrd. Euro. Zusammen mit der Holzbranche werden 168 Mrd. Euro erwirtschaftet und 1,2 Mio. Menschen sind beschäftigt. Die Bruttowertschöpfung lag 2015 bei 3,6 Mrd. Euro und ist seitdem auf 2,7 Mrd. in 2017 zurückgegangen (Stat. Bundesamt 2018 e, BMEL 2018 b). Die Handelsintensität kann hier nur als Durchschnitt über die Branchen Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei (Abschnitt A in der Produktionsstatistik) angegeben werden. 2016 liegt sie bei einem Wert von 0,82. Das ist relativ nah am Durchschnitt des produzierenden Gewerbes.
Ökologische Hotspots	THG-Emissionen: Die Emission von Treibhausgasen wird als moderat relevanter Hotspot bewertet. Der Wald ist ein CO₂-Speicher (Senkenfunktion). Eine CO₂-Senke ist der Wald, wenn es Nettozuwächse bei der Biomasseproduktion gibt, d.h. es muss mehr CO₂ in Form von Biomasse gebunden werden, als durch den Holzeinschlag und die Nutzung des Holzes freigesetzt wurde. Je mehr CO₂ in Form von Kohlenstoff in der Biomasse dauerhaft gespeichert ist, desto weniger wird die Atmosphäre belastet. Verliert der Wald hingegen mehr CO₂ als er aufnimmt (Stürme, Waldbrände, Kalamitäten durch Käferfraß), dann ist er eine CO₂-Quelle (UBA 2014). Das THG-Speicherungspotenzial von Wäldern ist hoch.. Der Wald in Deutschland wirkt derzeit als Senke und entlastet die Atmosphäre jährlich um rund 57 Mio. Tonnen (bezogen auf die Periode 2012 – 2017) (Riedel et al. 2019). Kohlendioxid. Er mindert die Emissionen um ca. 6 %. Luftschadstoffe: Die Emission von Luftschadstoffen wird als nicht relevant bewertet. Rohstoffinanspruchnahme: Die Ressourceninanspruchnahme wird als moderat relevanter Hotspot bewertet. Dem Wald wird Holz für die energetische oder stoffliche Nutzung entnommen. Je nach Ernteverfahren und Verwertbarkeit der Holzbiomasse werden dem Waldökosystem neben Holz auch Äste, Rinde sowie Nadeln oder Blätter entnommen. Diese Entnahme von Biomasse entzieht den Wäldern zum Teil große Mengen an Nährstoffen und stellt an vielen Standorten die Nachhaltigkeit der Nutzung in Frage. In 2019 wurden mehr als 68 Millionen Kubikmeter Holz (ohne Rinde) eingeschlagen. 83 % davon entfielen auf Nadelhölzer. 16% des Einschlags wurden als Energieholz genutzt (Destatis 2021). Flächenverbrauch/Landnutzung: Der Flächenverbrauch wird als nicht relevant bewertet. Zwar können Landnutzungsänderungen Kohlenstoffspeicherkapazitäten beeinflussen. Dies wird jedoch als globales Risiko

Branche	Forstwirtschaft
	eingestuft und bezieht sich daher auf Holzimporte. Ein weiteres Problem ist die Umwandlung von Wald in Siedlungsfläche oder landwirtschaftliche Nutzfläche. Dies ist für Deutschland nicht relevant. Wasserverbrauch/Gewässerbelastung: Der Wasserverbrauch wird als nicht relevanter Hotspot bewertet. Sonstiges: Ein weiteres Risiko, das Einfluss auf die Ressourcen hat, ist ein möglicher Monokulturanbau, nicht zuletzt auch um die Holzverarbeitende Industrie mit ausreichend Rohstoffen beliefern zu können. Dies beeinträchtigt die Biodiversität. Häufig beobachtbare Folgen hiervon sind die Ausbreitung des Borkenkäferbefalls oder eine hohe Windbruch- und Windwurfanfälligkeit der Baumbestände (BMEL 2014). Auch das Roden von größeren Beständen kann Schneisen und gestörte Oberflächen in den Wäldern hinterlassen, die nicht nur mit einer erhöhten Windanfälligkeit der benachbarten Kulturen, sondern auch mit Bodenerosion, Störung des Wasserkreislaufs und Biodiversitätsverlust einhergehen können (UBA 2019).
Hotspots bezogen auf die Wertschöpfungskette	Rohstoffentnahme (Output: Ressourcenverbrauch, Biodiversität)
Betroffenheit von ökologischen Megatrends	Klimawandel: Die Branche wird als sehr vulnerabel gegenüber diesem Megatrend bewertet. Einzelne wirtschaftlich relevante Baumarten wie die Nadelbäume können durch klimawandelbedingte Systemveränderungen sehr betroffen sein. „Die Folgen des Klimawandels für die Forstwirtschaft sind: steigende Temperaturen, geringere Niederschläge im Sommer, eine veränderte Niederschlagsverteilung über die Jahreszeiten, mehr Dürre- und Hitzeperioden sowie häufigerer Starkregen und vermutlich Stürme. Auch die mögliche erhöhte Variabilität im Wetter- und Klimageschehen mit weiterhin vorkommendem Spät- und Frühfrost, kalten Wintern, Temperaturstürzen und Nassschnee kann Waldökosysteme beeinträchtigen. Die Wachstumsbedingungen der Baumarten könnten sich so regional unterschiedlich ändern, die Waldbrandgefahr wachsen und die Risiken durch Schädlinge und Wetterextreme steigen“ (UBA 2011). Klimawandelbedingte Störungen des Ökosystems Wald können negative Wirkungen wie Artensterben hervorrufen. Derzeit suchen Wissenschaftler und Förster nach Baumarten, die sich an den Klimawandel anpassen oder die unter den zu erwartenden Bedingungen gedeihen, viel Kohlendioxid aus der Atmosphäre binden und artenreiche Ökosysteme bilden (BMEL 2014). Ressourcenknappheit: Die Branche wird als moderat vulnerabel gegenüber diesem Megatrend bewertet. Hier geht es vor allem darum, das Wachstum und die Entnahme von Holz in Einklang zu bringen. Druck auf die Ressourcen könnte auch durch den wachsenden Bedarf am Rohstoff Holz in anderen Wirtschaftssektoren auftreten. So z.B. ist Holz als Baustoff interessant für die Substitution von energie- und damit treibhausgasintensiven fossilen Produkten (UBA 2016 a). Süßwassermangel: Die Branche wird als sehr vulnerabel in Bezug auf diesen Megatrend bewertet. Anhaltende Trockenperioden können den Wald nachhaltig schädigen. Anpassungsmaßnahmen sind z.B. Waldumbau (Baumartenwahl), zum anderen die Anlage von Brandschutzstreifen in waldbrandgefährdeten Gebieten sowie den Ausbau von Überwachungs- und Bekämpfungseinrichtungen (BMEL 2019).

Branche	Forstwirtschaft
	Biodiversitätsverlust: Die Branche wird als nicht vulnerabel in Bezug auf diesen Megatrend bewertet. Entwaldung: Die Branche wird als moderat vulnerabel in Bezug auf diesen Megatrend bewertet. In Deutschland ist die Umwandlung von Waldflächen in andere Nutzflächen kein Risiko. Dies betrifft eher die globale Ebene und hier u.a. die Bereitstellung von landwirtschaftlichen Rohstoffen, z.B. auch für die Biokraftstoffnutzung. Die Ergebnisse des Weltagrarberichts zeigen, dass in Südostasien und Südamerika die stärksten Verluste zu beklagen waren (Weltagrarbericht 2019).
Indirekte Wirkungen durch ökologische Megatrends	Marktlich Steigende Nachfrage nach Holz als Rohstoff sowohl für die stoffliche als auch für die energetische Nutzung beeinflussen die Bewirtschaftung des Waldes anhaltende Dürre und wärmebedingter Schädlingsbefall wie den Borkenkäfer reduzieren den Einschlag einzelner Baumbestände, wie z.B. Fichte, da deren Frischholzqualität vermindert ist. Dies führt in einigen Regionen dazu, dass billiges „Käferholz“ im Angebot ist und so entsprechend ein starker Preisrückgang zu verzeichnen und für die Waldbesitzer auch mit wirtschaftlichen Folgen verbunden ist. Regulatorisch keine zu erwarten
Chancen und Risiken durch sozioökonomische Megatrends	Der Anstieg der Energienachfrage erhöht den Druck auf die Waldwirtschaft, die Ressource Holz schnell zur Verfügung zu stellen. Durch Kaskadennutzung und Recycling kann das Risiko der Schädigung des Waldes reduziert werden. Gleichzeitig bietet die Kaskadennutzung die Möglichkeit der verbesserten Wertschöpfung. Risse et al. (2017) kommen zu dem Ergebnis, dass bei der Kaskadennutzung das Holz mit einer Quote von 46 % deutlich effizienter verwendet wird als bei der einfachen Nutzung, die auf 21 % kommt. Die größte Einsparung ist am Anfang der Produktionskette zu verzeichnen durch den reduzierten Einsatz von Frischholz und damit einhergehendem geringeren Flächenbedarf (Risse et al. 2017). Die Digitalisierung ist auch für die Forstwirtschaft eine Chance, Effizienz zu steigern und Prozesse zu optimieren. Ein Risiko wird jedoch darin gesehen, dass vor allem in ländliche Regionen der Netzausbau fehlt und daher keine Breitbandanschlüsse für den Einsatz der digitalen Technologien vorhanden sind (DHWR 2016).
Alternative (nachhaltige) Geschäftsmodelle	Aufforstung, insbesondere Laubmischwälder Digitalisierung von Warenwirtschaftssystemen oder GIS-basierte Dokumentation an der Waldstraße, um die Bewirtschaftung des Waldes und den Holzverkauf zu vereinfachen. Dies gilt z.B. für Forstbetriebsgemeinschaften oder Waldbesitzervereinigungen. Damit können z.B. unternehmensindividuelle Holzeinschläge besser koordiniert und kontrolliert werden. Vereinigungen können ihre Sortimente bündeln, um am Markt wirtschaftlicher zu agieren (Nagel und Ruminski 2018).
Art des Strukturwandels	Produktionstechnologischer Strukturwandel
Fazit	Die Forstwirtschaft hat sowohl wirtschaftlich als auch umweltpolitisch eine hohe Bedeutung. Weitere Maßnahmen wie Erhalt der Moorböden und weiterer Waldumbau sind in Diskussion. Einig ist man sich, dass der Wald als

Branche	Forstwirtschaft
	Kohlenstoffsенke erhalten bleiben muss (Öko-Institut 2018 b, UBA 2016). Eine wesentliche Herausforderung für die Branche ist der Klimawandel. Hier sind u.a. auch Kleinprivatwaldeigentümer betroffen, für die eine Waldpflege oftmals schwierig ist. Der Dachverband der Waldeigentümer erhofft sich hier politische Unterstützung (AGDW 2018). Es wird erwartet, dass die Branche vor einem moderaten Strukturwandel steht.

4.10 Wasserversorgung

Branche	Wasserversorgung
Kurzbeschreibung	Die Wasserversorgung (WZ 36) in Deutschland beinhaltet aus statistischer Sicht nicht die Abwasserentsorgung. Diese läuft unter der Klassifizierung WZ 37. Die Wasserversorgung beinhaltet die Versorgung, Gewinnung und Verteilung von Wasser.
Ökonomische Kerndaten	In 2016 gab es 5.845 Wasserversorgungsunternehmen. Der überwiegende Teil (73 %) ist ausschließlich für die Abgabe zum Letztgebrauch zuständig. Insgesamt gibt es in Deutschland 16.000 Wasserversorgungsanlagen, davon speisen sich 62 % aus Grundwasser und der Rest aus Quellwasser (Stat. Bundesamt 2016). Der überwiegende Teil der Wasserversorgungsunternehmen ist öffentlich-rechtlich (60 %). Im europäischen Vergleich unterscheidet sich die deutsche Wasserwirtschaft durch wenige große Unternehmen und eine Vielzahl kleiner und mittlerer Ver- und Entsorgungsunternehmen (BMWl 2019). Die Bruttowertschöpfung belief sich im Jahr 2015 auf 5 Mrd. Euro. Dies ist ein Anteil von 0,2 % an der gesamten Bruttowertschöpfung (Stat. Bundesamt 2018 e). 40.000 Erwerbstätige waren 2015 in der Branche beschäftigt (Stat. Bundesamt 2018 e). Die Handelsintensität kann hier nur als Durchschnitt über die Branchen Energie- und Wasserversorgung sowie Entsorgung (Abschnitte D-E in der Produktionsstatistik) angegeben werden. 2016 liegt der Wert bei 0,11 und damit deutlich unter dem Durchschnitt des Produzierenden Gewerbes. Hält man sich den internationalen Handel mit Energie vor Augen und vergleicht dies mit der Art der Handelsbeziehung bei Wasserversorgung und Entsorgung, ist zu vermuten, dass der Wert für die Wasserversorgung allein noch niedriger ausfallen dürfte. Eine branchenscharfe Analyse war jedoch im Rahmen dieses Projekts nicht möglich.
Ökologische Hotspots	THG-Emissionen: Die Emission von Treibhausgasen wird als nicht relevant bewertet. Luftschadstoffe: Die Emission von Luftschadstoffen wird als nicht relevant bewertet. Rohstoffinanspruchnahme: Die Ressourceninanspruchnahme wird als nicht relevant bewertet. Flächenverbrauch/Landnutzung: Der Flächenverbrauch wird als nicht relevant bewertet. Wasserverbrauch/Gewässerbelastung: Der Wasserverbrauch wird als nicht relevant bewertet. Im Jahr 2016 wurden mit rund 24 Milliarden Kubikmetern Wasserentnahme nur 12,8 % des Wasserdargebots genutzt. Druck auf diese Ressource wird vorerst, auch im Hinblick auf Trockenperioden, nicht projiziert (UBA 2019). Die Gewässerbelastung wird jedoch als moderater Hotspot bewertet. Durch den Eintrag von Nährstoffen, wird z.B. das Grundwasser mit

Branche	Wasserversorgung
	Nitrat belastet. Das Grundwasser ist die Hauptressource für die Trinkwassergewinnung. Stickstoffeinträge, vor allem verursacht durch die Stickstoffüberschüsse in der Landwirtschaft, erfordern ebenfalls die notwendigen Maßnahmen, um die Trinkwasserqualitätsanforderungen in Deutschland zu gewährleisten (UBA 2017 b). Sonstiges: -
Hotspots bezogen auf die Wertschöpfungskette	Keine
Betroffenheit von ökologischen Megatrends	Klimawandel: Die Branche wird als sehr vulnerabel in Bezug auf den Megatrend bewertet. Die Erderwärmung hat drastische Folgen für den globalen Wasserhaushalt, da z.B. durch den Anstieg des Meeresspiegels eine Verknappung der Süßwasserversorgung eintreten kann. Dies liegt daran, dass die Neubildung von Grundwasser u.a. von den Niederschlagsmengen und der Verdunstung abhängt. Ein weiterer Aspekt des Megatrends: In Deutschland können Starkregenfälle zu Überlastungen des Kanalsystems und damit zeitweise zum Ausfall der Wasserversorgung im Sommer führen. Die Zunahme von Extremwetterereignissen wie Hochwasser und Hitzewellen stellen die Wasserversorgung vor große Herausforderungen. Die lange Trockenheit in 2018 und die teilweise seit Jahren geringeren Grundwasserneubildungsraten führten beispielsweise zu einer Verringerung der nutzbaren Wasserressourcen (DVGW 2019). Ressourcenknappheit: Die Branche wird als moderat vulnerabel gegenüber diesem Megatrend bewertet. Das Grundwasser ist die wichtigste Trinkwasserressource. Im Zeitverlauf zeigt sich ein Rückgang der Trinkwassernutzung, was zeigt, dass ein hohes Bewusstsein für den sorgsamen Umgang mit Wasser in der Bevölkerung besteht. Der Rückgang liegt jedoch auch daran, dass Wasserverluste etwa durch Rohrbrüche und Undichtigkeiten gesenkt werden konnten (UBA 2015). Süßwassermangel: Die Branche wird als sehr vulnerabel in Bezug auf diesen Megatrend bewertet. Dauerhaft sinkende und saisonal verringerte oder ausbleibende Grundwasserneubildung führt zu entsprechend sinkenden Grundwasserständen. Durch Änderungen des Wasserdargebots kann es auch zu wesentlichen Änderungen der Grundwasserqualität kommen. In den Küstenregionen kann es durch einen erwarteten Meeresspiegelanstieg zu einem Eindringen salzhaltigen Wassers in küstennahe Aquifere kommen (DVGW 2010). Biodiversitätsverlust: Die Branche wird als nicht vulnerabel in Bezug auf diesen Megatrend bewertet. Entwaldung: Die Branche wird (in Deutschland) als nicht vulnerabel in Bezug auf diesen Megatrend bewertet.
Indirekte Wirkungen durch ökologische Megatrends	Marktlich Keine zu erwarten Regulatorisch Bei anhaltenden Trockenperioden könnte es langfristig zu (temporären) Maßnahmen der Politik kommen (z.B. Verbot der Gartenbewässerung in Trockenzeiten)

Branche	Wasserversorgung
Chancen und Risiken durch sozio-ökonomische Megatrends	Die Digitalisierung ist ein relevanter Megatrend für die Wasserwirtschaft. Digitale Leitsysteme ermöglichen z.B. die flexible Steuerung der Wasserversorgung. Forschungsprojekte wie „W-Net 4.0“ arbeiten aktuell an diesen Fragestellungen (euwid 2019). DWA (2019) geht davon aus, dass dabei trotz hohem Automatisierungsgrad und bestehender Vernetzung von Anlagen der Wasserwirtschaft weitere Fortschritte bei Software, Hardware und Vernetzung Chancen bieten, um Zeit, Geld und Ressourcen zu sparen. Dabei weist DWA (2019) auch darauf hin, dass vor allem der ländliche Raum integriert werden muss. Neben der Qualifikation von Mitarbeitenden ist das Thema Sicherheit sehr wichtig, da die Wasserversorgung zu den kritischen Infrastrukturen gehört (DWA 2019). Der BDEW (2019) weist daraufhin, dass derzeit das Dokumentieren von Daten und das Einrichten zentraler IT-Plattformen, bzw. der Aus- oder Umbau von ERP-Systemen nicht ausreichend ist. Für die zielgerichtete Umsetzung von Unternehmensstrategien müssen die betrieblichen Informationen in den vielfältigen technischen und kaufmännischen Systemen ganzheitlich aufbereitet und analysiert werden. Durch die Digitalisierung erwartet der BDEW vor allem auch den Aufbau von neuen Geschäftsfeldern (BDEW 2019).
Alternative (nachhaltige) Geschäftsmodelle	Echtzeitsteuerung unter Einsatz von intelligenten Netzwerken Digitalisierung bestehender Anlagen, Schnittstellenschaffung mit kommunalen Anlagen, bessere Verarbeitung von Messdaten Elektronische Leckerfassung und automatische Registrierung von Rohrbrüchen durch intelligente Zähler („Smart Metering“)
Art des Strukturwandels	Ressourcenbezogener und produktionstechnologischer Strukturwandel
Fazit	Der Druck auf die Branche ist noch nicht so hoch wie bei anderen Branchen. Aber auch die Wasserversorgungsbranche muss sich auf den Klimawandel vorbereiten. „Die Unternehmen müssen „prüfen, ob in allen Teilen des Versorgungssystems, von den verfügbaren Trinkwasserressourcen bis hin zur Netzhydraulik, die in Extremwittersituationen notwendigen Systemreserven und Redundanzen vorhanden sind“ (DVGW 2019). Dafür benötigt die Branche „Rechts- und Investitionssichersicherheit für Maßnahmen, die zur Resilienz des Wasserversorgungssystems bei Extremwetterereignissen beitragen“ (DVGW 2019). Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Klärung der Frage, welchen „Vorrang die Trinkwasserversorgung vor anderen Wassernutzungen“ haben muss, u.a. „vor dem Hintergrund der möglichen steigenden Wasserbedarfe für die landwirtschaftliche Beregnung“ (DVGW 2019). Strukturelle und großflächige Änderungen sind jedoch nicht abzusehen. Es wird erwartet, dass die Branche derzeit vor einem moderaten Strukturwandel steht.

5 Fazit

Die globalen und nationalen Nachhaltigkeitsziele erfordern einen Wandel hin zu einer „Green Economy“, einer dekarbonisierten, emissionsarmen und ressourcenschonenden Wirtschaft innerhalb planetarer Grenzen. Durch den Klimaschutzplan und dem Bundesklimaschutzgesetz der Bundesregierung bestehen zumindest mit Blick auf Treibhausgasemissionen nun auch sektorspezifische Ziele für das Jahr 2030.

Zum umweltpolitischen Handlungsdruck kommen Megatrends hinzu, an die sich Unternehmen anpassen müssen: ökologische Trends wie den Klimawandel und Ressourcenknappheit, aber auch ökonomische Trends wie die fortschreitende Globalisierung und insbesondere die Digitalisierung.

Die zentrale Herausforderung besteht darin, den erwartbaren Strukturwandel der Branchen so zu gestalten, dass die ökologischen Ziele erreicht werden und gleichzeitig Wertschöpfung und Beschäftigung zumindest branchenübergreifend in Deutschland erhalten bleiben.

Dazu braucht es vorausschauende Analysen. Im Rahmen dieser Studie wurde analysiert, welche konkreten Branchen angesichts ökologischer Nachhaltigkeitsziele sowie ökologischer und ökonomischer Megatrends in besonderem Maße vor einem Strukturwandel stehen. Die Analyse sollte zudem überblicksartig die branchenspezifischen Herausforderungen und Handlungsbedarfe aufzeigen.

Die ökologischen Herausforderungen für die Branchen wurden anhand verschiedener Umweltwirkungskategorien analysiert – qualitativ auf Basis einer Literaturauswertung sowie quantitativ mit Hilfe der Datenbank EXIOBASE. Der Einfluss der Megatrends wurde rein qualitativ analysiert – wobei für die ausgewählten Hotspot-Branchen auch indirekte Wirkungen ökologischer Megatrends berücksichtigt wurden.

Methodisch lässt sich insbesondere Folgendes festhalten:

- ▶ Der hier angewendete Methoden-Mix ist grundsätzlich geeignet, um ökologische Hotspots in der Wirtschaft zu identifizieren und diesbezüglich eine grobe Priorisierung der Branchen vorzunehmen.
- ▶ Angesichts begrenzter bzw. unterschiedlicher Datenverfügbarkeit sind der direkten Vergleichbarkeit von Branchen allerdings Grenzen gesetzt:
 - So hat sich gezeigt, je disaggregierter eine Branche bzw. Teilbranchen betrachtet werden, desto schwieriger ist es, qualitative und v.a. quantitative Informationen zu erhalten. Insbesondere der Zugriff auf bzw. Abgleich mit offiziellen Statistiken wird auf „tieferliegenden“ Ebenen problematisch. Das erschwert den Vergleich zwischen den Branchen.
 - Im Hinblick auf die verschiedenen Umweltwirkungskategorien ist die Daten- und Informationslage ebenfalls unterschiedlich gut, so ist sie z.B. zu THG-Emissionen besser als zur Flächeninanspruchnahme.

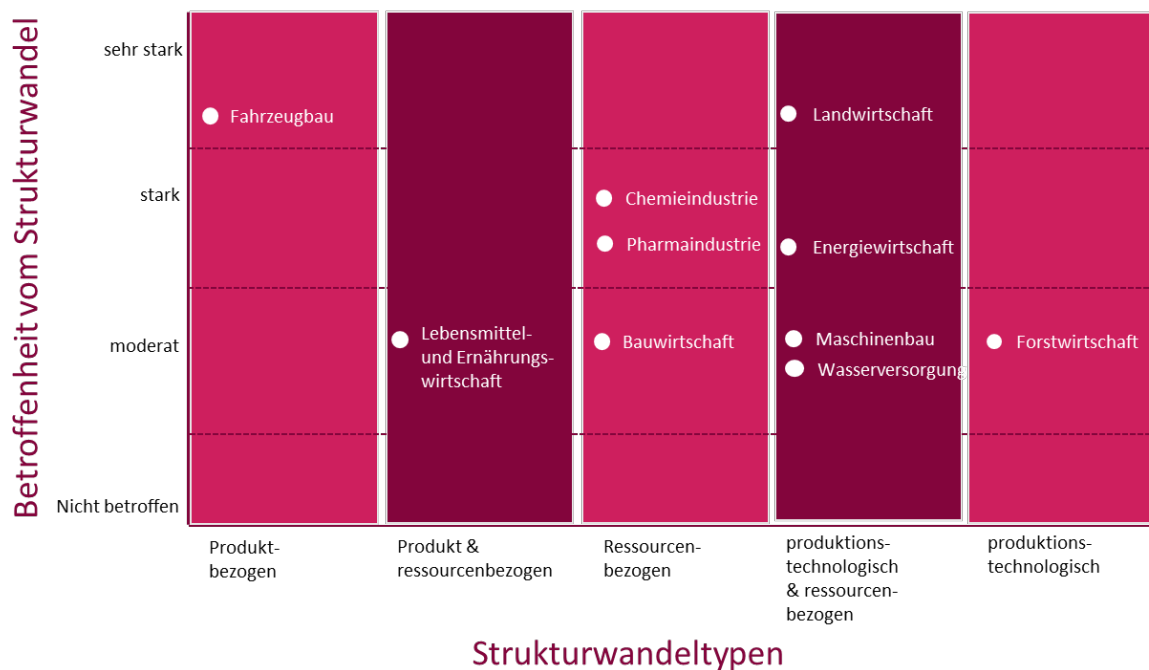
- Zudem zeigte sich, dass zu Branchen, die derzeit besonders unter Druck stehen, deutlich mehr Informationen verfügbar sind als bei Branchen, die aktuell weniger unter Druck sind bzw. im Fokus stehen – aber womöglich mittelfristig dennoch vor einem Wandel stehen und daher im Blick behalten werden müssen.
- Das quantitative Screening mit EXIOBASE liefert einen einheitlichen konsistenten Rahmen für quantitative Kennzahlen. Durch die breite Abdeckung verschiedener Sektoren und Umweltwirkungen kann er als solide Grundlage für sektorale Vergleiche und ein objektivierbares Screening angesehen werden. Der breite Blick auf viele Umweltwirkungsdimensionen, die über Treibhausgase und Klimawandel hinaus gehen, offenbart außerdem auch Branchen, die aufgrund anderer ökologischer Herausforderungen (z. B. Stickstoff- oder Feinstaubemissionen) unter Strukturwandelndruck stehen. Die Interpretation der Ergebnisse muss allerdings vor dem Hintergrund der Methodik sorgfältig erfolgen und zum Beispiel berücksichtigen, dass Emissionen immer einschließlich indirekter Emissionen ausgewiesen werden, dass die Granularität der ausgewiesenen Sektoren stark variiert und ggf. vor dem Anstellen von Sektorvergleichen durch geeignete Zwischenschritte bereinigt werden sollte. Zu berücksichtigen ist auch, dass Sektoren am Ende einer Wertschöpfungskette schlechte Umweltwerte allein aufgrund dessen aufweisen können, weil sie umwelt- und ressourcenintensive Vorleistungen beziehen. Dies muss in der Interpretation und ggf. nachfolgenden Detailanalysen berücksichtigt werden.
- Die im Rahmen dieser Studie erfolgte Hotspot-Identifikation und Priorisierung auf der Basis der Relevanz in mehreren (gleichgewichteten) Umweltdimensionen hat Vorteile – insbesondere für die Identifikation betroffener Branchen jenseits des häufig betrachteten Klimawandelthemas (s. auch das inhaltliche Fazit im Anschluss). Es bedarf jedoch auch immer des Blicks auf einzelne Umweltdimensionen, denn eine Branche kann vor einem Strukturwandel stehen, auch wenn sie in nur einem Bereich ein „Hotspot“ ist, hierfür aber wiederum von besonderer Bedeutung ist.
- Die Einbeziehung von ökologischen und ökonomischen Megatrends – und auch indirekter (marktlicher oder regulatorischer) Effekte ökologischer Megatrends – ist sinnvoll, um zu analysieren, inwieweit die Branchen zusätzlich zu umweltpolitischem Handlungsdruck vor einem Strukturwandel stehen. Neben zusätzlichem Druck können die (insbesondere ökonomischen) Megatrends aber auch Chancen für neue, nachhaltige Geschäftsmodelle bieten, deren Vorhandensein ebenfalls in einer Strukturwandelanalyse zu berücksichtigen ist.
- Für die Ausarbeitung konkreter Handlungsempfehlungen zur Bewältigung des Strukturwandels einer Branche bedarf es neben der Kenntnis struktureller politischer Erfolgsfaktoren noch weitergehender und vertiefter branchenspezifischer Analysen: etwa zu Wertschöpfungsketten, Verflechtungen und Beschäftigungsstruktur (Bestands- und Verlaufsanalysen) sowie zu nachhaltigen Geschäftsalternativen und ihren Potenzialen. Die

Branchen-Steckbriefe in Kap. 4 können hier nur ein erster Schritt sein. Neben Fachveröffentlichungen sind ergänzend Gespräche mit Branchen-Stakeholdern und weiteren Expert*innen empfehlenswert. Einen Schritt in diese Richtung geht das Arbeitspaket 2 dieses Projekts mit Fallstudien zu ausgewählten Branchen (vgl. Heyen et al. 2021).

Inhaltlich lässt sich auf Basis der angewendeten Vorgehensweise Folgendes festhalten:

- Die Analyse der zehn näher betrachteten „Hotspot-Branchen“ hat gezeigt, dass einige stark (Energieversorgung, Chemieindustrie, Pharmaindustrie) oder sogar sehr stark (Fahrzeugbau und Landwirtschaft) von einem ökologischen Strukturwandel betroffen sind. Fünf der Branchen wurden als „moderat vom Strukturwandel betroffen“ bewertet: Bauwirtschaft, Maschinenbau, Lebensmittel- und Ernährungswirtschaft, Forstwirtschaft und Wasserwirtschaft.
- Es konnten verschiedene Strukturwandeltypen abgeleitet werden, abhängig davon, wo der Änderungsdruck der Branche besonders groß ist. Zum überwiegenden Teil handelt es sich bei den zehn „Hotspot-Branchen“ um einen (u.a.) ressourcenbezogenen Strukturwandel (8 Nennungen), seltener ist der (u.a.) produktionstechnologische (5 Nennungen) und produktbezogene Strukturwandel (2 Nennungen). Fünf Branchen stehen sowohl vor einem ressourcen- als auch einem produkt- oder produktionsbezogenen Strukturwandel. Abbildung 18 ordnet die zehn „Hotspot-Branchen“ sowohl dem Strukturwandeltyp als auch der Stärke der Betroffenheit zu.

Abbildung 18: Branchenspezifische Betroffenheit vom Strukturwandel nach Strukturwandeltypen



Quelle: eigene Darstellung Öko-Institut e.V.

- ▶ Bei den ökologischen Impacts ist die Umweltwirkungskategorie „Treibhausgase“ bei acht der zehn „Hotspot-Branchen“ besonders relevant, gefolgt von der Umweltwirkungskategorie „Rohstoffinanspruchnahme“ (5 Branchen). Für vier Branchen spielt die „Flächeninanspruchnahme“ eine wichtige Rolle. Die Umweltwirkungskategorien „Luftschadstoffe“ und „Wasser“ wurden bei jeweils 3 Branchen als sehr relevant identifiziert. Daneben wurde bei zwei Branchen zusätzlich der Aspekt „Entstehung von Abfällen“ sowie bei einer Branche der Aspekt „Lärm“ als relevante weitere Hotspots identifiziert.
 - Bei den restlichen zehn Branchen, die im Zuge des qualitativen Hotspot-Screenings betrachtet wurden (s. Kap. 3.1), dominiert ebenfalls die Umweltwirkungskategorie „Rohstoffinanspruchnahme“, wobei bei 8 Branchen in dieser Kategorie als „sehr relevant“ bewertet wurden. Fünf Branchen wurden als „sehr relevant“ bezogen auf die Kategorie „Treibhausgase“ und weitere 3 Branchen bezogen auf die Kategorie „Luftschadstoffe“ identifiziert. Eine Branche wurde in der Kategorie „Flächeninanspruchnahme“ als sehr relevant bewertet.
- ▶ Die ökologischen Megatrends werden bei den zehn „Hotspot-Branchen“ vom „Klimawandel“ sowie der „Ressourcenknappheit“ dominiert. Jeweils 5 Branchen wurden als „sehr vulnerabel“ in Bezug auf diese beiden Trends identifiziert. Der Megatrend „Süßwassermangel“ betrifft einzelne Branchen entweder sehr oder gar nicht. Fünf Branchen wurden als „sehr vulnerabel“ gegenüber diesem Megatrend bewertet. Die Vulnerabilität der Branchen gegenüber den Megatrends „Biodiversitätsverlust“ und „Entwaldung“ war im Vergleich zu den drei anderen betrachteten Megatrends eher marginal. Zwei Branchen sind gegenüber dem Megatrend „Biodiversitätsverlust“ als „sehr vulnerabel“ bewertet wurden. Keine Branche ist „sehr vulnerabel“ gegenüber dem Megatrend „Entwaldung“.
 - Bei den restlichen zehn Branchen des qualitativen Hotspot-Screenings zeigt sich ein ähnliches Bild: Acht von zehn dieser Branchen wurden als „sehr vulnerabel“ in Bezug auf den Megatrend „Ressourcenknappheit“ identifiziert. Eine weitere Branche wurde gegenüber dem Megatrend „Süßwassermangel“ als „sehr vulnerabel“ bewertet. Die Vulnerabilität gegenüber den Megatrends Klimawandel, Biodiversitätsverlust und Entwaldung war im Vergleich dazu moderat bis wenig vulnerabel.
- ▶ Die breite Betrachtung von Umweltkategorien (bei Impacts als auch Megatrends) zeigt, dass nicht nur Klimawandel und Klimaschutz wesentliche Treiber für strukturelle Änderungen darstellen. Auch andere ökologische Probleme wie Flächeninanspruchnahme, Rohstoffnutzung, Wasserverbrauch (und entsprechende Knappheiten), Luftverschmutzung oder Abfallaufkommen üben Druck auf einzelne Branchen aus. Daher, und um Problemverlagerungen zu vermeiden, ist es sehr wichtig, nicht nur Klimaaspekte im Blick zu haben, sondern jeglichen Umweltbelastungen und ökologischen Megatrends Beachtung zu schenken. Nur die ganzheitliche Betrachtung von Herausforderungen unterstützt dabei,

Handlungsnotwendigkeiten und auch Potenziale für die Branchen möglichst frühzeitig zu erkennen.

► Zur Relevanz der *ökonomischen* Megatrends lässt sich festhalten:

- Die Digitalisierung sticht heraus. Acht der zehn betrachteten Branchen werden von ihr beeinflusst. Die Digitalisierung bietet geschäftliche Chancen und Risiken mit etwaigen disruptiven Folgen und bedarf der ständigen Aufmerksamkeit und ggf. Strategieanpassung. Die Unternehmen müssen verstehen bzw. brauchen Unterstützung dabei, was passiert und wie sie darauf reagieren können (Hirsch-Kreinsen 2016).
- Durch die fortschreitende Globalisierung haben sich ehemals lokale Prozesse und Wirkungen unternehmerischen Handelns auf die globale Ebene verschoben. Drei Branchen sind hiervon besonders betroffen. Globalisierungsprozesse sind ein zentraler Bestimmungsfaktor wirtschaftlichen Wandels, der jedoch in seiner Dynamik und Wirkung in der Tiefe untersucht werden muss, um die Zusammenhänge auch branchenspezifisch zu verstehen und ggf. politisch darauf einwirken zu können. Die möglichen Konsequenzen der Corona-Pandemie, u.a. mit der offensichtlich gewordenen Vulnerabilität internationaler (just in time) Lieferketten, konnten im Rahmen dieses Projekts nicht mehr berücksichtigt werden.
- Der Megatrend Bevölkerungswachstum spielt bei sechs Branchen eine wesentliche Rolle. Dies ist überwiegend mit positiven Effekten für die Wirtschaft verbunden, da z.B. im Fall der Bauwirtschaft eine steigende Nachfrage nach Wohnraum erwartbar ist. Zugleich kann dies den ökologischen Handlungsdruck verschärfen. Der Megatrend „Anstieg der Energienachfrage“ ist für zwei Branchen besonders relevant (Energieversorgung und Forstwirtschaft).

Es ist empfehlenswert, solch ein Branchenscreening in ähnlicher Form in regelmäßigen Abständen von wenigen (z.B. fünf) Jahren durchzuführen und, wo nötig, zu vertiefen. Im Zuge voranschreitender Megatrends, technologischer Entwicklung sowie künftiger umweltpolitischer Strategien und Gesetze können sich die Rahmenbedingungen und möglichen Entwicklungspfade für die Branchen ändern bzw. präzisiert werden.

6 Literatur

Arbeitsgemeinschaft Die Waldeigentümer (AGDW) (2018): Forstwirtschaft und GAP Reform. Im Internet:

<https://www.forstpraxis.de/strukturwandel-in-der-forstwirtschaft-im-bund-laender-gespraech/> (23.05.2019).

Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) (2018): Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland 1990 bis 2017. – 40 S.; Berlin, Bergheim. Im Internet: [https://ag-](https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=ausw_30jul2018_ov.pdf)

[energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=ausw_30jul2018_ov.pdf](https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=ausw_30jul2018_ov.pdf)

Atiker, Ö. (2017): In einem Jahr digital. Das Praxishandbuch für die digitale Transformation Ihres Unternehmens. Weinheim, Wiley Verlag, 1. Auflage.

Baartmans, R. (o. J.): EXIOBASE2 - Multi-Regional Supply and Use Tables. Online verfügbar unter

<https://www.exiobase.eu/index.php/2-uncategorised/29-exiobase2-mr-sut> (17.09.2019)

Bauer, W.; Riedel, O.; Herrmann, F.; Borrmann, D.; Sachs, C; Schmid, S.; Klötzke, M. (2018): Wirkungen der Fahrzeugelektrifizierung auf die Beschäftigung am Standort Deutschland. Im Internet: [https://www.igmetall-](https://www.igmetall-schaeffler.de/uploads/media/ELAB_2.0_Abschlussbericht_2018-10-15.pdf)

[schaeffler.de/uploads/media/ELAB_2.0_Abschlussbericht_2018-10-15.pdf](https://www.igmetall-schaeffler.de/uploads/media/ELAB_2.0_Abschlussbericht_2018-10-15.pdf)

Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) (2015): Digitalisierung der Energiewirtschaft. Strategiepapier. Im Internet:

https://www.bdew.de/media/documents/Energie_Info_Digitalisierung_09_06_2015_clean_oe.pdf (23.06.2019).

Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) (2019): Was ist Digitalisierung? Zur Digitalisierung in der Wasserwirtschaft. Im Internet: [https://www.bdew.de/wasser-abwasser/digitalisierung-der-](https://www.bdew.de/wasser-abwasser/digitalisierung-der-wasserwirtschaft/was-ist-digitalisierung/)

[wasserwirtschaft/was-ist-digitalisierung/](https://www.bdew.de/wasser-abwasser/digitalisierung-der-wasserwirtschaft/was-ist-digitalisierung/) (28.06.2019).

Behrendt, S.; Scharp, M.; Zieschank, R.; van Nohouys, J. (2014): Horizon Scanning als ein Instrument in der Umweltpolitik zur strategischen Früherkennung. Scan Report. Veränderungen der Umfeldbedingungen für den Güterverkehr. Arbeitspapier zum Expertenforum. UFOPLAN Vorhaben 2012, FKZ 371211104.

Bieritz, L. (2015): Die Energiewirtschaft. Branchenstruktur im Aufbruch. Themenreport 15/3.

Bioökonomierat (2015): Die deutsche Chemieindustrie. Wettbewerbsfähigkeit und Bioökonomie.

https://bioekonomierat.de/fileadmin/Publikationen/berichte/BOERMEMO_Chemie_final.pdf (01.07.2019)

Blöcker, A. (2014): Arbeit und Innovationen für den sozial-ökologischen Umbau in den Industriebetrieben. Hans Böckler Stiftung edition 289.

Bontrup, H.; Marquardt, R. (2015): Die Zukunft der großen Energieversorger. Studie im Auftrag von

Greenpeace. Im Internet: [https://www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/publications/zukunft-](https://www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/publications/zukunft-energieversorgung-studie-20150309.pdf)

[energieversorgung-studie-20150309.pdf](https://www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/publications/zukunft-energieversorgung-studie-20150309.pdf) (28.06.2019).

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (2018): Daten und Entwicklungen der deutschen und globalen Energieversorgung. Im Internet:

https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Energie/Downloads/energiestudie_2018.pdf?__blob=publicationFile&v=10

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (2014): Der Wald in Deutschland. Ausgewählte Ergebnisse der 3. Bundeswaldinventur.

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (2018 a): Landwirtschaft verstehen. Fakten und Hintergründe. Im Internet: [https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Landwirtschaft-](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Landwirtschaft-verstehen.pdf?__blob=publicationFile)

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (2018 b): Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. 2018.

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (2019): Agenda. Anpassung von Land- und Forstwirtschaft sowie Fischerei und Aquakultur an den Klimawandel. Im Internet:

https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/AMK-12-04-19-Agenda-Anpassung-Klimawandel.pdf?__blob=publicationFile

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2008): Megatrends der Nachhaltigkeit. Unternehmensstrategien neu denken. Berlin.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2012): Green Economy. Neuer Schwung für Nachhaltigkeit, Berlin.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2016): Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung.

https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_bf.pdf

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2016 b): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm II - Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen. Im Internet:

https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pools/Broschueren/progress_ii_broschuere_bf.pdf

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2017): Stickstoffeintrag in die Biosphäre. Erster Stickstoff-Bericht der Bundesregierung. Berlin: BMUB. Online verfügbar unter

https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pools/Broschueren/stickstoffbericht_2017_bf.pdf

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2019 a): Ressourceneffizienz. Worum geht es. Kurzinfo. Im Internet: <https://www.bmu.de/themen/wirtschaft-produkte-ressourcen-tourismus/ressourceneffizienz/ressourceneffizienz-worum-geht-es/>

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2019 b): Klimabilanz 2018: 4,5 Prozent weniger Treibhausgasemissionen. Pressemitteilung v. 02.04.2019. Im Internet:

<https://www.bmu.de/pressemitteilung/klimabilanz-2018-45-prozent-weniger-treibhausgasemissionen/>

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2019 c): Auf dem Weg zu einer nationalen Stickstoffminderung. Online verfügbar unter <https://www.bmu.de/themen/nachhaltigkeit-internationales/nachhaltige-entwicklung/stickstoffminderung/>

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2019 d): Klimaschutzbericht 2019 zum Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 der Bundesregierung. Im Internet

https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzbericht_2019_kabinettsfassung_bf.pdf

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2020): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm III 2020-2023 - Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen. Im Internet

www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Ressourceneffizienz/progress_iii_programm_bf.pdf

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2019 a): QuaTOQ – Qualität der Arbeit, Beschäftigung und Beschäftigungsfähigkeit im Wechselspiel von Technologie, Organisation und Qualifikation.

Branchenbericht: Chemie- und Pharmaindustrie. Forschungsbericht 522/4.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2019 b): Wasserwirtschaft. Im Internet: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Branchenfokus/Industrie/branchenfokus-wasserwirtschaft.html> (05.06.2019).

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2016): Fahrzeugbau 2016. Monitoringreport. Im Internet: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/M-O/monitoring-report-wirtschaftsindex-digital-fahrzeugbau-2016.pdf?__blob=publicationFile&v=4

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2019 a): Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“. Abschlussbericht.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2019 b): Was ist Industrie 4.0. Im Internet: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/DE/Industrie40/WasIndustrie40/was-ist-industrie-40.html>

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2019 c): Zahlen und Fakten Energiedaten. Nationale und internationale Entwicklung. Im Internet: <http://www.bmwi.de/Navigation/DE/Themen/energiedaten.html>

Bundesvereinigung der deutschen Ernährungsindustrie (BVE) (2017): Nachhaltiges Palmöl. Aus der Reihe: Fakt ist. Nr. 5.

Bundesvereinigung der deutschen Ernährungsindustrie (BVE) (2019): Jahresbericht 2018/2019.

Deloitte (2017): Chemie 4.0. Wachstum durch Innovation in einer Welt im Umbruch. Kurzfassung.

Deutsche Energieagentur (dena) (2016): dena-Gebäudereport. Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand.

Deutsche Energieagentur (dena) (2019): Stahlproduktion. Im Internet: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2019/Factsheet_PowerFuels_Stahlproduktion_Industrielle_Prozesswaerme.pdf (03.07.2019)

DESTATIS (2016): Umweltökonomische Gesamtrechnungen. Nachhaltige Entwicklung in Deutschland Indikatoren zu Umwelt und Ökonomie. Statistisches Bundesamt.

Destatis (2021): Wald und Holz Holzeinschlag 2018: 68 Millionen Kubikmeter. Im Internet: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Wald-Holz/aktuell-holzeinschlag.html> (23.05.2019).

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) (2019): Digitalisierung und deren Herausforderungen für die Wasserwirtschaft meistern. Im Internet: <https://de.dwa.de/de/digitalisierung-und-deren-herausforderungen-f%C3%BCr-die-wasserwirtschaft-meistern.html> (03.07.2019)

Deutsche Zentral-Genossenschaftsbank (DZ Bank) (2017): Agrar 4.0" - Abschied vom bäuerlichen Familienbetrieb? Branchenanalyse. Eine Research-Publikation der DZ BANK AG.

Deutscher Bauernverband (2017): Wasser und Landwirtschaft. Im Internet: <https://www.bauernverband.de/q-a-wassernutzung> (03.07.2019)

Deutscher Bundestag (2019): Entwurf eines Gesetzes zur Einführung eines Bundes-Klimaschutzgesetzes und zur Änderung weiterer Vorschriften. Drucksache 19/14337. <https://dip21.bundestag.de/dip21/btd/19/143/1914337.pdf>

Deutscher Holzwirtschaftsrat (DHWR) (2016): Roadmap Holzwirtschaft 2025. Im Internet: https://www.dhwr.de/docs/dhwr_roadmap_holzwirtschaft_2025_web.pdf (15.07.2019)

Dispan, J. (2017): Entwicklungstrends im Werkzeugmaschinenbau 2017. Kurzstudie zu Branchentrend. Im Auftrag der Hans Böckler Stiftung, Working Paper 29/2017.

DVGW (2010): Klimawandel und Wasserversorgung. In Energie und Wasserpraxis 03/2010.

DVGW (2019): DVGW analysiert das Trockenjahr 2018 und identifiziert Handlungsbedarf für eine sichere Wasserversorgung im Klimawandel. In Energie und Wasserpraxis 3/2019.

Euwid (2019): Projekt will Digitalisierung in der Wasserwirtschaft voranbringen. Im Internet: <https://www.euwid-wasser.de/news/wirtschaft/einzelansicht/Artikel/projekt-will-digitalisierung-in-der-wasserwirtschaft-voran-bringen.html> (03.07.2019)

Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) (2019): The State of Food Security and Nutrition In the World. 2019. Safeguarding against economic slowdowns and downturns.

Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR) (2018): Anbau und Verwendung nachwachsender Rohstoffe in Deutschland. Im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft, Im Internet: <https://fnr.de/fileadmin/fnr/pdf/mediathek/22004416.pdf>

Fehrenbach, H.; Köppen, S.; Kauertz, B.; Detzel, A.; Wellenreuther, F.; Breitmayer, E.; Essel, R.; Carus, M.; Biege, K.; von Geibler, J. (2017): Biomassekaskaden. Mehr Ressourceneffizienz durch stoffliche Kaskadennutzung von Biomasse – von der Theorie zu Praxis. Umweltbundesamt, Texte 53/2017.

Fehrenbach, H.; Giegrich, J.; Köppen, S.; Wern, B.; Peertagnol, J.; Baur, F.; Hünecke, K.; Dehoust, G.; Buchlach, W.; Wiegmann, K. (2019): Verfügbarkeit und Nutzungsoptionen biogener Abfall- und Reststoffe im Energiesystem (Strom-, Wärme- und Verkehrssektor. Umweltbundesamt, Texte 115/2019.

Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft (FFE) (2018): CO₂-Verminderung in der Primäraluminiumherstellung. Im Internet: https://www.ffegmbh.de/images/stories/veroeffentlichungen/720_Energiewende_in_der_Industrie/CO2-Verminderung_in_der_Prim%C3%A4raluminiumherstellung.pdf (05.08.2019)

Gablers Wirtschaftslexikon (2019): Intrasektoraler Strukturwandel. <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/> (05.08.2019).

Gehrke, B.; von Haaren, F. (2014): Die pharmazeutische Industrie. Branchenanalyse. Im Auftrag der Hans Böckler Stiftung und der IG BCE, Im Internet: <https://www.igbce.de/vanity/renderDownloadLink/9036/70876>

Gehrke, B.; Weilage, I. (2018): Branchenanalyse Chemieindustrie. Hans Böckler Stiftung, Studie, Nr. 395.

Geres, R.; Kohn, A.; Pacher, C.; Hoffmann, M.; Scholz, D.; Geres, P. (2018): Transformationspfade für die chemische Industrie in Deutschland. Metastudie. Im Auftrag des Verbands der Chemischen Industrie e.V.

Gerst, D. (2019): Arbeit 4.0 – Den Transformationsprozess gestalten. In: Schulz, Irene (Hrsg.): Industrie im Wandel – Bildungsarbeit in Bewegung. BUND Verlag: Frankfurt am Main.

Giegrich, J.; Liebich, A.; Lauwigi, C.; Reinhardt, J. (2012): Indikatoren / Kennzahlen für den Rohstoffverbrauch im Rahmen der Nachhaltigkeitsdiskussion. Umweltbundesamt, Texte 01/2012.

Global Forest Watch (2019): Im Internet: <https://blog.globalforestwatch.org/> (03.05.2019)

Golla, W. (2017): Bedeutung der Heizwertklausel für die chemische Industrie. Vortrag im Rahmen des LUBW-Kolloquium 2017 – Kreislaufwirtschaft am 16.02.2017. Im Internet: https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/documents/10184/374818/03_Golla_Kolloq_2017.pdf/f2962711-a12b-42ff-af42-9bd8bc7e6f13

Greenpeace (2016): The Great Water Grab. How the Coal Industry is deepening the global water crisis. Im Internet:

https://www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/publications/coal_water_report_2016.pdf#page=1&zoom=90,-265,425 (03.07.2019)

Groll, S. (2019): Ergebnisse und Einschätzung der Kohlekommission. Kommentar. Im Internet:

<https://www.boell.de/de/2019/02/08/ergebnisse-und-einschaetzung-zur-kohlekommission> (05.07.2019)

Grömling, M.; Haß H. (2009): Globale Megatrends und Perspektiven der deutschen Industrie.

Forschungsberichte aus dem Institut der deutschen Wirtschaft Köln, Nr. 47.

Gupta, S. (2016): Water for Pharmaceutical Use. In International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research, 26/1, S.199-204.

Helms, H.M.; Kämpfer, C.; Biemann, K.; Lambrecht, U.; Jöhrens, J.; Meyer, K. (2019): Klimabilanz von Elektroautos. Einflussfaktoren und Verbesserungspotenzial. Studie im Auftrag von Agora Verkehrswende. Im Internet: [https://www.agora-](https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2018/Klimabilanz_von_Elektroautos/Agora-Verkehrswende_22_Klimabilanz-von-Elektroautos_WEB.pdf)

[verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2018/Klimabilanz_von_Elektroautos/Agora-Verkehrswende_22_Klimabilanz-von-Elektroautos_WEB.pdf](https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2018/Klimabilanz_von_Elektroautos/Agora-Verkehrswende_22_Klimabilanz-von-Elektroautos_WEB.pdf)

Hennenberg, K., Böttcher, H., Fehrenbach, H., Bischoff, M. (2017): Short analysis of the RED 2009, the iLUC Directive 2015 and the 2016 RED proposal regarding implications for nature protection. Öko-Institut, Berlin. Link: <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/OEKO-IFEU-2017-RED-proposal-evaluation.pdf>

Heyen, D.; Gensch, C.; Gsell, M.; Hacker, F.; Minnich, L.; Scherf, C.; Doll, C.; Grimm, A.; Marscheider-Weidemann, F.; Sartorius, C. (2021): Strukturwandel zu einer Green Economy. Analysen und Empfehlungen zur Gestaltung. Teilbericht 2. Reihe Umwelt, Innovation, Beschäftigung. Dessau: Umweltbundesamt.

Hirsch-Kreinsen, H. (2016): Zum Verhältnis von Arbeit und Technik bei Industrie 4.0 In: Aus Politik und Zeitgeschichte 18-19/2016. S. 10-17.

Hünecke, K.; Schumacher, K., Nissen, C. (2019): Gesamtwirtschaftliche Effekte des Umstellungsaufwands. Im Auftrag des Umweltbundesamt (noch unveröffentlicht).

Icha, P. et al. (2018): Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 – 2017. Aktualisierung auf Basis von Climate Change 15/2017. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Climate Change 11/2018. Im Internet:

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-05-04_climate-change_11-2018_strommix-2018_0.pdf

Industrieverband Agrar (iva) (2020): Modern und verantwortungsbewusst: Landwirtschaft in Deutschland. Im Internet: <https://www.iva.de/verband/landwirtschaft-deutschland> (03.07.2020)

International Labour Organisation (ILO) (2018): World Employment Social Outlook 2018. Greening with jobs. Geneva. https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---dcomm/---publ/documents/publication/wcms_628654.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2014): Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Kern, V. (2017): Darum ist die Zementproduktion so klimaschädlich. In: Frankfurter Rundschau, 01.10.2017. Im Internet: <https://www.fr.de/wissen/darum-zement-produktion-klimaschaedlich-11018039.html> (24.06.2019)

Kitzes, J. (2013): An Introduction to Environmentally-Extended Input-Output Analysis. In: Resources 2 (4), S. 489–503. DOI: 10.3390/resources2040489.

Klepper, G.; Rickels, W.; Schenker, O.; Schwarze, R.; Bardt, H.; Biebeler, H.; Mohammadzadeh, M.; Schulze, S. (2017): Kosten des Klimawandels und Auswirkungen auf die Wirtschaft. 10.1007/978-3-662-50397-3_25.

Knopf, J.; Mundt, I.; Kirchner, R.; Kahlenborn, W.; Blazejczak, J.; Edler, D.; Schill, W.; Sartorius, C.; Walz, R. (2016): Ökologische Modernisierung der Wirtschaft durch eine moderne Umweltpolitik (Synthesebericht), Umweltbundesamt Texte Umwelt, Innovation, Beschäftigung 2/2016

Koch, J. (2018): Internationaler Dienstleistungshandel – auch der deutsche Mittelstand ist aktiv. KfW Research Nr. 212, 21. Juni 2018. Im Internet: <https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Fokus-Volkswirtschaft/Fokus-2018/Fokus-Nr.-212-Juni-2018-Internationaler-Dienstleistungshandel.pdf> (14.06.2019).

Kraus, P. (2019): Entwicklung der Bauinvestitionen. Hauptverband der deutschen Bauindustrie. Im Internet: https://www.bauindustrie.de/zahlen-fakten/bauwirtschaft-im-zahlenbild/entwicklung-der-bauinvestitionen_bwz/ (15.05.2019).

Kreislaufwirtschaft Bau (2016): Mineralische Bauabfälle Monitoring 2016. Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2016. Im Internet: <http://www.kreislaufwirtschaft-bau.de/Arge/Bericht-11.pdf> (23.06.2019).

Kretschmer, A. (2019): Klimabilanz der Zementindustrie. Im Internet: <https://www.chemietechnik.de/klimabilanz-der-zementindustrie/> (14.06.2019).

Küfner, T. (2019): BASF, K+S & Co: Sorge vor Niedrigwasser steigt. Im Internet <https://www.deraktionaer.de/artikel/aktien/basf-ks-co-sorge-vor-niedrigwasser-steigt-20188865.html> (23.06.2019).

Kurtzke, W.; Scheidt, B. (2018): Wirtschaft im Strukturwandel. Industrie stärkt Produktivität und Einkommen. Wirtschaftspolitische Information des Vorstands der IG Metall, Nr. 1.

Lehr, U.; Edler, D.; Ulrich, P.; Blazejczak, J.; Lutz, C. (2015): Beschäftigungschancen auf dem Weg zu einer Green Economy – szenarienbasierte Analyse von (Netto-) Beschäftigungswirkungen. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Forschungskennzahl 3712 14 101. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-07-11_uib_03-2019_beschaefigungschancen-green-economy.pdf

Lühr, O., Kramer, J.-P., Lambert, J., Kind, C., Savelsberg, J. (2014): Analyse spezifischer Risiken des Klimawandels und Erarbeitung von Handlungsempfehlungen für exponierte industrielle Produktion in Deutschland (KLIMACHECK). Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Düsseldorf/Berlin: Prognos/adelphi. https://www.prognos.com/uploads/tx_atwpubdb/141020_Prognos_BMWi_Studie_Klimacheck.pdf

Lutter, S.; Giljum, S.; Gözet, B.; Wieland, H. (2018): Die Nutzung natürlicher Ressourcen. Bericht für Deutschland 2018. Herausgeber: Umweltbundesamt. Im Internet: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/3521/publikationen/deuess18_de_bericht_we_b_f.pdf

Meißner, H. (2013): Die Bedeutung der Automobilindustrie für die deutsche und europäische Wirtschaft. Im Internet: <http://www.blicklog.com/2013/10/31/die-bedeutung-der-automobilindustrie-fr-die-deutsche-und-europaische-wirtschaft/> (14.07.2019).

- NABU (2015): Landwirtschaft 2015. Perspektiven und Anforderungen aus Sicht des Naturschutzes.
- Nagel, M.; Ruminski, N. (2018): Wald 4.0 – Digitalisierung in der Forstwirtschaft. In: AFZ Der Wald v. 22.05.2018. Im Internet: <https://www.forstpraxis.de/go-digital-wald-4-0/>
- Nill, Moritz et al. (2017): Umweltauswirkungen und Hot-Spots in der Lieferkette.
- OECD (2017): Employment Implications of Green Growth: Linking jobs, growth, and green policies. OECD Report for the G7 Environment Ministers. <https://www.oecd.org/environment/Employment-Implications-of-Green-Growth-OECD-Report-G7-Environment-Ministers.pdf>
- Öko-Institut (2016): Policy Paper 1: Deutschland 2049 – Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Rohstoffwirtschaft. Im Internet. <https://www.oeko.de/oekodoc/2600/2016-607-de.pdf>
- Öko-Institut (2016 b): Policy Paper 2: Deutschland 2049 – Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Rohstoffwirtschaft. Im Internet. <https://www.oeko.de/oekodoc/2600/2016-607-de.pdf>
- Öko-Institut (2017): Heute. Morgen. Zukunft. Visionen und Wege für eine nachhaltige Gesellschaft.
- Öko-Institut (2018 a): Sektorale Abgrenzung der deutschen Treibhausgasemissionen mit einem Schwerpunkt auf die verbrennungsbedingten CO₂-Emissionen. Arbeitspapier.
- Öko-Institut (2018 b): Folgenabschätzung zu den ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Folgewirkungen der Sektorziele für 2030 des Klimaschutzplans 2050 der Bundesregierung. Ergebnisse Arbeitspaket 3.
- Öko-Institut (2018 c): Policy instruments and measures to alleviate energy poverty in Germany - learning from good practices in other European countries. Working Paper.
- Öko-Institut et al. (2019): Folgenabschätzung zu den ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Folgewirkungen der Sektorziele für 2030 des Klimaschutzplans 2050 der Bundesregierung. Endbericht. Im Internet: <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Folgenabschaetzung-Klimaschutzplan-2050-Endbericht.pdf>
- Osterburg, B.; Kätsch, S.; Wolff, A. (2013): Szenarioanalysen zur Minderung von Treibhausgasemissionen der deutschen Landwirtschaft im Jahr 2050. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 132 p, Thünen Rep 13.
- Pricewaterhouse Coopers (PWC) (2017 a): Die Annäherung zwischen physischen und finanziellen Commodity-Märkten. Commodity-Risiken in der Energiewirtschaft.
- Pricewaterhouse Coopers PWC (2017 b): Transaktionsmonitor Energiewirtschaft. Ausgabe 5.
- Reuter, N.; Zinn, K.G. (2011): Moderne Gesellschaften brauchen eine aktive Dienstleistungspolitik. WSI Mitteilungen 09/11, S. 462-469.
- Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (RWI) (2000): Arbeitsbericht 1999.
- Riedel, T.; Stümer, W.; Hennig, P.; Dunger, K.; Andreas, B. (2019): Wälder in Deutschland sind eine wichtige Kohlenstoffsенke. In: AFZ-DerWald 14/2019. https://www.thuenen.de/media/institute/wo/Waldmonitoring/THG/Projekt/CI2017/AFZ_14_19_Kohlenstoff_Artikel_2_Riedel.pdf
- Risse, M.; Weber-Blaschke, G.; Richter, K. (2017): Resource efficiency of multifunctional wood cascade chains using LCA and exergy analysis, exemplified by a case study for Germany. In: Resources, Conservation & Recycling 126, S. 141-152.
- Roth, I. (2018): Digitalisierung in der Energiewirtschaft. Technologische Trends und ihre Auswirkungen auf Arbeit und Qualifizierung. Working Paper Forschungsförderung. Nr. 073.

Ruhr Guide (2019): Das Ruhrgebiet – Die Entwicklung und der Strukturwandel. Im Internet: <https://www.ruhr-guide.de/freizeit/industriekultur/das-ruhrgebiet-die-entwicklung-und-der-strukturwandel/21960,0,0.html>, (14.08.2019).

Rüttinger, Lukas; Treimer, R.; Tiess, G.; Griestop, L. (2016): Umwelt - und Sozialauswirkungen der Bauxitgewinnung und – weiterverarbeitung in der Boké und Kindia-Region, Guinea. Berlin: adelphi.

Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) (2015): Stickstoff: Lösungsstrategien für ein dringendes Umweltproblem. Kurzfassung. Berlin: SRU. Online verfügbar unter http://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/02_Sondergutachten/2012_2016/2015_01_SG_Stickstoff_KF.pdf?__blob=publicationFile.

Schröder, L., Urban, H.J. (Hrsg.) (2018): Gute Arbeit. Ökologie der Arbeit – Impulse für einen nachhaltigen Umbau. BUND Verlag: Frankfurt am Main.

Sievers, L.; Breitschopf, B.; Pfaff, M.; Schaffer, A. (2019): Macroeconomic impact of the German energy transition and its distribution by sectors and regions. In Ecological Economics 160 (2019), p. 191 – 204.

Stadler, K.; Wood, R.; Bulavskaya, T.; Södersten, C.-J.; Simas, M.; Schmidt, S.; Usubiaga, A.; Acosta-Fernandez, J.; Kuenen, J.; Bruchner, M.; Giljum, S.; Lutter, S.; Merciai, S.; Schmidt, J.; Theurl, M.; Plutzer, C.; Kastner, T.; Eisenmenger, N.; Erb, K.H.; de Koning, A.; Tukker, A. (2018): EXIOBASE 3. Developing a Time Series of Detailed Environmentally Extended Multi-Regional Input-Output Tables. In: Journal of Industrial Ecology 45 (3), S. 539. DOI: 10.1111/jiec.12715.

Statistisches Bundesamt (2007): Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2008 (WZ 2008).

Statistisches Bundesamt (2016): Öffentliche Wasserversorgung und öffentliche Abwasserentsorgung - Strukturdaten zur Wasserwirtschaft. FS 19, Reihe 2.1.3.

Statistisches Bundesamt (2018 b): Beschäftigte und Umsatz der Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe: Deutschland, Jahre, Wirtschaftszweige (WZ2008 2-/3-/4-Steller). Jahresbericht für Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe.

Statistisches Bundesamt (2018 c): Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Indikatorenbericht 2018. Im Internet: <https://www.destatis.de/Migration/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltoekonomischeGesamtrechnungen/Umweltindikatoren/DeutscheNachhaltigkeitsstrategie.html?nn=206104>

Statistisches Bundesamt (2018 d): Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung 2018. FS 3, Reihe 5.1

Statistisches Bundesamt (2019): Deutsche Exporte im Mai 2019: +4,5 % zum Mai 2018. Pressemitteilung Nr. 259 vom 8. Juli 2019. Im Internet: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2019/07/PD19_259_51.html

Statistisches Bundesamt (2019 b): Ausgewählte Zahlen für die Bauwirtschaft. Mai 2019.

Statistisches Bundesamt (2019 c): Produzierendes Gewerbe 2017. Beschäftigung, Umsatz, Investitionen und Kostenstruktur der Unternehmen in der Energieversorgung, Wasserversorgung, Abwasser und Abfallentsorgung, Beseitigung von Umweltverschmutzungen. FS 4, Reihe 6,1.

Statistisches Bundesamt (2019 d): Produzierendes Gewerbe 2018. Betriebe, Tätige Personen und Umsatz des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden nach Beschäftigtengrößenklassen. FS 4, Reihe 4.1.2.

Statistisches Bundesamt (2019 e): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen. Arbeitsunterlage Investitionen. 2. Vierteljahr 2019.

Statistisches Bundesamt (2020): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung 2016. Inlandsproduktberechnung. FS 18, Reihe 1.4.

Statistisches Bundesamt (2020 b): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung. Input-Output-Rechnung. 2017

Statistisches Bundesamt (2020 c): Umweltökonomische Gesamtrechnung. Aufkommen und Verwendung in Rohstoffäquivalenten 200 bis 2016. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/rohstoffe-materialfluesse-wasser/Publikationen/Downloads/rohstoffaequivalente-5853101169004.html>

Statistisches Bundesamt (2021): Beschäftigte und Umsatz der Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe: Deutschland, Jahre, Wirtschaftszweige (WZ2008 2-/3-/4-Steller).

Stern, N. (2006): The Economics of Climate Change: The Stern Review. Hg. v. HM Treasury/Cabinet Office. Cambridge, UK: CUP.

Tukker, A.; de Koning, A.; Wood, R.; Hawkins, T.; Lutter, S.; Acosta, J.; Cantuche, J.; Bouwmeester, M.; Oosterhaven, J.; Drosdowski, T.; Kuenen, J. (2013): EXIOPOL – Development and illustrative analyses of a detailed global MR EE SUT/IOT. In: Economic Systems Research 25 (1), S. 50–70. DOI: 10.1080/09535314.2012.761952.

Umweltbundesamt (UBA) (2002): Nachhaltige Entwicklung in Deutschland – Die Zukunft dauerhaft umweltgerecht gestalten. Erich Schmidt Verlag GmbH & Co., Berlin.

Umweltbundesamt (2011): Forstwirtschaft. Themenblatt Anpassung an den Klimawandel. Im Internet: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/364/publikationen/kompass_themenblatt_forstwirtschaft_2015_net.pdf

Umweltbundesamt (2012): Globale Landflächen und Biomasse nachhaltig und ressourcenschonend nutzen. (16.08.2019)

Umweltbundesamt (2014): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2014. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2012. Climate Change 24/2014

Umweltbundesamt (2015 a): Rohstoffnutzung und ihre Folgen. Im Internet: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/rohstoffe-als-ressource/rohstoffnutzung-ihre-folgen> (16.08.2019)

Umweltbundesamt (2015 b): Öffentliche Wasserversorgung. Im Internet: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/wasser/wasserwirtschaft/oeffentliche-wasserversorgung#textpart-1> (16.08.2019)

Umweltbundesamt (2016 a): Umweltschutz, Wald und nachhaltige Holznutzung in Deutschland. Hintergrund.

Umweltbundesamt (2016 b): Die Umweltauswirkungen der Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft (LULUCF) in einem zukünftigen Klimaschutzabkommen. Climate Change 32/2016

Umweltbundesamt (2017 a): Vereinfachte Umweltbewertung des Umweltbundesamtes (VERUM 2.0). UBA Texte 28/2017

Umweltbundesamt (2017 b): Wasserwirtschaft in Deutschland. Grundlagen, Belastungen, Maßnahmen. Im Internet:

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/uba_wasserwirtschaft_in_deutschland_2017_web_aktualisiert.pdf (16.08.2019)

Umweltbundesamt (2018 a): Nationales Treibhausgasinventar 2018, 04/2018

Umweltbundesamt (2018 b): Daten zur Umwelt. Umwelt und Landwirtschaft. Im Internet:

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/uba_dzu2018_umwelt_und_landwirtschaft_web_bf_v7.pdf (16.08.2019)

Umweltbundesamt; Fraunhofer ISI (Hg.) (2018 c): Ressourcen und Gesundheit. Poster anlässlich des Nationalen Ressourcenforums 2018 (FKZ-Nr. 3717 31 104 0). Online verfügbar unter

https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccn/2019/Poster_GuR.pdf, zuletzt geprüft am 27.09.2019.

Umweltbundesamt (2019 a): Flächenverbrauch für Rohstoffabbau. Im Internet:

<https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/flaeche/flaechenverbrauch-fuer-rohstoffabbau#textpart-1> (16.08.2019).

Umweltbundesamt (2019 b): Positionspapier zur Primärbaustoffsteuer. Im Internet:

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/190819_uba_pos_primarb_austoffsteuer_bf.pdf

Umweltbundesamt (2019 c): Strukturdaten: Chemikalien und chemisch-pharmazeutische Industrie. Im Internet:

<https://www.umweltbundesamt.de/daten/chemikalien/strukturdaten-chemikalien-chemisch-pharmazeutische#textpart-1> (16.08.2019).

Umweltbundesamt (2019 d): PRTR Datenbank. Im Internet: <https://www.thru.de/thrude/downloads/> (18.08.2019).

Umweltbundesamt (2019 e): Energiebedingte Emissionen. Im Internet:

<https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energiebedingte-emissionen#textpart-1> (18.08.2019)

Umweltbundesamt (2019 f): Wasserressourcen und ihre Nutzung. Im Internet:

<https://www.umweltbundesamt.de/daten/wasser/wasserressourcen-ihre-nutzung#textpart-1> (18.08.2019)

Umweltbundesamt (2019 g): Wasserressourcen und ihre Nutzung. Im Internet:

<https://www.umweltbundesamt.de/daten/wasser/wasserressourcen-ihre-nutzung#textpart-1> (18.08.2019)

Umweltbundesamt (2019 h): Flächeninanspruchnahme für Siedlungen und Verkehr reduzieren. Im Internet:

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/flaechensparen-boeden-landschaften-erhalten/flaecheninanspruchnahme-fuer-siedlungen-verkehr#textpart-1> (18.08.2019)

Umweltbundesamt (o. J.): Wasserfußabdruck. Online verfügbar unter

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/wasser-bewirtschaften/wasserfussabdruck#textpart-1> (18.08.2019)

UNEP; ILO; IOE; ITUC (2008): Green Jobs. Towards decent work in a sustainable, low-carbon world.

https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_emp/---emp_ent/documents/publication/wcms_158727.pdf

UNCSD (2012): The future we want, Resolution adopted by the General Assembly on 27 July 2012, A/RES/66/288.

Im Internet: https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/66/288&Lang=E (18.08.2019).

VCI und Prognos AG (2013): Die chemische Industrie 2030. Im Internet: <https://www.vci.de/vci/downloads-vci/publikation/langfassung-prognos-studie-30-01-2013.pdf>

VDI (2017): Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0. Potenziale für KMU des verarbeitenden Gewerbes. Berlin.

VDMA (2019): Maschinenbau in Zahl und Bild 2019. Im Internet:

<https://www.vdma.org/documents/14969753/26250981/Maschinenbau+in+Zahl+und+Bild+2019.pdf/fe7cbf9d-3873-d927-4d98-c979dac2b5f0> (18.07.2019)

VFA (2018): Die pharmazeutische Industrie in Deutschland. Ein Branchenportrait. 4. Auflage.

Verband der deutschen Zementindustrie (2017): Umweltdaten der deutschen Zementindustrie. Im Internet:

https://www.vdz-online.de/fileadmin/gruppen/vdz/3LiteraturRecherche/Umweltdaten/VDZ_Umweltdaten_2017_DE_EN.pdf (18.07.2019).

Voss, E. (2013): Die Ernährungsindustrie in Norddeutschland. Branchenstudie im Rahmen des Projektes „Struktureller Wandel und nachhaltige Modernisierung – Perspektiven der Industriepolitik in Norddeutschland. Gefördert von der Hans Böckler Stiftung.

Waterfoodprint (2019): Product Gallery. Im Internet: <https://waterfootprint.org/en/resources/interactive-tools/product-gallery/> (18.07.2019).

Weimann, J. (2019): Der Ausstieg aus der Kohle: alternativlos oder verantwortungslos? Perspektiven der Wirtschaftspolitik, Jg. 20, Heft 1, S. 14-22.

Weitz, H. (2019a): Bedeutung der Bauwirtschaft. Hauptverband der deutschen Bauindustrie. Im Internet: https://www.bauindustrie.de/zahlen-fakten/bauwirtschaft-im-zahlenbild/bedeutung-der-bauwirtschaft_bwz/ (18.07.2019)

Weitz, H. (2019b): Struktur der Bauinvestitionen. Hauptverband der deutschen Bauindustrie. Im Internet: https://www.bauindustrie.de/zahlen-fakten/bauwirtschaft-im-zahlenbild/struktur-der-bauinvestitionen_bwz/ (18.07.2019)

Weltenergierat et al. (2014): Klimawandel: Was er für die Energiewirtschaft bedeutet. Kernergebnisse aus dem Fünften Sachstandsbericht des IPCC. Im Internet: https://www.weltenergierat.de/wp-content/uploads/2015/10/klimawandel_-was_er_fuer_die_energiewirtschaft_bedeutet_Brosch%C3%BCre.pdf

Wiegmann, K.; Scheffler, M.; Hennenberg, K. (2016): Sektorale Emissionspfade in Deutschland bis 2050 - Landwirtschaft und Forstwirtschaft / Landnutzung. Arbeitspaket 1.2 im Forschungs- und Entwicklungsvorhaben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Wissenschaftliche Unterstützung „Erstellung und Begleitung des Klimaschutzplans 2050“ (FKZ UM 15 41 1860).

Wood, R.; Stadler, K.; Bulavskaya, T.; Lutter, S.; Giljum, S.; Koning, A.; Kuenen, J.; Schütz, H.; Acosta-Fernandez, J.; Asubiaga, A.; Simas, M.; Ivanova, O.; Weinzettel, J.; Schmidt, J.; Merciai, S.; Tukker, A. (2015): Global Sustainability Accounting—Developing EXIOBASE for Multi-Regional Footprint Analysis. In: *Sustainability* 7 (1), S. 138–163. DOI: 10.3390/su70101

WWF (2012): Klimawandel auf dem Teller. Im Internet: https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/Klimawandel_auf_dem_Teller.pdf

WWF (2015): Das große Wegschmeißen. Vom Acker bis zum Verbraucher: Ausmaß und Umwelteffekte der Lebensmittelverschwendung in Deutschland. Im Internet: http://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/WWF_Studie_Das_grosse_Wegschmeissen.pdf

WWF (2016): Auf der Ölspur. Berechnungen zu einer palmölfreien Welt. Im Internet: http://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/WWF-Studie_Auf_der_OElspur.pdf

Zarth, M.; Untiedt, G. (2018): Regionaler Strukturwandel in Deutschland – empirische Befunde und Fachkräftemonitoring. Vortrag auf dem IAB-Fachkräftemonitoring am 21.11.2018.

A Anhang

A.1 Bewertungsmatrix Hotspotanalyse (ökologische Relevanz)

WZ 2008 Code	Branche	THG-Emissionen	Luftschadstoffe (z.B. Stickoxide)	Rohstoffinanspruchnahme/-verbrauch	Flächenverbrauch/Landnutzung	Wasserverbrauch & Gewässerbelastung	Sonstiges
20	Chemieindustrie	hoher Ausstoß an THG-Emissionen, 2,7 % der CO ₂ -Emissionen in DE entfallen auf diese Branche	moderater Ausstoß von Staub- und Schwermetallemissionen in die Luft	Branche hat hohen fossilen Ressourcenverbrauch, z.B. zur Deckung der hohen Energienachfrage, hoher Einsatz von Primärrohstoffen z.B. Erdöl	moderat relevant, v.a. im Hinblick auf steigende Nutzung von biogenen Ressourcen	hier entsteht rund 10 % des dt. Abwassers, hoher Wasserverbrauch	Entstehung von gefährlichen Abfällen
21	Pharmaindustrie	hohe THG-Emissionen, da energieintensiv Herstellung der Produkte	moderater Ausstoß von Staub- und Schwermetallemissionen in die Luft bei der Herstellung von Chemikalien als Rohstoff für die Arzneimittelproduktion	hohe Ressourceninanspruchnahme bei der Produktherstellung, u.a. biogene Rohstoffe, Wasser	moderat relevant, v.a. im Hinblick auf steigende Nutzung von biogenen Ressourcen	moderate Wasserbelastung durch Wirkstoffe und ihre Abbauprodukte, die in den Wasserkreislauf gelangen und damit das Ökosystem stören	
28	Maschinenbau	hoher Ausstoß an THG-Emissionen, aufgrund energieintensiver Herstellung der Vorprodukte, ca. 90 % der Emissionen entstehen bei der Rohstoffgewinnung bzw. der Herstellung der Vorprodukte wie Stahl oder Aluminium	moderater Ausstoß von Schadstoffemissionen (NO _x), welche in der Transportkette und bei den metallverarbeitenden Betrieben (Lieferanten) entstehen	ressourcenintensive Herstellung der Vorprodukte, aber vergleichsweise geringe Umweltwirkung im Hinblick auf Ressourceninanspruchnahme entlang der weiteren Wertschöpfungskette	moderater Hotspot, fällt ausschließlich in den Bereich der Rohstoffgewinnung, durch z.B. Abbau von Bauxit (Risiko der Waldrodung v.a. Regenwald)	Wasserverbrauch in den Unternehmen selbst am höchsten, Wasserbelastung durch Anfall von giftigem Rotschlamm beim Bauxitabbau, was zur Verseuchung des Grundwassers führen kann	

Legende: **weinrot** – hohe Relevanz; **gelb** – moderate Relevanz; **grau** – kein Hotspot

WZ 2008 Code	Branche	THG-Emissionen	Luftschadstoffe (z.B. Stickoxide)	Rohstoffinanspruchnahme/-verbrauch	Flächenverbrauch/ Landnutzung	Wasserverbrauch & Gewässerbelastung	Sonstiges
13, 14	Textil- und Bekleidungsindustrie	hoher Energieverbrauch bei der Herstellung der Rohstoffe und Produkte u.a. bei der Veredelung von Textilien, aber überwiegend nicht in DE	moderater Ausstoß von Staub- und Schwermetallemissionen in die Luft	moderate Rohstoffinanspruchnahme, z.B. durch den Einsatz von Pestiziden und Düngern bei der Rohstoffherstellung (Baumwollanbau), des Weiteren Nutzung von Erdöl als Rohstoff für Chemiefasern	Flächeninanspruchnahme durch Anbau der Rohstoffe (Baumwolle)	hoher Wasserverbrauch beim Baumwollanbau, hoher Abwasseranfall, welches durch Chemikalien belastet ist, aber überwiegend nicht in DE	
10	Ernährungsindustrie	hoher Ausstoß an THG-Emissionen, mehr als die Hälfte der Treibhausgasemissionen entstehen bei der Erzeugung von Rohstoffen und fallen auch überwiegend in DE an	hoher Ausstoß an Luftschadstoffen, Schadstoffemissionen entstehen beim Pflanzenanbau (Rohstoffproduktion für die Ernährungsindustrie) und bei der Tierzucht, etwa 25 % der nationalen Schadstoffemissionen inkl. großer Teile der Landwirtschaft entfallen auf diese Branche (u.a. Ammoniak aus der Landwirtschaft)	moderate Rohstoffinanspruchnahme durch den Einsatz von Düngemitteln beim Anbau (Vorkette Landwirtschaft) in der Rohstoffproduktion und bei fossil betriebenen Fahrzeugen/Transporte der Rohstoffe und Produkte	Die Landnutzung betrifft ebenfalls größtenteils die Rohstoffgewinnung (Pflanzenanbau, gefolgt von Tierproduktion), sowohl direkte als auch indirekte Landnutzungseffekte können ausgelöst werden	hoher Wasserverbrauch und auch hohe Wasserbelastung durch den Einsatz von Pestiziden und Düngemitteln; zwei Drittel des Wasserverbrauchs beziehen sich auf die Rohstofferzeugung	
01	Landwirtschaft	Landwirtschaft in Deutschland trägt maßgeblich zur Emission klimaschädlicher Gase bei. Dafür verantwortlich sind vor allem Methan-Emissionen aus der Tierhaltung, das Ausbringen von Wirtschaftsdünger (Gülle, Festmist) sowie Lachgas-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden als Folge der Stickstoffdüngung (mineralisch und organisch).	80 % der N ₂ O-Emissionen stammen aus der Landwirtschaft	moderate Rohstoffinanspruchnahme durch den Einsatz von Düngemitteln beim Anbau und beim Einsatz von fossil betriebenen Fahrzeugen/Transporte der Rohstoffe zur weiteren Verarbeitung	Grünlandumbruch und Moornutzung	relevanter Wasserverbrauch u.a. durch Ausbreitung der Bewässerungslandwirtschaft (v.a. im Ausland); hohe Wasserbelastung durch Nitrate, die durch Düngung ins Grundwasser gelangen	Überbelastung des Bodens durch Nährstoffanreicherung (Überdüngung); Verlust von Biodiversität

Legende: **weinrot** – hohe Relevanz; **gelb** – moderate Relevanz; **grau** – kein Hotspot

WZ 2008 Code	Branche	THG-Emissionen	Luftschadstoffe (z.B. Stickoxide)	Rohstoffan-spruchnahme/-verbrauch	Flächenverbrauch/ Landnutzung	Wasserverbrauch & Gewässerbelastung	Sonstiges
02	Forstwirtschaft	moderater Hotspot; Wald ist ein CO ₂ -Speicher, aber wird Waldboden für Landwirtschaft genutzt, werden CO ₂ -Senken zerstört; Risiko des Anstiegs von THG-Emissionen sektorübergreifend, THG-Speicherungspotenzial hoch, aber nur bei nachhaltiger Bewirtschaftung; Emissionen über die Jahre relativ konstant, ohne die Forstwirtschaft und Holzverwendung wären die nationalen THG -Emissionen etwa 14 % höher	nicht relevant	nicht relevant	Landnutzungsänderungen beeinflussen Kohlenstoffspeicherkapazität en, globales Risiko, mögliches Problem der Umwandlung in Siedlungsfläche, für DE als nicht relevant bewertet	nicht relevant	
F	Bauwirtschaft (i.w.S.)	bei der Zementherstellung entstehen große Mengen an CO ₂ (Belastung entsteht überwiegend in der Vorkette, bei der Materialbereitstellung), des Weiteren hohe Energiebedarfe bei der Herstellung von Aluminium und Stahl für den Bau	moderater Ausstoß von Luftschadstoffen in der Vorkette, v.a. bei der Rohstoffverarbeitung	hoher Bedarf an Rohstoffen (u.a. Sand für Beton und Zementherstellung, Bauxit für die Herstellung von Aluminiumbauteilen)	Problem der Flächenversiegelung durch Ausweitung der Bautätigkeiten (Bauboom)	in der Vorkette (bei der Herstellung der in der Bauwirtschaft genutzten Produkte wie Aluminium, Stahl oder Zement) besteht das Risiko der Wasserverschmutzung z.B. beim Abbau von Bauxit,	Abfall, Baureststoffe steigen an; Suche nach Recycling-techniken, Effizienztechniken
29	Automobil-wirtschaft/Fahr-zeugbau	hoher THG-Ausstoß (ca. 90 % der Emissionen) entstehen auf den vorgelagerten Wertschöpfungsstufen, mehr als die Hälfte bei der Produktion von Vorprodukten und zwar bei der Metallverarbeitung und beim Strombezug für die Herstellung der verbauten Metalle, des Weiteren hohe Klimarelevanz der Fahrzeuge während der Nutzungsphase durch die Nutzung von konventionellen Kraftstoffen	generell sind die Schadstoffemissionen bei der Rohstoffgewinnung relativ gering, mehr als die Hälfte des Schadstoffausstoßes bezieht sich auf die Herstellung der Vorprodukte, ca. ein Drittel bezieht sich auf die Transportkette; Nutzung von fossilen Kraftstoffen ist schadstoffrelevant (v.a. Diesel)	hoher Verbrauch an Rohstoffen zur Metallherstellung, in der Nutzungsphase fossile Brennstoffe, Strommix bei Elektroantrieben sehr relevant	betrifft ausschließlich die Rohstoffgewinnung, kann Flächenkonkurrenz bei der Herstellung von nachhaltigen Kraftstoffen in der Nutzungsphase geben	Verbrauch verteilt sich gleichmäßig auf die gesamte Wertschöpfungskette	Lärm in der Nutzungsphase

Legende: **weinrot** – hohe Relevanz; **gelb** – moderate Relevanz; **grau** – kein Hotspot

WZ 2008 Code	Branche	THG-Emissionen	Luftschadstoffe (z.B. Stickoxide)	Rohstoffinanspruchnahme/-verbrauch	Flächenverbrauch/Landnutzung	Wasserverbrauch & Gewässerbelastung	Sonstiges
26, 27	Elektrotechnik-u. Elektronikindustrie (IKT)	moderater Ausstoß von THG-Emissionen, da zwei Drittel der Emissionen in der Lieferkette entstehen und damit nicht in DE	90 % der Luftschadstoffemissionen entfallen auf die Lieferkette und damit nicht in DE, hoher Anteil der Transporte, Stromverbrauch der Produzenten relevante Größe sowie Vorkette (Chemieindustrie und Metall) bezogen auf Emissionen von Stickoxiden	moderater Hotspot für Rohstoffinanspruchnahme aufgrund von Nutzung seltener Erden, Einsatz von Chemikalien in der Herstellungsphase	bezieht sich nur auf Rohstoffgewinnung, hoher Anteil für China, daher kein Hotspot in DE	im Gegensatz zu THG-Emissionen hoher Wasserverbrauch bei der Herstellung an den eigenen Standorten in DE selbst	
35	Energieversorgung	THG-Hauptverursacher in DE, etwa die Hälfte der energiebedingten Treibhausgasemissionen entfällt auf die Energiewirtschaft, CO ₂ hat mit 98 % den größten Anteil, Methan und Lachgas ist der Rest, die bei der Kohleförderung entstehen oder bei der Verbrennung;	moderate Emission von Luftschadstoffen, starke Minderung in den letzten Jahren durch Anstieg der Erneuerbaren Energien	relevante Rohstoffinanspruchnahme von fossilen Rohstoffen, insbesondere Kohle, Erdöl, Erdgas	bei der Rohstoffförderung bzw. auch beim Anbau von NaWaRo für die nachhaltige energetische Nutzung, hierbei können auch indirekte Landnutzungseffekte entstehen	Erwärmung von Flüssen durch Abwärme / Kühlung bei Kohle- und Kernkraftwerken, Belastung der Gewässer durch Braunkohletagebau	
51	Luftfahrt	durch Verbrennungsantriebe entstehen hohe THG-Emissionen (Kohlendioxid und Wasserdampf, zusammen ca. 95 %), wirken direkt in der Atmosphäre	Luftschadstoffe im Gegensatz zu THG gering, wenn auch vorhanden	hohe Rohstoffinanspruchnahme durch den Einsatz fossiler Brennstoffe, steigende Nachfrage nach nachwachsenden Rohstoffen für Biokerosin	Flächenverbrauch durch notwendige Infrastruktur (Flughäfen, Straßen etc.)	nicht relevant	Lärmverursacher
50	Schifffahrt	hohe CO ₂ -Emissionen durch Einsatz fossiler Brennstoffe	Feinstaub, Dieselruß und Stickoxide (insbesondere relevant in Hafenstädten)	Einsatz fossiler Brennstoffe	nicht relevant	Verschmutzung durch Schiffsabgase, insbesondere in Häfen	

Legende: **weinrot** – hohe Relevanz; **gelb** – moderate Relevanz; **grau** – kein Hotspot

WZ 2008 Code	Branche	THG-Emissionen	Luftschadstoffe (z.B. Stickoxide)	Rohstoffinanspruchnahme/-verbrauch	Flächenverbrauch/ Landnutzung	Wasserverbrauch & Gewässerbelastung	Sonstiges
36 (37)	Wasser-versorgung (u. Abwasser-entsorgung)	nicht relevant	nicht relevant	nicht relevant	nicht relevant	nicht relevant	
08	Gewinnung v. Steinen u. Erden	nicht relevant	moderate Luftschadstoffbelastung z.B. durch den Einsatz von Maschinen und durch die Entnahme-prozesse und damit die Bewegung des Bodens selbst (z.B. Staubemissionen)	hoher Ressourcenverbrauch in Form von Sand und Kies, hoher Bedarf für die Baustoffindustrie	Flächeninanspruchnahme durch Rohstoffabbau im Tagebau (Landschaftszerstörung, Sedimentzerstörung)	Tagebauaktivitäten kann negative Auswirkungen auf das Grundwasser haben	Biodiversitäts-verluste
24.1	Erzeugung von Roheisen und Stahl	relevanter Hotspot für THG-Emissionen, hoher Anteil an THG entsteht bei der Verarbeitung in DE, Emissionen durch den Stromverbrauch bei der Produktion entsprechen einem Fünftel des Gesamtverbrauchs, energieintensiv	ein Großteil der Schadstoffemissionen entsteht in der metallverarbeitenden Branche (über 40 %).	relevanter Hotspot für Rohstoffinanspruchnahme, Branche verbraucht z.B. rund ein Drittel des in DE produzierten Brandkalks	Flächeninanspruchnahme bei der Entnahme der Rohstoffe (Eisen)	Nutzung von Wasser in Kühlungsprozessen, wird aber überwiegend recycelt und wieder genutzt	Biodiversitäts-verluste
24.4	Erzeugung von NE-Metallen	hoher Anteil an THG entsteht bei der Verarbeitung in DE, Emissionen durch den Stromverbrauch bei der Produktion entsprechen einem Fünftel des Gesamtverbrauchs?	ein Großteil der Schadstoffemissionen entsteht in der metallverarbeitenden Branche (über 40 %).	sehr rohstoffintensiv, z.B. in Bezug auf Kupfer, Aluminium (NE-Metalle werden im Fahrzeugbau, Bauwesen, Elektrotechnik, Maschinenbau benötigt)	drei Viertel geht auf die Rohstoffgewinnung im Ausland und nicht in DE	hoher Wasserverbrauch	Biodiversitäts-verluste

Legende: **weinrot** – hohe Relevanz; **gelb** – moderate Relevanz; **grau** – kein Hotspot

WZ 2008 Code	Branche	THG-Emissionen	Luftschadstoffe (z.B. Stickoxide)	Rohstoffinanspruchnahme/-verbrauch	Flächenverbrauch/Landnutzung	Wasserverbrauch & Gewässerbelastung	Sonstiges
22	H. v. Kunststoffen	wenig energieintensiv und eher emissionsarm in der Herstellung, daher kein relevanter Hotspot	nicht relevant	ressourcenintensiv z.B. Erdöl als fossiler Basisrohstoff, steigende Nachfrage nach Biokunststoffen und entsprechender Anstieg der Nachfrage nach biogenen Ressourcen	Landnutzung kann eine Rolle spielen, wenn nachwachsende Rohstoffe als Rohstoff zugrunde liegen	Abfallphase: Müllanhäufung in den Meeren	
17.1	H. v. Papier und Zellstoff	energieintensive Herstellung, weltweit fünftgrößte Energieverbraucher, dazu kommen Transporte der Rohstoffe und der Produkte	moderat relevant durch Schadstoffbelastung durch Maschinen	hohe Ressourceninanspruchnahme von Holz, steigende Mengen an Pestizid- und Dünger zur Ertragssteigerung	Anstieg Plantagenflächen durch steigende Holznachfrage	Hoher Wasserverbrauch während des Herstellungsprozesses	
	Logistik/Handel	steigende THG-Emissionen durch Wachstum bei den Warentransporten (u.a. wg. steigendem Onlinehandel)	Ausstoß von Luftschadstoffemissionen durch Lieferverkehr in Wohnorten (v.a. Feinstaub)	Einsatz fossiler Kraftstoffe	nicht relevant	nicht relevant	

Legende: **weinrot** – hohe Relevanz; **gelb** – moderate Relevanz; **grau** – kein Hotspot

A.2 Summarische Bewertungstabelle Hotspotanalyse (ökologische Relevanz)

Nr.	WZ-Klassifikation	Branche	THG	Luftschadstoffe	Rohstoffinanspruchnahme	Flächeninanspruchnahme	Wasser	Summe
1	10	Ernährungsindustrie	3	3	2	3	3	14
2	1	Landwirtschaft	3	3	2	3	3	14
3	29	Automobilwirtschaft	3	3	3	3	2	14
4	20	Chemieindustrie	3	2	3	2	3	13
5	17	H. v. Papier und Zellstoff	3	1	3	3	3	13
6	F	Bauwirtschaft (i.w.S.)	3	2	3	3	2	13
7	21	Pharmaindustrie	3	2	3	2	2	12
8	50	Schifffahrt	3	3	3	1	2	12
9	24	Erzeugung von Roheisen und Stahl	3	3	3	2	1	12
10	24	Erzeugung von NE-Metallen	3	3	3	1	2	12
11	D	Energieversorgung	3	2	3	2	2	12
12	28	Maschinenbau	3	2	2	2	2	11
13	13, 14	Textilindustrie	2	2	2	2	2	10
14	26, 27	Elektrotechnik- u. Elektronikindustrie	2	2	2	1	3	10
15	51	Luftfahrt	3	2	3	1	1	10
16	8	Gewinnung v. Steinen u. Erden	1	2	3	2	2	10
17		Logistik/Handel	3	2	3	1	1	10
18	22	H. v. Kunststoffen	1	1	3	2	2	9
19	2	Forstwirtschaft	2	1	1	1	1	6
20	E	Wasserversorgung (u. Abwasserentsorgung)	1	1	1	1	1	5

Legende: 3 = hohe Relevanz in der Umweltdimension, 2 = moderate Relevanz in der Umweltdimension, 1 = kein Hotspot in der Umweltdimension;

Farbskala auf Basis der Summenwerte: **weinrot** – insgesamt hohe Relevanz; **gelb** – insgesamt moderate Relevanz; **grau** – insgesamt geringe Relevanz

A.3 Bewertungsmatrix Betroffenheit von Megatrends (direkte Betroffenheit)

WZ 2008 Code	Branche	Klimawandel	Ressourcenknappheit	Süßwassermangel	Biodiversitätsverlust
20	Chemieindustrie	sehr vulnerabel in Bezug auf Produktions- und Logistikprozesse, z.B. Ressourcen wie Erdöl; durch Überflutungen können Produktionsanlagen und Infrastruktur von Zulieferern zerstört werden, hohe Energieintensität der Produktion und damit indirekt betroffen, u.a. von steigenden Energiepreisen	besonders betroffen, aber biobasierter Rohstoffeinsatz möglich	sehr vulnerabel, da hoher Wasserverbrauch	Nicht vulnerabel
21	Pharmaindustrie	moderat vulnerabel in Bezug auf Produktions- und Logistikprozesse, z.B. Ressourcen wie Erdöl; durch Überflutungen können Produktionsanlagen und Infrastruktur von Zulieferern zerstört werden, hohe Energieintensität der Produktion und damit indirekt betroffen, u.a. von steigenden Energiepreisen	Besonders betroffen bei der Herstellung, auch Einsatz biogener Rohstoffe möglich	sehr vulnerabel, da hoher Wasserverbrauch, u.a. durch Vorprodukte aus der Chemieindustrie	moderat vulnerabel bei steigender Nutzung von biogenen Rohstoffen, z. B. evtl. betroffen durch Biodiversitätsrückgang im Hinblick auf Heilpflanzen
28	Maschinenbau	moderat vulnerabel durch Importabhängigkeit von Basisrohstoffen für die Metall- und Aluproduktion; Abbaugelände oder Infrastruktur könnte durch Überflutungen zerstört werden, indirekt auch sehr betroffen durch Maßnahmenenergieführung bzgl. Energieeffizienz, aber leisten einen Beitrag durch Bereitstellung von Heiztechnik, daher auch "Gewinner" des Klimawandels	Moderat vulnerabel durch ressourcenintensive Herstellung der Vorprodukte	nicht vulnerabel	nicht vulnerabel
13, 14	Textil- und Bekleidungsindustrie	moderat vulnerabel durch Abhängigkeit von Vorprodukten (Baumwollerträge)	Moderat vulnerabel durch den Einsatz von Stickstoffdüngern bei der Rohstoffherstellung (Baumwollanbau), des Weiteren Nutzung von Erdöl als Rohstoff für Chemiefasern	Bewässerung der Vorprodukte gefährdet (beim Baumwollanbau)	nicht vulnerabel
10	Ernährungsindustrie	Abhängigkeit von Ernteerträgen der Landwirtschaft und schwankenden Preisen für Nahrungsmittel	Moderat vulnerabel in Bezug auf die Nutzung von fossilen Rohstoffen beim Transport und bei der Energieversorgung in der Verarbeitung	hoher Wasserverbrauch in der Herstellung der Vorprodukte	Verlust der Artenvielfalt, oder Bienensterben wirkt sich negativ auf den Anbau der Rohstoffe aus, Artensterben im Wasser, daher auch Druck auf Fischerei, aber wäre eigener Sektor

Legende: **weinrot** – sehr vulnerabel; **gelb** – moderat vulnerabel; **grau** – wenig vulnerabel

WZ 2008 Code	Branche	Klimawandel	Ressourcenknappheit	Süßwassermangel	Biodiversitätsverlust
01	Landwirtschaft	Abhängigkeit von Ernteerträgen, aber Versorgung in DE noch nicht gefährdet	Moderat vulnerabel in Bezug auf die Nutzung von fossilen Rohstoffen beim Transport	Notwendigkeit der Bewässerung	Verlust der Artenvielfalt, oder Bienensterben wirkt sich negativ auf den Anbau der Rohstoffe aus, Störung des Ökosystems
02	Forstwirtschaft	einzelne wirtschaftlich relevante Baumarten wie die Fichte sehr betroffen vom Klimawandel durch Trockenheit; Insgesamt steht der Wald vor der Herausforderung den Bedarf an Holz als Rohstoff für die stoffliche und energetische Nutzung zu decken, andererseits ist der Wald eine CO ₂ -Senke	Nicht vulnerabel	Lange Trockenperioden schwächt die Wälder, dies gilt mittlerweile auch für eher resistendere Laubbäume wie Buche	Verlust der Artenvielfalt, oder Bienensterben wirkt sich negativ auf den Anbau der Rohstoffe aus, Störung des Ökosystems
F	Bauwirtschaft (i.w.S.)	nicht vulnerabel, gehörten eher zu den Gewinnern des Klimawandels, da energetische Sanierung der Gebäude ansteht und Schadensbeseitigung nach Extremwetterereignissen Aufträge bringt	Besonders betroffen, da hoher Bedarf an Rohstoffen (u.a. Sand für Beton und Zementherstellung, Bauxit für die Herstellung von Aluminiumbauteilen)	nicht vulnerabel	nicht vulnerabel
29	Automobilwirtschaft/Fahrzeugbau	hohe Importabhängigkeit von Vorprodukten und Sektor, der viele Maßnahmen ergreifen muss	Besonders betroffen, da hoher Verbrauch an Rohstoffen zur Metallherstellung, in der Nutzungsphase werden v.a. fossile Brennstoffe benötigt, auch bei Umstellung auf Elektroantrieb Strommix sehr relevant	nicht vulnerabel	nicht vulnerabel
26, 27	Elektrotechnik-u. Elektronikindustrie (IKT)	nicht vulnerabel, leisten eher einen Beitrag durch Bereitstellung von Klimatechnik	Moderat vulnerabel durch Nutzung seltener Erden, Einsatz von Chemikalien in der Herstellungsphase	moderat vulnerabel, da hoher Wasserverbrauch bei der Produktion	nicht vulnerabel
35	Energieversorgung	indirekt betroffen, da viele politische Maßnahmen ergriffen werden, direkt betroffen bei Hitzewelle und Problemen mit der Frischwasserkühlung, was bereits zu Zwangsabschaltungen geführt hat	Besonders betroffen hinsichtlich des Einsatzes von fossilen Rohstoffen, insbesondere Kohle, Erdöl, Erdgas	nicht vulnerabel	moderat vulnerabel, da bei Störungen des Ökosystems auch die biogenen Ressourcen, die für die Energieversorgung verwendet werden, negativ beeinflusst werden; Potenzialreduktion

Legende: **weinrot** – sehr vulnerabel; **gelb** – moderat vulnerabel; **grau** – wenig vulnerabel

WZ 2008 Code	Branche	Klimawandel	Ressourcenknappheit	Süßwassermangel	Biodiversitätsverlust
51	Luftfahrt	moderat betroffen durch Maßnahmen zur Verminderung der THG-Emissionen	Sehr betroffen durch den Einsatz fossiler Brennstoffe, steigende Nachfrage nach nachwachsenden Rohstoffen für Bio-kerosin	nicht vulnerabel	moderat vulnerabel durch Störungen des Ökosystems im Hinblick auf die steigende Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen u.a. für Biokerosin, Potenzialreduktion
50	Schifffahrt	moderat vulnerabel durch z.B. sinkende Pegelstände und deren Einfluss auf die Binnenschifffahrt	Sehr betroffen durch den Einsatz fossiler Brennstoffe	nicht vulnerabel	nicht vulnerabel
36 (37)	Wasserversorgung (u. Abwasserentsorgung)	Erderwärmung hat drastische Folgen für den globalen Wasserhaushalt, z.B. durch den Anstieg des Meeresspiegels, was zur Verknappung der Wasserversorgung führen kann/wird; in DE können Starkregenfälle zu Überlastungen des Kanalsystems führen und damit zeitweise zum Ausfall der Wasserversorgung im Sommer	Nicht vulnerabel	Versorgungsengpass	nicht vulnerabel
08	Gewinnung v. Steinen u. Erden	nicht vulnerabel	Sehr betroffen durch die Nutzung von Sand und Kies, hoher Nachfrage für den Einsatz in der Baustoffindustrie	nicht vulnerabel	nicht vulnerabel
24.1	Erzeugung von Roheisen und Stahl	nicht vulnerabel	Sehr betroffen u.a. durch den Verbrauch von Kalk	nicht vulnerabel	nicht vulnerabel
24.4	Erzeugung von NE-Metallen	nicht vulnerabel	Sehr betroffen in Bezug auf Kupfer, Aluminium (NE-Metalle werden im Fahrzeugbau, Bauwesen, Elektrotechnik, Maschinbau benötigt)	hoher Wasserverbrauch, welches jedoch durch Aufbereitung wiederverwendet werden kann	nicht vulnerabel
22	H. v. Kunststoffen	nicht vulnerabel	Sehr betroffen v.a. durch den Einsatz von Erdöl als fossiler Basisrohstoff, steigende Nachfrage nach Biokunststoffen und entsprechender Anstieg der Nachfrage nach biogenen Ressourcen	nicht vulnerabel	moderat vulnerabel bei steigender Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen
17.1	H. v. Papier und Zellstoff	nicht vulnerabel	Sehr betroffen durch die Nutzung von Holz	hoher Wasserverbrauch, welches jedoch durch Aufbereitung wiederverwendet werden kann	moderat vulnerabel, aber Recyclingraten steigen
	Logistik/Handel	nicht vulnerabel	Sehr betroffen durch den Einsatz fossiler Kraftstoffe	nicht vulnerabel	nicht vulnerabel

Legende: **weinrot** – sehr vulnerabel; **gelb** – moderat vulnerabel; **grau** – wenig vulnerabel

A.4 Summarische Bewertungstabelle Betroffenheit von Megatrends (direkte Betroffenheit)

Nr.	WZ-Klassifikation	Branche	Klima- wandel	Ressourcen- knappheit	Süßwasser- mangel	Biodiversitäts- verlust	Entwaldung	Summe Megatrend
1	10	Ernährungsindustrie	3	2	3	3	1	12
2	1	Landwirtschaft	3	2	3	3	1	12
3	20	Chemieindustrie	3	3	3	1	1	11
4	21	Pharmaindustrie	2	3	3	2	1	11
5	17	H. v. Papier und Zellstoff	1	3	2	2	2	10
6	D	Energieversorgung	3	3	1	2	1	10
7	2	Forstwirtschaft	3	1	3	3	3	13
8	E	Wasserversorgung (u. Abwasserentsorgung)	3	1	3	1	2	10
9	29	Automobilwirtschaft/Fahrzeugbau	3	3	1	1	1	9
10	13, 14	Textil- und Bekleidungsindustrie	2	2	3	1	1	9
11	51	Luftfahrt	2	3	1	2	1	9
12	24	Erzeugung von NE-Metallen	1	3	2	1	1	8
13	50	Schifffahrt	2	3	1	1	1	8
14	22	H. v. Kunststoffen	1	3	1	2	1	8
15	24	Erzeugung von Roheisen und Stahl	1	3	1	1	1	7
16	8	Gewinnung v. Steinen u. Erden	1	3	1	1	1	7
17	F	Bauwirtschaft (i.w.S.)	1	3	1	1	1	7
18	28	Maschinenbau	2	2	1	1	1	7
19		Logistik/Handel	1	3	1	1	1	7
20	26, 27	Elektrotechnik-u. Elektronikindustrie	1	2	2	1	1	7

Legende: 3 = sehr vulnerabel ggü. dem Megatrend, 2 = moderat vulnerabel ggü. dem Megatrend, 1 = wenig vulnerabel ggü. dem Megatrend

Farbskala (auf Basis der Summenwerte): **weinrot** – insgesamt sehr vulnerabel; **gelb** – insgesamt moderat vulnerabel; **grau** – insgesamt wenig vulnerabel;