UMWELT, INNOVATION, BESCHÄFTIGUNG
04/2022

Teilbericht AP 2

Strukturwandel zu einer Green Economy

Analysen und Empfehlungen zur Gestaltung

von:

Dirk Arne Heyen, Carl-Otto Gensch, Martin Gsell, Florian Hacker, Lukas Minnich, Cara-Sophie Scherf
Öko-Institut e.V., Berlin / Darmstadt / Freiburg

Claus Doll, Anna Grimm, Frank Marscheider-Weidemann, Katrin Ostertag, Christian Sartorius
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI), Karlsruhe

Herausgeber:
Umweltbundesamt

Für Mensch & Umwelt

Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und nukleare Sicherheit

Umwelt
Bundesamt

UMWELT, INNOVATION, BESCHÄFTIGUNG 04/2022

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

Forschungskennzahl 3716 14 101 0

FB000655

Teilbericht AP 2

Strukturwandel zu einer Green Economy

Analysen und Empfehlungen zur Gestaltung

von

Dirk Arne Heyen, Carl-Otto Gensch, Martin Gsell, Florian Hacker, Lukas Minnich, Cara-Sophie Scherf
Öko-Institut e.V., Berlin / Darmstadt / Freiburg

Claus Doll, Anna Grimm, Frank Marscheider-Weidemann, Katrin Ostertag, Christian Sartorius
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
/umweltbundesamt

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

Durchführung der Studie:
Öko-Institut e.V.
Postfach 17 71
79017 Freiburg

Fraunhofer ISI
Breslauer Straße 48
76139 Karlsruhe

Abschlussdatum:
Mai 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, April 2022

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

Kurzbeschreibung: Strukturwandel zu einer Green Economy

Wirksamer Klima- und Umweltschutz machen einen tiefgreifenden Wandel unserer Produktions- und Konsumweisen nötig. Im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung sollte es Ziel sein, den notwendigen „ökologischen Strukturwandel" so zu gestalten, dass (regional-) wirtschaftliche Anpassungsprozesse erleichtert, soziale Härten vermieden beziehungsweise abgefedert, und die wirtschaftlichen Chancen einer *Green Economy* genutzt werden.

Auf den Herausforderungen und Gestaltungsmöglichkeiten dieses Strukturwandels lag der Fokus des hier zugrundeliegenden ReFoPlan-Vorhabens „Strategien für den ökologischen Strukturwandel in Richtung einer *Green Economy*" (FKZ 3716 14 101 0).

Der hier vorliegende Teilbericht zum Arbeitspaket 2 des Projekts beinhaltet zum einen Erkenntnisse einer breiten Literaturauswertung zu Einflussfaktoren vergangener und laufender Strukturwandelprozesse. Zum anderen umfasst der Bericht drei Branchen-Fallstudien mit vertieften Analysen und Handlungsempfehlungen: zwei Fallstudien zu den für Deutschland volkswirtschaftlich bedeutsamen und vor einem ökologischen Strukturwandel stehenden Branchen Automobilindustrie und Basischemie, sowie eine Fallstudie zu einem möglichen künftigen *Green Economy* Geschäftsfeld, nämlich der Weiterverwendung von Batterien aus der Elektromobilität als stationäre Speicher.

Das Schlusskapitel vergleicht die beiden erstgenannten Fallstudien hinsichtlich Ursachen, Treibern und möglichen Entwicklungen des Strukturwandels, und beinhaltet zudem eine Synthese der Empfehlungen zur erfolgreichen Gestaltung ökologischen Strukturwandels.

Abstract: Economic structural change towards a Green Economy

Effective climate and environmental protection require a profound change in our production and consumption patterns. In the pursuit of sustainable development, we should aim to shape the necessary green economic structural change in such a way that (regional) economic adjustment processes are facilitated, social hardship is avoided or lessened, and the economic opportunities of a Green Economy are exploited.

The research project "Strategies for ecological structural change towards a Green Economy" (FKZ 3716 14 101 0) focused on the challenges and governance options in this process.

This report on Work Package 2 of the project includes firstly findings from a broad literature review on factors influencing past and current structural change processes. It further highlights three case studies with in-depth analyses and recommendations: case studies on the automotive and basic chemicals industries, which are economically significant for Germany and are facing an ecological structural change, as well as a case study on a possible future Green Economy business field, namely the subsequent use of batteries from electromobility as stationary storage units.

The final chapter compares the first two case studies in terms of causes, drivers and possible developments of structural change and also includes a synthesis of recommendations for successfully shaping ecological structural change.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis ... 11
Tabellenverzeichnis ... 12
Abkürzungsverzeichnis ... 13
Zusammenfassung ... 15
Summary ... 20
1 Einleitung ... 25
2 Einflussfaktoren auf Strukturwandel: Lehren aus vergangenen und laufenden Prozessen ... 27
2.1 Einführung ... 27
2.2 Wirtschaftsstruktur und unternehmensseitige Faktoren ... 28
2.2.1 (Regionale) Wirtschaftsstruktur ... 28
2.2.2 Investitionstätigkeit ... 30
2.2.3 Innovationsfähigkeit ... 32
2.2.4 Beschäftigte ... 32
2.3 Kontextfaktoren ... 34
2.3.1 (Regionaler) Arbeitsmarkt ... 34
2.3.2 Wissenschaftsstandort ... 35
2.3.3 Infrastruktur und regionale Attraktivität ... 36
2.3.4 (Regionale) Identität und soziale Akzeptanz ... 36
2.3.5 Rolle der Gewerkschaften ... 38
2.4 Die Rolle der Politik ... 39
2.4.1 Prozessuale Aspekte ... 39
2.4.1.1 Proaktive Herangehensweise an den Strukturwandel ... 39
2.4.1.2 Systemischer und konsistenter Politikansatz ... 40
2.4.1.3 „Begrenzung“ des Strukturwandels ... 41
2.4.1.4 Flexibilitätsfördernde Rahmenbedingungen ... 42
2.4.1.5 Beteiligung und Kooperation ... 42
2.4.2 Regulierung und (regionale) Fördermaßnahmen ... 43
2.4.2.1 Restrukturierung und Diversifizierung ... 44
2.4.2.2 Investitionsbedarfe und ihre Finanzierung ... 46
2.4.2.3 Arbeitsmarktpolitik ... 47
2.4.2.4 Anpassung der Infrastruktur ... 49
2.4.2.5 Stärkung der Forschungs- und Wissenschaftslandschaft ... 50
2.4.2.6 Förderung des gesellschaftlichen und kulturellen Angebots ... 51

2.5 Synthese ... 51
3 Fallstudie Automobilwirtschaft ... 55
3.1 Einführung und Eingrenzung der Fallstudie ... 55
3.2 Branchenstruktur sowie vor- und nachgelagerte Wertschöpfungsketten ... 57
3.2.1 Die Rolle deutscher Hersteller in der nationalen und globalen Pkw-Produktion ... 57
3.2.2 Wertschöpfungsketten und Zulieferindustrie ... 58
3.2.3 Vergleich der Antriebsstrangkomponenten von Verbrenner und Elektrofahrzeug ... 59
3.3 Treiber des Strukturwandels ... 61
3.3.1 Megatrends im Automobilsektor ... 61
3.3.1.1 Dekarbonisierung des Verkehrssektors ... 61
3.3.1.2 Digitalisierung ... 62
3.3.1.3 Verlagerung der globalen Automobilnachfrage und -produktion ... 62
3.3.2 Übergeordnete Rahmenbedingungen für den Umstieg vom verbrennungsmotorischen auf den elektrischen Antrieb ... 63
3.3.2.1 Technologischer Fortschritt von Batterien ... 63
3.3.2.2 Handlungsbedarf zur Minderung der Umweltwirkungen ... 64
3.3.2.3 Industrie- und geopolitische Interessen ... 64
3.3.3 Wirksame Entwicklungen und Maßnahmen für den Umstieg vom verbrennungsmotorischen auf den elektrischen Antrieb ... 65
3.3.3.1 Verschärfte Effizienzstandards für Pkw-Neufahrzeuge ... 66
3.3.3.2 Verschärfte Luftschadstoffgrenzwerte ... 66
3.3.3.3 Verpflichtende Zielzahlen für E-Pkw ... 67
3.3.3.4 Lokale Einfahrverbote für konventionelle Pkw ... 67
3.3.3.5 Zukünftige Zulassungsverbote für konventionelle Pkw ... 67
3.3.3.6 Monetäre Anreize bei Kauf und Zulassung von E-Pkw ... 68
3.3.3.7 Geringere Besteuerung von Strom / des Fahrzeugbetriebs (z. B. bei Dienstwagen) ... 68
3.3.3.8 Infrastruktur ... 68
3.3.3.9 Staatliche Förderung von Forschung und Entwicklung ... 69
3.3.3.10 Ausbau der EE-Stromerzeugung ... 69
3.3.3.11 Neue Wettbewerber ... 70
3.4 Mögliche Entwicklungen der Branche und ihre Folgewirkungen ... 70
3.4.1 Marktentwicklung Elektromobilität – Status Quo und Perspektiven ... 70
3.4.2 Marktentwicklung Elektromobilität – Auswirkungen auf Beschäftigung ... 73
3.4.3 Verbindung mit sonstigen Entwicklungen im Mobilitätsmarkt ... 75

3.4.5 Zwischenfazit: Ausgangsposition und Erfolgsaussichten für OEM, Netzwerk und Volkswirtschaft in der Transformation der Automobilwirtschaft ... 81
3.5 Strategie- und Handlungsempfehlungen ... 83
3.5.1 Weichenstellungen in der Unternehmensstrategie ... 84
3.5.2 Stärkung und zukunftsfähige Aufstellung der Industriestruktur durch die regionalen Akteure ... 86
3.5.3 Unterstützung von Unternehmen durch die Politik bei Innovationen und klimagerechter Strategiesetzung ... 87
3.5.4 Gewährleistung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Automobilindustrie im Strukturwandel ... 88
3.5.5 Beschäftigungspolitik durch Politik, Gewerkschaften und Unternehmen ... 89
3.5.6 Politische Steuerung des Mobilitätswandels ... 90
4 Fallstudie Chemieindustrie ... 93
4.1 Einführung und Eingrenzung der Fallstudie ... 93
4.2 Branchenstruktur sowie vor- und nachgelagerte Wertschöpfungsketten ... 97
4.2.1 Die Rolle der deutschen Chemischen Industrie im nationalen und internationalen Kontext ... 97
4.2.2 Wertschöpfungsketten: Abnehmerbranchen und Zulieferindustrie ... 100
4.3 Trends, Treiber und Hemmnisse des Strukturwandels ... 102
4.3.1 Megatrends und globale Entwicklungen in der Basischemie ... 102
4.3.2 Pfade zur Defossilierung der Rohstoffbasis ... 104
4.4 Mögliche Entwicklungen der Branche und ihre Folgewirkungen ... 107
4.4.1 Rohstoffe Basischemie 2030 und 2050 ... 107
4.4.2 Übergangszeit bis zur klimaneutralen Chemischen Industrie ... 109
4.4.4 Aspekte der Sektor-Integration und der Nachhaltigkeit ... 111
4.5 Zwischenfazit ... 112
4.6 Strategie- und Handlungsempfehlungen zur Unterstützung des Strukturwandels ... 114
4.6.1 Überblick ... 114
4.6.2 Entwicklung einer sektorübergreifenden und integrierten Roadmap zur Grundstoffindustrie in Deutschland ... 114
4.6.3 Erforderliche Rahmenbedingungen zur Gestaltung des Strukturwandels ... 115
4.6.4 Nähere Prüfung und Auswahl konkreter Politikinstrumente ... 116
5 Fallstudie neues Geschäftsfeld: Second-Life von Batteriespeichern aus der Elektromobilität für den stationären Einsatz ... 119
5.1 Einführung und Eingrenzung der Fallstudie ... 119

5.2 Technisch-ökonomische Grundlage und Geschäftsmodelle von SL-Lithiumspeichern aus der Elektromobilität ... 121
5.2.1 Technische Grundlagen ... 121
5.2.2 Markt- und Preisentwicklung von Lithium-Ionen-Batterien ... 123
5.2.3 Geschäftsmodelle und Anwendungsfälle ... 126
5.2.3.1 SL-Anwendungen im Bereich Regelleistung zur Frequenzhaltung im Stromnetz ... 128
5.2.3.2 Spitzenlastkappung (*peak shaving*) in Industrie und Gewerbe ... 129
5.2.3.1 Energiespeicher für Schnellladesäulen ... 130
5.2.3.2 Stromhandel über digitale Energieplattformen ... 130
5.2.3.3 SL-Lösungen im Privatkundenbereich ... 130
5.2.3.4 Weitere Anwendungsfelder, Forschungs- und Modellprojekte ... 130
5.3 Mögliche Entwicklungen der Branche und ihre Folgewirkungen ... 132
5.3.1 Arbeitsmarkteffekte durch Second-Life ... 133
5.3.2 Ökologische Auswirkungen von Second-Life ... 134
5.4 Treiber und Hemmnisse des Strukturwandels ... 135
5.4.1 Reparatur, Aufbereitung und Recycling ... 135
5.4.2 Verfügbarkeit von Second-Life-Batterien ... 136
5.4.3 Kostenentwicklung und Skaleneffekte ... 136
5.4.4 Zugriff auf ausgediente Speicher und Rücknahmesysteme ... 137
5.4.5 Sicherheit und Haftung ... 138
5.5 Strategie- und Handlungsempfehlungen ... 138
5.5.1 Anpassung der rechtlichen Vorgaben zum Abbau von Hemmnissen und Schaffung von Rechtsicherheit ... 138
5.5.2 Offenlegungspflicht von Schnittstelleninformationen ... 139
5.5.3 Ökologischen Nutzen der SL-Anwendungen sicherstellen ... 140
5.5.4 Zurechnung der Emissionsreduktion zum Verkehrsbereich in den Klimainventaren ... 140
6 Synthese ... 141
6.1 Ursachen & Treiber des Wandels ... 142
6.1.1 Ökologischer Handlungsdruck ... 142
6.1.2 Globale Marktentwicklungen und Regulierungen in Absatzmärkten ... 143
6.1.3 Technologischer Wandel ... 144
6.2 Mögliche Entwicklungen der Branchen und ihre Folgen ... 144
6.2.1 Automobilwirtschaft ... 144
6.2.2 Basischemie ... 145
6.3 Zwischenfazit ... 146

6.4 Strategie- und Handlungsempfehlungen 147
6.4.1 Herangehensweise: proaktiv, partizipativ und sektorübergreifend 147
6.4.2 Umweltpolitik: vorausschauend, ambitioniert, kohärent und lernend 149
6.4.3 Unternehmen beim Wandel unterstützen 150
6.4.4 Beschäftigte beim Wandel unterstützen 151
6.4.5 Industrieregionen beim Wandel unterstützen 152
7 Literaturverzeichnis 154

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Globale Emissionen (CO_2) des Verkehrs nach Verkehrsträger und Pfade zum *Sustainable Development Scenario* 55
Abbildung 2: Globaler Bestand an E-Pkw 71
Abbildung 3: Globale Flotte elektrischer Pkw nach unterschiedlichen Szenarien 72
Abbildung 4: Erwarteter globaler E-Pkw Bestand im Vergleich mit OEM-Zielen 73
Abbildung 5: Kennzahlen zur Chemischen Industrie (einschließlich Pharma) im Überblick.....98
Abbildung 6: Mögliche Kreisläufe für Kohlenstoff.....101
Abbildung 7: Energieträger der deutschen Chemischen Industrie.....108
Abbildung 8: Rohstoffe für die deutsche Chemische Industrie im Jahr 2050 nach der Studie Roadmap Chemie 2050 (C-Gehalt).....109
Abbildung 9: Mix an Politikinstrumenten auf den unterschiedlichen wirtschaftlich-technologischen Ebenen der Wertschöpfungskette 118
Abbildung 10: Primärenergieverbräuche unterschiedlicher strombasierter Pkw-Antriebstechnologien 120
Abbildung 11: Globale kumulierte Bedarfe an Batteriekapazitätsnachfrage für die Elektromobilität zur Erreichung der Klimaziele im Verkehr 124
Abbildung 12: EoL Batterien und Batterien bereitgestellt für Second-Life Anwendungen, in Tonnen pro Jahr 126
Abbildung 13: Abgeschätzte Brutto-Beschäftigungs- und Umsatzeffekte durch Second-Life 134
Abbildung 14: Treibhausgas Einsparpotenzial durch Second-Life 135

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht zu den Einflussfaktoren 28
Tabelle 2: Nennung und Gewichtung der Einflussfaktoren 51
Tabelle 3: Nennung der Einflussfaktoren in betrachteten Einzelfallbeispielen 54
Tabelle 4: Komponenten des Antriebsstrangs in verschiedenen Antriebskonzepten 60
Tabelle 5: Übersicht wirksamer Entwicklungen und Maßnahmen für den Antriebswechsel 65
Tabelle 6: Chancen und Risiken für OEM 78
Tabelle 7: Chancen und Risiken für das Netzwerk 79
Tabelle 8: Chancen und Risiken für Umwelt und Volkswirtschaft 81
Tabelle 9: Chancen- und Risikoszenarien für die Chemieindustrie 2030 103
Tabelle 10: Untersuchte Pfade in der Roadmap Chemie 2050 107
Tabelle 11: Chancen und Risiken einer geänderten, klimaneutralen Rohstoffversorgung für die Basischemie in Deutschland (DE) 110
Tabelle 12: Anwendungsfelder für stationäre Batteriespeicher 127

Abkürzungsverzeichnis

AG	Aktiengesellschaft
AP	Arbeitspaket (des Projekts)
BattG	Batteriegesetz
BEV	Batterieelektrisches Fahrzeug (*battery electric vehicle*)
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMS	Batteriemanagementsystem
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BTX	Benzol, Toluol und Xylol
CCU	Kohlenstoffabscheidung und -verwendung (*carbon capture and utilization*)
CO	Kohlenstoffmonoxid
CO_2	Kohlenstoffdioxid
DECHEMA	Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.
Destatis	Statistisches Bundesamt, Wiesbaden
E-	Elektro-
EE	Erneuerbarer Energie
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EFSI	*European Fund for Strategic Investments*
EMS	Energiemanagementsystem
EoL	(Produkt-) Lebensende (*end of life*)
EPR	Erweiterte Produzentenhaftung (*extended producer responsibility*)
EStG	Einkommenssteuergesetz
ETS	Emissionshandel (*emissions trading system*)
EU	Europäische Union
EV	Elektrofahrzeug (*electric vehicle*)
F & E / FuE	Forschung & Entwicklung
FCEV	Brennstoffzellenfahrzeug (*fuel cell electric vehicle*)
GWh	Gigawattstunden
GWP	Potenzial zur globalen Erwärmung (*global warming potential*)
HEV	Hybridfahrzeug (*hybrid electric vehicle*)
Hz	Hertz
ICEV	Fahrzeug mit Verbrennungsmotor (*internal combustion engine vehicle*)
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologien
IEA	Internationale Energieagentur
IOT	Input-Output-Tabelle
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
Kfz	Kraftfahrzeug

KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KW	Kilowatt
LKW	Lastkraftwagen
MaaS	Mobilität als Dienstleistung (*mobility as a service*)
MIV	Motorisierter Individualverkehr
Mt	Metertonne
MWh	Megawattstunden
NMC	Nickel Mangan Cobalt
NZL	Neuzulassungen
OEM	Fahrzeughersteller (*original equipment manufacturer*)
ÖV	Öffentlicher Verkehr
p.a.	Pro Jahr (per anno)
PHEV	Plug-In-Hybrid Fahrzeug (*plug-in hybrid electric vehicle*)
PKW	Personenkraftwagen
PRL	Primärregelleistung
PtX	*Power-to-X* (Umwandlung von Strom in andere Energieträger bzw. Rohstoffe)
PV	Photovoltaik
SL	Zweites (Produkt-) Leben (*second life*)
SoC	Ladezustand (*state of charge*)
SoH	Alterungszustand (*state of health*)
THG	Treibhausgase
TRL	Technologiereifegrad (*technology readiness level*)
TWh	Terawattstunde
UBA	Umweltbundesamt, Dessau
UN	Vereinte Nationen (*United Nations*)
USV	Unterbrechungsfreie Notstromversorgung
VCI	Verband der Chemischen Industrie
v. H.	Von Hundert
VZÄ	Vollzeitäquivalent
WTO	Welthandelsorganisation (*World Trade Organisation*)

Zusammenfassung

Nationale und regionale Wirtschaftssysteme unterliegen einem ständigen Wandel der Bedeutung und Ausprägung verschiedener Wirtschaftssektoren, der sich durch eine ambitionierte Klima- und Umweltpolitik aber noch einmal beschleunigen kann.

Insgesamt werden von dem Wandel zu einer *Green Economy* positive Wirkungen auf Wirtschaft und Beschäftigung erwartet. Unter Druck geraten können jedoch ressourcen- und/oder emissionsintensive Branchen, also jene, die – absolut gesehen und/oder relativ zu ihrer Wertschöpfung – einen hohen Umweltverbrauch aufweisen. Von diesen Branchen geprägte, wenig diversifizierte Regionen werden ebenfalls vor Herausforderungen gestellt, genauso wie Beschäftigte mit künftig weniger gefragten Qualifikationen.

Im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung sowie zur Vermeidung von Widerstand und Blockaden sollte Ziel staatlichen Handelns sein, den Wandel so zu gestalten, dass zu große wirtschaftliche Anpassungsfriktionen und soziale Härten vermieden bzw. abgefedert werden (*just transition*). Zugleich gilt es, die ökonomischen Chancen einer *Green Economy* zu nutzen.

Die vorliegende Studie trägt Erkenntnisse und Empfehlungen für eine erfolgreiche Gestaltung des „ökologischen Strukturwandels" zusammen. Sie umfasst zum einen eine literaturbasierte Analyse von Einflussfaktoren auf vergangene und laufende Strukturwandelprozesse im In- und Ausland (Kap. 2). Zum anderen umfasst sie drei Branchen-Fallstudien mit vertieften Analysen und Handlungsempfehlungen auf Basis von Literaturauswertungen und Stakeholder-Gesprächen: zwei Fallstudien zu den ökonomisch bedeutsamen und vor einem ökologischen Strukturwandel stehenden Branchen Automobilindustrie (Kap. 3) und Basischemie (Kap. 4), sowie eine Fallstudie zu einem möglichen künftigen *Green Economy* Geschäftsfeld, nämlich der Weiterverwendung von Batterien aus der Elektromobilität als stationäre Speicher (Kap. 5).

Ein abschließendes Kapitel (6) vergleicht die beiden erstgenannten (miteinander gut vergleichbaren) Fallstudien hinsichtlich Ursachen, Treibern und möglichen Entwicklungen des Strukturwandels, und beinhaltet zudem eine Synthese der Empfehlungen aus allen vorangegangenen Kapiteln zur erfolgreichen Gestaltung ökologischen Strukturwandels.

Diese verallgemeinerten Erkenntnisse und Empfehlungen zur erfolgreichen Strukturwandel-Gestaltung bilden im Folgenden auch den Schwerpunkt der Zusammenfassung hier.

Herangehensweise: proaktiv, partizipativ und sektorübergreifend

Vergangene Strukturwandelprozesse verliefen erfolgreicher, wenn sie frühzeitig erkannt und die mit ihnen einhergehenden Herausforderungen proaktiv angegangen wurden. Dies gibt Unternehmen und Beschäftigten mehr Zeit zur Umstellung auf neue Geschäftsmodelle sowie veränderte berufliche Anforderungen und Qualifikationen. So werden langfristig harte Strukturbrüche und kurzfristig falsche Investitionsentscheidungen vermieden.

Vorausschauendes Handeln ist insbesondere zentral bei Branchen mit langen Planungs- und Investitionszyklen, wie sie unter anderem in der Automobil- und Chemieindustrie gegeben sind. Der Planungsvorlauf für Pkw-Modelle liegt bei mehreren Jahren und die Fahrzeuge sind dann für zehn bis zwanzig Jahre auf der Straße. Große Produktionsanlagen in der Chemieindustrie und anderen energieintensiven Branchen haben eine Lebensdauer von mehreren Jahrzehnten. Daher ist es entscheidend, in welche Technologien die nächsten Jahre investiert wird.

Um vorausschauend und proaktiv handeln zu können, müssen Politik und Wirtschaft Risiken einzelner Branchen frühzeitig antizipieren. Dafür sollten sie sich regelmäßig in fundierten Analysen Klarheit darüber verschaffen, welche Branchen unter Druck geraten könnten, weil sie hohe Umweltbelastungen verursachen, und/oder weil Megatrends wie der Klimawandel

Anpassungen an Produktionsprozessen oder Produkten erfordern. Gute Analysen können auch ökologische Risiken aufdecken, die in der Breite noch wenig rezipiert und überraschend sind. (Ein Beitrag hierzu leistet der andere Teilbericht des Projekts, s. Hünecke et al. 2021.)

Somit folgt für die Politik, klare langfristige Ziele und verlässliche Rahmenbedingungen zu formulieren. Auch die Unternehmen selbst müssen sich frühzeitig auf den Wandel einstellen und über ihre Strategie klar werden. Es müssen rechtzeitig neue Kompetenzen und womöglich neue Geschäftsfelder sowie verlässliche Lieferketten aufgebaut werden.

Angesichts der kombinierten ökologischen, ökonomischen und sozialen Herausforderungen ist es wichtig, dass Politik, Wirtschaft, Gewerkschaften, Industrieregionen und zivilgesellschaftliche Akteure gemeinsam und konstruktiv darüber diskutieren, wie Strukturwandelprozesse in verschiedenen Branchen am besten zu gestalten sind. Die Auswertung vergangener Prozesse zeigt, dass Transformationsstrategien mit hohem Konsensgrad effektiver und robuster sind.

Wichtiger Ausgangspunkt ist, ein gemeinsames Problem- und Zielverständnis zu finden. Hiermit ist nicht zwingend eine Einigung auf bestimmte politische Maßnahmen gemeint, sondern ein Konsens über Notwendigkeit und Zielrichtung des Wandels – und optimalerweise eine gemeinsame Zukunftsvision für die Branche, die dann auch die Unternehmensleitbilder prägt. Vor- und Nachteile einzelner Technologien, konkrete Maßnahmen sowie Zielkonflikte bei der Erreichung der Vision können dann innerhalb des gemeinsamen normativen Rahmens offen diskutiert werden. Neben dem Klimaschutz sollten auch andere Nachhaltigkeitsaspekte berücksichtigt werden, um ökologische Problemverlagerungen zu vermeiden.

Angesichts großer Zusammenhänge und Abhängigkeiten zwischen Branchen müssen diese auch gemeinsam betrachtet werden. So können sich entlang von Wertschöpfungsketten mehrere parallele und zusammenhängende Anpassungserfordernisse ergeben. Insbesondere zwischen energieintensiven Grundstoffindustrien (aber auch zwischen diesen und dem Verkehrssektor) kann es zudem zu Konkurrenzen um große Mengen erneuerbar produzierten Strom und Wasserstoff kommen. Mit Blick etwa auf die Chemieindustrie wird die Entwicklung einer sektorübergreifenden und transnationale Roadmap empfohlen.

Umweltpolitik: vorausschauend, ambitioniert, kohärent und lernend

Mit der Formulierung klarer, ambitionierter, mittel- und langfristiger Nachhaltigkeitsziele kann die Politik Planungssicherheit schaffen. Dies ist von Vorteil für Unternehmen, Investoren und Beschäftigte gleichermaßen – etwa mit Blick auf Investitionen in Forschung & Entwicklung oder in langlebige Produktionsanlagen, die Produktpalette oder auch hinsichtlich Berufswahl bzw. Weiterbildung. Soweit sinnvoll möglich, sollten Ziele auf sektoraler Ebene präzisiert werden, um gegenseitige Verantwortungszuweisungen zwischen Sektoren zu vermeiden.

Wichtig ist zudem, den Blick nicht auf einzelne Nachhaltigkeitsziele zu verengen, sondern frühzeitig mögliche Zielkonflikte zu identifizieren und zu bearbeiten. Dies hilft, spätere Korrekturbedarfe zu reduzieren und stärkt die Planbarkeit. Dabei ist auch auf Kohärenz zwischen den Zielen unterschiedlicher politischer Ebenen und Ressorts zu achten.

Die Politik muss bei der Formulierung von Zielen und Maßnahmen zugleich darauf achten, dass sie Spielraum für Innovationen und neue Erkenntnisse lassen, denn der Strukturwandel findet in einem dynamischen Umfeld statt und gerade zu Beginn bestehen noch hohe Unsicherheiten. Daher muss ein lernendes Politiksystem seine Ziele und Maßnahmen regelmäßig überprüfen und eventuell anpassen oder präzisieren. Eine wichtige Grundlage dafür ist eine geeignete Indikatorik sowie Maßnahmen für Monitoring, Evaluierung und Kommunikation. Bei notwendigen Anpassungen ist es wichtig, dass die Politik die dahinterliegenden Muster – z. B.

die Kriterien, die sie bei der Anpassung ihres Instrumentariums anwendet – transparent und nachvollziehbar macht.

Neben ambitionierten Zielen gehören zur Gestaltung eines „ökologischen Strukturwandels“ auch anspruchsvolle klima- und umweltpolitische Instrumente, die den Ersatz problematischer Prozesse und Produkte durch ökologisch vorteilhafte sicherstellen. Welche Instrumente das konkret sein sollten, lässt sich hier nicht pauschal für alle Branchen und Umweltziele kurz benennen. In der Regel braucht es für einen tiefgreifenden Wandel aber einen „Policy-Mix“, der neben Information und Beratung auch finanziell anreizende und ordnungsrechtliche Instrumente beinhaltet und dabei Nachhaltiges fördert und Nicht-Nachhaltiges einschränkt oder finanziell belastet. Die Instrumente können mit der Zeit verschärft werden, insbesondere wenn entsprechende Schritte wiederum frühzeitig kommuniziert werden.

Eine besondere Rahmenbedingung für den ökologischen Strukturwandel ist die Verfügbarkeit großer (und relativ kostengünstiger) Mengen an erneuerbarem Strom: direkt als elektrische Energie, aber auch etwa zur Produktion von „grünem Wasserstoff“ als Energiespeicher und Rohstoff. Der sich aus ambitionierten Klimaschutzszenarien ergebende Bedarf für alle Sektoren übersteigt nicht nur deutlich die derzeitigen Ausbauambitionen für erneuerbare Energien, sondern absehbar das überhaupt verfügbare Potenzial in Deutschland. Damit ist ein erfolgreicher ökologischer Strukturwandel kurz- bis mittelfristig an einen schnelleren Ausbau erneuerbarer Energien sowie Überlegungen über die prioritäre Nutzung von Wasserstoff in verschiedenen Branchen zu knüpfen – und mittelfristig zudem an internationale Kooperationen mit Ländern mit besseren Bedingungen für die Produktion von Strom aus erneuerbaren Energien und strombasierten Rohstoffen.

Unternehmen beim Wandel unterstützen

Bei einer anspruchsvollen Klima- und Umweltpolitik in Deutschland und Europa muss darauf geachtet werden, dass durch die Maßnahmen keine bloße Verlagerung von Emissionen ins Ausland (*carbon leakage*) stattfindet, sei es durch Standortverlagerungen oder die Ersetzung heimischer Produktion durch Importe. Zur Regulierung beziehungsweise Bepreisung von Treibhausgasemissionen, oder auch hinsichtlich Gewinnung und Verbrauch von Ressourcen, wären international verbindliche Instrumente wünschenswert, diese sind jedoch in der Regel sehr schwierig zu realisieren. Eine sinnvolle Alternative kann ein europäisches Grenzausgleichsregime (*carbon border adjustment mechanism*) sein.

Darüber hinaus kann die Politik die vom Strukturwandel betroffenen Unternehmen durch die gängige Instrumentenpalette zur Förderung von klimafreundlichen Innovationen und Investitionen unterstützen, z. B. durch direkte Investitionszuschüsse, günstige Kredite (insbesondere über die KfW), staatliche Bürgschaften, steuerlich vorteilhafte Abschreibungsregelungen – und kostenlose Beratungsangebote zu den Fördermöglichkeiten.

Angesichts der Notwendigkeit und zugleich beträchtlichen Investitionsbedarfe für den ökologischen Strukturwandel sollte sich die öffentliche Innovationsförderung konsequenter als bisher nach Klima- und Umweltkriterien richten. Dies gilt auch für milliardenschwere Konjunkturprogramme, wie sie in Zuge der „Corona-Krise“ aufgelegt wurden.

Zugleich ist angesichts kurzer Innovationszyklen zu überlegen, wie die aus Sicht von Unternehmen zu langen und bürokratischen Prozessen mit oft an spezifischen Teiltechnologien gebundenen F&E Förderungen, Zuschüssen oder KfW-Krediten einfacher und flexibler gestaltet werden können. Ein Beispiel guter Praxis sind die „Innovationsgutscheine“ des Landes Baden-Württemberg. Hierbei handelt es sich um Programme, welche speziell KMU und Start-Ups bei

der Planung, Entwicklung, Umsetzung und Weiterentwicklung von innovativen Produkten, Dienstleistungen oder Produktionsverfahren in ausgewählten High-Tech-Feldern unterstützen.

Die Bedarfe von KMU sollten generell in besonderem Maße berücksichtigt werden. Manche KMU sind auf Technologien spezialisiert, die in Zuge des Strukturwandels an Bedeutung verlieren – etwa den Verbrennungsmotor. Diese Betriebe müssen – auch von ihren Abnehmern und den Sozialpartnern – unterstützt werden, die Stärken in ihrer Produktions- und Fertigungskompetenz auf, in dem Fall, die neue Antriebs- und Mobilitätswelt zu übertragen. Denn im Vergleich fällt es kleineren und jungen Firmen tendenziell schwerer, nötige Investitionen zu finanzieren, da die Kosten relativ zu ihrer Größe höher ausfallen, sie geringere absolute Überschüsse haben und bei Banken schwerer Kredite bekommen. Auch verursacht die Bewältigung bürokratischer Hürden bei ihnen relativ gesehen höhere Kosten.

Es kann für Unternehmen in einer Marktwirtschaft jedoch keine Bestandsgarantie und Unterstützung „um jeden Preis“ geben; manche werden auch vom Markt verschwinden. Im Gegenzug entstehen aber immer auch neue Unternehmen mit neuen Geschäftsmodellen und Arbeitsplätzen. Dafür ist es wichtig, Hemmnisse abzubauen und die Rahmenbedingungen so zu gestalten, dass nachhaltige Geschäftsmodelle und Gründungen attraktiv werden. Die dritte Fallstudie zu Second-Life-Batterien zeigt beispielsweise die Bedeutung von gesetzlichen Vorgaben zur Offenlegung bestimmter Daten aus dem automobilen Betrieb der Batterie, um nachhaltige Geschäftsmodelle einer „digitalisierten Kreislaufwirtschaft“ zu erleichtern.

Beschäftigte beim Wandel unterstützen

Beschäftigte in schrumpfenden oder in einem starken Wandel befindlichen Industrien sollten, unter Berücksichtigung vorhandener Kompetenzen, insbesondere durch Weiterbildungen und Umschulungen in Richtung zukunftsträchtige Tätigkeitsfelder unterstützt werden. Hierbei sind zunächst die Unternehmen selbst gefragt – in Kooperation mit Betriebsräten, Sozialpartnern und Ausbildungsstätten. Schließlich profitieren auch sie von den neu erworbenen Kompetenzen. Das Qualifizierungschancengesetz des Bundes bietet zudem staatliche Unterstützung. Es sieht finanzielle Fördermittel vor, die Unternehmen nutzen können, um ihre Beschäftigten durch Weiterbildungen auf künftigen Herausforderungen ihres Arbeitsfeldes vorzubereiten.

Für tiefgreifende Strukturwandelprozesse wie in der Automobilwirtschaft liegt zudem ein Vorschlag der IG Metall für ein „Transformationskurzarbeitergeld“ vor. Strukturwandelbedingte Kurzarbeit würde dabei systematisch für Qualifizierungsmaßnahmen für neue Tätigkeitsfelder genutzt. Die Beschäftigten blieben während der Qualifizierung beim Unternehmen beschäftigt, wobei der Lohn von der Bundesagentur für Arbeit bezuschusst würde.

Wenn eine Beschäftigung im bisherigen Betrieb nicht mehr möglich ist, sollten die üblichen Maßnahmen zur Unterstützung bei der Arbeitssuche greifen. Dazu gehören die Beratungs- und Vermittlungsangebote der Arbeitsagentur, Umzugshilfen, Einstellungs- und Beschäftigungsanreize für Unternehmen oder die Förderung von Existenzgründung. Bei größeren Umbrüchen können auch Beschäftigungsgesellschaften eingerichtet werden, die die Betroffenen mit öffentlicher Förderung befristet beschäftigen, weiterbilden oder umschulen, sowie bei der Arbeitssuche unterstützen. Bei älteren Beschäftigten können auch Vorruhestandsregelungen angeboten werden.

Industrieregionen beim Wandel unterstützen

Je regional konzentrierter eine Branche ist, und je stärker ihr Wandel oder gar ihr Niedergang, desto eher brauchen auch die betroffenen Regionen Unterstützung. In diesen Fällen geht es in erster Linie um die Förderung der Ansiedlung neuer Unternehmen mit nachhaltigen Geschäftsmodellen zur Diversifizierung und Ökologisierung der Wirtschaftsstruktur.

Maßnahmen hierfür können Investitionsanreize, Gründungsförderung und Infrastrukturausbau sein. Gut funktionierende öffentliche Infrastrukturen sind grundlegende Voraussetzung für die Attraktivität und damit Wettbewerbs- und Zukunftsfähigkeit eines Standorts.

Zudem wird grundsätzlich eine gut ausgebaute Forschungs- und Ausbildungslandschaft als wichtiger Erfolgsfaktor gesehen. Sie sichert im Zusammenspiel mit Unternehmen die Verfügbarkeit von Know-how und die Innovationsfähigkeit in einer Region. Doch auch Forschungseinrichtungen neigen dazu, sich an den (anwendungsorientierten) Bedürfnissen der regional dominierenden Industrie auszurichten. Für eine Diversifizierung der Wirtschaft ist eine Diversifizierung der Forschung nötig, jeweils mit Fokus auf nachhaltige Geschäftsfelder. Dabei hat eine starke Grundlagenforschung (zunächst) den Vorteil, offener in ihrer Ausrichtung und Nutzbarkeit zu sein.

Im Fall der Automobil- und der Chemieindustrie geht es nicht zwangsläufig um eine regionale Diversifizierung, sondern um den Wandel innerhalb etablierter Branchen. Aber auch hier können Standorte, für die die beiden Branchen derzeit zentrale Bedeutung haben, vor Herausforderungen stehen – zumal wenn neue Hersteller sich an ganz anderen Standorten ansiedeln, wie das Beispiel von Tesla in Brandenburg zeigt.

Die Bundesregierung fördert auf verschiedene Weise regionale Innovationscluster, u. a. auch speziell in der Zulieferindustrie des Fahrzeugbaus im Rahmen des Konjunkturpakets 2020. Mit Blick auf die Forschungslandschaft sind regionale Kompetenzzentren und eine hohe Anwendungsnähe sinnvoll, freilich bezogen auf die neuen Technologien und Geschäftsmodelle. Um technologischen „Sackgassen“ in regionalen Clustern der deutschen Automobilindustrie zu begegnen, ist auch die Politik vor Ort gefordert einen Dialog- und Strategieprozess mit allen Stakeholdern über die regionale Anpassung und Ausgestaltung des Strukturwandels zu führen.

Summary

National and regional economic systems are subject to the constantly changing importance and characteristics of various economic sectors (called economic structural change). This change can be further accelerated by ambitious climate and environmental policies.

Overall, the transition to a Green Economy is expected to have positive effects on the economy and employment. However, resource-intensive and/or emissions-intensive industries, i.e. those that – in absolute terms and/or relative to their value added – have a significant environmental impact, may come under pressure. Less diversified regions characterised by these industries will also face challenges, as will employees with skills that will be less applicable in the future.

In the interests of sustainable development and to avoid resistance and deadlock, the aim of government action should be to shape change in such a way that excessive economic adjustment frictions and social hardships are avoided or cushioned (just transition). At the same time, the economic opportunities of a Green Economy must be seized.

This study compiles findings and recommendations for successfully shaping a green economic structural change. It first comprises a literature-based analysis of factors influencing past and ongoing structural change processes in Germany and abroad (Chapter 2). It then highlights three case studies with in-depth analyses and recommendations based on literature reviews and stakeholder discussions: case studies on the economically significant automotive (Chap. 3) and basic chemicals (Chap. 4) industries, which are facing an ecological structural change, and a case study on a possible future Green Economy business field, namely the further use of batteries from electromobility as stationary storage units (Chap. 5).

A concluding chapter (6) compares the first two case studies (which are well-comparable) in terms of causes, drivers and possible developments of structural change, and also includes a synthesis of the recommendations from the previous chapters for successfully shaping ecological structural change.

Approach: proactive, participatory and cross-sectoral

Past processes of structural change have been more successful when identified early on and addressed proactively. This approach gives companies and employees more time to adapt to new business models and changing job requirements and qualifications. It further avoids hard structural breaks in the long term and the wrong investment decisions in the short term.

Foresight is particularly important in sectors with long planning and investment cycles, such as the automotive and chemical industries. The planning lead time for passenger car models is several years, with vehicles subsequently on the road for ten to twenty years. Large production plants in the chemical industry and other energy-intensive sectors have a service life of several decades. It is therefore crucial which technologies are invested in over the next few years. To be able to act proactively and with foresight, policymakers and industry must anticipate risks to individual sectors at an early stage. To do this, they should regularly conduct in-depth analyses to clarify which industries could come under pressure because they cause high environmental impacts and/or because megatrends such as climate change require adjustments to production processes or products. Good analyses can also uncover ecological risks that are still widely underestimated (see the other substudy report from this project: Hünecke et al. 2021).

This means that policymakers must formulate clear long-term goals and reliable framework conditions. The companies themselves must also adapt to the change at an early stage and formulate a clear strategy. New competencies and possibly new business areas as well as reliable supply chains must be established in good time.

In view of the combined ecological, economic and social challenges, it is important that politics, business, trade unions, regions and civil society actors jointly and constructively discuss how best to shape structural change processes in different industries. Evaluation of past processes shows that transformation strategies with a high degree of consensus are more effective and robust.

It is important to begin with a common understanding of the problem and the goal. This does not necessarily mean agreement on specific policy measures, but rather a consensus on the need for and direction of change – and ideally a shared vision of the future for the industry, which then also shapes the corporate mission statements. Advantages and disadvantages of individual technologies, concrete measures, and conflicting goals in achieving the vision can then be openly discussed within the common normative framework. In addition to climate protection, other sustainability aspects should also be taken into account in order to avoid ecological problem shifting.

A cross-sectoral approach is necessary in view of major interrelationships and dependencies between sectors. Furthermore, several parallel and interrelated adaptation requirements may arise along value chains. There may also be competition particularly between energy-intensive basic industries (but also between these and the transport sector) for large quantities of renewably produced electricity and hydrogen. With regard to the chemical industry, for example, the development of a cross-sectoral, transnational roadmap is recommended.

Environmental policy: forward-looking, ambitious, coherent and adaptive

By formulating clear, ambitious, medium- and long-term sustainability targets, policymakers can create planning certainty. This is advantageous for companies, investors and (future) employees alike – for example regarding investments in research & development or in durable production facilities, range of products or also with regard to career choices or further training. Wherever possible, targets should be specified at sectoral level in order to avoid mutual shifting of responsibility between sectors.

It is also important to look beyond specific sustainability goals to identify and address potential conflicts of goals at an early stage. This helps to reduce the need for corrections at a later stage and strengthens the ability to plan. Coherence between the goals of different political levels and departments must also be ensured.

When formulating goals and measures, policymakers must incorporate flexibility for innovation and learning, as structural change takes place in a dynamic environment with high levels of uncertainty, especially at the beginning. Therefore, an adaptive policy must include a regular review of goals and measures and, if necessary, adjust or specify them. An important basis for this is a suitable set of indicators as well as measures for monitoring, evaluation and communication. When adjustments are necessary, it is important that the underlying patterns – e.g., the criteria applied when adjusting instruments – be transparent and comprehensible.

In addition to ambitious targets, shaping ecological structural change also requires sophisticated climate and environmental policy instruments that ensure the replacement of problematic processes and products with ecologically advantageous ones. It is not possible here to list specific instruments that should be used across all sectors and environmental goals. As a rule, profound change rather requires a “policy mix” that includes not only information and advice but also financial incentives and regulatory instruments that promote sustainable practices while restricting or financially burdening unsustainable ones. Tools can furthermore be tightened over time, especially if appropriate steps are again communicated early.

A specific framework condition for ecological structural change is the availability of large (and relatively inexpensive) quantities of renewable electricity: directly as electricity, but also, for example, for the production of "green hydrogen" as an energy storage option and raw material. The cross-sectoral demand resulting from ambitious climate protection scenarios not only clearly exceeds the current ambitions for the expansion of renewable energies, but foreseeably exceeds the total potential available in Germany. Thus, a successful ecological structural change in the short to medium term must be linked to a faster expansion of renewable energies as well as considerations about the prioritised use of hydrogen in various sectors. The medium term must also include international cooperation with countries with greater electricity production capacities from renewable energies and electricity-based raw materials.

Supporting companies in the transition

An ambitious climate and environmental policy in Germany and Europe must ensure that measures do not merely result in emissions being shifted abroad (carbon leakage), whether through relocation or the replacement of domestic production with imports. Internationally binding instruments would be desirable for the regulation or pricing of greenhouse gas emissions, or the extraction and consumption of resources. These are however generally very difficult to implement. A plausible alternative could be a European carbon border adjustment mechanism.

In addition, policymakers can support companies affected by structural change through the standard range of instruments for promoting climate-friendly innovations and investments, e.g., through direct investment grants, favourable loans, government guarantees, tax-advantageous depreciation schemes – and free advisory services on funding options.

Given the necessity and at the same time considerable investment required for ecological structural change, public innovation funding should be geared more consistently than before to climate and environmental criteria. This also applies to economic stimulus programs worth billions, such as those launched in the wake of the Corona crisis.

In view of short innovation cycles, bureaucratic processes that companies see as too long and R&D subsidies, grants or KfW loans often tied to specific sub-technologies should be simplified and made more flexible. One example of good practice is the "innovation vouchers" of the state of Baden-Wuerttemberg. These are programmes that specifically support small and medium-sized enterprises (SMEs) and start-ups in the planning, development, implementation and further development of innovative products, services or production processes in selected high-tech fields.

The needs of SMEs should generally be given special consideration. Some SMEs specialise in technologies that are losing importance as a result of structural change – the combustion engine, for example. These companies must be supported – also by their customers and social partners – in transferring the strengths in their production and manufacturing expertise to, in this case, new types of engines and new forms of mobility. In comparison, smaller and young companies tend to find it more difficult to finance necessary investments because their costs are higher relative to their size, they have lower absolute surpluses and find it more difficult to obtain loans from banks. They also incur higher relative costs in overcoming bureaucratic hurdles.

In a market economy, however, there can be no guarantee of survival or support for companies "at all costs"; some will disappear from the market. In return, however, new companies with new business models and jobs are always created. To this end, it is important to remove barriers and shape the framework conditions in such a way that sustainable business models and start-ups become more attractive. The third case study on second-life batteries, for example, shows the

importance of legal requirements for the disclosure of certain data from the automotive operation of the battery in order to facilitate sustainable business models of a "digitalised circular economy".

Supporting workers in the transition

Workers in declining industries or industries undergoing major change should be particularly supported, in particular through further training and retraining in promising fields of activity, taking into account people's existing competencies. The companies themselves are first called upon in this step – in cooperation with works councils, social partners and training centres. After all, companies also benefit from the newly acquired skills of these workers. The German Skills Development Opportunities Act (Qualifizierungschancengesetz) offers additional state support. It provides financial support that companies can use to prepare their employees for future challenges in their field of work through further training.

For far-reaching structural change processes, such as in the automotive industry, there is also a proposal from the German trade union IG Metall for specific short-time work benefits called "*Transformations-Kurzarbeitergeld*". Under this scheme, structural change-related short-time work ("*Kurzarbeit*") would be systematically used for training measures in new fields of activity. The employee would remain employed by the company during the training, with their wages subsidised by the Federal Employment Agency.

If employment in the current company is no longer possible, the usual job search measures should take effect. These include counselling and placement services offered by the employment agency, relocation assistance, recruitment and employment incentives for companies or support for business start-ups. In the case of major disruptions, employment companies can also be set up with public funding to provide temporary employment, further training or retraining for those affected, and to support them in their job search. For older employees, early retirement schemes can also be offered.

Supporting industrial regions in the transition

The more regionally concentrated an industry is, and the more pronounced its change or even its decline, the more likely it is that the affected regions will also need support. In these cases, the primary objective is to promote the establishment of new companies with sustainable business models in order to diversify and green the economic structure. Measures for this can include investment incentives, start-up support and infrastructure development. Well-functioning public infrastructures are a fundamental prerequisite for the attractiveness and thus competitiveness and future viability of a location.

In addition, a well-developed research and training infrastructure is seen as an important success factor. Together with companies, it ensures the availability of know-how and the innovative capacity in a region. However, research institutions also tend to align themselves with the (application-oriented) needs of the regionally dominant industry. Diversification of the economy requires diversification of research, with a focus on sustainable business areas. In this context, strong basic research (initially) has the advantage of being more open in its orientation and usability.

In the case of the automotive and chemical industries, it is not necessarily a matter of regional diversification, but of change within the established industries. But even in these cases locations for which the two industries are currently of central importance can face challenges – especially if new manufacturers settle in completely different locations, as the example of Tesla in Brandenburg shows.

The German government is promoting regional innovation clusters in various ways, such as its support for the automotive supply industry as part of the 2020 economic stimulus package. In view of the research landscape, regional centres and a high degree of proximity to applications are advisable for research on new technologies and business models. In order to counter technological "dead ends" in regional clusters of the German automotive industry, local governments are also called upon to conduct a dialogue and strategy process with all stakeholders on regional adaptation and the design of structural change.

1 Einleitung

Werden die ökologischen Belastungsgrenzen der Erde (Rockström et al. 2009; Steffen et al. 2015) und globale wie nationale Nachhaltigkeitsziele ernst genommen, reichen inkrementelle (Effizienz-) Verbesserungen bei umweltbelastenden Produktionsprozessen und Produkten nicht mehr aus. Insbesondere die im Pariser Klimaschutzabkommen angestrebte Begrenzung des globalen Temperaturanstiegs auf 1,5°C erfordert schnelle, weitreichende und beispiellose Veränderungen (IPCC 2018).

Mit diesen umfassenden sozio-technischen Transformationen gehen auch ökonomische Strukturwandelprozesse einher. Nationale und regionale Wirtschaftssysteme unterliegen einem ständigen Wandel der Bedeutung und Ausprägung verschiedener Wirtschaftssektoren, der sich durch eine ambitionierte Klima- und Umweltpolitik aber noch einmal beschleunigen kann.

Von einer *Green Economy*[1] werden nicht nur Umwelt- und Gesundheitsvorteile erwartet, sondern in der Summe auch positive Wirkungen auf Wirtschaft und Beschäftigung (ILO 2018; NEC 2018; OECD 2017; UNEP et al. 2008). Zudem ist es volkswirtschaftlich langfristig günstiger, einen erheblichen Klimawandel zu vermeiden als mit seinen Wirkungen umgehen zu müssen (IPCC 2014; Stern 2006).

Ökonomisch unter Druck geraten jedoch ressourcen- und/oder emissionsintensive Branchen, also jene, die – absolut gesehen und/oder relativ zu ihrer Wertschöpfung – einen hohen Umweltverbrauch aufweisen (Hünecke et al. 2021; Knopf et al. 2016). Von diesen Branchen geprägte, wenig diversifizierte Regionen werden ebenfalls vor Herausforderungen gestellt, genauso wie Beschäftigte mit künftig weniger gefragten Qualifikationen (UNFCCC 2016).

Im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung sowie zur Vermeidung von Widerstand und Blockaden sollte Ziel staatlichen Handelns sein, den Wandel so zu gestalten, dass zu große wirtschaftliche Anpassungsfriktionen und soziale Härten vermieden bzw. abgefedert werden. Vor diesem Hintergrund wurde in den letzten Jahren zunehmend der Begriff *Just Transition* aufgegriffen, auch von UN-Gremien und Klimakonferenzen (EC 2019; ILO 2015; UNFCCC 2016). Zugleich gilt es die ökonomischen Chancen einer Green Economy zu nutzen.

Während sich Arbeitspaket (AP) 1 des hier zugrundeliegenden Projekts[2] mit der Identifikation möglicher vulnerabler Branchen befasste (Hünecke et al. 2021), ging es in AP 2 stärker um die Gestaltung des Strukturwandels. Konkret umfasste dies zum einen eine literaturbasierte Analyse von Einflussfaktoren auf Strukturwandelprozesse, deren Ergebnisse hier in Kapitel 2 vorgestellt werden. Zum anderen umfasste es drei nationale Branchen-Fallstudien mit vertieften Analysen und Handlungsempfehlungen auf Basis von Literaturauswertungen und Stakeholder-Gesprächen:

[1] 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.

[2] F+E-Vorhaben „Strategien und Handlungsempfehlungen für den ökologischen Strukturwandel in Richtung einer Green Economy“ im Rahmen des Ressortforschungsplan des BMU (FKZ 3716 14 101 0)

- Fallstudien zu den ökonomisch bedeutsamen und vor einem ökologischen Strukturwandel stehenden Branchen Automobilindustrie (Kap. 3) und Basischemie (Kap. 4)[3]
- eine Fallstudie zu einem möglichen künftigen *Green Economy* Geschäftsfeld, nämlich der Weiterverwendung von Batterien aus der Elektromobilität als stationäre Speicher (Kap. 5).

Das Schlusskapitel (6) vergleicht die beiden erstgenannten (miteinander gut vergleichbaren) Fallstudien hinsichtlich Ursachen, Treibern und möglichen Entwicklungen des Strukturwandels, und beinhaltet zudem eine Synthese der Empfehlungen aus allen vorangegangenen Kapiteln zur erfolgreichen Gestaltung ökologischen Strukturwandels.

Alle Analysen erfolgten primär im Jahr 2019. Wenngleich der Berichtsentwurf im Frühjahr 2021 in Zuge der Finalisierung noch einmal punktuell überarbeitet und aktualisiert wurde, so konnten mögliche Auswirkungen der im Frühjahr 2020 ausgebrochenen Corona-Pandemie hier trotzdem nicht substanziell berücksichtigt werden.

[3] Zu Strukturwandel im Kohlesektor gab es separate UBA-Projekte: „Strukturwandel in Kohleregionen als Prozess ökonomischer und sozialökologischer Transformation“ (FKZ 3716 41 113 0) und „Perspektiven für eine nachhaltige Entwicklung der Braunkohleregionen im Strukturwandel“ (FKZ 3718 11 102 0).

2 Einflussfaktoren auf Strukturwandel: Lehren aus vergangenen und laufenden Prozessen

*Autor*innen: Cara-Sophie Scherf (Öko-Institut), Christian Sartorius (Fraunhofer ISI)*

2.1 Einführung

Das Kapitel widmet sich den wirtschaftlichen, gesellschaftlichen und politischen Faktoren, die Strukturwandelprozesse und ihr sozioökonomisches Gelingen beeinflussen. Mit Gelingen ist gemeint, dass sich volks- bzw. regionalwirtschaftliche Nachteile und soziale Nachteile für die betroffene Bevölkerung in Zuge des Strukturwandels in Grenzen halten und mittelfristig neue wirtschaftlich erfolgreiche Strukturen aufgebaut werden können.

Für die Identifizierung und Darstellung der Einflussfaktoren wurden im Rahmen einer Literaturrecherche (2. Halbjahr 2018) laufende und abgeschlossene Strukturwandelprozesse im In- und Ausland untersucht und die in der Literatur beschriebenen Faktoren herausgearbeitet. Die Literaturauswertung umfasste dabei sowohl einzelfallübergreifende Literatur als auch Einzelfallbeispiele. Umweltaspekte stellten an dieser Stelle noch kein entscheidendes Auswahl- oder Bewertungskriterium dar, um die Literaturbasis nicht zu sehr einzuschränken.

Strukturwandelprozesse bilden den Gegenstand diverser Forschungsfelder. Für die Auswertung wurde keine enge Vorauswahl diesbezüglich getroffen, sondern vielmehr eine Fülle an Literatur u. a. der Wirtschaftsgeographie, Innovations- und Transformationsforschung sowie zu Exnovation, Diversifizierung und Konversion betrachtet (siehe Referenzen im Folgenden). Auch wurde keine Auswahl hinsichtlich erfolgreicher und erfolgsloser Strukturwandelprozesse vorgenommen. Denn gerade auch Negativbeispiele können wichtige Anhaltspunkte für Einflussfaktoren bieten. Außerdem kann eine solche Abgrenzung nicht immer eindeutig gezogen werden, zumal Erfolg mit großer Wahrscheinlichkeit unterschiedlich definiert würde aus Sicht der Unternehmen, Beschäftigten, lokalen Bevölkerung etc.

Ein erstes Screening der Literatur ergab, dass zumeist die Treiber und der Ablauf der Strukturwandelprozesse im Vordergrund der Darstellung stehen, weniger jedoch die Faktoren, die den „Erfolg“ von Strukturwandel im Sinne eines sozialverträglichen Wandels unter Entstehung ökonomisch erfolgreicher Alternativen beeinflussen. Wichtige Erkenntnisse hierzu konnten dennoch insbesondere einzelne Fallstudien liefern, die sich umfassend politischen, ökonomischen und sozialen Einflussfaktoren widmen.

Die Einflussfaktoren sind jeweils beschrieben und eingeteilt in a) Wirtschaftsstruktur und unternehmensseitige Faktoren, b) Kontext- sowie c) politische Faktoren. Die Faktoren sind zum Teil eng verknüpft. Die politischen Faktoren („die Rolle der Politik“) greifen naheliegenderweise in vielen Fällen die wirtschaftsbezogenen sowie die Kontextfaktoren auf. Teilweise besitzen sie jedoch eigenständig Gültigkeit, so dass an einer Dreiteilung festgehalten wurde.

In der Darstellung wurde insbesondere berücksichtigt, inwiefern Einflussfaktoren

- häufig und sektorenübergreifend genannt werden,
- als besonders wichtig beschrieben werden,
- in Abhängigkeit von der Art des Strukturwandels variieren,
- unzureichend oder gar nicht von der Politik adressiert werden oder werden können.

Tabelle 1: Übersicht zu den Einflussfaktoren

Wirtschaftsstruktur und unternehmensseitige Faktoren	Kontextfaktoren	Die Rolle der Politik
(Regionale) Wirtschaftsstruktur	(Regionaler) Arbeitsmarkt	Proaktive Herangehensweise an den Strukturwandel
Investitionstätigkeit	Wissenschaftsstandort	Systemischer, konsistenter Politikansatz
Innovationsfähigkeit	Infrastruktur und regionale Attraktivität	„Begrenzung“ des Strukturwandels
Beschäftigte	(Regionale) Identität und soziale Akzeptanz	Flexibilitätsfördernde Rahmenbedingungen
	Rolle der Gewerkschaften	Beteiligung und Kooperation
		Restrukturierung und Diversifizierung
		Investitionsbedarfe und ihre Finanzierung
		Arbeitsmarktpolitik
		Anpassung der Infrastruktur
		Stärkung der Forschungs- und Wissenschaftslandschaft
		Förderung des gesellschaftlichen und kulturellen Angebots

Quelle: eigene Darstellung

2.2 Wirtschaftsstruktur und unternehmensseitige Faktoren

Nicht nur für den ökologischen Strukturwandel ist aus wirtschaftlicher Perspektive die Branchenstruktur von großer Bedeutung, weil sie die gegenseitigen Beziehungen zwischen den Akteuren und Unternehmen beschreibt, die einerseits für deren aktuellen Wohlstand, andererseits aber auch für ihr Entwicklungspotenzial in der Zukunft maßgeblich sind. Wichtige Aspekte dieser Wechselwirkungen sind der Informationsaustausch und das gegenseitige Lernen, welche als Voraussetzungen für Innovationen und damit für bessere Konkurrenzfähigkeit und wirtschaftlichen Erfolg angesehen werden. Wissensaustausch und Innovationen erfordern aber ihrerseits den Einsatz von Ressourcen, d. h. Investitionen, um im erforderlichen Umfang zum Zuge zu kommen. Schließlich ist die Beschäftigung dafür maßgeblich, inwieweit der geschaffene Wohlstand der Bevölkerung zugutekommt und die zugrundeliegenden Strukturen damit die soziale und politische Legitimität erhalten. Die Punkte werden im Folgenden weiter ausgeführt.

2.2.1 (Regionale) Wirtschaftsstruktur

Wenn von Wirtschaftsstruktur die Rede ist, stehen zumeist Unternehmen im Vordergrund, die verschiedenen Branchen angehören, die aber über die Wertschöpfungskette miteinander in Beziehung stehen und bestimmte Technologien anwenden. Zunächst bezeichnet Wertschöpfung die im Zuge des Produktionsprozesses unter Ressourcenverbrauch und Technologieeinsatz geschaffenen (zusätzlichen) Werte. Damit diese sich in steigenden Gewinnen und Löhnen niederschlagen, müssen im Wettbewerb um eine begrenzte Nachfrage permanent Verbesserungen vorgenommen werden (Porter 1998). Aus dynamischer Perspektive sind diese Innovationen der entscheidende Treiber für die dauerhafte Schaffung von Wohlstand. Obwohl Innovationen und technischer Wandel im Speziellen an sich nicht geographisch gebunden sind, erlangt die Wirtschaftsstruktur dadurch regionalen Charakter, dass die Beziehungen zwischen

Unternehmen und ihren Beschäftigten nicht nur virtueller, sondern physischer Natur sind, d. h. es werden Güter und Leistungen ausgetauscht und die Akteure treffen sich persönlich, um Wissen auszutauschen. Koschatzky (2018) nennt im Einzelnen fünf Gründe, warum diese Strukturen geografisch-räumlichen und damit meist regionalen Charakter aufweisen.

1. Beschäftigte im gleichen oder in miteinander in Bezug stehenden Unternehmen lernen voneinander (*knowledge spillover*) und können so auf einen Wissensschatz zurückgreifen, der jedem Einzelnen nicht zur Verfügung stehen würde.
2. Das Wissen, welches auf diese Weise kumuliert wird, ist häufig nicht niedergeschrieben und daher für Außenstehende nicht leicht reproduzierbar. Daher wird es im Englischen als *tacit knowledge* bezeichnet, welches an seine Träger und damit in hohem Grad lokal gebunden ist.
3. Da die Schaffung neuen Wissens für die Einzelnen wie auch für Unternehmen, eine Branche oder eine ganze Volkswirtschaft einer Anstrengung bedarf, die sich im Anschluss mittel- und längerfristig in höherer Produktivität und Wohlstand niederschlägt, ist von Human- bzw. Sozialkapital die Rede. Dabei ist nicht nur die Menge des kumulierten Wissens von Bedeutung, sondern auch seine Qualität. So kann es sich bspw. um vertieftes Wissen in einzelnen Unternehmen oder Branchen handeln oder um weit gefächertes Wissen in einer Vielfalt von Unternehmen und Branchen.
4. Eine Innovation umfasst den gesamten Prozess von der Erforschung der Grundlagen über die Weiterentwicklung bis zum marktfertigen Verfahren oder Produkt. In jedem Stadium können andere Institutionen oder Akteure den Innovationsprozess unterstützen, die Wissenschaft bspw. die Grundlagenentwicklung und der Markt die Entwicklung zum wettbewerbsfähigen Produkt. Auch der Staat beeinflusst den Prozess durch die Setzung spezifischer Rahmenbedingungen. Alle zusammen bilden ein Netzwerk, welches zu einem großen Teil geografisch gebunden ist und den Innovationsprozess positiv oder negativ beeinflussen kann (Boschma 2005; Negro et al. 2009).
5. Schließlich wirken sich auch die Transportkosten zwischen Lieferanten und Kunden auf verschiedenen Stufen der Wertschöpfungskette in der Weise aus, dass kurzen Entfernungen und damit einer lokalen oder regionalen Beziehung der Beteiligten der Vorzug gegeben wird.

Regionale Wirtschaftsstrukturen sind zunächst attraktiv, weil sie das Wissen und die Ressourcen einer Vielzahl von Akteuren nutzen, um die Produktivität zu steigern und damit ggf. Wohlstand zu schaffen. In vielen Fällen sind die selbstverstärkenden Wirkungen dieser Strukturen so groß, dass sie auf eine dominierende Branche mit regional erheblicher wirtschaftlicher Bedeutung hinauslaufen. Da die Schaffung dieser Strukturen Ressourcen in erheblichem Umfang bindet, wird die Gründung neuer Unternehmen oder Branchen und damit auch jede Art von Strukturwandel mit dem Wachstum der dominanten Struktur zunehmend erschwert (Medhurst & Henry 2011).

Ursachen und Wirkung von Lock-in

Einige der von Koschatzky (2018) genannten Faktoren sind, je nach Ausprägung, außerdem auch als Ursachen von Pfadabhängigkeiten und Lock-in bekannt, dem Umstand also, dass sich ein Entwicklungspfad selbst verstärkt und Unternehmen, die diesen Pfad beschreiten, jenseits inkrementeller Innovationen kaum mehr in der Lage ist, einem grundlegend anderen Innovationspfad (= Trajektorie) zu folgen (Clausen & Fichter 2016). Dadurch ist die jeweils vorteilhafteste, zukünftige Technikentwicklung nicht frei wählbar, sondern von den Strukturen abhängig, die in der Gegenwart bereits vorliegen (Pfadabhängigkeit). Vor allem *tacit knowledge*, Human- und Sozialkapital sowie Netzwerkeffekte können, wenn sie sich innerhalb einer Region zu sehr an einer einzelnen Technologie oder Branche ausrichten, zu einem Hemmschuh für die regionale Restrukturierung und Neuausrichtung werden (Arthur 1989; David 1985).

Die Kräfte, die die Entwicklung zunächst wirkungsvoll vorangetrieben haben, stabilisieren den Innovationspfad dann durch die Weiterentwicklung und das stetige Anwachsen selber. Dadurch verhindern sie den Wechsel zu einem neuen Pfad, der andere Wissens- und Netzwerkstrukturen erfordern würde (Dosi 1982; Negro et al. 2010). Dieser Wechsel ist aber Voraussetzung für neue Entwicklungsschübe in der Zukunft oder, im Falle des Ausstiegs aus einer Technologie, die Restrukturierung der entsprechenden Wirtschaft.

Überwindung des Lock-in

Durch Skaleneffekte, Wettbewerb und die anderen bereits erwähnten Faktoren besitzt jede Branchenstruktur eine Tendenz zu im Zeitverlauf sinkender Vielfalt und zunehmendem Lock-in. Dabei sinkt im Durchschnitt der zusätzliche (Grenz-) Nutzen, der aus jeder zusätzlichen Forschungs- und Entwicklungsaktivität hervorgeht. Um dieser negativen Entwicklung zu entgehen und neue Potenziale zu heben, die auch einem Strukturwandel zugutekommen könnten, muss der Lock-in überwunden und neue Trajektorien identifiziert und beschritten werden. Aus der bestehenden, sich selbst stabilisierenden Struktur heraus ist ein so weitgehender Wandel nicht einfach. Nur wirtschaftlich starken Akteure im Kern des bestehenden Netzwerkes ist zuzutrauen, über die Mittel und den Einfluss zu verfügen, die für den Wandel notwendigen neuen Beziehungen aufzubauen und zu etablieren. Ist das nicht der Fall, ist eine Intervention des Staates notwendig (s. Kapitel 2.4.2).

2.2.2 Investitionstätigkeit

Investitionszyklus und versunkene Kosten

Der Aufbau von Unternehmen und ganzen Branchen erfordert Investitionen in Sachkapital wie Gebäude und Anlagen wie auch in Humankapital, d. h. Know-how. Je größer ein Unternehmen oder eine Branche, desto mehr muss investiert werden. Der Sinn einer Investition besteht darin, dass sie sich im Zeitverlauf bezahlt macht: eine neue Maschine dadurch, dass die Produktivität und damit die Wettbewerbsfähigkeit und der Gewinn gesteigert werden, eine qualifiziertere Arbeitskraft dadurch, dass sie anspruchsvollere, produktivere Tätigkeiten verrichtet. Wird eine Maschine vor Ablauf ihrer möglichen Nutzungsdauer nicht mehr benötigt, so muss ihr Restwert abgeschrieben werden. Diese „versunkenen Kosten“ schmälern ggf. den Gewinn oder erhöhen den Verlust. Um versunkene Kosten zu vermeiden, werden neue Anlagen i.d.R. erst dann beschafft, wenn die alten ausgedient haben und abgeschrieben sind. Der regelmäßige Ersatz alter durch neue Anlagen wird als Investitionszyklus bezeichnet (Medhurst & Henry 2011).

Für die Restrukturierung einer Wirtschaft bedeuten hohe versunkene Kosten ein starkes Beharrungselement mit einer geringen Neigung zur Veränderung. Andererseits sind am Ende jedes Investitionszyklus die Voraussetzungen für einen Wandel günstig, weil die versunkenen Kosten gegen Null gehen. Ein solches Gelegenheitsfenster (*window of opportunity*) kann sowohl von den Unternehmen als auch von der Politik genutzt werden, um eine Restrukturierung einzuleiten (Zundel et al. 2005).

Lernen als Investition

Auch Lernen stellt eine Investition dar, da das Kumulieren von Wissen zunächst mit Zeitaufwand und meist mit Mühe verbunden ist, bevor die Produktivität der Arbeit gesteigert wird. Individuelles Wissen ist zunächst an die Person gebunden, die es erlernt hat, kann aber mit ihr von einem Unternehmen zu einem anderen transferiert werden. Das bedeutet aber nicht, dass das Wissen in jedem Unternehmen die gleiche Produktivität entfaltet. Im Gegenteil: Wissen ist meist kontextabhängig und damit von unterschiedlichem Wert, je nachdem, wo es zur Anwendung kommt. Im Falle einer Restrukturierung der Wirtschaft kann individuelles Wissen

daher umso stärker entwertet werden, je mehr sich die ursprüngliche und die neue Branche unterscheiden (Boschma 2005).

Im Unterschied zum individuellen Wissen manifestiert sich das innerhalb einer Firma kumulierte, prozessbezogene Wissen in den dort praktizierten Routinen (Nelson & Winter 1982). Hier ist nicht nur, wie beim individuellen Wissen, die Wahrscheinlichkeit hoch, dass die Routinen in einer anderen Branche oder gar einem anderen Unternehmen nicht sinnvoll anwendbar wären. Da es sich um *tacit knowledge* handelt, welches nicht explizit aufgeschrieben wurde, sondern in den Aktivitäten der Mitarbeitende fortlebt, ist es unwahrscheinlich, dass es überhaupt übertragen werden kann. Dieses Wissen erfährt i. d. R. schon beim Wechsel des Unternehmens und erst recht beim Wechsel der Branche eine weitgehende Entwertung. Im Falle der Restrukturierung einer Wirtschaft muss dieses Wissen (für die neu entstehenden Unternehmen und Branchen) weitgehend neu geschaffen und entsprechende Investitionen getätigt werden. Die Beschäftigten, die Träger dieses verlorenen oder neu zu erwerbenden Wissens sind, müssen dementsprechend beim Wissenserwerb unterstützt werden, wenn der Strukturwandel gelingen soll.

Lernen findet auch über Individuen und Unternehmen hinweg im Kontext der Technologieentwicklung statt. So sinken die Kosten für die Anwendung bestimmter Technologien (und damit die Produktionskosten für die damit hergestellten Güter) mit der kumulierten Produktionsmenge. Diese Art des Lernens wird "*Learning by doing*" (Arrow 1962) oder "*Learning by using*" (Rosenberg 1982) genannt und ist bei lange etablierten Technologien (und den dadurch charakterisierten Branchen) sehr ausgeprägt. Auch diese Investition wird beim Umstieg auf andere Technologien obsolet.

Innovation als Investition

Der Prozess der Innovation umfasst die Entwicklung einer Erfindung bis hin zur Marktreife. Dazu muss zuerst das Funktionsprinzip etabliert werden, bevor das innovative Gut zunächst als Prototyp, dann im Kleinen und schließlich im industriellen Maßstab für den Markt produziert wird. Erst auf dieser letzten Stufe ist die Produktion grundsätzlich wirtschaftlich. Alle anderen Stufen sind wirtschaftlich nicht tragfähig, d. h. der/die Unternehmer*in muss mehr Geld zahlen als er/sie herausbekommt. Bis die Produktion profitabel ist, investiert er/sie also, erst dann erfolgt, wenn überhaupt, die Rückzahlung. Voraussetzung dafür, dass Gewinn erzielt wird, ist nämlich außerdem, dass die Innovation eine gewisse Verbreitung erlangt. Dafür bedarf es der entsprechenden Nachfrage, deren Existenz vorab immer mit Unsicherheit behaftet ist. Dieses erhöhte Risiko wirkt sich nachteilig auf die Beschaffung der erforderlichen Finanzmittel aus. In einer reifen, etablierten Industrie ist der *Payback* aus der laufenden Produktion aufgrund der hohen Stückzahl (trotz teilweise geringer Margen) in der Regel groß, so dass das Risiko von Investitionen in neue Produkte oder Verfahren, soweit sie überhaupt stattfinden, gering ist.

Investitionen kleinerer Unternehmen

Im Gegensatz zu etablierten, großen Unternehmen ist nicht nur der relative Investitionsbedarf junger Unternehmen größer, vielmehr fällt es kleinen Unternehmen schwerer, diese Investitionen zu finanzieren. Der größere Investitionsbedarf kleinerer Unternehmen resultiert daraus, dass sie zu Beginn ihrer Geschäftstätigkeit im Verhältnis zu ihrer Größe stärker wachsen. Sie benötigen daher relativ gesehen größere Gebäude und Anlagen. Außerdem müssen sie mehr Geld in die (Weiter-) Entwicklung ihrer Produkte oder Verfahren und in Werbung investieren, um am Markt überhaupt erst fußzufassen. Hinzu kommt, dass kleinere Unternehmen relativ geringere Überschüsse aufweisen, aus denen sie diese Investitionen finanzieren können, und bei Banken aufgrund des höheren Risikos über eine geringere Kreditwürdigkeit verfügen. Während im bestehenden Bankensystem bei der Finanzierung von

Investitionen also von einer Vorliebe für größere Unternehmen und etablierte Branchen ausgegangen werden kann, sollte die Förderung eines Strukturwandels die Finanzierung von Investitionen kleiner Unternehmen in weniger gut etablierten Branchen in den Fokus nehmen.

2.2.3 Innovationsfähigkeit

Innovationsfähigkeit ist eine Grundvoraussetzung für Wettbewerbsfähigkeit und damit ein längerfristiges Bestehen am Markt. Wie in Kapitel 2.2.1 dargestellt, verändert sich die Innovationsfähigkeit im Laufe der Entwicklung eines Unternehmens oder einer Branche sowie, auf einem stärker aggregierten Niveau, entlang von Konjunkturzyklen. Wie Medhurst und Henry (2011) feststellen, können auch Konjunkturzyklen mit strukturellem Wandel einhergehen. Im Gegensatz zum ökologischen Strukturwandel resultieren Konjunkturzyklen aber spontan aus der Summe der (Innovations-)Aktivitäten der Wirtschaftsakteure. Ökologischer Strukturwandel muss hingegen von der Politik aktiv herbeigeführt und in die richtige Richtung gelenkt werden, weil der Markt als Lenkungsinstrument versagt.

Auch wenn die Zahl der Unternehmen sich insgesamt kaum verändert, werden doch ständig Firmen geschlossen und an anderer Stelle eine vergleichbare Zahl von Firmen gegründet. Dabei ist die Produktivität neuer Firmen um drei bis fünf Prozent höher als die derer, die geschlossen werden (Medhurst & Henry 2011). Wie die Geschichte zeigt, wirkt sich struktureller Wandel längerfristig vorteilhaft auf das Wachstum aus. Kurzfristig und vor allem, wenn er unerwartet kommt, schlägt sich ein wirtschaftlicher Schock in einem Absinken wirtschaftlicher Aktivität nieder, wobei es keine Rolle spielt, ob dieses Absinken Teil autonom ablaufender Konjunkturzyklen oder (wie beim Ausstieg aus einer dominanten Technologie bzw. Industrie) absichtlich herbeigeführt ist (Medhurst & Henry 2011). In jedem Fall hat das Absinken wirtschaftlicher Aktivität und das Ausscheiden von Unternehmen auch eine positive Seite. Beim Auflösen von Unternehmen werden Arbeitskräfte frei und Vermögensgegenstände werden günstig veräußert, womit frische Ressourcen für den Innovations- und Wachstumsprozess an anderer Stelle freiwerden. Außerdem werden bei dieser Gelegenheit auf Branchenebene Strukturen zerstört, die sich zuvor als für die wirtschaftliche Entwicklung zunehmend hinderlich erwiesen und den Zusammenbruch begünstigt haben. Von Schumpeter (1942) wurde dieser Prozess folglich "schöpferische Zerstörung" genannt.

Zentraler Akteur der Innovationsfähigkeit ist der/die Unternehmer*in. Er/Sie ist es, der/sie das Risiko auf sich nimmt, eine Erfindung bis zur Marktreife weiterzuentwickeln. Die Bereitschaft, dieses Risiko einzugehen und diese Rolle anzunehmen, ist nicht in allen Kontexten gleich. In einer Region, die durch große Industrien geprägt ist, ist die Bereitschaft i. d. R. geringer als in einer Region mit vielen kleinen Unternehmen, in denen der/die Unternehmer*in zum alltäglichen Erscheinungsbild gehört. Darüber hinaus ist es eine Frage der kulturellen Prägung, wie groß die Neigung zum Unternehmertum ist. In jedem Fall kann die Bereitschaft durch entsprechende Wissensvermittlung (z. B. in der Schule) und Unterstützung (z. B. durch einschlägige Beratungsagenturen) gesteigert werden (Medhurst & Henry 2011).

2.2.4 Beschäftigte

Aus Sicht der Beschäftigten kann der Strukturwandel zwei Perspektiven einnehmen. In den Branchen, die im Zuge des Umbruchs heruntergefahren werden sollen, werden i. d. R. mehr Beschäftigungsverhältnisse obsolet als durch das altersbedingte Ausscheiden der Beschäftigten "auf natürliche Weise" zu einem Ende kommen. Andererseits werden für den Aufbau neuer Branchen neue Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter benötigt, deren Kompetenzen mit denen der Ausscheidenden häufig nicht identisch sind. Deshalb sind in beiden Fällen verschiedene Ansätze zum Umgang mit diesen Ungleichgewichten erforderlich, die sich nur teilweise überschneiden.

Umgang mit den ausscheidenden Beschäftigten

Ein Teil der Beschäftigten in vom Rückbau betroffenen Branchen bzw. Unternehmen besitzt Kompetenzen, die auch in Unternehmen anderer, von der Restrukturierung nicht betroffenen Branchen benötigt werden. Vor dem Hintergrund der wenig vorteilhaften Perspektive in ihrem aktuellen Beschäftigungsverhältnis sollten diese von sich aus zumal dann nach einer Alternative suchen, wenn ihnen durch eine Abfindung ein zusätzlicher Anreiz für einen frühzeitigen Wechsel geboten wird.

Die Beschäftigten, für die der freiwillige Wechsel keine Option darstellt, finden sich in einer unvorteilhaften und unangenehmen Situation wieder, deren Eintreten zwar von außen betrachtet nicht völlig unwahrscheinlich, im Kontext der aktuellen Wirtschaftsstruktur und Politik (vor dem Strukturwandel) aber auch nicht unbedingt zu erwarten war. Angesichts dieser Unsicherheit kann argumentiert werden, dass sie sich nicht schuldhaft in diese Situation gebracht haben. Schon wenn der Niedergang einer Branche der mangelnden Wettbewerbsfähigkeit auf den Märkten geschuldet ist, lässt sich, wie Johnstone und Hielscher (2017) und Snyder (2018) darlegen, in einer kapitalistisch geprägten Gesellschaft, wie sie in Großbritannien und den USA vorherrscht, darüber streiten, inwieweit die Kosten der resultierenden Umstrukturierung von den einzelnen Betroffenen (Beschäftigten) zu tragen sind oder von der Gemeinschaft, die vom Wirken der Märkte profitiert.[4] Diese Überlegungen gelten in einem marktwirtschaftlichen Kontext umso mehr, wenn der Niedergang nicht aus dem Wirken eines gemeinhin akzeptierten (Markt-) Mechanismus resultiert, sondern aus anderen, übergeordneten Gründen von der Politik absichtlich herbeigeführt wurde. Im Fall des Ausstiegs aus der Braunkohle, zum Beispiel, ist der Klimaschutz und damit der Schutz des Gemeinschaftsgutes Umwelt und menschlichen Lebens das politikleitende Argument, von dem alle Bürger*innen Nutzen ziehen. Deshalb wird es im Diskurs um die gezielte Umstrukturierung überkommener Industrien in vielen, auch angelsächsischen Ländern als eine Frage der Gerechtigkeit angesehen, dass die freiwerdenden Beschäftigten nicht einfach sich selbst überlassen und die Lasten bis zu einem gewissen Grad von der Gemeinschaft getragen werden (z. B. Healy & Barry 2017, Johnstone & Hielscher 2017, Snyder 2018).

Während im vorangegangenen Abschnitt Gerechtigkeitsargumente für die Unterstützung von durch Strukturwandel Betroffenen geltend gemacht werden, geht es im Folgenden eher um das Erreichen einer größeren Akzeptanz für den Strukturwandel. Im Falle des Ausstiegs aus der Kohleindustrie in den Niederlanden (Gales & Hölsgens 2017) und den USA (Mayer 2018) wird für die von Entlassung bedrohten Beschäftigten ein gestuftes Vorgehen befürwortet. Diejenigen, die für eine Weiterbeschäftigung in anderen Branchen und die damit verbundenen Umschulungen insbesondere aus Altersgründen nicht zur Verfügung stehen, können in den Ruhestand entlassen werden, wobei finanzielle Härten bis zu einem gewissen Grad von der Gemeinschaft, d. h. dem Staat auszugleichen sind. Für diejenigen, für die der Ruhestand (noch) keine Alternative ist, können Maßnahmen unterstützt werden, die die Flexibilität der Beschäftigten erhöhen. In den USA handelt es sich dabei eher um Mobilitätshilfen, die es den Betroffenen erleichtern in andere Regionen mit einer für sie vorteilhafteren Beschäftigungsstruktur zu ziehen, in Europa werden eher Weiterbildungen und Umschulungen gefördert. Hinzu kommt häufig die Gründung von Auffanggesellschaften, die die von Entlassung Betroffenen zunächst einstellen und sie bei der Um- und Weiterschulung sowie bei der längerfristigen Beschäftigungssuche unterstützen.

[4] Dieses Argument lässt sich auch auf einzelne Unternehmen übertragen, die aufgrund von Konkurrenzdruck innerhalb der eigenen Branche insolvent gehen oder zum Zwecke der Kostensenkung Entlassungen vornehmen.

Suche nach Beschäftigten in den wachsenden Branchen

Die andere Seite des Arbeitsmarktes ist bestimmt durch die Suche nach geeigneten Beschäftigten in den Branchen, die von der Umstrukturierung nicht oder gar positiv betroffen sind. Zum Teil kann dabei auf weitergebildete oder umgeschulte Fachkräfte zurückgegriffen werden, die in den vom Rückgang oder gar Ausstieg betroffenen Branchen freiwerden. Langfristig besteht die wichtigste Strategie darin, die benötigten Arbeitskräfte in der Region auszubilden, in der sie benötigt werden. Dazu bedarf es entsprechender Schulen und Hochschulen, die teilweise ihr Profil erst entsprechend anpassen müssen. Diese Anpassung erfordert ebenso Zeit wie die Ausbildung der zukünftigen Beschäftigten selbst, zumal zu Beginn der Restrukturierung noch gar nicht feststeht, welches die erfolgversprechenden Branchen der Zukunft in der Region sein werden (Markwardt & Zundel 2017). Daher besteht neben dem Ausscheiden älterer und der Umschulung bzw. Weiterbildung vorhandener, jüngerer Arbeitskräfte die dritte, kurzfristige Strategie darin, Arbeitskräfte von außerhalb der Region anzuwerben. Hierbei spielen dann neben den Beschäftigungschancen auch das Lohn- bzw. Gehaltsniveau sowie die Attraktivität der Region (vgl. Abschnitt 2.3.3) insgesamt eine wichtige Rolle.

2.3 Kontextfaktoren

Eine Reihe relevanter Faktoren betrifft das Umfeld der betroffenen Branchen und Unternehmen: unter anderem relevant sind die Verfügbarkeit von qualifizierten Fachkräften, die vorhandene Infrastruktur oder auch kulturelle Aspekte. Die folgenden Kapitel widmen sich daher den sogenannten Kontextfaktoren. Zwar sind diese häufig mit den unternehmensseitigen Faktoren verknüpft, im Gegensatz zu letzteren können die Unternehmen die Kontextfaktoren aber nur in begrenztem Ausmaß beeinflussen.

2.3.1 (Regionaler) Arbeitsmarkt

Die Innovationsfähigkeit von Unternehmen und damit Reaktionsmöglichkeit auf wirtschaftliche Veränderungen hängt u. a. wesentlich von der Verfügbarkeit von Wissen und qualifizierten Fachkräften ab.

Teixeira und Queirós (2016) gehen auf sektor- und regionenübergreifender Ebene der Bedeutung von Humankapital nach und bekräftigen die Ergebnisse anderer Studien, nach denen das Humanpotenzial und insbesondere das Bildungsniveau entscheidend für das Vorantreiben von F&E-Bemühungen, Innovation und technologischem Fortschritt, der Steigerung der Produktivität und der Entwicklung neuer Produkte sind.

Gleiches wird auch für einzelne Branchen festgestellt. So konstatieren Markwardt und Zundel (2017) in ihrer Befragung der größten Zulieferer der Lausitzer Energie Kraftwerke AG (LEAG) einen niedrigen Innovationsgrad für die Lausitz und zeigen, dass der demografische Wandel und damit verbunden der mögliche Mangel an qualifizierten Fachkräften seitens der Unternehmen als Risiko für die Innovationsfähigkeit und den zukünftigen Unternehmenserfolg gesehen wird. Bereits heute stelle die Nachbesetzung von Arbeitsplätzen und die Findung geeigneter Auszubildender eine Herausforderung dar und sei der Mangel an Fachkräften spürbar.

Abgesehen von der zahlenmäßigen Verfügbarkeit von Arbeitskräften und dem Grad ihrer Qualifikation ist auch die Ausrichtung ihrer Qualifikation von entscheidender Bedeutung. Die Qualifikation der aktuellen Beschäftigten orientiert sich an den in der Region (Lausitz) ansässigen Unternehmen und Branchen und diese sind durch die Braunkohleförderung und -verstromung sowie deren Zulieferer dominiert. Beschäftigte mit anderen Qualifikationen, die für eine Neuausrichtung der Wirtschaft in der Region von Vorteil sein könnten, verlassen die

Region hingegen aus Mangel an Beschäftigungsmöglichkeiten oder kommen dort gar nicht erst vor.

Dieses Argument wird auch in Negro et al. (2009) bemüht, welche den Mangel an Fachkräften in neuen, in der Region bislang nicht ansässigen Technologien als ein wesentliches Hemmnis bezeichnen. An den Beispielen erneuerbare Energien im Vereinigten Königreich (Foxon et al. 2005), CO_2-Sequestrierung in Norwegen (van Alphen et al. 2009) und Solarenergie in den Niederlanden (Negro et al. 2009) führen die Autorinnen und Autoren an, dass ein Mangel an technischer Expertise und qualifiziertem Personal die Verbreitung der jeweiligen Technologien bzw. deren Wettbewerbsfähigkeit maßgeblich beschränkt.

2.3.2 Wissenschaftsstandort

Eine gut ausgebaute öffentliche Forschungs- und Wissenschaftslandschaft wird literaturübergreifend als wichtiger Einflussfaktor genannt, da diese die Verfügbarkeit von Know-how und damit die Innovationsfähigkeit einer Region und der dort ansässigen Unternehmen sichert. Innovation und Fortschritt wiederum stellen einen wesentlichen, wenn nicht den entscheidenden Treiber von Wirtschaftswachstum dar. Eine besondere Rolle kommt damit der Kooperation bzw. dem Dialog zwischen Wirtschaft und Forschung zu, wodurch die Erkenntnisse der (Grundlagen-)Forschung in Unternehmen auch Anwendung finden.

Darüber hinaus leisten Wissenschaft und Forschung einen grundsätzlichen Beitrag zur Wertschöpfung und wirtschaftlichen Entwicklung. Anders als die staatliche Förderung einzelner Branchen, Technologien o.ä., sind Investitionen in Bildung, Forschung und Wissenschaft mit geringeren Risiken behaftet.

Damit wissenschaftliche Einrichtungen sich sowohl in puncto wissenschaftliche Exzellenz behaupten, als auch anwendungsorientiert forschen und mit Innovatoren zusammenarbeiten können, bedarf es allerdings ausreichender Ressourcen und Kapazitäten.

Allerdings kommt es auch hier, wie bei der Qualifizierung der Beschäftigten, auf die Ausrichtung von Wissenschaft und Forschung an. In einer Region mit einer traditionell eher einseitigen Ausrichtung der Wirtschaftsstruktur (wie es in der Lausitz der Fall ist), führt gerade eine starke Anwendungsorientierung dazu, dass eher die bestehenden Strukturen verstärkt als dass alternative Strukturen unterstützt werden.

Sollen hingegen alternative Strukturen unterstützt werden, stellt sich gerade in Regionen mit eher einseitiger Ausrichtung die Frage, welche das sein könnten. Sofern Alternativen zumindest ansatzweise existieren, könnten sich Wissenschaft und Forschung an diesen orientieren. Sofern keine auf dem Markt wirklich etablierte Alternative existiert oder diesbezüglich keine Entwicklung abzusehen ist, die in nennenswertem Umfang Beschäftigungsalternativen für die in der auslaufenden Branche freiwerdenden Arbeitskräfte bietet, sollte der Wissenschaftsstandort zunächst eher als Keimzelle von Know-how angesehen werden, welches die Entwicklung von Branchen der unterschiedlichsten Art unterstützen kann (Haggerty et al. 2018). Das heißt, die Wissenschaft sollte möglichst anwendungsoffen sein. Im Vergleich zu einem eng an der vorherrschenden Wirtschaftsstruktur ausgerichteten Wissenschafts- und Forschungsstandort impliziert auch das eine erhebliche Umstrukturierung.

Schließlich kann der Ausbau der Forschungs- und Wissenschaftslandschaft selbst weitere Arbeitsplätze schaffen. Gruss (o.J.) führt hierfür das Beispiel der biomedizinischen Forschung in der Region rund um München an, in der sich über die letzten 30 Jahre weit über 100 kleine und mittlere Unternehmen der Biotechnologiebranche angesiedelt haben.

2.3.3 Infrastruktur und regionale Attraktivität

Eine gut ausgebaute und intakte Infrastruktur wird häufig als besonders wichtiger Einflussfaktor genannt, sowohl in regionen-, länder- und branchenübergreifender (Campiglio 2013) wie auch in sektorspezifischer Literatur (Agora Energiewende 2017; Giovacchini & Sersic 2012; Keltaniemi et al. 2013). Gut funktionierende öffentliche Infrastrukturen werden demnach als grundlegende Voraussetzung für die Zukunfts- und Wettbewerbsfähigkeit und damit Attraktivität eines Branchenstandorts, einer Region und auch eines ganzen Landes gesehen. Hierzu gehören die verkehrliche Infrastruktur und Anbindung an andere Regionen ebenso wie die Schaffung einer modernen digitalen Infrastruktur.

Auch spielt die spezifische Ausrichtung der Infrastruktur eine wichtige Rolle. Während Schwerindustrie für den Transport von Rohstoffen oder Produkten auf Massentransportmittel wie Binnenschiff oder Bahn angewiesen ist, sind für andere Branchen des produzierenden Gewerbes Straßen von Vorteil. Immer mehr Branchen sind zudem auf eine gute Dateninfrastruktur angewiesen, um mit ihrer Kundschaft in Kontakt zu treten, oder auch auf individuellen und öffentlichen Personenverkehr, damit die Kundschaft zu ihnen gelangen können. Ist unklar, welche Ausrichtung die Wirtschaftsstruktur nach dem Ende der bisherigen Industriebereiche nehmen wird, müssen möglichst viele Optionen offengehalten werden. Das heißt, die Infrastruktur sollte möglichst vielfältig sein.

Je nach Branche können weitere, spezifische Faktoren hinzukommen. So argumentieren etwa Giovacchini und Sersic (2012), dass Werften in Nordeuropa nicht nur von ihrem technischen Know-how, sondern auch ihrem Standort profitierten, als sie sich vom Schiffsbau lossagten und der Offshore-Windenergie zuwandten.

Vom Ausbau bzw. einer Verbesserung der Infrastruktur profitieren zum einen die bereits dort lebenden Menschen, die im Zuge des Strukturwandels den Beruf oder die Arbeitsstelle wechseln und zu Berufspendlern werden (Keltaniemi et al. 2013). Zum anderen profitieren Unternehmen, die sich neu ansiedeln, deren Beschäftigte sowie die regionale Bevölkerung im Allgemeinen, die hierdurch an Lebensqualität gewinnen. Das gilt ganz besonders für strukturschwache Regionen, die sich einem tiefgreifenden Strukturwandel und demografischen Wandel gegenübersehen. Infrastrukturprojekte dienen hier nicht nur der Zukunftssicherung, sondern können darüber hinaus Signalcharakter annehmen und ein Zeichen des Aufbruchs setzen (Agora Energiewende 2017).

Eine hohe Lebensqualität wiederum, zu der neben einer gut ausgebauten Infrastruktur u. a. die Vereinbarkeit von Familie und Beruf, Aus- und Weiterbildungsmöglichkeiten sowie das gesellschaftliche und kulturelle Angebot zählen, ist nicht zuletzt in Anbetracht der zuvor beschriebenen Bedeutung qualifizierter Fachkräfte von Bedeutung (Agora Energiewende 2017).

Ein weiterer Aspekt, der jedoch in der ausgewerteten Literatur nur einmalig explizit genannt wird, betrifft die Verfügbarkeit von nutzbarem Land. Steht ungenügend nutzbares Land zur Verfügung und kann nicht auf den bestehenden Infrastrukturen aufgebaut werden, kann dies die Attraktivität der Region für Investitionen und Niederlassungen von Unternehmen signifikant einschränken. Von besonderer Relevanz ist dies für Regionen, in denen alte Industrien angesiedelt waren bzw. sind und Böden und Gewässer langfristig beschädigt sind (Medhurst & Henry 2011).

2.3.4 (Regionale) Identität und soziale Akzeptanz

Wie im vorherigen Kapitel dargestellt, wird die wirtschaftliche Bedeutung des im Zuge des Strukturwandels niedergehenden Sektors – sowohl im regionalen wie auch

gesamtökonomischen Kontext – als möglicher negativer Einflussfaktor gesehen, u. a. aufgrund hoher Beschäftigtenzahlen, Verflechtungen mit anderen Wirtschaftszweigen oder dem großen politischen Einfluss der Branche.

Darüber hinaus prägen wichtige Branchen aber auch die Identität und Kultur einzelner Regionen oder ganzer Länder. Dzieciolowski und Maciek (2015), Wehnert et al. (2018) sowie Mikulska und Kosinski (2018) argumentieren, dass die Steinkohleindustrie in Polen bzw. Schlesien bis heute wesentlich die nationale und regionale kollektive Identität und Kultur bestimmt. So genießt die Industrie noch heute, trotz ihrer wirtschaftlichen Unrentabilität, einen außerordentlich hohen Stellenwert und bildet einen Teil des polnischen Nationalstolzes. Hiervon profitieren auch die Regionen, in denen Steinkohle gefördert wird bzw. wurde. Grund hierfür ist, dass die Kohleindustrie u. a. den industriellen Aufstieg und die Unabhängigkeit von russischen Energieimporten repräsentiert. Bis heute genießen Beschäftigte im Steinkohlebergbau in Polen hohen gesellschaftlichen Status und sind in politisch einflussreichen Gewerkschaften organisiert.

Diesen positiven Bedeutungszuweisungen gegenüber stehen jedoch die internationalen Klimaschutzbemühungen und damit verbunden die Forderungen nach einem Ausstieg aus der Stein- und Braunkohle als besonders klimaschädliche fossile Energieträger. Für die Arbeitskräfte und die lokale Bevölkerung würden hiermit nicht nur Arbeitsplätze, sondern auch eine positive Identifizierung verloren gehen (Wehnert et al. 2018). Damit begründen Mikulska und Kosinski (2018) dann auch die weitreichenden Proteste im Jahr 2015, die Polens ehemaliger Regierung unter Ewa Kopacz entgegenschlugen, als diese den größten Bergbaukonzern des Landes umzustrukturieren plante.

Vergleichbares lässt sich für das Lausitzer Braunkohlerevier konstatieren. So besteht in der Lausitz das Bewusstsein fort, dass die Braunkohle wesentlich zur Industrialisierung und Elektrifizierung Deutschlands beigetragen und die Region damit einen wichtigen überregionalen Beitrag geleistet hat. Ähnlich der Steinkohle in Teilen Westdeutschlands, bildet die Braunkohle einen wesentlichen Bestandteil der regionalen Identität (Agora Energiewende 2017; Markwardt & Zundel 2017; Vallentin et al. 2016).

Zudem wird auch hier Eingriffen durch die Bundespolitik mit ablehnender Haltung bzw. großer Skepsis begegnet. Neben der historischen Bedeutung des Braunkohleabbaus sind hierbei insbesondere auch Strukturwandelprozesse bzw. Strukturbrüche der Vergangenheit relevant. So argumentiert Agora Energiewende (2017) im Sinne kollektiver psychischer Verletzungen, dass der Begriff „Strukturwandel“ in Brandenburg und Sachsen wie auch Ostdeutschland insgesamt bis heute als Euphemismus für harte Strukturbrüche mit katastrophaler Dynamik und weitreichenden Folgen für die lokale Bevölkerung wahrgenommen wird. Im Ergebnis steht letztere der Strukturpolitik der etablierten Parteien und insbesondere der überregionalen Politik weiterhin sehr misstrauisch gegenüber. Da Strukturwandelprozesse immer auf den Erfahrungen der Vergangenheit aufbauen, müssen diese Erfahrungen bei der Gestaltung politischer Maßnahmen entsprechend berücksichtigt werden.

Andererseits besteht nach Haggerty et al. (2018) eine wichtige Voraussetzung für erfolgreiche Anpassung darin, die "alte" Kultur (der Kohleindustrie) loszulassen und sich eine Kultur der "neuen Gelegenheiten" zu eigen zu machen. Nur so kann ein kultureller Lock-in in Strukturen der Vergangenheit vermieden werden. Eine Transition kann nur bei positiver Einstellung der Betroffenen erfolgreich sein. Ist die Einstellung negativ, z. B. rückwärts gewandt, sind die Chancen für einen Übergang deutlich schlechter.

Negro et al. (2010) nehmen eine etwas breitere Sichtweise ein und sehen in der mangelnden gesellschaftlichen Akzeptanz von Innovationen ein wesentliches Hemmnis für deren

Entwicklung und Verbreitung. Sie führen hierfür das Beispiel der Erneuerbaren Energien an, die je nach Land unterschiedliche Akzeptanz erfahren. In Schweden etwa sei die Verbreitung von Windenergie maßgeblich durch die negative mediale Darstellung von Windenergie, den Widerstand der Nuklearlobby und das ungenügende Gegensteuern seitens der Politik behindert worden. Unternehmen, die an einer solchen Technologie interessiert waren, sahen sich demnach massiven Hürden u. a. in der Beschaffung von Kapital gegenüber. Schaffen es Politik, Interessensgruppen oder indirekt die Medien nicht, Akzeptanz für neue Technologien herzustellen oder wird dieser Prozess gar gezielt behindert – beispielsweise durch bestehende Unternehmen am Markt – kann dies einen technologischen Lock-in befördern und die Weiterentwicklung der Branche wesentlich beeinflussen.

Als Positivbeispiel wird die (zunächst) vergleichsweise hohe gesellschaftliche Akzeptanz gegenüber Windanlagen und Biomassekraftwerken in Deutschland genannt, die nach Aussage der Autorinnen und Autoren u. a. auf den konstruktiven Dialog zwischen allen Beteiligten und den offenen Umgang mit Vorteilen und Risiken zurückzuführen ist (Negro et al. 2010).[5]

2.3.5 Rolle der Gewerkschaften

Das vorherige Unterkapitel berührte bereits die mögliche hemmende Rolle von Gewerkschaften. Im Umkehrschluss werden eine unterstützende Haltung seitens der Gewerkschaften und der konstruktive Dialog zwischen Unternehmensmanagement, Gewerkschaften und Politik im Sinne des Tripartismus dann auch als positive Einflussfaktoren gesehen. Dies lässt sich für diverse Branchen, darunter Steinkohle in den Niederlanden (Gales & Hölsgens 2017), Stahl und Kohle in Westeuropa (Binder 2001) und Zement in Österreich (Hüttler 2001), belegen.

Gales und Hölsgens (2017) führen am Beispiel der Steinkohleindustrie in den Niederlanden aus, dass die damals dominierenden Gewerkschaften trotz mitunter divergierender Interessen der Schließung von Steinkohlebergwerken in den späten 1960er und 1970er Jahren nicht grundsätzlich ablehnend gegenüberstanden. Zwar propagierten sie nicht aktiv die Idee eines vollständigen Rückzugs aus dem Steinkohlebergbau. Sie teilten jedoch die Wahrnehmung der Politik und des staatlichen Konzerns *Dutch State Mines*, dass ein (gewisser) Rückgang der Produktion unausweichlich und eine neue Strategie notwendig sei und kommunizierten dies entsprechend nach außen. Im Fokus der Verhandlungen stand dann auch vielmehr die konkrete Ausgestaltung des Strukturwandelprozesses (Messing 1988). Weiterhin konnte man sich relativ frühzeitig auf die gemeinsame Position der alternativen Beschäftigung einigen und das Verhältnis zwischen Unternehmensmanagement und Gewerkschaften war von konstruktiver Zusammenarbeit und gegenseitigem Vertrauen geprägt (Gales & Hölsgens 2017).

Auch in Deutschland wurde der von der Politik angestrebte Ausstieg aus dem subventionierten Steinkohlebergbau konsensual zwischen Unternehmen, Gewerkschaft, Bund und den zwei betroffenen Bundesländern ausgehandelt – mit zeitlicher Streckung und sozialer Abfederung (Heyen 2011). Die Grundzüge für den künftigen Ausstieg aus der Braunkohle verhandelte 2018 eine noch breitere Runde aus Wirtschaft, Gewerkschaften, Umweltverbänden und Wissenschaft (Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“).

In Österreich nahmen Gewerkschaften im Kontext des Strukturwandels der Zementindustrie ebenfalls eine wichtige Rolle in der Abfederung sozialer Implikationen ein, u. a. indem sie Sozialpläne verhandelten und Beschäftigte bei der Arbeitssuche unterstützten (Hüttler 2001).

[5] Sicherlich spielten in Deutschland auch andere Faktoren eine bedeutende Rolle, darunter der hohe Anteil an Bürgerenergieanlagen in den frühen Jahren.

Hüttler (2001) argumentiert weiterhin, dass sich auch hier die Aufnahme frühzeitiger Verhandlungen zwischen Unternehmensmanagement und Gewerkschaften als hilfreich erwies.

Ähnlich argumentieren Keltaniemi et al. (2013) im Rahmen ihres Vergleichs der europäischen maritimen Industrie für die Region Loire-Atlantique in Frankreich, die in der Umstrukturierung der dort angesiedelten Werften u. a. von einer konstruktiven politischen Atmosphäre, kooperativen Arbeitsweise und gemeinsamen Zielsetzung profitierte.

2.4 Die Rolle der Politik

Neben den bisher betrachteten Faktoren kommt der Politik eine entscheidende Rolle in der Gestaltung von Strukturwandelprozessen zu. Die folgenden Kapitel beschäftigen sich eingehender mit der Rolle der Politik und unterscheiden dabei zwischen prozessualen Aspekten, die die grundsätzliche Handhabe des Strukturwandelprozesses betreffen, und konkreten regulativen und fördernden Politikmaßnahmen.

Wie eingangs bereits erwähnt, sind die politischen Faktoren häufig eng mit den anderen Faktoren verknüpft beziehungsweise können diesen zugeordnet werden. Einige stehen jedoch auch für sich alleine.

2.4.1 Prozessuale Aspekte

2.4.1.1 Proaktive Herangehensweise an den Strukturwandel

In der Literatur finden sich vielfältige Hinweise darauf, dass es einer proaktiven Bewältigung, strategischen Orientierung, klarer Zielsetzungen, langfristigen Planung und stabiler Rahmenbedingungen seitens der Politik bedarf, um ökologischen Strukturwandel zu gestalten (Heyen 2016; Rogge & Reichardt 2016).

Eine proaktive Bewältigung schließt ein, die politische Bearbeitung von Strukturwandelprozessen frühzeitig anzugehen. Da sich Strukturwandelprozesse zumeist über größere Zeiträume erstrecken bzw. kontinuierlicher Natur sind, sollten die Risiken einzelner Branchen frühzeitig antizipiert und identifiziert und Maßnahmen bereits bzw. auch dann ergriffen werden, wenn die genaue Zukunft der Branchen nur abgeschätzt werden kann (Bsp. Zeitpunkt eines endgültigen Ausstiegs) (Gales & Hölsgens 2017; Markwardt & Zundel 2017; Wehnert et al. 2018).

Keltaniemi et al. (2013) stellen in ihrer Studie zur maritimen Industrie in Europa fest, dass jene Länder bzw. Regionen, die frühzeitig eine Strategie für die lokalen Häfen, Werften etc. entwickelten, den Strukturwandel am erfolgreichsten, d. h. mit den geringsten negativen Auswirkungen bewältigten. Die gemeinsame Erarbeitung einer solchen Strategie, unter Beteiligung der relevanten Stakeholder und Stakeholderinnen, habe wesentlich dazu beigetragen, den Gemeinschaftssinn zu stärken, eine gemeinsame Vision und Zielsetzungen zu definieren und Netzwerke zu etablieren. Auch eine Analyse vergangener Kohleausstiegsprozesse zeigt: Je früher die Beteiligte Schritte zur Vorbereitung und Abfederung von Transformationsbrüchen antizipiert, akzeptiert und umgesetzt haben, desto besser sind die Ergebnisse (Caldecott et al. 2017).

Mittels klarer Zielsetzungen und einer langfristigen Planung wird den betroffenen Unternehmen bzw. Branchen Planungssicherheit verschafft. Empirische Studien konnten u. a. zeigen, dass langfristige und ambitionierte Zielsetzungen im Bereich Klimaschutz wesentlich zur Steuerung von F&E-Aktivitäten in Unternehmen des Energiesektors beigetragen haben (Rogge & Reichardt 2016). Kurzfristige oder auch wechselnde Zielsetzungen und Politikmaßnahmen wiederum

erhöhen die Unsicherheit für Unternehmen und andere Beteiligte, die an der Entwicklung und Etablierung innovativer Lösungen beteiligt sind (Negro et al. 2010).

Ähnliches konstatieren Markwardt und Zundel (2017) in ihrer Befragung von Zulieferunternehmen der LEAG in der Lausitz. Fast alle der befragten Unternehmen erachten einen festen Ausstiegsplan als hilfreich für ihre Investitions- und Personalplanung. Umgekehrt sehen die Unternehmen in der Kurzlebigkeit politischer Entscheidung ein Risiko für ihr Geschäft.

Für eine langfristige Orientierung ist ebenfalls die Stabilität der Rahmenbedingungen, d. h. die Kontinuität der Zielsetzungen und Maßnahmen, relevant (Negro et al. 2010; Wehnert et al. 2018). Kontinuität sollte jedoch nicht mit Starrheit gleichgesetzt werden. So argumentiert van der Straaten (2001) etwa, dass (insbesondere langfristige) Zielsetzungen derart flexibel gehalten werden sollten, dass sie Spielraum für technologische Entwicklungen lassen.

2.4.1.2 Systemischer und konsistenter Politikansatz

Für die erfolgreiche Gestaltung von ökologischen Strukturwandelprozessen wird als notwendig angesehen, eine systemische Perspektive einzunehmen und einen umfassenden und in sich widerspruchsfreien Politikansatz zu wählen.

Ein Politikansatz ist umfassend, wenn er die wesentlichen Elemente eines Policy-Mix beinhaltet. Dazu gehören lang- und mittelfristige Zielsetzungen und deren Operationalisierung mittels Aktionsplänen, Maßnahmen und Instrumenten. Zudem sollte der Maßnahmen- bzw. Instrumentenmix alle relevanten Hemmnisse inklusive der systemischen Zusammenhänge und Abhängigkeiten adressieren und hierfür auf das gesamte zur Verfügung stehende Instrumentarium (regulativ/ordnungsrechtlich, ökonomisch, prozedural, persuasiv etc.) zurückgreifen (Rogge & Reichardt 2016; Weber & Rohracher 2012).

Es bedarf konsistenter Zielsetzungen, die den Strukturwandel befördern bzw. diesem nicht entgegen stehen, und eine klare Bekenntnis der Politik zu diesen Zielsetzungen (Binder et al. 2001; Jacob 2001; Kern & Howlett 2009). Der Aspekt der Konsistenz im Sinne von Widerspruchsfreiheit oder ausbleibenden Zielkonflikten bezieht sich hierbei nicht nur auf die Zielsetzungen und deren Verhältnis untereinander, sondern auch auf das Verhältnis zwischen diesen und den zur Umsetzung angedachten Instrumenten sowie auf die möglichen Wechselwirkungen zwischen den Instrumenten. Existieren oder entstehen Inkonsistenzen auf einer oder mehrerer dieser Ebenen, können Zielsetzungen nicht effektiv verfolgt werden (Jacob et al. 2012; Kern & Howlett 2009; Rogge & Reichardt 2016; Wolff et al. 2016).

Zum anderen spielt die Kohärenz der zugrundeliegenden politischen Prozesse zur Entwicklung, Umsetzung, Überprüfung etc. von Strategien, Maßnahmen und Instrumenten eine wichtige Rolle. Um ökologische Belange effektiv durchzusetzen, müssen sowohl die unterschiedlichen Governance-Ebenen (vertikale Integration), als auch die relevanten Handlungsfelder (horizontale Integration) einbezogen und an die Zielsetzungen gebunden werden (Casado-Asensio & Steurer 2014; Nordbeck & Steurer 2015; Rogge & Reichardt 2016).

Mit Blick auf erneuerbare Energietechnologien argumentieren Negro et al. (2010), dass diese häufig nur aus umweltpolitischer Perspektive betrachtet und entsprechend politisch adressiert wurden, während mögliche weitere Vorteile (Beschäftigung, Innovation etc.) wenig oder keine Beachtung fanden. In Deutschland und Dänemark hingegen sei der Erfolg der Biomasseverwertung gerade auch darauf zurückzuführen, dass hierin eine Reihe von Vorteilen gesehen wurde, darunter die Reduzierung der Abhängigkeit von Energieimporten, die Schaffung neuer Einkommensquellen für Landwirtinnen und Landwirte, die Förderung erneuerbarer Energien oder die Verwertung von Abfällen.

Kern und Howlett (2009) wiederum sehen in der Unterordnung langfristiger umweltpolitischer Zielsetzungen gegenüber eher kurz- und mittelfristigen wirtschaftlichen Interessen, hier im Rahmen der Liberalisierung des Energiemarkts, ein wesentliches Hemmnis für die Restrukturierung des Energiesektors in den Niederlanden.

Aufgrund des dynamischen Charakters von ökologischen Transformationsprozessen ist darüber hinaus eine regelmäßige Überprüfung und ggf. Anpassung der Zielsetzungen, Maßnahmen und Instrumente im Sinne des „reflexiven Lernens" von Nöten – unter Beibehaltung einer gewissen Stabilität und Kontinuität (Casado-Asensio & Steurer 2014; Kern & Howlett 2009).

Deutschland etwa bot mit dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) lange Zeit einen stabilen Rahmen für die Entwicklung und Vermarktung Erneuerbarer Energien, wenngleich es mehrfach novelliert wurde, und hat so maßgeblich zu deren Ausbau beigetragen (Heyen & Wolff 2019; Jacobsson et al. 2004; Negro et al. 2010). In den Niederlanden hingegen wechselten sowohl die politischen Zielsetzungen als auch die Instrumente zur Erreichung dieser mehrfach und in kurzen Zeitabständen, darunter die abrupte Abschaffung der Energiesteuer oder häufige Änderungen in der Vergabe von F&E-Subventionen (Kern & Howlett 2009; Negro et al. 2010).

2.4.1.3 „Begrenzung" des Strukturwandels

Diverse Autorinnen und Autoren sehen die Notwendigkeit, einen schrittweisen Strukturwandel zu verfolgen oder diesen anderweitig zu begrenzen, um harte Strukturbrüche zu vermeiden.

Klemmensen (2001) argumentiert, dass aufgrund des graduellen Vorgehens bei der Schließung von Zementwerken in Dänemark, ab Eintritt der Ölkrise im Jahr 1973 bis in die späten 1990er Jahre, weitreichende soziale Auswirkungen auf nationaler oder regionaler Ebene vermieden werden konnten.[6] Im Falle eines Werks in Dania hätte die sofortige Schließung zu einer Arbeitslosenquote von mehr als 30 % in der Region geführt. Aus diesem Grund wurde entschieden, das Werk ab 1975 zunächst noch für andere Zwecke zu nutzen und erst 1984 endgültig zu schließen, als nur noch wenige Beschäftigte zurückblieben.

Markwardt und Zundel (2017) stellen in ihrer Befragung von Zulieferern der LEAG im brandenburgischen Teil der Lausitz fest, dass ein zu abrupter und schneller, d. h. nicht der Anpassungsfähigkeit und -geschwindigkeit der Unternehmen angepasster Ausstieg aus der Braunkohleverstromung, viele Unternehmen vor erhebliche existenzielle Probleme stellen würde, da der Großteil der Unternehmen eine mittlere bis sehr hohe Umsatzabhängigkeit von LEAG bzw. damals noch Vattenfall aufweist. Die Autoren empfehlen daher wie viele andere (z. B. Agora Energiewende 2017) ebenfalls ein schrittweises und mittelfristiges Ausstiegsszenario, das den Unternehmen erlaubt, auf die veränderten Auftragsvolumina zu reagieren.

Eine andere Art der Begrenzung empfiehlt Jacob (2001) in seiner Analyse der deutschen Chlorchemieindustrie. Zum einen, argumentiert der Autor, ist ein totaler Phase-out von wichtigen Branchen wie der Basischemie ökonomisch schlichtweg nicht möglich. Zum anderen können soziale Auswirkungen besser abgefedert werden, wenn nur ein Teil der Branche, ausgewählte Produkte o.ä. betroffen sind. So konnten im Kontext der Umstrukturierungen des Stoffflusses Chlor (als Teil der Basischemie) in den vergangenen Jahrzehnten soziale Implikationen weitestgehend vermieden werden, da jeweils nur Teile der Unternehmensportfolios betroffen waren und Beschäftigte in andere Bereiche und Abteilungen versetzt werden konnten. Auch für andere chemische Grundstoffe bzw. Teilbranchen empfiehlt sich daher, die Wertschöpfungskette einer grundlegenden (Stoffstrom-)Analyse zu unterziehen

[6] Gleichzeitig weist der Autor darauf hin, dass die Zementindustrie in Dänemark von eher geringer ökonomischer Bedeutung ist.

mit dem Ziel, aus ökologischer Sicht nachteilige „strategische Knoten“ innerhalb dieser zu identifizieren und gezielt politisch zu adressieren.

2.4.1.4 Flexibilitätsfördernde Rahmenbedingungen

Wie Boschma (2005) feststellt, bedarf es zur Vermeidung einer einseitigen und mehr noch zur Herbeiführung einer vielfältigen Wirtschaftsstruktur eigentlich einer intensiven Einflussnahme an verschiedenen Ansatzpunkten. Doch selbst wenn alle Rahmenbedingungen bekannt wären, würde sich die Frage stellen, ob solche Interventionen planbar sind. Im Fall der Transformation der Braunkohleindustrie kommt erschwerend hinzu, dass ein Großteil dieser Interventionen zu einem frühen Zeitpunkt der Etablierung neuer Technologien und Branchen ansetzen, wenn ihre Wirkungen nur schwer abschätzbar und womöglich mit hohen Risiken behaftet sind.

Planung kann unter diesen Bedingungen also nicht so sehr darin bestehen, gezielt bestimmte Branchen oder Technologien auf den Weg zu bringen und zu unterstützen. Vielmehr muss sich Planung in diesem Zusammenhang zunächst auf die Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen erstrecken, unter denen sich alle möglichen Unternehmen und Branchen gründen und heranwachsen können. Danach zeigt sich im Wettbewerb, welche davon überlebensfähig sind. Zuvor haben sie Gelegenheit, mit ihrer (wirtschaftlichen) Umwelt in Interaktion zu treten und diese zu ihren Gunsten zu beeinflussen. Auch diese Ko-Evolution lässt sich nicht planen.

Der gesamte Prozess nimmt so den Charakter eines Experimentes an und baut darauf, dass durch geeignete Selektionsmechanismen (insbesondere der Markt) die erfolgversprechendsten Unternehmen und Branchen sich durchsetzen. Natürlich sollten mit Blick auf die ökologische Ausrichtung der Strukturreform die Rahmenbedingungen für den Wettbewerb von der Politik von vorneherein so gestaltet werden, dass nicht nachhaltige Unternehmen so weit wie möglich ausgeschlossen werden.

2.4.1.5 Beteiligung und Kooperation

Die gemeinsame Gestaltung des Strukturwandels sowie die Schaffung eines offenen und konstruktiven Prozesses unter Beteiligung aller wichtigen Stakeholder werden als wesentliche Erfolgsfaktoren genannt. Studien zeigen, dass in der Vergangenheit Transformationsstrategien mit hohem Konsensgrad eine größere Kohärenz und Resilienz aufwiesen und somit letztlich erfolgreicher waren (Botta 2018; Gambhir et al. 2018).

In Kap. 2.3.5 wurde bereits die Rolle von Gewerkschaften und die positive Wirkung eines konstruktiven und frühzeitigen Dialogs zwischen Unternehmensmanagement, Gewerkschaften und Politik angesprochen. Darüber hinaus wird die Notwendigkeit gesehen, dass die zuständigen öffentlichen Behörden, Wirtschaft, Zivilgesellschaft und die interessierte Öffentlichkeit in einem transparenten und offenen Prozess zusammenkommen, um den Strukturwandel zu gestalten (Hüttler 2001; van der Straaten 2001).

Die Einbindung der Zivilgesellschaft kann helfen, Unterstützung für politische Maßnahmen zu generieren und so den Druck auf die Unternehmen zu erhöhen. Hierfür ist es notwendig, die zivilgesellschaftlichen Akteure frühzeitig in die politischen Prozesse bzw. Diskurse einzubinden. Van der Straaten (2001) sieht hierin einen wesentlichen Faktor für die erfolgreiche Restrukturierung der Ölindustrie in den Niederlanden gegenüber Frankreich.

Eine Einbindung und Beteiligung der Zivilgesellschaft und Bevölkerung vor Ort wird insbesondere dann als wichtig erachtet, wenn einzelne Regionen vom Strukturwandel betroffen sind und die gewählten Maßnahmen maßgeblich die Zukunft der dort lebenden Menschen beeinflussen werden (Agora Energiewende 2017; Hüttler 2001).

Wichtiger Ausgangspunkt bzw. erster Schritt eines solchen Prozesses sollte sein, ein gemeinsames Verständnis zur notwendigen Transformation zu finden. Hiermit ist nicht zwingend eine Einigung auf bestimmte politische Maßnahmen gemeint, sondern ein Konsens darüber, dass eine Anpassung des Sektors notwendig ist (Wehnert et al. 2018). Die Chancen und Risiken, Vorteile und Nachteile einzelner Technologien, Maßnahmen o.ä. sollten offen diskutiert und wo nötig Input von Expert*innen eingeholt werden. Negro et al. (2010) argumentieren, dass der Grad der Offenheit der Diskussionen um den Bau von Biomassekraftwerken in Europa deren Akzeptanz deutlich beeinflusste und zu wesentlichen Unterschieden zwischen den einzelnen Ländern führte.

Neben der Offenheit des Prozesses wird insbesondere die integrierte und koordinierte Planung als wesentlicher Einflussfaktor genannt. In Finnland beispielsweise kann das Kabinett bestimmte Regionen oder Sektoren als „von plötzlichem Strukturwandel betroffen" deklarieren, wie geschehen für den maritimen Sektor in den Jahren 2010-2012. Ziel ist, dass mit Ausruf der Region bzw. des Sektors die wichtigsten Akteure zusammenkommen, um einen gemeinsamen „Krisenplan" zu entwickeln. Im Hinblick auf den maritimen Sektor waren diverse Regionen Finnlands betroffen, in denen u. a. das finnische Ministerium für Arbeit und Wirtschaft, die finnische Förderagentur für Technologie und Innovation, die jeweils zuständigen regionalen Zentren für wirtschaftliche Entwicklung, Transport und Umwelt, lokale Behörden, Forschungseinrichtungen, Unternehmensverbände und Unternehmen sowie Gewerkschaften zusammenkamen. Konkret fokussierte die Zusammenarbeit auf Maßnahmen zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der maritimen Industrie und zur Diversifizierung der jeweiligen regional vorherrschenden Wirtschaftsstruktur (Keltaniemi et al. 2013).

Giovacchini und Sersic (2012) argumentieren ähnlich am Beispiel der Regeneration des Hafenquartiers in Rotterdam, dass eine integrierte Planung, gute politische Koordinierung sowie die Kooperation diverser Beteiligte aus Politik, Wirtschaft und Zivilgesellschaft wesentlich zum Erfolg des Projekts beitrugen.

Als potenziell negativer Einflussfaktor werden hingegen die Konkurrenz zwischen Regionen und hiermit verbunden Verteilungskonflikte um Fördermittel gesehen. Eine solche Konkurrenzsituation kann entstehen u. a. durch unterschiedliche Interessenslagen der relevanten Beteiligte in Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft, durch unterschiedlich starke Betroffenheit oder durch föderale Strukturen, die den Wettbewerb zwischen Regionen bzw. Ländern befördern (Agora Energiewende 2017; Keltaniemi et al. 2013).

2.4.2 Regulierung und (regionale) Fördermaßnahmen

Nach den prozessualen Aspekten behandelt dieses Kapitel die konkreten Politikmaßnahmen, die den Strukturwandel vorantreiben und ihm die gewünschte Ausprägung geben.

Im Fall der Restrukturierung einer im Niedergang begriffenen Branche (und Region) ist der Staat und damit die Politik auch aus wirtschaftspolitischer Sicht berechtigt in den Wirtschaftsprozess einzugreifen, weil die betroffene Branche aufgrund von Lock-in (vgl. Kapitel 2.2.1) nicht in der Lage ist, sich selbst aus der problematischen Situation zu befreien. Ist die Situation darüber hinaus bspw. aus Gründen des Klima- und Umweltschutzes durch den Staat bzw. die Politik absichtlich herbeigeführt worden, ist es nach Ansicht einer Reihe von Autorinnen und Autoren außerdem eine Frage der (sozialen) Gerechtigkeit, zwischen den betroffenen Regionen, die die Kosten zu tragen haben, und der Allgemeinheit, die die Maßnahme unterstützt hat und den Nutzen davonträgt, einen wirtschaftlichen Ausgleich zu schaffen (Healy & Barry 2017, Johnstone & Hielscher 2017, Snyder 2018). Dies ist auch Kern des in der

internationalen Klimadebatte geläufigen Konzepts „Just Transition“ (Galgóczi 2018; Gambhir et al. 2018; Heffron & McCauley 2018; Heyen et al. 2020; JTC 2017; UNFCCC 2016).

Um die negativen sozialen Folgen einer Energiewende abzufedern, sehen es beispielsweise Snyder (2018) und Healy und Barry (2017) im Kontext der USA als erforderlich an, dass der Staat zwischen Gewinnern (Gasgewinnung, Erneuerbare) und Verlierern (Kohleindustrie) der Wende einen Ausgleich schafft. Allerdings sollen nur diejenigen Verlierer unterstützt werden, die sich nicht selbst helfen können und tatsächlich auf fremde Hilfe angewiesen sind. Auch im Fall des Ausstiegs aus der Kohle im Vereinigten Königreich sehen es Johnstone und Hielscher (2017) als erforderlich an, die Schattenseite eines solchen aktiven Ausstiegs zu berücksichtigen, damit die Transformation längerfristig nicht als ungerecht empfunden wird.

Dabei sollte die Unterstützung für die zu restrukturierende Branche oder Region überwiegend nicht den benachteiligten Beteiligte direkt zugutekommen. Nur diejenigen Beschäftigten, bei denen bspw. aus Altersgründen eine Umschulung und ein Wechsel in eine andere Branche wenig Aussicht auf Erfolg hat, können vorzeitig in den Ruhestand gehen und finanzielle Härten durch die Zahlung eines Ausgleichs kompensiert werden (Mayer 2018; Gales & Hölsgens 2017). Von allen anderen wird erwartet, dass sie sich anpassen und in den bevorstehenden Prozess des Wandels nach ihren Möglichkeiten einbringen. Dabei werden auch sie z. B. durch Fortbildungsmaßnahmen vom Staat unterstützt, dies jedoch in deutlich geringerem Umfang.

Der größte Teil der Förderung sollte also in den Aufbau und die Unterstützung von Strukturen gehen, die sich selbst positiv verstärken und dadurch der niedergehenden Branche Wirtschaftszweige zur Seite stellen, die wachsen und sie hinsichtlich der Wirtschaftsleistung Zug um Zug ersetzen. Dazu gehören:

- Ergänzung und Umstrukturierung der Wissenschafts- und Forschungsinfrastruktur als Know-how-Basis für eine neue, vielgestaltige Wirtschaftsstruktur und als Basis für die Ausbildung einer entsprechend angepassten Beschäftigtenstruktur
- Unterstützung der Investitionsvorhaben der Wirtschaft
- Aufbau oder Ergänzung einer förderlichen Verkehrs- und Dateninfrastruktur
- Schaffung eines Klimas des Aufbruchs und der Unternehmensgründungen.

Diese Punkte werden im Folgenden etwas differenzierter aufgegriffen und vertieft.

2.4.2.1 Restrukturierung und Diversifizierung

Wie in Kapitel 2.2.1 dargestellt, besitzen wachsende Branchennetzwerke eine Tendenz zu im Zeitverlauf zunehmendem Lock-in und sinkender Vielfalt. Sofern diese Tendenz die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit beeinträchtigt oder aus anderen (z. B. Nachhaltigkeits-) Gründen ein Wechsel der Trajektorie für sinnvoll erachtet wird, müsste eine Restrukturierung von der Politik aktiv herbeigeführt werden. Zu diesem Zweck nennt Koschatzky (2018) eine Reihe von Ansätzen, die geeignet sind, der unerwünschten Lock-in-Tendenz entgegenzuwirken:

- Hervorzuheben ist zunächst die Aufrechterhaltung einer möglichst vielfältigen Wirtschaftsstruktur. Vielfalt bedeutet dabei nicht nur die Koexistenz einer Reihe unterschiedlicher Branchen, sondern auch innerhalb der Branchen die Existenz einer vielfältigen Unternehmensstruktur. Insbesondere KMU können dabei von großem Nutzen sein, da sie bei entsprechender Unterstützung besonders innovativ sind.

- Zwecks Unterstützung dieser vielfältigen Unternehmenslandschaft bedarf es einer entsprechend vielfältigen und fundierten Know-how-Basis und einem hinreichenden Angebot an gut ausgebildeten Arbeitskräften.
- Voraussetzung dafür ist wiederum ein breit gefächertes Wissens- bzw. Fächerangebot seitens der Hochschulen, welches sich nicht zu sehr und vor allem nicht ausschließlich an den Bedarfen der in der Region dominierenden Branchen ausrichtet. Wichtiger ist die Unterstützung von KMU der unterschiedlichsten Ausrichtungen, da diese in besonderer Weise darauf angewiesen sind. Wie sich außerdem gezeigt hat, ziehen etablierte, dominante Branchen eher aus angewandter, marktorientierter Forschung Nutzen, wogegen junge, aufstrebende Branchen eher von grundlagenorientierter Forschung profitieren. Mit Blick auf den Strukturwandel sollte letztere verstärkt gefördert werden.
- Auch regulatorische Rahmenbedingungen können einen Beitrag zur Vielfalt leisten, wenn sie nicht auf eine oder mehrere vorherrschende Branchen ausgerichtet, sondern offen sind, so dass neu entstehende oder heranwachsende Branchen nicht diskriminiert werden.
- Schließlich bedarf es Anreizen und Unterstützung für die Gründung neuer Unternehmen, die die Grundlage für eine breitgefächerte Wirtschaftsstruktur bilden. Gerade in Regionen, deren Wirtschaft von wenigen alteingesessenen Branchen dominiert wird, ist die Kultur der Unternehmensgründer oft sehr schwach ausgebildet.

Offensichtlich geht Koschatzky (2018) mit den genannten Maßnahmen ebenso wie Boschma (2005) davon aus, dass es einfacher ist, neue Organisationen (insbesondere Unternehmen) zu gründen als bestehende, im Lock-in befindliche zu reformieren.

Damit der Übergang zwischen Krise und erneutem Wachstum weniger lang und schmerzhaft ist, schlagen Medhurst und Henry (2011) weitere Maßnahmen vor, von denen sich die meisten auf die Innovationsfähigkeit der Unternehmen beziehen, die den Wiederstart nach einer Krise erleichtern soll:

- Förderung von KMU als wesentliche Quelle von Innovation im Kontext der Restrukturierung; dazu gehört die Etablierung von Trainings für die Gründung neuer Unternehmen einschließlich Unterstützung bei der Ausarbeitung eines Businessplans (diese Unterstützung kann die Wahrscheinlichkeit von Fehlschlägen senken und gleichzeitig Kapazitäten für andere Aktivitäten freisetzen)
- Abbau von (kulturellen) Vorbehalten gegenüber dem Unternehmertum
- Bessere Verfügbarkeit von Forschungs- und Entwicklungskapazitäten; das bezieht sich sowohl auf die entsprechende Infrastruktur als auch auf die Humanressourcen (siehe Abschnitt 2.2.4)
- Schutz des geistigen Eigentums nach einer Erfindung und ihrer Weiterentwicklung
- Marketing für innovative Produkte und Verfahren zwecks Etablierung der Innovation auf dem Markt.

Wie Markwardt und Zundel (2017) darstellen, gelangen in der Lausitz angesichts des drohenden Ausstiegs aus der Braunkohle einzelne dieser Ansätze derzeit schon zur Anwendung. So wird versucht, neue Märkte auf Basis vorhandener Kompetenzen zu erschließen. Die Neuausrichtung mit neuen Produkten und Dienstleistungen werde dabei eher zurückhaltend angegangen. Ideen für neue Märkte seien zwar vorhanden, könnten aber u. a. wegen fehlender Ressourcen nicht realisiert werden. Viele Ressourcen seien bspw. durch langfristige Rahmenverträge immer noch

in der Braunkohleindustrie gebunden, was zu Inflexibilität führt und dazu, dass Ressourcen in den falschen Bereichen eingesetzt werden. Bei der Nutzung und Weiterentwicklung vorhandener Kompetenzen ist zu beachten, dass die Lausitz klein ist. Daher seien Spezialisierung und Kooperation mit anderen Regionen wichtig. Auch die Förderpolitik sei darauf auszurichten, dass es um die Entwicklung neuer Geschäftsfelder und nicht nur einzelner technischer Innovationen geht. Daher dürfe die Förderung nicht kleinteilig erfolgen, sondern in Form einer Fondslösung, wie sie auch von Agora Energiewende (2017) vorgeschlagen wurde (siehe auch im nächsten Abschnitt).

2.4.2.2 Investitionsbedarfe und ihre Finanzierung

Investitionen in KMU und Vielfalt

Im Gegensatz zu etablierten, großen Unternehmen ist nicht nur der relative Investitionsbedarf expandierender (oft kleinerer) Unternehmen größer, vielmehr fällt es kleinen Unternehmen schwerer, diese Investitionen zu finanzieren. Grundsätzlich gehört das Tätigen von Investitionen ebenso wie ihre Finanzierung zwar zu den genuinen Aufgaben der Unternehmen. Wenn es jedoch gilt, Bedingungen zu schaffen, unter denen sich ein ausgeglichenes Verhältnis zwischen einer Vielzahl kleiner und wenigen großen Unternehmen in unterschiedlichen Branchen einstellt, dann müssen die unterschiedlichen Voraussetzungen, unter denen beide am Markt aktiv sind, ausgeglichen werden. Im Hinblick auf die genannten Investitionen bedeutet das, dass kleine Unternehmen größere Unterstützung erfahren müssen, um im Wettbewerb vergleichbare Erfolgschancen zu haben. Das gilt umso mehr, wenn sich die etablierte(n) Branche(n) schon in der Krise befinden und zu deren Überwindung (oder als „Abfindung“) bereits umfangreiche Subventionen erhalten. Die Subventionen verschieben dann nicht nur das Gleichgewicht der Unterstützung noch mehr zulasten neuer, alternativer Strukturen, sondern verstärken deren Lock-out zusätzlich durch den Erhalt der bestehenden Strukturen.

Vor diesem Hintergrund ist es konsistent, dass auch bei dem Vorschlag der Agora Energiewende (2017) für einen Fonds zur Unterstützung der Umstrukturierung der Braunkohleregion Lausitz Investitionen eindeutig im Vordergrund standen. Die vier Säulen, auf die das Fondsvolumen aufgeteilt werden sollte, gliederten sich in

1. Wirtschaftsförderung: Innovationsförderung mit hoher Diversifizierung im Bereich Energie und in anderen industriellen Bereichen,
2. Förderung von Wissenschaft und Forschung. Dabei *Matching* des *Knowhows* von Unternehmen und Forschungsinstituten. Außerdem Förderung von Unternehmensgründungen,
3. Errichtung/Modernisierung der Infrastruktur,
4. Zukunftsstiftung Lausitz zur Förderung der Zivilgesellschaft. Entwicklung einer (neuen) Identität unter Einbindung von sozialen Projekten, Kunst und Kultur. Auch dies ist eine Investition in die Zukunft der Region.

Zu beachten ist dabei, dass der Vorschlag der Agora Energiewende explizit auf einen Übergang zu nachhaltigeren, erneuerbaren Energieträgern abzielt, diesen aber auch mit der bestehenden Branchenstruktur bspw. der chemischen Industrie kombiniert. Wie nachhaltig das Ergebnis des Transformationsprozesses am Ende wirklich sein würde, hängt davon ab, inwieweit dieses Ziel bei der Restrukturierung tatsächlich im Vordergrund steht oder andere Interessen die Oberhand gewinnen.

Finanzierung der notwendigen Investitionen

Die Verteilung der Mittel aus dem von Agora Energiewende (2017) vorgeschlagenen Fonds sollte zukunftsorientiert sein und die Braunkohleindustrie nicht einbeziehen, da bei ihr kein Zukunftspotenzial gesehen wurde. Die Verteilung sollte aber durch oder unter Einbeziehung der Bürgerinnen und Bürger erfolgen, um eine neue Identitätsbildung jenseits der Braunkohle zu fördern (vgl. Kap. 2.3.4). Als Herausforderung wurde dabei angesichts von Konkurrenz verschiedener großer Bedarfe einerseits und unterschiedlicher Betroffenheit andererseits die Identifizierung geeigneter Mittelempfängerinnen und -empfänger (d. h. verantwortliche Beteiligte, Gruppen oder Branchen) angesehen. Als historisch ähnliche Situation wurde hier der Hauptstadtumzug von Bonn nach Berlin zitiert.

Dieser Vorschlag wird auch von Kost et al. (2011) unterstützt, die hervorheben, dass es eigener Organisationsformen bedarf, um vorhandene Fördermittel gerade den großenteils kleinen und mittleren Unternehmen zukommen zu lassen, die die Basis für eine neu ausgerichtete Wirtschaftsstruktur bilden und diese Mittel benötigen. Ein Fonds, der der Bereitstellung dieser Fördermittel dient, kann von staatlichen oder Landesmitteln gespeist sein oder, sofern vorhanden (was in der Lausitz eher nicht der Fall sein dürfte), von den (Groß-)Unternehmen, die vom Strukturwandel nicht oder eher positiv betroffen sind. Die Bereitstellung der Fondsmittel kann als Darlehen oder als Zuschuss erfolgen. Kritisch sind die Gremien und Treuhänder, die über die Mittelverteilung bestimmen. Wichtige Partner der Unternehmen sind Handwerkskammern, Industrie- und Handelskammern, Wirtschaftsförderer, Banken und Sparkassen. Ein Teil der Gelder soll bei Bedarf auch zunächst für Studien zur Bestimmung von Stärken und Schwächen der vorhandenen Wirtschaftszweige und Unternehmen aufgewendet werden.

Haggerty et al. (2018) schlagen vor, dass zur Finanzierung der notwendigen Investitionen auch die Erträge der „alten“ Industrien genutzt werden können, solange sie noch vorhanden sind. Frühzeitig müssen dazu Rücklagen gebildet werden, mit denen der Transformationsprozess unterstützt und die vorhandene und weiter erforderliche Infrastruktur in der Übergangszeit unterhalten werden kann (Haggerty et al. 2018).

Auch der Rückbau der „alten" Industrie und die Wiederherstellung der Umwelt kann ein Geschäft sein, welches über eine gewisse Zeit einen bestimmten Anteil der wirtschaftlichen Entwicklung sicherstellen kann. Ausgaben an dieser Stelle stellen eine Investition in die Zukunft dar, da sie Tourismus usw. ermöglichen. Dazu müssen die entsprechenden Fähigkeiten und Kompetenzen vorliegen (Haggerty et al. 2018).

Divestment

Healy und Barry (2017) diskutieren vor dem Hintergrund der Energiewende, dass es notwendig sein kann und wahrscheinlich ist, dass das vorherrschende Energiesystem aktiv, bspw. durch gezielten Kapitalentzug (neudeutsch: Divestment), zurückgebaut wird. Auch Johnstone und Hielscher (2017) argumentieren, dass es für das Zustandekommen einer Transformation nicht ausreicht, das Erreichen eines innovativen Zielzustandes zu unterstützen, sondern dass es ebenfalls hilfreich sein kann, die Schwächung des vorherrschenden Systems zugunsten der innovativen Lösung bspw. durch aktives Divestment zu betreiben.

2.4.2.3 Arbeitsmarktpolitik

Strukturwandelprozesse können auf unterschiedliche Weise zu struktureller Arbeitslosigkeit führen, u. a. wenn Veränderungen in der Nachfrage zu einem Abbau von Arbeitsplätzen oder technologische Neuerungen zu einer Veränderung der erforderlichen Qualifikationsprofile von Beschäftigten führen. Strukturelle Arbeitslosigkeit resultiert somit aus einer fehlenden

Übereinstimmung zwischen der Arbeitsnachfrage und den zur Verfügung stehenden Arbeitskräften und deren Qualifikationen.

Das Ausmaß struktureller Arbeitslosigkeit hängt dabei von mehreren Faktoren ab, darunter die Mobilität der Arbeitskräfte, die Geschwindigkeit des Strukturwandels und die Wirtschaftsstruktur eines Landes oder einer Region. In Fällen einer geringen Mobilität, harter Strukturbrüche, eines starren Arbeitsmarkts und hoher regionaler Konzentration einzelner Branchen wird für gewöhnlich ein höheres Risiko der strukturellen Arbeitslosigkeit gesehen (Medhurst & Henry 2011).

Die Aufgabe der Politik ist es demnach, den Abbau von Arbeitsplätzen einzugrenzen und die Reallokation von Arbeit zu unterstützen. Mögliche politische Maßnahmen umfassen u. a. die Förderung von Beschäftigung durch Qualifizierungsmaßnahmen, Unterstützung bei der Arbeitssuche und -vermittlung, Einstellungs- und Beschäftigungsanreize für Unternehmen oder die staatliche Förderung von Existenzgründung.

Auch bei den Politikerinnen und Politikern der betroffenen Regionen genießen Maßnahmen zur Erneuerung und Weiterentwicklung der Arbeitsmarktstruktur Priorität. So untersuchte Mayer (2018) in einer von der Einstellung der Kohleförderung betroffenen Region in den USA die Unterstützung für folgende drei Politikansätze: (1) Weiterbildung und Training entlassener oder von Entlassung bedrohter Bergarbeitskräfte, (2) Unterstützung der Umsiedlung von Bergarbeitskräfte mit dem Ziel einen neuen Job zu finden sowie (3) Unterstützung der Pensionsansprüche arbeitsloser Bergarbeitskräfte. Die stärkste Unterstützung erhielt die auf Weiterentwicklung und Innovation abzielende Alternative 1. Die Umsiedlung von Bergarbeitskräfte (Alternative 2) fand dagegen selbst in den USA viel weniger Unterstützung, obwohl dort die regionale Verwurzelung der Arbeitskräfte viel geringer und die Flexibilität viel stärker ausgeprägt sind als in Deutschland (vgl. auch Kapitel 2.3.4). Die finanzielle Unterstützung der betroffenen Beschäftigten (Alternative 3) erwies sich als umstritten. Es gab sowohl Unterstützerinnen und Unterstützer als auch Konkurrenz, aber nur wenige Unentschiedene – scheinbar eine Frage der politischen Einstellung.

In der Literatur wird die Bedeutung von Qualifizierungsmaßnahmen, d. h. die Aus- und Weiterbildung sowie Umschulung von (zukünftigen) Fachkräften, besonders häufig hervorgehoben. Dabei sollten die Maßnahmen nicht nur den Bedürfnissen des (perspektivischen) Arbeitsmarkts, sondern möglichst auch der individuellen Situation und den Wünschen der Betroffenen entsprechen. Flexible Optionen sind demnach zu präferieren (Gales & Hölsgens 2017; Keltaniemi et al. 2013; Klemmensen 2001; Medhurst & Henry 2011; Teixeira & Queirós 2016). Dieses Argument gilt umso mehr, wenn zu Beginn des Prozesses noch nicht absehbar ist, welche Zielrichtung die Umstrukturierung nehmen wird.

Keltaniemi et al. (2013) beschreibt am Beispiel der maritimen Industrie u. a. in England, Frankreich und Finnland, wie eine enge Zusammenarbeit der vom Strukturwandel betroffenen Unternehmen, der lokalen bzw. regionalen Verwaltung sowie den Universitäten und weiteren Ausbildungsstätten einen passgenauen Zuschnitt der Qualifizierungsmaßnahmen erlaubte und so den Unternehmen ermöglichte, ihre Managementkompetenz auszubauen, ihr Portfolio zu diversifizieren und Beschäftigte in anderen Bereichen einzusetzen.

Politische Maßnahmen zur Förderung der Existenzgründung bzw. einer gut ausgeprägten Gründer*innenkultur (vgl. Kap. 2.2.3) werden ebenfalls als wichtig erachtet, um innovativen Unternehmen den Markteintritt zu erleichtern (Medhurst & Henry 2011).

In diesem Kontext kann es auch sinnvoll sein, speziell auf einzelne Branchen und/oder Regionen zugeschnittene Dienstleistungszentren einzurichten. So etablierte etwa das Zentrum für

wirtschaftliche Entwicklung, Transport und Umwelt im Südwesten von Finnland ein eigens auf die maritime Industrie zugeschnittenes Service-Center, das u. a. Weiterbildungsmaßnahmen und Arbeitsangebote vermittelte. Das Modell wurde später auch auf andere Sektoren übertragen (Keltaniemi et al. 2013).

Neben diesen Maßnahmen wird vor allem die Rolle staatlicher Förderung in der Vermeidung bzw. Begrenzung von Stellenabbau diskutiert (Binder et al. 2001; Hüttler 2001; Medhurst & Henry 2011). Keltaniemi et al. (2013) heben in diesem Kontext Deutschland als Positivbeispiel hervor. Hier bestünde zum einen die Möglichkeit, sogenannte Beschäftigungsgesellschaften einzurichten, die von Arbeitslosigkeit betroffene Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer mithilfe öffentlicher Förderung befristet beschäftigen, umschulen oder weiterbilden und so deren Eintritt in die Arbeitslosigkeit vermeiden oder zumindest verzögern. Zum anderen bietet das deutsche Arbeitsrecht Unternehmen weitere Möglichkeiten, auf veränderte betriebliche Strukturen oder ökonomische Entwicklungen zu reagieren, darunter das Modell des Kurzarbeitergelds (mittlerweile auch das Qualifizierungschancengesetz).

2.4.2.4 Anpassung der Infrastruktur

Der Auf- und Ausbau der Infrastruktur ist eine wichtige Aufgabe des Staates. Zwar kann in vielen Fällen darüber nachgedacht werden, die hohen Aufwendungen für die Erstellung z. B. im Rahmen von *Public Private Partnerships* zunächst von privaten Unternehmen tragen zu lassen, die sich ihre Ausgaben später von den Nutzerinnen und Nutzern zurückholen. Gerade in strukturschwachen Regionen sind solche Geschäftsmodelle aber meist nicht tragfähig, so dass die Rolle des (Ko-)Finanzierers an den Staat zurückfällt – ganz zu schweigen von der Rolle als Initiator und Gesetzgeber, der für die rechtlichen Rahmenbedingungen und ihre Einhaltung verantwortlich ist.

Eine zentrale Infrastruktur ist die Kommunikations- und Datenaustauschinfrastruktur (IKT), da der Austausch von Informationen im Zeitalter zunehmender Dienstleistungs- und Kundenorientierung in allen Branchen elementar ist. Außerdem ermöglicht die IKT-Infrastruktur die Abwicklung vieler Geschäfte an fast beliebigen Orten, so dass den Bedürfnissen der Beschäftigten besser Rechnung getragen und viel Verkehr eingespart werden kann. Gerade in entlegeneren Gebieten stellt der Ausbau von Mobilfunk und leistungsfähigem Internet aber immer noch ein (wirtschaftliches) Problem dar, weil den Kundinnen und Kunden die oft hohen Kosten nicht in vollem Umfang in Rechnung gestellt werden können.

Auch Verkehrsinfrastruktur ist wichtig, um die Mobilität von Menschen (auch in ihrer Funktion als Beschäftigte oder Kunden) und Waren sicherzustellen. Um keine Ressourcen zu verschwenden, sollte aber sehr genau untersucht werden, für welchen Zweck welche Verkehrswege erforderlich sind. In vielen Fällen kann durch eine überlegte Ansiedlungspolitik viel Verkehr von vorneherein vermieden werden. Außerdem sollte auch aus ökologischen Nachhaltigkeitsgründen überlegt werden, inwieweit Binnenschifffahrt und Bahn als Güterverkehrsmodi in Frage kommen und welche Rolle der öffentliche Verkehr beim Personentransport spielen soll.

Einen weiteren Infrastrukturtyp, der gerade hinsichtlich der Restrukturierung der Industrielandschaft eine wichtige Rolle spielt, sind Rehfeld (2005) zufolge Technologieparks, die nicht nur alle erforderlichen Ver- und Entsorgungsinfrastrukturen gebündelt zur Verfügung stellen, sondern durch die enge räumliche Anordnung der dort ansässigen Unternehmen auch die Vernetzung und den Wissensaustausch fördert.

2.4.2.5 Stärkung der Forschungs- und Wissenschaftslandschaft

Ausbau der Wissensvielfalt

Die Diversifizierung und Förderung der Wirtschaft jenseits der im Niedergang befindlichen Branche ist zentrale Voraussetzung für eine erfolgreiche Restrukturierung (s. oben) und erfordert zunächst technisches Knowhow bezüglich der neu oder weiter zu entwickelnden Unternehmen oder Branchen. Dabei geht es einerseits um ein fachliches *Matching* zwischen den Wissenschafts- und Forschungseinrichtungen und den Unternehmen und andererseits um eine Abstimmung hinsichtlich der Entwicklungsphasen. Wird das Ziel verfolgt, eine Vielfalt an Unternehmen und Branchen überhaupt erst herzustellen, ist nach Darstellung von Koschatzky (2018) Grundlagenforschung besonders wichtig, weil sie hinsichtlich ihrer Ausrichtung offen ist und damit Inputs in alle möglichen Bereiche geben kann. Umgekehrt ist zu Beginn einer Phase der Restrukturierung oft auch noch nicht klar, in welche Richtung die Entwicklung gehen wird, so dass eine spezifischere Ausrichtung Gefahr liefe, am späteren Bedarf vorbeizulaufen. Je weiter die Entwicklung voranschreitet, desto mehr steigt die Anwendungsnähe der Forschung, weil neue Verfahren und Produkte nicht nur erfunden, sondern auch hochskaliert und an den Markt gebracht werden müssen.

Reduzierung überholter Anwendungsbezüge

Wissenschafts- und Forschungsinstitutionen in einer zu restrukturierenden Region neigen nach Koschatzky (2018) dazu, sich sehr stark an den Bedürfnissen der dominierenden, aber im Niedergang begriffenen Branche zu orientieren. Außerdem sind sie sehr stark anwendungsorientiert, weil grundlegende Veränderungen weder erwartet noch angestrebt werden. Deshalb besteht die Herausforderung der Bildungspolitik nicht nur darin, die einseitige fachliche Orientierung der Berufs- und Hochschulen aufzuheben, sondern zusätzlich die Struktur hin zu größerer Vielseitigkeit zu verändern. Forschungsinstitute in dieser Region sind i. d. R. vermutlich ebenfalls mit der im Niedergang befindlichen Branche assoziiert. Deshalb müssen neue Forschungsinstitute, die die aufstrebenden Wirtschaftsbranchen unterstützen, erst gegründet werden. Diese Gründung kann erst dann geschehen, wenn die Ausrichtung absehbar ist. Sie geht teilweise auf die Initiative der Wirtschaft und ihrer Verbände zurück. Dennoch kann auch die Politik aktiv werden, indem sie, wie im Fall von Fraunhofer- oder Helmholtz- und Leibniz-Instituten finanzielle Unterstützung für Ansiedlung und Betrieb leistet.

Unternehmen als Wissensgeneratoren

Der größte Teil des technischen Wissens wird in Unternehmen geschaffen. Darauf deutet auch die Tatsache hin, dass die FuE-Investitionen der Wirtschaft deutlich größer sind als die entsprechenden Fördersummen von Bund und Ländern. Dennoch besteht eine Schwierigkeit kleiner und mittlerer Unternehmen darin, eigene FuE-Abteilungen aufzubauen, in denen sie ihre Forschung vorantreiben. Um diesem Defizit abzuhelfen, können sie Forschungskooperationen mit anderen Unternehmen oder Forschungsinstitutionen eingehen. In jedem Fall kostet auch das Geld, so dass sich Forschungsförderprogramme der betroffenen Regionen bzw. Länder an dieser Stelle besonders positiv bemerkbar machen. In diesem Fall ist eine gute Beratung der Unternehmen erforderlich, damit ein ungewollter Wissensabfluss vermieden wird.

Business-Netzwerke

Geht die Entwicklung noch weiter in Richtung Markt, wird neben dem Wissen über die Technologie auch anderes Wissen über die wirtschaftlichen Geschäftsbeziehungen zunehmend relevant. Im Vordergrund stehen dabei Kenntnisse, die die Geschäftsbeziehungen entlang der eigenen Wertschöpfungskette betreffen, aber auch über regulatorische Rahmenbedingungen, die die Geschäftstätigkeit einschränken können. Diese Netzwerke sind Koschatzky (2018) zufolge

von entscheidender Bedeutung für den Geschäftserfolg und werden durch Industrie- und Handelskammern sowie Branchenverbände entscheidend gefördert.

2.4.2.6 Förderung des gesellschaftlichen und kulturellen Angebots

Neben einer intakten Infrastruktur entscheidet u. a. das gesellschaftliche und kulturelle Angebot über die wahrgenommene Attraktivität einer Region. Um Abwanderung zu verhindern bzw. zu bremsen oder um Fachkräfte für die Region zu gewinnen und an diese zu binden, muss die Region eine entsprechende Lebensqualität aufweisen. Nur wenige Publikationen konkretisieren jedoch, mithilfe welcher politischen Maßnahmen dies geschehen soll.

Am Beispiel der Lausitz argumentiert Agora Energiewende (2017), dass Bürgerinnen und Bürgern hierbei auch die Möglichkeit der Beteiligung und Mitgestaltung der Region gegeben werden muss, um weitere und neue Identifikationspunkte zu schaffen. In Regionen wie der Lausitz kann hiermit zudem ein wichtiger Beitrag zur Überwindung bestehender gesellschaftlicher Spaltungen geleistet werden. Konkret wird der Vorschlag für einen Strukturwandelfonds gemacht, der neben der Wirtschafts- und Wissenschaftsförderung sowie dem Ausbau der Infrastruktur Förderprogramme u. a. in den Bereichen Kunst und Kultur, Stadt- und Regionalentwicklung, Umwelt sowie soziale und zivilgesellschaftliche Arbeit vorsieht (s. auch Abschnitt 2.4.2.2).

Giovacchini und Sersic (2012) führen am Beispiel der Regeneration von Hafenquartieren aus, dass die Umgestaltung von Häfen in multifunktionelle Räume, die auch gesellschaftliche und kulturelle Aktivitäten umfassen, wesentlich zu deren Erfolg beitragen kann. In Rotterdam beispielsweise wurde das bestehende und nach wie vor in Nutzung befindliche Hafengelände erfolgreich ausgebaut und um Bürogebäude, Wohnraum, Einkaufsmöglichkeiten, kulturelle und soziale Einrichtungen etc. erweitert.

2.5 Synthese

Folgende Tabelle fasst die identifizierten Einflussfaktoren zusammen und macht zudem Angaben zu deren Nennung und Gewichtung in der Literatur. Es handelt sich hierbei um eine qualitative Abschätzung der Autorinnen und Autoren dieses Berichts.

Tabelle 2: Nennung und Gewichtung der Einflussfaktoren

Faktoren	Häufigkeit	Wichtigkeit
Wirtschaftsstruktur und unternehmensseitige Faktoren		
(Regionale) Wirtschaftsstruktur	+++	+++
Investitionstätigkeit	++	++
Innovationsfähigkeit	+	++
Beschäftigte	+++	++
Kontextfaktoren		
(Regionaler) Arbeitsmarkt	++	+++
Wissenschaftsstandort	+++	+++
Infrastruktur und regionale Attraktivität	++	++
(Regionale) Identität und soziale Akzeptanz	+	++
Rolle der Gewerkschaften	++	+++
Die Rolle der Politik		

Proaktive Herangehensweise an den Strukturwandel	++	++
Systemischer, konsistente Politikansatz	+	++
„Begrenzung“ des Strukturwandels	++	++
Flexibilitätsfördernde Rahmenbedingungen	+	++
Beteiligung und Kooperation	+++	+++
Restrukturierung und Diversifizierung	+++	+++
Investitionsbedarfe und ihre Finanzierung	+++	++
Arbeitsmarktpolitik	+++	+++
Anpassung der Infrastruktur	++	++
Stärkung der Forschungs- und Wissenschaftslandschaft	++	+++
Förderung des gesellschaftlichen und kulturellen Angebots	+	+

Häufigkeit der Nennung des Faktors (+++ besonders häufig genannt, ++ häufig genannt, + selten genannt)

Wichtigkeit des Faktors (+++ besonders wichtig, ++ mäßig wichtig, + weniger wichtig)

Quelle: eigene Darstellung

Im Hinblick auf die Häufigkeit der Nennung der Faktoren lässt sich konstatieren, dass die unternehmensseitigen Faktoren „(regionale) Wirtschaftsstruktur“ und „Beschäftigte“, der Kontextfaktor „Wissenschaftsstandort“ und die politischen Faktoren „Beteiligung und Kooperation“, „Restrukturierung und Diversifizierung“, „Investitionsbedarfe und ihre Finanzierung“ sowie „Arbeitsmarktpolitik“ am häufigsten genannt wurden. In den meisten Fällen wurden diese auch als besonders wichtig hervorgehoben. Etwas seltener genannt, aber dennoch als wichtig gekennzeichnet, wurden die Kontextfaktoren „(regionaler) Arbeitsmarkt“ und „Rolle der Gewerkschaften“ sowie der politische Faktor „Stärkung der Forschungs- und Wissenschaftslandschaft“.

Im Vergleich zeigt sich, dass Unterschiede in der Nennung und Gewichtung der Faktoren vor allem auf die betroffenen Sektoren und deren regionales Gewicht zurückzuführen sind. So werden Faktoren, die von regionaler Bedeutung sind (Bsp. Arbeitsmarkt, Infrastruktur, allgemeine Attraktivität), dann besonders hervorgehoben, wenn die Branchen in einer oder mehreren Regionen tief verwurzelt sind.

Die zwischen den Sektoren festzustellenden Unterschiede in der Nennung und Gewichtung von Faktoren behalten bei den hier betrachteten Fallbeispielen zudem länderübergreifend Gültigkeit. So werden etwa für die Steinkohleindustrie oder maritime Industrie länderübergreifend die gleichen wesentlichen Faktoren benannt, die je nach Ausprägung in einem günstigen oder eben nachteiligen Verhältnis zu den Strukturwandelprozessen stehen bzw. standen. Unterschiede im „Erfolg“ des Strukturwandels werden dann vor allem auch in der mehr oder weniger gelungenen politischen Beeinflussung der benannten Faktoren gesehen.

Unterschiede lassen sich ebenfalls mit Blick auf die Art des Strukturwandels feststellen. So stehen bei Branchen, deren Zusammensetzung und Portfolio eine Neuausrichtung grundsätzlich erlauben, eher begünstigende Faktoren wie Innovationsförderung und regulative Anreize im Vordergrund, während bei Exnovationsprozessen und Ausstiegsszenarien vor allem Fragen der wirtschaftlichen und sozialen Abfederung nachgegangen wird.

Folgende Tabelle 3 fasst die Nennung der unterschiedlichen Einflussfaktoren in den für diese Studie betrachteten Fallbeispielen zusammen. Faktoren, die keine Nennung vorweisen, wurden

demnach nur in einzelfallübergreifender Literatur beschrieben. Gleichwohl muss dabei beachtet werden, dass Unterschiede in der Häufigkeit der Nennung mit hoher Wahrscheinlichkeit auch auf den Fokus und die Detailtiefe der Fallstudien zurückzuführen sind und keine automatischen Rückschlüsse zur Bedeutung bzw. Bedeutungslosigkeit der (nicht) genannten Faktoren zulassen.

Schließlich ist festzuhalten, dass alle in der Literatur benannten Einflussfaktoren grundsätzlich auch von der Politik adressiert werden können. Mit Blick auf Faktoren, die zu wenig Aufmerksamkeit durch die Politik erfahren, kann wiederum keine pauschal gültige Aussage getroffen werden, da die einzelnen Fälle sich hierin stark unterscheiden. Gerade die länderübergreifenden Vergleiche einzelner, vom Strukturwandel betroffener Branchen verdeutlichen jedoch, dass die politische Einflussnahme auch bei gleicher oder ähnlicher Gewichtung der Einflussfaktoren deutlich variiert.

Tabelle 3: Nennung der Einflussfaktoren in betrachteten Einzelfallbeispielen

	Wirtschaftsstruktur und unternehmensseitige Faktoren				Kontextfaktoren					Rolle der Politik										
	(Regionale) Wirtschaftsstruktur	Investitionstätigkeit	Innovationsfähigkeit	Beschäftigte	(Regionaler) Arbeitsmarkt	Wissenschaftsstandort	Infrastruktur und regionale Attraktivität	(Regionale) Identität und soziale Akzeptanz	Rolle der Gewerkschaften	Proaktive Herangehensweise	Systemisch-konsist. Politikansatz	„Begrenzung" des Strukturwandels	Flexibilitätsfördernde Rahmenbedingungen	Beteiligung und Kooperation	Restrukturierung und Diversifizierung	Investitionsbedarfe und ihre Finanzierung	Arbeitsmarktpolitik	Anpassung der Infrastruktur	Stärkung der Forschungslandschaft	Förderung des gesell. + kulturellen Angebots
Braunkohle, Lausitz	X	X		X	X	X	X	X	X	X		X		X	X	X	X	X	X	X
Steinkohle, Niederlande	X			X					X	X							X			
Steinkohle, Polen	X			X				X	X	X							X			
Steinkohle, USA				X											X	X	X			
Ölraffinerien, Niederlande		X								X				X						
Chlorindustrie, Deutschland		X	X								X	X								
Erneuerbare Energien, Europa	X	X	X	X	X	X	X			X	X			X		X	X		X	
Maritime Industrie, Europa	X			X	X	X	X		X	X				X	X	X	X	X	X	X
Schiffsbau, Europa	X			X		X	X							X	X	X	X	X	X	
Zementindustrie, Österreich									X					X						
Zementindustrie, Dänemark				X								X					X			

Faktoren, die keine Nennung vorweisen, wurden nur in einzelfallübergreifender Literatur beschrieben.

Quelle: eigene Darstellung

3 Fallstudie Automobilwirtschaft

*Autor*innen: Claus Doll, Anna Grimm (Fraunhofer ISI), Florian Hacker, Lukas Minnich (Öko-Institut)*

*Hinweis: Der Text dieses Kapitels entspricht im Wesentlichen dem vorab veröffentlichten Working Paper derselben Autor*innen (Grimm et al. 2020).*

3.1 Einführung und Eingrenzung der Fallstudie

Der Verkehrssektor ist global mit einem Anteil von ca. 24 % einer der größten Emittenten von fossilem CO_2 (IEA 2020b) und stellt somit ein wichtiges Handlungsfeld in der Erreichung der Klimaschutzziele dar. In den letzten 20 Jahren sind die Emissionen des Sektors Verkehr immer weiter angestiegen. Größter Treiber sind dabei sowohl der Personen- also auch der Straßengüterverkehr, wie in Abbildung 1 dargestellt. Effizienzgewinne im Fahrzeugbetrieb wurden dabei sowohl im Personen- als auch Güterverkehr durch den kontinuierlichen Anstieg des Verkehrsaufkommens überkompensiert. Weitere negative Umweltwirkungen, wie lokal wirksame Luftschadstoffemissionen, ein weiter ansteigender Flächenbedarf des motorisierten Verkehrs und Zerschneidungseffekte durch Verkehrsinfrastruktur gingen damit zusätzlich einher.

Abbildung 1: Globale Emissionen (CO_2) des Verkehrs nach Verkehrsträger und Pfade zum *Sustainable Development Scenario*

Note: "Other" includes pipeline and non-specified transport.

Quelle: IEA 2019c

Die Erreichung der Klimaziele im Verkehr benötigt eine Kombination aus verhaltensbezogenen und technologischen Maßnahmen. Mobilitätsmanagement durch Information, Alternativen und Anreize kann die Nutzungsraten des motorisierten Individualverkehrs (MIV) dort, wo dies möglich ist, deutlich reduzieren. Die Stärkung des Umweltverbunds, also Fahrrad- und Fußverkehr, ÖV und z. T. Sharing-Systeme, stößt jedoch außerhalb der Ballungsräume häufig an Grenzen. In kleineren Städten und in ländlichen Gebieten werden 70 % aller Wege mit dem Pkw zurückgelegt (Nobis & Kuhnimhof 2018). Der MIV, d. h. der private Pkw, wird voraussichtlich

insbesondere in diesen Räumen auch längerfristig das zentrale Verkehrsmittel bleiben (Weiss 2020). Hierfür ist eine ökologische Umgestaltung des Produktes Auto unerlässlich.

Eine Minderung und langfristig vollständige Vermeidung der Emissionen durch straßengebundenen Verkehr ist damit unabdingbar und kann nur durch die Abkehr von der herkömmlichen Nutzung des Verbrennungsmotors erreicht werden. Aufgrund der technischen Machbarkeit und hohen Energieeffizienz wird aktuell hauptsächlich die Elektrifizierung des Antriebsstrangs in Form batterieelektrisch betriebener Fahrzeuge angestrebt. Die Umstellung bedeutet dabei Veränderungen in den Liefernetzwerken, der Produktion und Entwicklung, die teils mit hohen Investitionen verbunden sind. Deutsche Automobilhersteller und Zulieferunternehmen sehen sich mit neuer Konkurrenz und Unsicherheiten bezüglich ihrer Position auf dem Weltmarkt konfrontiert. Der Erfolg der deutschen Automobilindustrie ist dabei von großer Bedeutung für den Wohlstand in Deutschland.

Mit rund 830.000 Erwerbstätigen im Jahr 2019 ist die Automobilindustrie einer der größten Arbeitgeber in Deutschland (Statistisches Bundesamt 2021). Der Anteil der Automobilindustrie an der gesamten deutschen Bruttowertschöpfung ist von 2014 bis 2017 von 4,3 % auf 4,7 % gestiegen, was einer wirtschaftlichen Leistung von etwa 138 Milliarden Euro im Jahr 2017 entspricht (Statistisches Bundesamt 2020). Die Beschäftigtenzahlen folgen dabei seit der Weltwirtschaftskrise bis 2018 einem positiven Trend (EY 2019). Neben den direkt in der Automobilindustrie Beschäftigten sind indirekt viele weitere am Erfolg der Automobilwirtschaft beteiligt. Das umfasst Beschäftigte in anderen Branchen, wie beispielsweise der Metallverarbeitung, aber auch im Bereich des Handels mit Kraftfahrzeugen oder dem *Aftermarket* Geschäft. Schließt man die vorgelagerten Branchen mit ein, kommt das Statistische Bundesamt insgesamt auf etwa 1,75 Millionen Erwerbstätige im Jahr 2016, die direkt und indirekt mit der Automobilwirtschaft in Verbindung gesetzt werden (Statistisches Bundesamt 2019c). Die Autoren der Studie „Automobile Wertschöpfung 2030 / 2050“ berechnen in ihrer Abgrenzung etwa 2,2 Millionen Erwerbstätige, deren Beschäftigung im Jahr 2018 mit der Automobilindustrie verflochten ist (IPE et al. 2019). Durch die hohe Relevanz der deutschen Automobilwirtschaft für die Wirtschaft und die Beschäftigung ist ein erfolgreicher ökologischer Strukturwandel unabdingbar.

Der Ausgangspunkt der Fallstudie liegt, wie zu Beginn des Projekts definiert, auf der Exnovation verbrennungsmotorischer Antriebe und dem Wandel hin zu Elektromobilität. Diese technologische Veränderung des Antriebssystems beeinflusst alle zentralen Akteure und Akteurinnen in der Automobilwirtschaft und kann insbesondere für monostrukturell geprägte Regionen und kleine, stark spezialisierte Firmen, deren Produktportfolio nur schwer von den Bestandteilen des Verbrennungsmotors und anhängiger Komponenten zu lösen ist, weitreichende Folge haben.

Die Sichtung der ausgewählten Studien und insbesondere die Ergebnisse der durchgeführten Interviews zeigen jedoch, dass eine isolierte Betrachtung der Elektrifizierung des Antriebsstrangs nur schwer möglich ist. Sonstige Trends wie beispielsweise die Digitalisierung sind sowohl in den Produktionsprozessen und den technologischen Innovationen der Fahrzeugkomponenten eng mit der Elektrifizierung verwoben und beeinflussen darüber hinaus durch neue Möglichkeiten der Vernetzung das Konzept des Individualverkehrs an sich. Die Fallstudie Automobilwirtschaft befasst sich in erster Linie mit der Elektrifizierung, um den Strukturwandel und seine Implikationen möglichst konkret zu untersuchen und Handlungsempfehlungen abzuleiten. Gleichzeitig werden die weiteren Trends in der Automobilindustrie einbezogen, jedoch zu einem geringeren Detailgrad.

Im Rahmen der Fallstudie wurden zunächst allgemeine Datenquellen des Statistischen Bundesamtes oder des Verbands der Automobilindustrie genutzt, um den Untersuchungsgegenstand, die deutsche Automobilindustrie, zu beschreiben und abzugrenzen. Des Weiteren wurde sich, wie mit dem Auftraggeber besprochen, an verschiedenen nationalen sowie internationalen Studien mit unterschiedlichem Detail-Fokus für eine Untersuchung des aktuellen Stands der Forschung orientiert. Fünf leitfadengestützte Tiefeninterviews mit Vertreter*innen von *Original Equipment Manufacturer* (OEM), Gewerkschaft und Zulieferindustrie runden die Einordnung der Trends und Treiber mit individuellen Herausforderungen und Perspektiven ab. Die gewonnenen Erkenntnisse aus den abgeschlossenen Arbeitsschritten wurden im Rahmen eines Fachworkshops[7] erneut zur Diskussion gestellt, um ihre Vollständigkeit zu prüfen und die Einschätzungen weiter zu validieren. Der wesentliche Bearbeitungszeitraum war Sommer/Herbst 2019.

Die Fallstudie ist wie folgt gegliedert. In Kapitel 3.2 wird zunächst die bestehende Struktur der Automobilwirtschaft in Deutschland sowie die globalen Vernetzungen der Wertschöpfungsketten beschrieben und dargestellt. Anschließend wird in Kapitel 3.3 auf die globalen Trends und Treiber und ihren Einfluss auf die Automobilwirtschaft eingegangen. Verschiedene prognostizierte Entwicklungen werden im folgenden Kapitel 3.4 dargestellt und deren Auswirkungen auf die Automobilindustrie bezogen. Hier wird neben einem Überblick zu möglichen Szenarien in der Literatur auch eine konsolidierte Analyse der Chancen und Risiken aus Literatur und den Expert*innen-Interviews durchgeführt. Schließlich werden in Kapitel 4.4.4 aus den Ausführungen konkrete Handlungsempfehlungen für die verschiedenen Akteure abgeleitet und mit den übergreifenden Erkenntnissen aus Kapitel 2 in Zusammenhang gesetzt.

3.2 Branchenstruktur sowie vor- und nachgelagerte Wertschöpfungsketten

3.2.1 Die Rolle deutscher Hersteller in der nationalen und globalen Pkw-Produktion

Im Jahr 2018 wurden in Deutschland knapp 3,5 Mio. Pkw neu zugelassen (VDA 2019c). Die Neuzulassungen sind zu 70 % deutsche Konzernmarken, wovon Anteile der Fahrzeugproduktion auch im Ausland stattfinden, die übrigen 30 % sind ausländische Marken. Hier sind insbesondere französische (9,6 %) und japanische (9,0 %) Fahrzeuge besonders beliebt. Darauf folgen koreanische (5,3 %), italienische (2,6 %) und sonstige Marken (2,9 %).

Die gesamte Inlandsproduktion deutscher Hersteller lag 2018 bei ca. 5,1 Mio. Pkw (VDA 2019a). Abzüglich der national bedienten Nachfrage bleiben damit 4 Mio. Pkw, die aus Deutschland exportiert wurden – das entspricht einer Exportquote von 78 %. Die Exporte wiederum gehen zu 62 % in das europäische Ausland, die verbleibenden 38 % werden interkontinental gehandelt. Zusätzlich zur starken Exportausrichtung der deutschen Automobilindustrie gewinnen auch die ausländischen Standorte vermehrt an Bedeutung, um die regionale Nachfrage vor Ort bedienen zu können. Zusammen mit den 11,2 Mio. produzierten Pkw an internationalen Standorten hatten die deutschen Hersteller 2018 einen Anteil von 20 % an der globalen Pkw Herstellung. Gleichzeitig sank die Produktion im Vergleich zum Vorjahr leicht weniger (-0,7 %) als die globale Produktion (-1,2 %).

Die Produktion in Deutschland ist gemischt, es werden sowohl im Massensegment als auch im Premiumsegment Pkw produziert. Der Anteil der Premiumfahrzeuge an der deutschen Produktion ist dabei innerhalb der letzten Jahre von knapp über 50 % (2007) auf den Höchstwert 59 % (2017) gestiegen (VDA 2019d). Die deutschen Hersteller halten insbesondere im Premiumsegment eine starke Position und sind auch im Ausland hoch angesehen, was die

[7] Fachworkshop "Nachhaltige Automobilwirtschaft – Chancen und Risiken der Transformation", 30.09.2019, Stuttgart

Zahlen zum internationalen Absatz zeigen. Die starke internationale Ausrichtung macht die deutsche Automobilindustrie gleichzeitig abhängig von den diversen Entwicklungen in den Absatzländern.

3.2.2 Wertschöpfungsketten und Zulieferindustrie

Internationale Wertschöpfungsnetzwerke sind sehr komplex. Die umfassende Untersuchung der globalen Zusammenhänge ganzer Sektoren kann auf Basis von multiregionalen Input-Output Tabellen vorgenommen werden. Nationale Input-Output Tabellen (IOT) beschreiben die Verflechtungen der Wirtschaftszweige eines Landes. Sie geben an, zu welchem Teil der Output eines Wirtschaftszweiges der nationalen Endnachfrage, Exporten oder Investitionen zugeht und zu welchen Teilen er als Vorleistung in die Produktion aller anderen nationalen Wirtschaftszweige eingeht. Verschiedene Projekte befassen sich damit, durch die Verknüpfung nationaler IOT eine multiregionale, global umfassende IOT aufzubauen, die derselben Logik folgt und damit die Verflechtungen aller Wirtschaftszweige im internationalen Kontext darstellt. Sie enthält dann nicht nur die Information, wie viel ein deutscher Wirtschaftszweig an alle anderen deutschen Wirtschaftszweige liefert, sondern auch die Lieferungen an alle Wirtschaftszweige aller anderen Länder. Ein Beispiel für eine solche Tabelle ist die *World Input-Output Database* (Timmer et al. 2015), auf Basis derer bereits verschiedene Analysen zum Wertschöpfungsnetzwerk der deutschen Automobilindustrie durchgeführt wurden. Durch die große zu verarbeitende Datenmenge werden sowohl die nationalen IOT als auch folglich die World-IOT mit teils erheblicher zeitlicher Verzögerung zur Verfügung gestellt.

Die deutsche Automobilindustrie umfasst dabei alle Beteiligten des Wirtschaftszweigs „Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen“, das heißt die Produktion von Gütern für inländische und ausländische Märkte, sowohl von Produkten, die als Vorprodukte genutzt werden, als auch die Produktion für die Endnachfrage. Von den 2014 in der deutschen Automobilindustrie gefertigten Produkten, die der Endnachfrage zugehen, werden 70 % der Wertschöpfung auch in Deutschland erbracht (Sachs 2018). Dabei entfallen knapp 40 % auf die Automobilindustrie selbst und etwa 30 % auf andere Branchen in Deutschland, die als Vorleistungen in die Produkte der Automobilindustrie eingehen. Die verbleibenden 30 % an der Wertschöpfung generieren Akteure im Ausland, deren Produkte entweder direkt oder durch die globalen Wertschöpfungsketten indirekt nach Deutschland zur Weiterverarbeitung importiert werden. Dabei entfällt ein Großteil auf europäische Länder. China und die Vereinigten Staaten halten je etwa 2 % der Wertschöpfungsanteile an der Endnachfrageproduktion der deutschen Automobilindustrie, Russland etwa 1 %.

Diese Werte haben sich mit der zunehmenden Globalisierung von Wertschöpfungsketten in den vergangenen Jahren verändert. Im Jahr 1995 lag der Anteil der in Deutschland erbrachten Wertschöpfung an Endprodukten der Automobilindustrie noch bei 78,9 % und sank bis 2008 auf 66 % (Timmer et al. 2015). Die Wertschöpfungsanteile der sonstigen Länder der Europäischen Union sind von 13,2 % auf 18,6 % gestiegen, mit einem stärkeren Zuwachs in osteuropäischen Ländern. Die Anteile außerhalb der EU wuchsen ebenfalls von 7,9 % auf 15,4 %. Die Struktur der Wertschöpfungsketten der deutschen Automobilindustrie ist in der Zeit von 1995 bis 2008 zunehmend globaler geworden, seitdem blieb das Niveau der deutschen Wertschöpfungsanteile recht ähnlich. Noch immer werden mehr Leistungen innerhalb Europas erbracht als im Rest der Welt, die Zuwächse der globalen Anteile liegen jedoch etwas höher.

Die Betrachtung der Wertschöpfungsketten mithilfe der IOT verschafft eine gesamtheitliche Perspektive, lässt jedoch zunächst keine Rückschlüsse auf die beteiligten Firmen zu. Im Rahmen eines ökologischen Strukturwandels sind verschiedene Arten von Firmen unterschiedlich betroffen und es bedarf angepasster Überlegungen und Unterstützungen. In der deutschen

Automobilindustrie spielen sowohl die OEM als auch die Zulieferunternehmen eine große Rolle. Obwohl die Fahrzeughersteller rund drei Viertel des Gesamtumsatzes der deutschen Automobilindustrie generieren, liegt der Wertschöpfungsanteil zu etwa 70 % bei den Zuliefererunternehmen, die zum großen Teil mittelständisch geprägt sind (BMVI 2019). Der Umsatz der deutschen Zulieferindustrie stieg 2017 auf 80 Mrd. Euro, wobei 60 % der Umsätze im Inland erzielt wurden. Die restlichen 40 % wurden im Auslandsgeschäft generiert (VDA 2019b). Zudem verzeichnet die Zuliefererindustrie seit Jahren stärkere Zuwächse im Auslandsgeschäft im Vergleich zum inländischen Absatz, was die internationale Ausrichtung zeigt. Hierbei muss zwischen den großen, international agierenden Zulieferunternehmen wie Bosch, Continental, ZF etc. und den lokalen KMU unterschieden werden. Die 100 größten Betriebe mit mehr als 1.000 Beschäftigten (OEM und große Zulieferer) beschäftigen knapp 75 % der Arbeitskräfte in der Automobilindustrie und generieren etwa 85 % des Umsatzes. Die übrigen Beschäftigten sind bei den etwa 1.250 weiteren Betrieben beschäftigt, die dem Wirtschaftszweig „Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen“ angehören (Statistisches Bundesamt 2019a).

Neben den Zuliefererunternehmen und den vorgelagerten Wertschöpfungsketten sind auch die nachgelagerten Wertschöpfungsketten von großer Bedeutung. Das sogenannte automobile *Aftermarket* Geschäft umfasst Reparaturen, Instandhaltung sowie die Bereitstellung von Ersatzteilen. Teile dieser Leistungen, wie die Produktion von Ersatzteilen, sind der Automobilindustrie selbst zugeordnet. Die Dienstleistungen selbst werden meist nicht zur direkten Automobilindustrie hinzugezählt. Weitere nachgelagerte, aber ebenfalls ausschließlich von Fahrzeugen abhängige Bereiche sind der Handel mit Kfz und das Betreiben von Tankstellen. Während 2017 in der Automobilindustrie (Wirtschaftszweig-Nr. 29) etwa 820.000 Personen beschäftigt waren, von denen etwas über 300.000 Beschäftigte den Zulieferbetrieben zuzuordnen sind (Statistisches Bundesamt 2019a), beschäftigten die Bereiche Handel mit Kfz, Instandhaltung und Reparatur von Kfz sowie der Betrieb von Tankstellen (Wirtschaftszweig-Nr. 45 und Nr. 47.3) in Summe ca. 950.000 Personen (Statistisches Bundesamt 2019b). Die nachgelagerte Wertschöpfungskette umfasst damit aktuell etwas mehr Beschäftigte als die produzierende Automobilindustrie selbst.

3.2.3 Vergleich der Antriebsstrangkomponenten von Verbrenner und Elektrofahrzeug

Die zunehmende Fokussierung auf Elektrofahrzeuge und die parallele Abwendung vom Verbrennungsmotor beeinflusst nicht das gesamte Fahrzeug. Eine Elektrifizierung des Antriebsstrangs bedeutet, dass die elektrische Maschine den Verbrennungsmotor ersetzt oder eine Kombination von E-Motor und Verbrennungsmotor verbaut wird. Die E-Maschine setzt zum Antrieb des Automobils elektrische Energie in mechanische Energie um, zusätzlich kann sie auch mechanische Energie in elektrische umwandeln und so zur Rückgewinnung genutzt werden. Die verwendete elektrische Energie kann dabei über verschiedene Energiespeicher bzw. Energiewandler bereitgestellt werden. Bei rein-elektrischen Antrieben stehen aktuell insbesondere die *Battery Electric Vehicles* (BEV) aber auch die *Fuel Cell Electric Vehicles* (FCEV) als Alternativen zum Fahrzeug mit Verbrennungsmotor (*Internal Combustion Engine Vehicle*, ICEV) im Fokus der Automobilhersteller.

Tabelle 4: Komponenten des Antriebsstrangs in verschiedenen Antriebskonzepten

Komponente	ICEV	HEV	PHEV	BEV	FCEV
Verbrennungsmotor (Zylinderkopf, Kurbelwelle, Pleuel, Nockenwelle, Ventile etc.)	modifiziert	modifiziert	modifiziert	entfällt	entfällt
Starter & Lichtmaschine	modifiziert	modifiziert	modifiziert	entfällt	entfällt
Abgasanlage (Turbolader, Abgas-krümmer, Katalysatoren, Filter, Sensoren, Auspuffanlage etc.)	modifiziert	modifiziert	modifiziert	entfällt	modifiziert / entfällt
Kraftstoffversorgung (Injektoren, Kraftstoff-pumpe, Rails, Tankanlage, Leitungen, Filter etc.)	modifiziert	modifiziert	modifiziert	entfällt	stark modifiziert / entfällt
Getriebe	modifiziert	modifiziert	modifiziert	modifiziert / entfällt	modifiziert / entfällt
Elektromaschine	nicht vorhanden	Neu	neu	neu	neu
Batterie-Systeme	nicht vorhanden	Neu	neu	neu	neu
Leistungselektronik	nicht vorhanden	Neu	neu	neu	neu
Brennstoffzellen-System	nicht vorhanden	nicht vorhanden	nicht vorhanden	nicht vorhanden	neu
Wasserstoffdrucktank	nicht vorhanden	nicht vorhanden	nicht vorhanden	nicht vorhanden	neu

Quelle: eigene Darstellung, basierend auf Schade et al. 2014; Spath et al. 2012

Der Elektromotor in einem BEV wird über eine Batterie mit Energie versorgt, in einem FCEV erfolgt die Energiebereitstellung über einen Wasserstofftank und eine Brennstoffzelle. Bei BEV stellt die vergleichsweise kurze Reichweite, bei BEV und FCEV die mangelnde Ladeinfrastruktur Hürden dar. Hybride Antriebe, also eine Kombination aus elektrischem Antrieb und Verbrennungsmotor können insbesondere eine Übergangslösung für Langstrecken sein. Sie können bei Bedarf auf den Verbrennungsmotor zurückgreifen. Fahrzeuge mit hybridem Antrieb werden unterschieden in *Hybrid Electric Vehicles* (HEV) und *Plug-In Hybrid Vehicles* (PHEV), deren Batterie extern aus dem Stromnetz geladen werden kann. Tabelle 4 liefert einen Überblick über die relevanten Komponenten der verschiedenen Antriebstechnologien.

Die Modifizierung des Antriebsstrangs bedeutet eine Umstellung der Produktion und der benötigten Komponenten. Da sich die neuen Komponenten teils sehr stark von den herkömmlichen Komponenten unterscheiden, müssen die Zulieferunternehmen von Antriebsstrangkomponenten ihr Produktportfolio massiv umstellen. Besonders für die Zulieferunternehmen, die in den Bereichen Verbrennungsmotor, Starter & Lichtmaschine, Abgasanlage, Kraftstoffversorgung und teils dem Getriebe tätig sind, gilt es schnell zu reagieren. Mittelfristig werden die Komponenten bei weltweit steigenden Verkaufszahlen, auch von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor, weiterhin benötigt, jedoch nimmt die Komplexität hinsichtlich höherer Anforderungen im Rahmen von bspw. Schadstoffgrenzwerten zu. Die Weiterentwicklung bestehender Produkte sowie die Vorbereitung auf eine mögliche Post-

Verbrenner-Ära mit neuem Produktportfolio stellen die Zulieferunternehmen vor zeitlich gebündelte Herausforderungen.

3.3 Treiber des Strukturwandels

Der Strukturwandel im Automobilsektor erklärt sich mit Veränderungen auf unterschiedlichen Ebenen und geht weit über eine Verschiebung der Bedeutung von Antriebssystemen hinaus. Im Folgenden werden daher zunächst antriebsunabhängige, aber besonders wirkmächtige „Megatrends“ mit Wirkungen auf den Automobilsektor diskutiert. Anschließend werden zentrale Rahmenbedingungen für den Antriebswechsel erläutert und anhand von aktuellen Entwicklungen bzw. umgesetzten Maßnahmen konkretisiert.

3.3.1 Megatrends im Automobilsektor

Der Automobilsektor befindet sich in einem tiefgreifenden Wandel, der sich durch drei weltweit wirksame „Megatrends“ begründet. Diese umfassen die Notwendigkeit einer Dekarbonisierung des Verkehrssektors und damit eines Umstiegs auf alternative Antriebe bzw. Kraftstoffe bei Kraftfahrzeugen, die fortschreitende Digitalisierung mit Auswirkungen auf Fahrzeugproduktion und Mobilitätsangebote sowie eine starke Verschiebung von Automobilnachfrage und -produktion zwischen den wichtigsten Absatzmärkten.

Auch wenn im Rahmen der Fallstudie der Schwerpunkt auf den Umstieg vom verbrennungsmotorischen auf den elektrischen Antrieb und dessen Konsequenzen für den Automobilsektor gelegt wird, so kann dieser angesichts zahlreicher Wechselwirkungen nicht unabhängig von parallel verlaufenden Entwicklungen diskutiert werden. So spielt beispielsweise auch die Rahmensetzung in Wachstumsmärkten wie China eine wichtige und an Bedeutung gewinnende Rolle für die Produktstrategie deutscher Fahrzeughersteller, die sich unter anderem mit der veränderten Bedeutung globaler Absatzmärkte erklärt.

3.3.1.1 Dekarbonisierung des Verkehrssektors

Der Straßenverkehr ist für 26 % des weltweiten Endenergiebedarfs im Jahr 2018 (IEA 2020a)und 24 % der weltweiten fossilen CO_2-Emissionen verantwortlich (IEA 2020b) und hat im Jahr 2014 60 % der weltweiten mineralölbasierten Energienachfrage verursacht (IEA & OECD 2017). Weltweit nahm der Straßenverkehr im Jahr 2010 einen Anteil von über 70 % der THGCO_2-Emissionen des gesamten Verkehrssektors ein, bis zum Jahr 2018 blieb dieser Anteil stabil (IEA 2019a) 60 % der weltweiten mineralölbasierten Energienachfrage verursacht (IEA & OECD 2017). Weltweit nahm der Straßenverkehr im Jahr 2010 einen Anteil von über 70 % der THGCO_2-Emissionen des gesamten Verkehrssektors ein, bis zum Jahr 2018 blieb dieser Anteil stabil Weltweit nahm der Straßenverkehr im Jahr 2010 einen Anteil von über 70 % der CO_2-Emissionen des gesamten Verkehrssektors ein, bis zum Jahr 2018 blieb dieser Anteil stabil (IEA 2019a). Angesichts einer kontinuierlich ansteigenden Motorisierung der Weltbevölkerung sowie einer Dominanz des verbrennungsmotorischen Antriebs ist eine weiter ansteigende Bedeutung des Verkehrssektors zu konstatieren. So waren im Jahr 2020 etwa 1,2 Mrd. Pkw weltweit zugelassen (UBA 2020), bis 2030 wird ein weiterer Anstieg auf etwa 1,4 Mrd. Pkw prognostiziert (Bloomberg Finance 2017). Der Einsatz von erneuerbaren Energien spielt im Straßenverkehr bislang eine nachrangige Rolle und beschränkt sich im Wesentlichen auf biogene Kraftstoffe – in Europa 2019 etwa 8,4 % des Gesamtenergiebedarfs im Verkehr (EEA 2020) und 3 % des weltweiten Energiebedarfs des Straßenverkehrs (Longdom 2021).

Vor dem Hintergrund der im Pariser Abkommen formulierten Ziele ist eine drastische Minderung der verkehrsbedingten Treibhausgasemissionen in den nächsten Jahren erforderlich. Der Einsatz von erneuerbaren Energien mittels Elektrifizierung des Fahrzeugantriebs stellt

dabei ein zentrales Handlungsfeld dar und wird durch eine entsprechende Rahmensetzung in vielen Automobilmärkten flankiert, die im Abschnitt 3.3.3 weiter ausgeführt wird. Die weitere Effizienzsteigerung des verbrennungsmotorischen Antriebs ist für die langfristig erforderliche vollständige Dekarbonisierung des Straßenverkehrs nicht ausreichend bzw. würde den Einsatz von strombasierten Kraftstoffen in großen Mengen erforderlich machen, die allerdings gegenüber der direkten Stromnutzung einen deutlich geringeren Wirkungsgrad aufweisen und damit einen viel höheren Bedarf an erneuerbaren Energien zur Konsequenz hätten (Cambridge Econometrics & Element Energy 2018; IEA & OECD 2009, 2017).

3.3.1.2 Digitalisierung

Die fortschreitende Digitalisierung wirkt sich sowohl auf die Produktionsprozesse und Produkte als auch auf die Nachfrageseite im Automobilsektor aus. Die sogenannte „Industrie 4.0“ zeichnet sich durch eine fortschreitende Flexibilisierung und Dezentralisierung der Produktion aus. Bisher branchenübliche Modellzyklen von fünf bis acht Jahren verkürzen sich in diesem Zuge voraussichtlich deutlich (Kuhnert et al. 2017). Für Fahrzeughersteller und Zulieferunternehmen bedeutet dies eine umfassende Veränderung der Produktionsprozesse und für die Mitarbeiterschaft eine starke Veränderung der notwendigen Qualifikation (Bauer et al. 2018).

Gleichzeitig sind mit der Digitalisierung im Automobilsektor aber auch fundamentale Veränderungen auf Seiten der Produkte und der Geschäftsmodelle verbunden. Das vernetzte und autonome Fahren erfordert neue Kompetenzen im Automobilbau, wie beispielsweise in den Bereich Sensorik und Informationstechnologien. Gleichzeitig gewinnen im Zuge der Digitalisierung und veränderter Nutzungsansprüche neue Mobilitätsdienstleistungen an Bedeutung. Während sich in den vergangenen Jahrzehnten die Bedeutung der wichtigsten Fahrzeughersteller weltweit kaum verschoben hat, deutet sich vor diesem Hintergrund ein Paradigmenwechsel an. Neue Mobilitätsangebote wie z. B. Uber und DiDi, Tech-Konzerne wie z. B. Apple und Google sowie aufstrebende OEM wie z. B. Tesla oder BYD, verändern die Situation im Automobilsektor fundamental (Bauer et al. 2018; McKinsey & Company 2016a). Welche Rolle klassische Fahrzeughersteller und die „Hardware“, also das Fahrzeug, in Zukunft einnehmen werden und welche Akteure die margenträchtige Schnittstelle zur Kundschaft besetzen können, sind in diesem Kontext zentrale Fragen. OEM stehen vor der Herausforderung, dass sie in zukunftsträchtigen Geschäftsfeldern zunehmend in Konkurrenz zu internationalen Plattformanbietern mit deutlich höherem Marktwert, höherer Innovationskraft und etablierten Netzwerken stehen und mit diesen um die Rolle des „Systemintegrators“ konkurrieren (Seiberth 2015).

3.3.1.3 Verlagerung der globalen Automobilnachfrage und -produktion

Die globale Automobilnachfrage hat sich in den vergangenen Jahren deutlich verschoben. Angesichts der starken internationalen Verflechtungen der Automobilproduktion sind diese Veränderungen von erheblicher Bedeutung für den Automobilsektor in Deutschland, der sich durch eine hohe Exportquote und einer Vielzahl an internationalen Produktionsstätten und Joint Ventures auszeichnet. Veränderte Rahmenbedingungen in wichtigen Automobilmärkten, wie z. B. China, haben angesichts der internationalen Handelsbeziehungen somit auch starke Auswirkungen auf die heimische Automobilproduktion und die Entwicklungsaktivitäten von OEM und Zulieferunternehmen.

Der globale Automobilmarkt weist eine kontinuierliche Zunahme des jährlichen Fahrzeugabsatzes auf, der sich erst in den letzten Jahren abgeschwächt hat. Allein im Zeitraum von 2005 bis 2017 sind die jährlichen Pkw-Verkäufe von etwa 45 Mio. Fahrzeugen auf über 70 Mio. angestiegen – eine Steigerung um mehr als 50 % (OICA 2019). Während sich die Pkw-

Verkäufe in Europa in den letzten Jahren kaum verändert haben (knapp 18 Mio.) und in Nordamerika tendenziell rückläufig sind (knapp 8 Mio. in 2017), sind die jährlichen Neuzulassungen in China von unter 4 Mio. im Jahr 2005 auf knapp 25 Mio. im Jahr 2017 angestiegen. Der Anteil Chinas am weltweiten Pkw-Absatz hat sich in dieser Zeit von 9 % auf 35 % gesteigert und damit nahezu vervierfacht. Im Jahr 2019 war dieser Anteil leicht rückläufig und lag bei 33 % (OICA 2019). Im Jahr 2020 wurde der chinesische Absatzmarkt stark von der Corona-Pandemie getroffen. Die Zahlen sanken im März auf ein Minimum, übertrafen jedoch bereits im November die Vorjahresabsätze um 12,6 % (Reuters 2021). Die globalen Verschiebungen in der Fahrzeugnachfrage blieben nicht ohne Konsequenzen für die globale Verteilung der Produktionsstätten und der Hersteller mit unterschiedlichen regionalen Schwerpunkten. Insbesondere die weitere Entwicklung des chinesischen Markts und die dort vorherrschenden Rahmenbedingungen sind daher für die Automobilindustrie weltweit bedeutsam. So liegt der Anteil des Fahrzeugabsatzes der wichtigen internationalen Automobilhersteller in China mittlerweile zwischen 20 und 40 % (PwC 2018). Insbesondere im Premiumsegment erfolgt der Fahrzeugabsatz über den Import. Der Hauptteil des Fahrzeugabsatzes erfolgt jedoch über Unternehmensbeteiligungen (Joint Ventures) in chinesischen Produktionsstätten. Hauptgründe hierfür sind hohe Importzölle sowie die staatlichen Vorgaben zur Beteiligung chinesischer Firmen an der Fahrzeugproduktion ausländischer Unternehmen in China. Der Gesamtfahrzeugabsatz in China wird zu etwa zwei Dritteln von Joint Ventures geprägt. Etwa ein weiteres Viertel entfällt auf lokale chinesische Unternehmen und weniger als 10 % auf importierte Fahrzeuge (Gao et al. 2015). Die in jüngster Zeit angekündigte zunehmende Marktöffnung durch Senkung von Importzöllen und der Grenzen für ausländischen Unternehmensbeteiligungen soll perspektivisch die weltweite Wettbewerbsfähigkeit der chinesischen Automobilproduktion erhöhen (PwC 2018). Seit 2010 hat sich der Anteil chinesischer Marken am heimischen Automobilabsatz von 29 % auf 40 % im Jahr 2017 erhöht. Ein Anteil von 99 % lokal produzierter Fahrzeuge am Gesamtabsatz von Elektro-Pkw in China im Jahr 2017, der sich gleichzeitig als der größte Absatzmarkt von E-Pkw weltweit darstellt (siehe Abschnitt 3.4), unterstreicht die hohe Relevanz dieses Markts und der dort ansässigen Unternehmen für die Zukunft (PwC 2018).

3.3.2 Übergeordnete Rahmenbedingungen für den Umstieg vom verbrennungsmotorischen auf den elektrischen Antrieb

Der sich abzeichnende globale Umstieg vom verbrennungsmotorischen auf den elektrischen Antrieb in der Automobilproduktion wird im Wesentlichen durch drei Einflussgrößen getrieben bzw. ermöglicht, die im Folgenden erläutert werden.

3.3.2.1 Technologischer Fortschritt von Batterien

Die Fortschritte bei der Entwicklung von Batterien für mobile Anwendungen in den vergangenen Jahren bilden die technologische Grundlage für die Serienfertigung von batterieelektrischen Fahrzeugen. Ausgelöst durch die hohe Nachfrage nach Batterien für tragbare Unterhaltungselektronikgeräte und mit der Markteinführung von Lithium-Ionen-Batterien im Jahr 1991 wurde die technologische Grundlage für eine ausreichende elektrochemische Stromspeicherung im Fahrzeug und damit den elektrischen Betrieb von Pkw geschaffen. Die kontinuierliche Weiterentwicklung, die in einer Erhöhung der Energiedichte sowie einer kontinuierlichen Kostendegression von Batteriesystemen resultierte, ist das Ergebnis von hohen Investitionen in Forschung und Entwicklung sowie zunehmenden Skaleneffekten über die vergangenen 25 Jahre (Baes et al. 2018). Auch in den kommenden Jahren ist mit einer weiteren inkrementellen Verbesserung der verfügbaren Batterietechnologie zu rechnen (vgl. auch Abschnitt 0) und es zeichnen sich mittelfristig mit dem Einsatz neuer

Batterietechnologien (u. a. Festkörperbatterien) weitere Technologiesprünge ab. Die weltweiten Investitionen in den Aufbau großer Batteriefertigungskapazitäten werden in den nächsten Jahren voraussichtlich eine weitere Degression der Batterieproduktionskosten zur Folge haben (IEA 2018).

Die graduelle Elektrifizierung des Antriebsstrangs über Hybridkonzepte bis hin zum rein batterieelektrischen Fahrzeug konnte zudem dem jeweiligen Entwicklungsstand der Batterietechnologie gerecht werden und bereits einen frühzeitigen Absatz (teil-)elektrischer Fahrzeuge in relevanten Stückzahlen ermöglichen, die den hohen Nutzungsanforderungen der Nachfrage genügten. Diese sind, zumindest in den „reiferen" Märkten, v. a. in Europa und Nordamerika, durch die langjährige Nutzung verbrennungsmotorischer Fahrzeuge geprägt.

Die Nutzung der technologischen Fortschritte bei Batterien für die Serienfertigung von Elektrofahrzeugen muss jedoch in engem Zusammenhang mit einer entsprechenden politischen Rahmensetzung in wichtigen Automobilmärkten (v.a. China, Kalifornien, EU) gesehen werden, die Anreize für einen Technologiewechsel bei der Automobilindustrie gesetzt haben (siehe auch Abschnitt 3.3.3). So haben sich durch den technologischen Fortschritt Technologiealternativen ergeben, der Impuls zur Markteinführung wurde jedoch im Wesentlichen durch ein verändertes regulatorisches Umfeld erzielt.

3.3.2.2 Handlungsbedarf zur Minderung der Umweltwirkungen

Ein global weiter ansteigender Pkw-Bestand und eine weiter zunehmende Urbanisierung – insbesondere in Schwellenländern – hat die negativen Umweltwirkungen und den Handlungsdruck, die durch den konventionellen verbrennungsmotorischen Antrieb verursacht werden, in den vergangenen Dekaden deutlich verschärft.

Die Möglichkeit, über den batterieelektrischen Pkw-Antrieb einerseits lokal emissionsfreien Fahrzeugbetrieb sicherzustellen und gleichzeitig angesichts des hohen Gesamtwirkungsgrads einen besonders effizienten Einsatz von Strom aus Erneuerbaren Energien und damit perspektivisch einen klimaneutralen Fahrzeugbetrieb zu ermöglichen, hat sich zu einem zentralen Treiber für den Umstieg auf Elektrofahrzeuge entwickelt. Der sich verschärfende Zielkonflikt einer weiteren Effizienzsteigerung konventionell betriebener Pkw bei gleichzeitig ansteigenden Anforderungen an die Luftschadstoffemissionen weltweit verstärkt diesen Trend weiter, da der Aufwand zur Erreichung beider Ziele bei verbrennungsmotorischen Fahrzeugen einen zunehmenden technischen Aufwand und insbesondere höhere Fahrzeugkosten zur Folge hat.

3.3.2.3 Industrie- und geopolitische Interessen

Gleichzeitig ist der Technologiewechsel auch von industrie- und geopolitischen Interessen getrieben. So haben sich die Nachfragemärkte in den vergangenen Jahren, wie zuvor beschrieben, sehr stark verschoben und China hat sich zum weltweit wichtigsten Absatzmarkt entwickelt. Die geringere Wettbewerbsfähigkeit der dortigen Automobilindustrie in der etablierten verbrennungsmotorischen Antriebstechnologie und die Technologie- und Fertigungskompetenz bei Batterien stellen somit eine Motivation dar, frühzeitig auf die elektrische Antriebstechnologie umzusteigen und technologisch zu globalen Wettbewerbern in der Automobilproduktion aufzuschließen.

Zudem zeichnen sich wichtige Automobilmärkte (u. a. Europa und China) durch eine hohe Importabhängigkeit bei Mineralölprodukten aus. So hat sich beispielsweise China in den vergangenen Jahren zum größten Ölimporteur der Welt entwickelt (Gao et al. 2015). Die Elektrifizierung des Fahrzeugbestands wird in diesem Kontext als eine wichtige Strategie für

eine Minderung der Importabhängigkeit und eine Steigerung der nationalen Wertschöpfung bei der Energiebereitstellung verfolgt.

3.3.3 Wirksame Entwicklungen und Maßnahmen für den Umstieg vom verbrennungsmotorischen auf den elektrischen Antrieb

Die übergeordneten Rahmenbedingungen für einen Umstieg vom verbrennungsmotorischen auf den elektrischen Antrieb lassen sich anhand weiterer Entwicklungen und Maßnahmen auf unterschiedlichen Ebenen konkretisieren. Neben technischen Entwicklungen und neuen Unternehmensaktivitäten sind diese insbesondere von einer veränderten politischen bzw. regulativen Rahmensetzung geprägt, die den zuvor diskutierten übergeordneten Rahmenbedingungen folgen. In den führenden Märkten für Elektrofahrzeuge wird der Umstieg hin zu E-Fahrzeugen maßgeblich durch die politische Rahmensetzung getrieben und diese kann durchaus als zentraler Treiber für die Markteinführung von Elektrofahrzeugen betrachtet werden (IEA 2018).

Grundsätzlich lassen sich dabei unterschiedliche Ebenen und Wirkrichtungen der Entwicklungen und Maßnahmen unterscheiden.

Entwicklungen und Maßnahmen, die den Antriebswechsel befördern, können prinzipiell auf folgenden Ebenen wirksam sein:

- international (z. B. verschärfte CO_2-Regulierung von Neufahrzeugen),
- national (z. B. nationale Förderprämien beim Kauf von E-Fahrzeugen) oder
- lokal (z. B. geringere City-Maut für E-Fahrzeuge).

Die Wirkungsweise von Maßnahmen erfolgt durch:

- die Förderung von Angebot und Nachfrage von E-Pkw (z. B. durch monetäre Kaufförderung, Ladeinfrastrukturaufbau) bzw.
- vermehrte Restriktionen für das Angebot und die Nachfrage verbrennungsmotorischer Fahrzeuge (z. B. lokale Fahrverbote, nationale Zulassungsverbote).

Im Folgenden sind wichtige Entwicklungen und Maßnahmen sowie die Ebene und Art der Wirkung tabellarisch zusammengefasst. Die in der Übersicht aufgeführten Wirkungsweisen stellen zentrale und unmittelbare Wirkungen dar. Gleichzeitig können Maßnahmen aber auch indirekte Wirkungen entfalten und stehen oftmals im Wechselspiel. Die Einzelmaßnahmen bzw. Entwicklungen sind im Folgenden näher erläutert.

Tabelle 5: Übersicht wirksamer Entwicklungen und Maßnahmen für den Antriebswechsel

Entwicklung	Ebene	Wirkungsweise (Auswahl)
Verschärfte Effizienz- / Emissionsstandards Pkw-(Flotten)	National, international	Anreiz in der Herstellung verstärkt E-Fahrzeuge abzusetzen
Verschärfte Luftschadstoffgrenzwerte	National, international	Kostensteigerung bei konventionellen Pkw
Verpflichtende Zielzahlen für E-Pkw	National	Anreiz in der Herstellung, verstärkt E-Fahrzeuge abzusetzen

Entwicklung	Ebene	Wirkungsweise (Auswahl)
Städtische Einfahrverbote konv. Pkw	Lokal	Nutzung konv. Pkw eingeschränkt
Zukünftige Zulassungsverbote konv. Pkw	National	Investition in Produktion von konv. Pkw wird unattraktiver
Monetäre Anreize bei Kauf / Zulassung von E-Pkw	National, lokal	geringerer Aufpreis des E-Pkw
Geringere Besteuerung von Strom / des Betriebs von E-Pkw (z. B. bei Dienstwagen)	National	geringere Betriebskosten des E-Pkw
Förderung / Aufbau von Ladeinfrastruktur	National, lokal	geringere Nutzungsrestriktionen von E-Pkw
Staatliche Förderung von F&E	National	technische / ökonomische Konkurrenzfähigkeit zu konv. Pkw
Ausbau der EE-Stromerzeugung	National	vorteilhafte Klimabilanz des E-Pkw
Neue Wettbewerber	Weltweit	Wettbewerb um Technologie-führerschaft durch neue Akteure

Quelle: eigene Darstellung

3.3.3.1 Verschärfte Effizienzstandards für Pkw-Neufahrzeuge

In allen wichtigen Fahrzeugabsatzmärkten weltweit sind mittlerweile CO_2- bzw. Effizienzstandards für neu zugelassene Pkw und teilweise auch Nutzfahrzeuge etabliert. Diese wurden über die Zeit schrittweise verschärft und Zielwerte für die kommenden Jahre definiert (ICCT 2014). Ziel der Regulierung ist es, die Energieeffizienz von Neufahrzeugen zu erhöhen und damit den Kraftstoffverbrauch und die CO_2-Emissionen zu reduzieren. Da eine Zielverfehlung auf Herstellerebene mit Strafzahlungen gekoppelt ist, werden die Entwicklung und der Verkauf energieeffizienter Fahrzeuge angereizt. Der Absatz von Elektrofahrzeugen wirkt sich in zweierlei Hinsicht positiv auf die Zielerreichung aus, da diese angesichts keiner direkten Emissionen im elektrischen Betrieb mit Null gerechnet werden und teilweise auch mehrfach gewichtet werden (siehe bspw. EU-Regulierung). Für Fahrzeughersteller werden dadurch zunehmend Anreize geschaffen, neben der Entwicklung effizienter konventioneller Fahrzeuge auch über den verstärkten Einsatz von E-Fahrzeugen die Zielwerte zu erreichen und Strafzahlungen zu vermeiden.

3.3.3.2 Verschärfte Luftschadstoffgrenzwerte

Verbrennungsmotorische Fahrzeuge verursachen relevante Emissionen von Luftschadstoffen wie Stickstoffoxiden und Partikeln. In allen wichtigen Fahrzeugmärkten wurden daher Grenzwerte für Luftschadstoffemissionen etabliert und über die Zeit kontinuierlich verschärft. In der jüngeren Vergangenheit wurden die Anforderungen zur Einhaltung der Standards in mehreren Ländern (USA, EU) auf den Einsatz unter Realbedingungen ausgeweitet. In Kombination mit den Anforderungen an die Fahrzeugeffizienz (siehe CO_2-Standards) haben sich der technische Aufwand zur Zielerreichung und damit auch die Kosten für Abgasreinigungstechnologien signifikant erhöht. Insbesondere in Fahrzeugsegmenten mit geringen Gewinnmargen stellt sich für Hersteller daher zunehmend die Frage nach der

Wirtschaftlichkeit einer Weiterentwicklung des verbrennungsmotorischen Antriebs zur Zielerreichung oder dem frühzeitigen Umstieg auf Elektrofahrzeuge als Alternative. Mehrere Hersteller haben in jüngster Zeit, auch unter dem Eindruck des „Diesel-Skandals", den Ausstieg aus der Entwicklung und dem Verkauf von Dieselfahrzeugen für einzelne Modelle oder sogar die gesamte Modellpalette für die kommenden Jahre angekündigt (IEA 2018).

3.3.3.3 Verpflichtende Zielzahlen für E-Pkw

In mehreren Ländern werden die Fahrzeughersteller, jenseits des indirekten Anreizes über die CO_2-Regulierung, zu konkreten Zielzahlen für den Absatz von Null-Emissions-Fahrzeugen verpflichtet, welche aktuell im Wesentlichen mit Elektrofahrzeugen gleichzusetzen sind. In Kalifornien wurden bereits im Jahr 1990 mit dem *Zero Emission Vehicle* (ZEV) *Mandate* verpflichtende Zielzahlen für den Absatz von Null-Emissions-Fahrzeugen eingeführt und über die Jahre weiterentwickelt und verschärft sowie von weiteren Bundesstaaten sowie Provinzen in Kanada übernommen. Auch in China, dem wichtigsten Automobilmarkt weltweit, wurde im Jahr 2018 eine Mindestquote für die Produktion von E-Fahrzeugen auf Herstellerebene als zentrales Instrument zur Stärkung des Fahrzeugangebots eingeführt (ICCT 2018a; IEA 2019b). Die kontinuierliche Weiterentwicklung soll dabei Planungssicherheit für die Fahrzeughersteller schaffen und Anreize für weitere Investitionen in die Fertigung von E-Fahrzeugen und andere Null-Emissions-Fahrzeuge setzen.

3.3.3.4 Lokale Einfahrverbote für konventionelle Pkw

Angesichts der weiterhin hohen Luftschadstoffemissionen, insbesondere von Stickstoffoxiden, bei Dieselfahrzeugen und der weiterhin häufigen Überschreitung von Luftschadstoffgrenzwerten, haben zahlreiche Metropolen weltweit ein komplettes Einfahrverbot für Dieselfahrzeuge für die kommenden Jahre angekündigt oder bereits für bestimmte Stadtgebiete oder Straßen sowie ältere Fahrzeugmodelle mit schlechterer Schadstoffklasse umgesetzt. Diese Handhabe wurde in Deutschland durch ein Urteil des Bundesverwaltungsgerichts im Jahr 2018 rechtlich bestätigt (IEA 2018). Zahlreiche Großstädte weltweit äußerten in einer gemeinsamen Erklärung zudem das Bestreben, bis zum 2030 einen emissionsfreien Straßenverkehr erreichen zu wollen (C40 Cities 2019).

Insbesondere in chinesischen Großstädten wie Peking oder Shanghai wird außerdem die Zulassung von Elektrofahrzeugen durch Kontingentierung der Lizenzen im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen stark begünstigt und steigert somit die Attraktivität von Elektrofahrzeugen für Nutzende maßgeblich (Felizeter 2016).

3.3.3.5 Zukünftige Zulassungsverbote für konventionelle Pkw

Auch auf nationaler Ebene haben in den letzten Jahren mehrere Regierungen das Ziel formuliert, den Verkauf bzw. die Zulassung von verbrennungsmotorischen Fahrzeugen in absehbarer Zeit nicht mehr zu erlauben und streben ein Ziel von 100 % Null-Emissions-Fahrzeugen an. So plant beispielsweise Norwegen bereits einen Ausstieg aus der Zulassung konventioneller Fahrzeuge im Jahr 2025. Weitere Länder wie die Niederlande, Irland, aber auch große Automobilmärkte wie Indien, streben einen Ausstieg bis zum Jahr 2030 an. Weitere wichtige Märkte wie Frankreich, China und das Vereinigte Königreich planen dies bis zum Jahr 2040. Auch in Deutschland werden Zieljahre im Kontext der Diskussion um die Erreichung der Klimaschutzziele regelmäßig genannt, eine breite Unterstützung konnte jedoch noch nicht gefunden werden. Die konkrete Umsetzung von Zulassungsverboten wird bisher nicht weiter konkretisiert und könnte für EU-Mitgliedstaaten beispielsweise nur auf EU-Ebene als tatsächliches Verbot rechtlich verankert werden. Auf nationalstaatlicher Ebene könnte ein Verbot indirekt über beispielweise prohibitiv hohe Zulassungssteuern implementiert werden.

Die Zielsetzungen sind daher vielmehr als politisches Signal eines Richtungswechsels an alle betroffenen Akteure zu verstehen, der einen Ausstieg aus einer Technologie zum mittelfristigen Ziel hat.

3.3.3.6 Monetäre Anreize bei Kauf und Zulassung von E-Pkw

Die veränderte Kostenstruktur von Elektrofahrzeugen gegenüber konventionellen Fahrzeugen, die sich in höheren Anschaffungskosten und geringeren Betriebskosten äußert, wird als ein zentrales Hemmnis für die Akzeptanz der Kundschaft beurteilt, insbesondere, wenn sich die höheren Investitionskosten auch bei langen Haltedauern für die Nutzenden nicht amortisieren. Um diesem Nachteil zu entgegnen, werden in allen Ländern mit relevanten Zulassungszahlen für E-Fahrzeuge monetäre Anreize in Form von Kaufprämien (u. a. in Norwegen und Deutschland) oder einer geringeren Zulassungs- bzw. Kraftfahrzeugbesteuerung gesetzt. In einigen Ländern (z. B. Schweden, Frankreich) werden diese auch durch eine höhere Belastung von konventionellen Fahrzeugen mit hohem Kraftstoffverbrauch (sogenanntes Bonus-Malus-System) flankiert. Typischerweise liegen die gewährten monetären Anreize zwischen etwa 4.500 und 9.000 Euro. In Deutschland wird beispielsweise ein Elektroauto, dessen Anschaffung nicht mehr als 40.000 Euro kostet, mit bis zu 9.000 Euro gefördert. Die Prämie trägt zu einem Drittel der Hersteller (BPA 2021). In Ländern mit sehr hohen E-Pkw-Zulassungszahlen, wie beispielsweise Norwegen, China und den Niederlanden sind die staatlichen Anreize sogar noch deutlich höher. In einigen Ländern werden die Anreize durch weitere regionale Anreize ergänzt. In vielen Fällen wird die Höhe der Kaufanreize jährlich überarbeitet und an veränderte Marktgegebenheiten, wie bspw. sinkende Batteriekosten, angepasst (ICCT 2018b).

3.3.3.7 Geringere Besteuerung von Strom / des Fahrzeugbetriebs (z. B. bei Dienstwagen)

Der Betrieb von elektrischen Pkw profitiert in vielen Ländern von dem geringeren Steuersatz und damit geringeren Kilometerkosten im Vergleich zur weniger energieeffizienten Nutzung von konventionellen Kraftstoffen in verbrennungsmotorischen Fahrzeugen. Zudem wird der Fahrzeugbetrieb in einigen Ländern durch weitere Anreize in der Betriebsphase begünstigt. So wird in Deutschland der Bruttolistenpreis eines privat genutzten Dienstwagens, von dem monatlich 1 % als geldwerter Vorteil und damit als Einkommen versteuert werden muss, gemindert angesetzt, sofern es sich um ein (teil-)elektrisches Fahrzeug handelt (Einkommensteuergesetz (EStG) § 6 Abs.1 Nr. 4). Für Fahrzeuge, die keine CO2-Emissionen pro gefahrenen Kilometer und einen Bruttolistenpreis von unter 60.000 Euro aufweisen und nach dem 31.12.2018 angeschafft wurden, wird nur noch ein Viertel des Listenpreises als Grundlage angesetzt. Diese Regelung gilt zunächst bis Anfang 2031. Hybridfahrzeuge werden ebenfalls begünstigt, jedoch in geringerem Maß (der Bruttolistenpreis wird zur Hälfte angesetzt) und müssen einer der beiden folgenden Anforderungen genügen: die Fahrzeuge dürfen maximal 50 Gramm CO_2 pro gefahrenen Kilometer ausstoßen oder müssen eine Mindestreichweite, die rein elektrisch zurückgelegt werden kann, aufweisen. Die erforderliche Mindestreichweite erhöht sich bis 2024 von aktuell zugelassenen Fahrzeugen mit 40 km auf 80 km.

3.3.3.8 Infrastruktur

Die Einsatzmöglichkeiten von Elektrofahrzeugen – und damit auch deren Markterfolg – sind eng an die verfügbare Ladeinfrastruktur gekoppelt. Ein funktionierendes Ladeinfrastrukturnetz ist eine Kernvoraussetzung für die Kundenakzeptanz und deren Vertrauen in die Fahrzeugreichweite. Zwar zeigen zahlreiche Studien, dass Lademöglichkeiten am Wohnort für viele Nutzende in vielen Fällen ausreichend sind, hohe Marktanteile von E-Fahrzeugen werden jedoch nur in Märkten erreicht, in denen auch ein dichtes öffentliches bzw. halb-öffentliches Ladenetz besteht. In den führenden Märkten wird der Ausbau der Infrastruktur durch

Initiativen von Energieversorgern, nationalen und lokalen Verwaltungen und öffentlich-private Partnerschaften realisiert. Insbesondere in der frühen Marktphase ist eine staatliche Unterstützung angesichts einer fehlenden Wirtschaftlichkeit des Infrastrukturbetriebs notwendig (ICCT 2018b).

In den vergangenen zehn Jahren wurde die Ladeinfrastruktur in den führenden Märkten sehr stark ausgebaut und für die Zukunft wurden ambitionierte Ausbauziele gesetzt. Allein für die EU wurden für einen Zeitraum von vier Jahren Investitionen von knapp 1 Mrd. Euro in Ladeinfrastruktur angekündigt. Insbesondere in Ländern mit geringer privater Stellplatzverfügbarkeit wurde ein besonderer Schwerpunkt auf öffentliche Schnelladestationen gelegt, so z. B. in Japan und China. Aber auch in anderen Märkten gewinnt die Schnellladeinfrastruktur mittlerweile an Bedeutung (IEA 2018). In Deutschland soll es bis 2030 eine Million öffentliche Ladepunkte geben (BReg 2019).

Der Ausbau der Ladeinfrastruktur wird von mehreren Einflussgrößen getrieben. Neben nationalen Zielen und der staatlichen Förderung des Infrastrukturaufbaus spielt insbesondere die lokale Ebene bei der Umsetzung eine zentrale Rolle. Zunehmend wird der Infrastrukturaufbau auch von der Privatwirtschaft realisiert. Zudem schaffen rechtliche Regelungen, z. B. zum Aufbau von Ladeinfrastruktur in privaten Gebäuden, eine Grundlage für einen flächendeckenden Infrastrukturaufbau.

3.3.3.9 Staatliche Förderung von Forschung und Entwicklung

Neben den genannten monetären Anreizen bei der Anschaffung von Fahrzeugen und Ladeinfrastruktur zielt staatliche Förderung der Elektromobilität oftmals auf technologische Forschung und Entwicklung. Auch in Deutschland lag hier vor Einführung des sog. „Umweltbonus“ der Schwerpunkt der staatlichen Fördermaßnahmen. Ein Schwerpunkt der Forschungsförderung liegt dabei auf der Fertigung von Batteriezellen und -systemen, von der zum einen bedeutende Effizienzgewinne und zum anderen ein relevanter Anteil der Wertschöpfung erwartet wird. So wurde im Jahr 2019 die Entscheidung getroffen, mit einer staatlichen Förderung von zunächst 500 Millionen Euro eine zentrale „Forschungsfertigung Batteriezelle“ in Münster aufzubauen.

Zudem existiert (über die Förderung der Anschaffung hinaus) eine Förderung der Erprobung von Fahrzeugen. Bei Pkw und leichten Nutzfahrzeugen konzentriert sich diese zumeist auf Sonderanwendungen wie Taxis, gewerbliche Flotten und Kurierdienste. Ansonsten zielt die öffentliche Förderung von Pilotprojekten mittlerweile stärker auf schwere Nutzfahrzeuge wie Busse und Lkw sowie auf Sonderfahrzeuge (z. B. im Werksverkehr) ab.

3.3.3.10 Ausbau der EE-Stromerzeugung

Weltweit verfügte schon im Jahr 2015 die überwiegende Mehrheit der Staaten über Ziele zum Ausbau der Erneuerbaren Energien (IRENA 2015) und insbesondere das Pariser Klimaschutzabkommen führt zu einer wachsenden internationalen Verbindlichkeit.

In Deutschland ist der weitere Ausbaupfad für Erneuerbare Energien politisch beschlossen: Ein Anteil Erneuerbarer Energien von 40 bis 45 % am Bruttostrombedarf im Jahr 2025, 55 bis 60 % im Jahr 2035 sowie mindestens 80 % bis 2050 ist im EEG 2017 gesetzlich verankert. Die durch die Bundesregierung eingesetzte Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“ hat im Jahr 2019 in ihrem Abschlussbericht ein Ende der CO_2-intensiven Kohleverstromung bis spätestens 2038 empfohlen und das Bundeskabinett daraufhin Eckpunkte zur Umsetzung der Maßnahmen beschlossen.

Ein Wachstum der Elektromobilität erfordert einen Zubau an Kraftwerkskapazitäten, um die zusätzliche Stromnachfrage bedienen zu können. Die formulierten Ziele als prozentualer Anteil am gesamten Stromverbrauch bedingen, dass dieser Zubau in wachsendem Maße durch erneuerbare Energien zu realisieren ist. Dementsprechend ist sichergestellt, dass die CO_2-Intensität von Elektrofahrzeugen auch beim Laden mit dem nationalen Strommix kontinuierlich über die Zeit sinkt. Für die Minderung der THG-Emissionen des Verkehrs ist die Dekarbonisierung des Stromsystems elementar und gleichzeitig ein ambitioniertes Ziel, welches auch über die bestehenden Beschlüsse hinaus forciert werden muss.

3.3.3.11 Neue Wettbewerber

Als weltweit führender Hersteller von elektrischen Pkw hat sich das US-amerikanische Unternehmen Tesla etabliert, mit einem Marktanteil von mehr als 10 % im Jahr 2018 (McKinsey & Company 2019). Mit den angebotenen Modellen, die zunächst in der Ober-, mittlerweile auch in der Mittelklasse angesiedelt waren bzw. sind, stellt dieser neue Produzent eine Herausforderung gerade auch für die deutschen Premiumhersteller dar. Weltweit, mit Schwerpunkt in China, drängen neue Elektroauto-Startups in den Markt, die den klassischen Herstellern teils Personal abwerben und dadurch Know-how zur Fahrzeugproduktion aufbauen (Bsp. Byton). Zwar können die neuen Akteure beim Einstieg in die Automobilproduktion nicht wie die etablierten OEM über eine jahrzehntelang gewachsene Struktur aus Arbeitskräften, Fertigungsstätten, Zulieferunternehmen, Vertriebswegen etc. verfügen. Dies wird jedoch teils auch als Vorteil gesehen, da diese Strukturen, sofern sie sehr mit dem Verbrennungsmotor verhaftet sind, auch Hemmnisse für einen Wandel darstellen können.

Gleichzeitig drängen neue mächtige Akteure aus anderen Branchen in den Markt. So lag etwa der chinesische Mischkonzern BYD, dessen Ursprung in der Batterieherstellung liegt, im Jahr 2018 an zweiter Stelle in der globalen Elektroautoproduktion. Auch große Tech-Konzerne wie Apple und Google drängen in den Mobilitätsmarkt, wobei weiterhin unklar ist, ob sie dabei auch die Fahrzeugproduktion selbst in Eigenregie umsetzen werden.

3.4 Mögliche Entwicklungen der Branche und ihre Folgewirkungen

Der weltweite Pkw-Bestand wuchs in den letzten Jahren um jährlich ca. 4 % auf ca. 1.196 Mio. im Jahr 2020 (UBA 2020) und wird laut der Mehrzahl der Marktstudien bis 2030 weiter wachsen auf eine Größenordnung von 1,4 Mrd. Fahrzeuge. Im Jahr 2018 wurden weltweit etwa 85 Mio. Pkw neu zugelassen (OICA 2019). China ist mittlerweile der wichtigste Markt vor Europa und Nordamerika (vgl. Abschnitt 3.3.1.3).

Die zunehmende Elektrifizierung ist einer von mehreren Trends, die auf den Fahrzeugmarkt und -bestand wirken. Die Effekte von neuen Mobilitätskonzepten, vernetztem und autonomem Fahren auf den Pkw-Markt lassen sich heute noch nicht seriös bestimmen. Verstärkte geteilte Nutzung könnte den Fahrzeugbestand reduzieren. Dies wirkt sich aber nicht zwangsläufig auf die jährlichen Fahrzeugverkäufe aus, da perspektivisch eine höhere Auslastung der Sharing-Fahrzeuge im Vergleich zu heutigen Fahrzeugen in privatem Besitz und somit eine geringere Lebensdauer erwartet werden kann.

3.4.1 Marktentwicklung Elektromobilität – Status Quo und Perspektiven

Weltweit ist in den vergangenen Jahren ein deutliches Wachstum von Produktion und Absatz elektrischer Pkw zu beobachten. Zwar verhielt sich die Entwicklung der Verkaufszahlen von elektrischen Pkw (BEV + PHEV) in einzelnen Märkten in den vergangenen Jahren noch volatil, v. a. aufgrund der Dynamik bei den in Abschnitt 3.3.3 präsentierten Förderpolitiken. Ein Beispiel für einen zwischenzeitlich wachstumsdämpfenden Effekt aufgrund einer nationalen Regelung

war die Korrektur einer zuvor massiv zur Anschaffung von PHEV anreizenden Förderung (teil-) elektrischer Dienstwagen in den Niederlanden, die vielfach nur wenig elektrischen Fahranteil aufweisen konnten. Möglicherweise ist der Übergang zu den „post 2020"-Flottenzielwerten in der EU aktuell ein Anreiz für die die Hersteller, den Absatz von E-Fahrzeugen teils in die Zeit ab 2021 zu verlagern.

Ungeachtet solcher Sondereffekte ergab sich weltweit in den vergangenen Jahren ein kontinuierlicher und massiver Anstieg in den Verkaufszahlen mit jährlichen Wachstumsraten um 50 %. Im Jahr 2018 wurden weltweit knapp 2 Millionen elektrische Pkw (BEV + PHEV) verkauft. Der globale Bestand wuchs somit innerhalb eines Jahres um über 60 % auf mehr als 5 Millionen Fahrzeuge. Abbildung 2 (IEA 2019b) veranschaulicht den Anstieg des Bestands um den Faktor 10 binnen fünf Jahren. Deutlich wird, dass sich der Bestand an E-Fahrzeugen in absoluten Zahlen mit 45 % wesentlich in China konzentriert, weit vor Europa (Bestand 1,2 Millionen) und den USA (Bestand 1,1 Millionen). Im Jahr 2019 hat sich dieser Trend weiter beschleunigt und eine Gesamtzahl von über 7 Millionen E-Pkw im globalen Bestand wurde erreicht (IEA 2020c).

Abbildung 2: Globaler Bestand an E-Pkw

Quelle: IEA 2018

Ähnlich wie in den USA, wo sich der Markthochlauf, v. a. aufgrund unterschiedlicher staatlicher Lenkung, stark auf einzelne Bundesstaaten (v. a. Kalifornien) konzentriert, liegen auch innerhalb Europas die Anteile von E-Fahrzeugen an den Verkaufs- und Bestandszahlen zwischen den Mitgliedsstaaten weit auseinander. Weltweit ist Norwegen mit Abstand führend mit 46 % Marktanteil von BEV und PHEVs im Jahr 2018 sowie einem Anteil von 10 % in Bezug auf den Pkw-Bestand. In Deutschland ist der Marktanteil zwischen 2013 und 2018 von unter 1 auf ca. 2,5 % gestiegen. Ein Marktanteil von bereits mehr als 13 % (PHEV und BEV) im Jahr 2020 veranschaulichen die enorme Dynamik in den letzten Jahren (KBA 2021). Ähnliche Werte und Wachstumsraten zeigen weitere relevante Pkw-Märkte mit starker eigener Fahrzeugproduktion wie die USA, Frankreich, Großbritannien, Korea und Japan. Dennoch hatten im Jahr 2018 erst fünf Staaten weltweit die Marke von 1 % E-Fahrzeugen im Pkw-Bestand überschritten (IEA 2018). Bereits im Folgejahr war dies für mehr als 20 Länder der Fall (IEA 2020c).

Für die kommenden Jahre und Jahrzehnte wird gemeinhin eine Fortsetzung des exponentiellen Wachstums des E-Pkw-Bestands erwartet. Abbildung 3 stellt dazu eine Zusammenstellung von globalen Szenarien aus Studien des Think Tanks Agora Verkehrswende, von Unternehmensberatungen sowie von Unternehmen und Verbänden des Energiesektors dar. Es zeigt sich einerseits der grundsätzliche Konsens, dass der Bestand auf ein Vielfaches der heutigen 5 Millionen E-Pkw ansteigen wird. Die Größenordnung des Wachstums bzw. der

Zeitpunkt des beschleunigten Markthochlaufs variiert jedoch entsprechend dem Ambitionsniveau und der Frage, ob der Straßenverkehr in ausreichendem Umfang zur Einhaltung der Klimaziele beiträgt: „ref“ = Referenzentwicklung, „BAU“ = *business as usual* als Basisentwicklungen vs. „2DS“ = Einhaltung des 2°C-Ziels (*„2 degrees“*), „B2DS“ = Einhaltung von 1,75°C globaler Erwärmung (*„beyond 2 degrees“*). Zudem wirken beispielsweise unterschiedliche Annahmen zum Einsatz synthetischer Kraftstoffe im Pkw-Bereich. Es lässt sich zusammenfassen, dass diejenigen Szenarien, die die Einhaltung einer Erderwärmung von maximal 2°C als Ziel beinhalten und dabei vorwiegend auf Elektromobilität als marktreife und effizienteste Technologie im Pkw-Sektor setzen, spätestens um das Jahr 2030 die Marke von 100 Millionen E-Pkw erreicht sehen, im Jahr 2040 400 bis 600 Millionen und 2050 800 bis 1.300 Millionen.

Abbildung 3: Globale Flotte elektrischer Pkw nach unterschiedlichen Szenarien

Quelle: Öko-Institut, eigene Darstellung.

Die Szenarien einer fortgesetzten und beschleunigten Marktdurchdringung von E-Fahrzeugen speisen sich zum einen aus der Erwartung, dass die in Abschnitt 1.3.3 erläuterten Treiber – klima- und luftqualitätspolitisch begründete Anreiz- und Restriktionsmaßnahmen, staatliche Ausstiegspläne, technologische Entwicklungen sowie Industriepolitik – weiterhin wirken werden. Zudem lässt sich jedoch auch beobachten, dass die Ankündigungen der Automobilhersteller bezüglich zukünftiger Produktions-/Verkaufszahlen von E-Fahrzeugen (absolut oder als Anteile der Gesamtproduktion veröffentlicht) einen ähnlichen Pfad aufzeigen. Alle relevanten OEM haben die Entwicklung zahlreicher E-Pkw-Modelle angekündigt bzw. begonnen und peilen relevante Stückzahlen in den kommenden fünf Jahren an (IEA 2018). Die Investitionen in elektrische Antriebe wurden deutlich erhöht. Mehrere Hersteller haben aufgrund von Luftschadstoffproblematik, hohen Entwicklungskosten und dem Fokus auf E-Mobilität für die nächsten Jahre den Ausstieg aus der Entwicklung bzw. dem Vertrieb von Dieselfahrzeugen oder sogar verbrennungsmotorischen Fahrzeugen allgemein angekündigt (vgl. Abschnitt 3.3.3).

Abbildung 4 zeigt, dass eine Realisierung der von den Automobilherstellern verlautbarten Zahlen in einem Gesamtbestand von 50 bis 100 Millionen elektrischer Pkw im Jahr 2025 resultieren würde. Somit lassen schon die heute verlautbarten Herstellerstrategien die Erreichung einer Größenordnung von annähernd 100 Millionen E-Pkw im Jahr 2025 (Abbildung 3) realistisch erscheinen.

Abbildung 4: Erwarteter globaler E-Pkw Bestand im Vergleich mit OEM-Zielen

Quelle: IEA 2019b

Sachverständige erwarten also, dass bis 2030 in allen großen Märkten Produktion und Nutzung elektrischer Fahrzeuge im Massenmaßstab stattfinden und in den kommenden Jahrzehnten, spätestens in der Perspektive bis 2050, dominierend sein wird.

3.4.2 Marktentwicklung Elektromobilität – Auswirkungen auf Beschäftigung

Der Wandel hin zur Elektromobilität wird hinsichtlich seiner Wirkung auf Beschäftigung und den wirtschaftlichen Erfolg der deutschen Automobilhersteller intensiv diskutiert. Wie in Kapitel 3.2.3 dargestellt, verändert sich die Zusammenstellung der Komponenten im Antriebsstrang und der komplexe Verbrennungsmotor wird durch einen, aus der Produktionsperspektive gesprochen, simpleren Elektroantrieb ersetzt. Im Folgenden werden die Ergebnisse zu möglichen Beschäftigungseffekten aus einer Auswahl an Studien zusammengetragen. Die Studien entwickeln verschiedene Elektromobilitäts-Szenarien für die Zukunft und untersuchen deren Wirkung auf die Beschäftigung mit unterschiedlichem regionalem Fokus. Die getroffene Auswahl zielt darauf ab, zum einen die Unterschiede der unterstellten Szenarien und zum anderen die Spannbreite der Ergebnisse darzustellen.

In der ELAB 2.0 Studie von Bauer et al. (2018) werden drei Szenarien unterschieden, die sich durch spezifische Anteile von BEV und PHEV (inkl. HEV) an der Fahrzeugproduktion in Deutschland im Jahr 2030 unterscheiden. In einem ersten Schritt wird der Bedarf an Beschäftigten für die Produktion aller in Deutschland produzierter Antriebsstränge im Basisjahr 2017 berechnet, der sich auf ca. 210.000 Beschäftigte beläuft. Dieser Wert wird dann verglichen mit dem Arbeitskräftebedarf für den Produktionsmix in Antriebssträngen im jeweiligen Szenario. Die Ergebnisse werden zum einen ohne Produktivitätssteigerung in der Produktion und zum anderen mit einer Produktivitätssteigerung von 2 % p.a. bei ICEV und 3 % p.a. bei BEV angenommen. Zudem wird der Status Quo insofern fortgeschrieben, dass die Batteriezellenproduktion weiterhin im Ausland stattfindet, dann aber die Herstellung der Zellmodule sowie der Aufbau der Transaktionsbatterie in Deutschland ausgeführt wird. Die Studie liefert die folgenden Ergebnisse:

- Szenario 1 prognostiziert die Effekte durch einen Produktionsmix von 25 % BEV und 15 % PHEV (inkl. HEV) und somit 60 % ICEV. Der Beschäftigungsrückgang variiert dabei zwischen

-11 % und – 37 % ohne und mit Produktivitätssteigerungen. Der Personalbedarfs-Rückgang kann damit zwischen 23.000 und 76.000 betragen.

- Szenario 2 prognostiziert die Effekte durch einen Produktionsmix von 40 % BEV und 20 % PHEV (inkl. HEV) und somit 40 % ICEV. Der Beschäftigungsrückgang variiert dabei zwischen -18 % und – 40 % ohne und mit Produktivitätssteigerungen. Das resultiert in einem Beschäftigungsrückgang von 37.000 bis zu 82.000 Beschäftigten.
- Szenario 3 prognostiziert die Effekte durch einen Produktionsmix von 80 % BEV und 10 % PHEV (inkl. HEV) und somit 10 % ICEV. Der Beschäftigungsrückgang variiert dabei zwischen -35 % und – 53 % ohne und mit Produktivitätssteigerungen. Das kann einen Verlust von 72.000 bis zu 109.000 Beschäftigten bedeuten.

Das Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung betrachtete die Beschäftigungswirkung einer Elektrifizierung des Antriebsstrangs in seiner Veröffentlichung „Elektromobilität 2035“. Im Bericht werden Elektroautos gemäß dem Kraftfahrtbundesamt (KBA) als Fahrzeuge mit ausschließlich elektrischem Antrieb definiert, dazu zählen auch Brennstoffzellenfahrzeuge. Hybrid-Fahrzeuge werden der Kategorie der Personenkraftwagen mit Verbrennungsmotor zugeordnet. Langfristig ist mit einem Rückgang der Beschäftigung durch eine Elektrifizierung des Antriebsstrangs bei Pkw zu rechnen. Dabei ist in näherer Zukunft stärker mit ausgleichendem Arbeitsplatzzuwachs in verbundenen Branchen wie bspw. dem Bau von Ladeinfrastruktur zu rechnen. Durch den temporären Charakter dieser Arbeiten können sie den Rückgang des Arbeitskräftebedarfs in der Fahrzeugproduktion jedoch langfristig nicht glätten. Bis zum Jahr 2035 kann der Verlust auf bis zu 114.000 Arbeitsplätze beziffert werden, davon fallen 83.000 Arbeitsplätze im Fahrzeugbau weg. Dabei werden für 2035 600.000 Neuzulassungen von Elektroautos in Deutschland angenommen. Unterstellt wird eine Marktdurchdringung von E-Fahrzeugen von 23 % bis 2035 (Mönning et al. 2018).

Die Strukturstudie BWe mobil 2019 betrachtet ausschließlich das Automobilcluster Baden-Württemberg mit rund 470.000 Beschäftigten (2016). Für 2030 werden die Entwicklungen der Neuzulassungen (NZL) in der EU-28 als für das Cluster BW exogen vorgegebene Nachfrage in zwei Szenarien prognostiziert. Im *business-as-usual* Szenario wird der Anteil an BEV auf 15 % steigen, PHEV und HEV machen etwa 48 % aus. Im progressiven Szenario wächst der Anteil von BEV an den europäischen NZL auf 51 %, die Neuzulassungen im Bereich der PHEV und HEV machen etwa 45 % aus. Vorausgesetzt, das Cluster kann seine weltweit führende Rolle als Innovationsstandort auch für die alternativen Antriebstechnologien halten, könnten die positiven Beschäftigungseffekte durch das Hinzukommen neuer Komponenten sowie einem internationalen Absatzwachstum im *business-as-usual* Szenario den Rückgang von Beschäftigung ausgleichen oder sogar übersteigen. Im Gegensatz dazu dominiert der Beschäftigungsrückgang im progressiven Szenario. Hier könnte mit einem Netto-Beschäftigungsabbau von bis zu 30.800 Stellen zu rechnen sein. Das sind fast die Hälfte der 70.000 Beschäftigten in den Produktionswerken von Antriebssträngen in Baden-Württemberg und etwa 7 % der Gesamtbeschäftigten im Automobilcluster des Bundeslandes (DLR et al. 2019).

Der Blick auf Europa in der Studie der Cambridge Econometrics und elementenergy (2018) beschränkt sich nicht nur auf die Automobilproduktion, sondern auch auf anhängige Sektoren wie beispielweise Dienstleistungen oder Energieproduktion. Die Gesamteffekte variieren je nach Szenario (unterschieden nach der Einhaltung von Grenzwerten, Verboten von konventionellen Fahrzeugen etc.) zwischen 91.000 und 260.000 zusätzlichen Beschäftigten im Jahr 2030 und zwischen 130.000 und 672.000 Beschäftigten im Jahr 2050. Das zentrale TECH Szenario der Studie, das von einem Anteil von BEV in Höhe von 71 % an den NZL 2050 ausgeht (hinzu kommen 26 % FCEV und 3 % PHEV), resultiert dabei in +206.000 (2030) und +670.000 (2050)

Beschäftigten und bewegt sich damit im oberen Bereich der Szenarien bezüglich ihrer Beschäftigungswirkung. Hier wird für den Fahrzeugbau ein leichter Zuwachs der Beschäftigung bis 2030 erwartet. Die Entwicklung basiert auf einer Zunahme komplexerer Antriebe wie bspw. effizienten Verbrennungsmotoren, Brennstoffzellenantrieben sowie hybriden Antrieben. Langfristig, bis 2050, wird der Rückgang auf ca. 25.000 Beschäftigte im Fahrzeugbau geschätzt, da die komplexeren Antriebe zunehmend durch batterieelektrische Antriebe ersetzt werden.

Wie in Wietschel et al. (2017) angeführt, können Studien zu Beschäftigungseffekten nach ihrem Untersuchungsgegenstand in Form von Netto- oder Bruttoeffekten unterschieden werden. Bruttoeffekte liegen vor, wenn die Analyse allein auf die Effekte der Einführung einer Technologie fokussiert, ohne entstehende Auswirkungen auf bestehende Produkte miteinzubeziehen. Die beschriebenen Studien betrachten hingegen alle Nettoeffekte. Sie verrechnen die positiven Effekte durch die zusätzliche Produktion von Elektrofahrzeugen mit den negativen Effekten durch den Rückgang der Produktion von Fahrzeugen mit konventionellem Antrieb. Der Fokus der ersten drei beschriebenen Studien liegt dabei auf der Fahrzeugproduktion und resultiert in negativen bis leicht positiven Beschäftigungseffekten. Fasst man den Begriff der Nettoeffekte noch etwas weiter, so müssen auch die anhängigen Sektoren und die sogenannten *spill-over* Effekte in anderen Branchen, wie beispielsweise die Energiebranche, betrachtet werden. Die Studie der Cambridge Econometrics und elementenergy (2018) bezieht neben den Beschäftigungseffekten in der Fahrzeugproduktion auch die vor- und nachgelagerten Sektoren mit ein und prognostiziert, je nach Szenario, deutlich positive Gesamtbeschäftigungseffekte. Wietschel et al. (2017) kommen in ihrer Untersuchung auf Basis vorliegender Studien und einer eigenen Analyse zu dem Schluss, dass sich die Effekte auf die Beschäftigung in Deutschland ausgleichen oder sogar in positiven Nettoeffekten resultieren. Dieses Ergebnis hängt davon ab, dass die deutsche Automobilindustrie ihre internationale Wettbewerbsposition auch in Zukunft halten kann. Sie weisen dabei klar auf die variierenden Tätigkeitsprofile der wegfallenden und hinzukommenden Arbeitsplätze hin.

Die Konzeption der Analyse hat bei der Untersuchung der Beschäftigungseffekte einen erheblichen Einfluss auf die Ergebnisse. Das gilt nicht nur für die betrachteten Sektoren, sondern auch für die zugrunde gelegten Szenarien. Die Anteile elektrifizierter Fahrzeuge an den Neuzulassungen, die Berücksichtigung von BEV allein oder allen elektrifizierten Antriebssträngen (inkl. PHEV, etc.), die Exportzahlen oder die Ansiedlung einer Batteriezellenproduktion – in den Studien werden viele Annahmen getroffen, wodurch die Ergebnisse oft nicht direkt vergleichbar sind. Die Auswahl an Studien zeigt, dass die Effekte stark variieren und der Fahrzeugbau, isoliert betrachtet, mit Beschäftigungsrückgängen konfrontiert werden könnte. In anderen Sektoren kann hingegen mit positiven Beschäftigungseffekten gerechnet werden. Sobald die Betrachtung auf alle relevanten Tätigkeitsbereiche ausgeweitet wird, schwanken die Effekte im leicht negativen bis deutlich positiven Bereich.

3.4.3 Verbindung mit sonstigen Entwicklungen im Mobilitätsmarkt

Neben dem Fokusthema Elektromobilität liegen insbesondere die zunehmende Digitalisierung und Vernetzung von Fahrzeug und begleitenden Services sowie die Sharing *E*conomy im Interessenfeld vieler Studien. Hier lässt sich oft nicht scharf unterscheiden, welche Entwicklungen in den Szenarien rein auf die Elektrifizierung zurückzuführen sind, da meist auch andere Trends wie beispielsweise die Entwicklung hin zu Mobilität als Dienstleistung (*Mobility as a Service*, „MaaS“) in die Analyse miteinbezogen wird. Im Folgenden werden einige integrierte Szenarien dargestellt, um den Raum der möglichen Entwicklungen in diesem Bereich zu öffnen und denkbare Pfade zu beschreiben.

Deloitte (2017) definiert die Produktion und den Verkauf von Fahrzeugen sowie das Anbieten von Finanzdienstleistungen durch die OEM als traditionelle Geschäftsmodelle der OEM. Zukünftig prognostizieren sie das Hinzukommen zweier neuer Felder. Die Produktion von „*white-label*" Komponenten und Fahrzeugen (einheitliche Baukasten-Module oder Fahrzeuge, die nicht mehr vorrangig durch die Marke vermarktet werden) wird eine zunehmend große Rolle spielen und weiterhin das Geschäft mit Mobilitätsservices und Nutzungsdaten an Bedeutung gewinnen. Dabei sind verschiedene Konstellationen von Akteuren und Akteurinnen denkbar, die sich den Mobilitätsmarkt aufteilen. Deloitte (2017) zieht vier mögliche Entwicklungspfade in Erwägung und schätzt die entsprechenden Umsatz- und Ergebnisentwicklungen für einen exemplarischen OEM bis 2025 ab:

- Im Szenario „*Data and Mobility Manager*", das durch die Dominanz des Automobilmarkts durch OEM und einen hohen Grad an Innovation charakterisiert ist, kann der OEM seinen Umsatz deutlich steigern. Ein großes Angebot an digitalen Services aufgrund der hohen Akzeptanz bei der Kundschaft sowie weiterhin zunehmende Fahrzeugverkäufe und Verbesserungen in der Fahrzeugproduktion kennzeichnen die Entwicklung.
- Im Szenario „*Hardware platform provider*" dominieren IT-Player große Teile der möglichen Geschäftsbereiche. Der OEM profitiert vom weiterhin wachsenden Weltmarkt, produziert zunehmend *white-label* Fahrzeuge und optimiert die technologischen Produktionsabläufe. So können die Marktanteilsverluste an die IT-Player ausgeglichen und der Umsatz (das Geschäftsergebnis) konstant gehalten bzw. sogar leicht gesteigert werden.
- Das Szenario „*Stagnant car marker*" beschreibt einen konservativen Entwicklungspfad mit klarer Dominanz der OEM, die Fahrzeuge unter den technologischen Möglichkeiten bezüglich Elektrifizierung und Digitalisierung produzieren. Die Profitabilität durch steigende Verkaufszahlen und hohe Wertschöpfung durch die Produktion von Verbrennungsmotoren vergrößert sich, bleibt allerdings klar unter dem Potenzial des „*Data and Mobility Manager*".

Dem Titel entsprechend haben die OEM mit der Produktion von Fahrzeugen unter den technologischen Möglichkeiten im „*The fallen giant*" Szenario eine geringe Attraktivität. Fallende globale Absätze, abnehmende Verhandlungsmacht mit den Zulieferunternehmen sowie kein Anteil an digitalen Services führen zu deutlichen Einbußen. Übergreifend gehen alle betrachteten Pfade von einer Entwicklung der OEM innerhalb der bestehenden Strukturen und damit dem Verbleib der Kernkompetenz in der Fahrzeugproduktion aus.

Der Fokus von PWC (2017) liegt auf den prägenden Trends „electrified, autonomous, shared, connected and yearly updated". In den Prognosen werden die Pkw-km in Europa bis 2030 zwar von 3.7 Billionen auf 4.2 Billionen jährlich steigen, gleichzeitig sinkt durch die höhere Auslastung der Fahrzeuge der Bestand von 280 Mio. Pkw auf 200 Mio. Pkw. Insgesamt wird die Produktpalette schmaler, wobei auch mehr Investitionen in Entwicklung von Software als in neue Autotypen fließen. In Europa könnte der Anteil an Fahrzeugen mit reinem Verbrennungsmotor an den Neuzulassungen 2030 im einstelligen Prozentbereich liegen. Neben den Ausprägungen der Trends und den Herausforderungen, die mit den benötigten organisatorischen sowie technologischen Entwicklungen verbunden sind, spielt auch die zeitliche Abfolge eine große Rolle. In den kommenden Jahren wird die Exnovation aus dem Verbrenner in einem kurzen Zeitraum gebündelt spürbar werden und gleichzeitig gilt es, andere Trends zu bedienen. Sinkende Margen und hohe Investitionsbedarfe sowie die wachsende Konkurrenz durch neue Akteure am Markt stellen eine breite Palette an Risiken dar.

McKinsey & Company (2016b) beschreibt die Trends als technologiegetrieben und unterscheidet vier Branchenveränderungen:

- Die Mobilität wird durch eine Stadtpolitik, die den Besitz von Privatfahrzeugen unattraktiver macht, zunehmend diverser. Diese Entwicklung befruchtet sich gegenseitig mit der Angebotsseite, die durch ein breites Angebot neuer On-Demand-Geschäftsmodelle die modale Verlagerung weg vom Autobesitz hin zur gemeinsamen Mobilität anstrebt.
- Im Feld des autonomen Fahrens werden regulatorische Herausforderungen bewältigt. Zudem wird die Entwicklung sicherer und zuverlässiger technischer Lösungen sowie die Akzeptanz und Zahlungsbereitschaft der Verbraucher erreicht.
- Die Elektrifizierung des Antriebsstrangs und die Marktdiffusion wird durch weiter sinkende Batteriepreise, regulatorisch bedingte Emissionsbeschränkungen sowie eine erhöhte Verbrauchernachfrage nach elektrifizierten Antriebssträngen befeuert.
- Das letzte Themenfeld ist die Konnektivität. Services im Feld Konnektivität umfassen beispielsweise Apps, Navigation, Entertainment, *Remote Services*, und Software Upgrades Hier wird eine weltweite Nutzung der Konnektivitäts-Services angenommen, Verbraucherinnen und Verbraucher nutzen dabei regelmäßig kostenpflichtige Inhalte.

Beiden gebildeten Szenarien unterliegt die Annahme, dass sich die Branche verändert. Die beschriebenen Facetten der vier Trends sind entweder stark präsent (*high-disruption*) oder beeinflussen nur teilweise (*low-disruption*). Die größten Veränderungen werden im Bereich der wiederkehrenden Einnahmen, während der Fahrzeugnutzung, rund um geteilte Mobilität sowie Konnektivitätsleistungen prognostiziert. Deren jährliche globalen Umsatzpotenziale können dabei bis 2030 auf bis zu 1.5 Billionen Euro und einen Anteil von über 20 % am gesamten automobilen Umsatzpool steigen.

Die beschriebenen Entwicklungspfade und Abschätzungen geben einen Eindruck, welche Komponenten in die Abschätzung der Gesamtentwicklung des Mobilitätsmarktes einfließen. Sie unterscheiden sich in den Ausprägungen, Kombinationen und exogenen Entwicklungen wie bspw. globale Absatzentwicklungen oder die Offenheit der Nachfrageseite für neue Leistungen. Im Kern ist meist das gleiche Spannungsfeld rund um die digitalen Services beschrieben und in den Fokus gestellt. Die Einschätzungen zu den Umsatzpotenzialen variieren, während die zunehmende Bedeutung dieses Feldes offensichtlich ist. Die Sets an Szenarien und Handlungsempfehlungen bilden die Unsicherheiten bezüglich der Aufteilung des zukünftigen Mobilitätsmarktes zwischen Automobilherstellern und IT-Unternehmen ab.

3.4.4 Resultierende Chancen und Risiken

Die tiefgreifenden Veränderungen sowohl im Bereich Elektrifizierung als auch bei den sonstigen Entwicklungen im Mobilitätsmarkt stellen die Beteiligten vor große Herausforderungen. Die OEM, das gesamte automobile Produktionsnetzwerk und auch die Volkswirtschaft als Ganzes sind betroffen und sehen sich mit unterschiedlichen Facetten des Wandels konfrontiert.

Im Rahmen der Fallstudie wurde eine Auswahl an Studien analysiert, um die zukünftigen Marktentwicklungen einzugrenzen. In den folgenden Abschnitten werden die in den Studien Deloitte (2017), Cambridge Econometrics und elementenergy (2018), Fraunhofer IAO (2018), Fraunhofer IAO et al. (2015), PWC (2017), McKinsey&Company (2016b), Schade et al. (2012), Wietschel et al. (2017), RWTH (2016), UBS (2017), ICCT (2018b), International Institute for Environment and Development (2017) und IEA (2018) angesprochenen Chancen und Risiken sowohl für die globale Automobil- und Mobilitätswirtschaft allgemein als auch für den deutschen Standort zusammengetragen.

Dabei wurden die von den Studien genannten Themenfelder nach Betroffenheit in die Akteurs- und Themengruppen OEM, Netzwerk sowie Umwelt und Volkswirtschaft unterteilt. Für die Akteursgruppe Netzwerk werden sowohl Erkenntnisse für die Zulieferunternehmen als auch für die Netzwerkdynamik in der Automobilbranche im Allgemeinen aufgenommen. Chancen und Risiken für die Volkswirtschaft umfassen mögliche Wirkungen auf die deutsche Volkswirtschaft als Ganzes sowie die Bevölkerung oder andere Branchen. Einige der genannten Chancen und Risiken tauchen dabei in einer Vielzahl von Studien auf. Darüber hinaus konnten durch die breite Fächerung der Ausrichtung der Studien auch verschiedene Nischenthemen aufgegriffen werden. Die Ergebnisse wurden mit den Erkenntnissen aus den geführten Interviews sowie den Diskussionen im Fachworkshop ergänzt.

Die OEM agieren bislang direkt mit der Endkundschaft, sind direkt von den Entscheidungen der Nutzenden abhängig und müssen Regulierungen in allen Fahrzeugkomponenten umsetzen. Die Umstellung des Antriebsstrangs hat dabei große Auswirkungen auf die bisherigen Entwicklungs- und Integrationsprozesse sowie auf die Organisation der Wertschöpfungskette. Die zunehmende Präsenz von neuen Mobilitätsplayern verlangt weiterhin Anpassungen seitens der OEM, um den direkten Kontakt zur Endkundschaft halten zu können und äquivalente Services und Features anzubieten. Die Integration digitaler Services gehörte in diesem Maße bislang nicht zum Kerngeschäft der OEM und stellt die Firmen vor Herausforderungen. In Tabelle 6 sind die Chancen und Risiken aus den aktuellen Entwicklungen für die OEM zusammengetragen.

Tabelle 6: Chancen und Risiken für OEM

Chancen	Risiken
• Deutsche OEM können sich als *Second Mover* platzieren und direkt ein Gesamtkonzept EV ohne die „Kinderkrankheiten“ anbieten. • Ein Ausgleich von Risiken für die OEM und ihre Beschäftigten kann durch das simultane Anbieten zweier Technologien (BEV + PHEV) erfolgen. • Die Marktanteile an BEV der dt. Hersteller lagen 2015 bei weltweit 20 %, das Halten der Marktposition kann positive Beschäftigungs-/ Wertschöpfungseffekte haben. • Sobald BEV im Portfolio der OEM vorhanden sind und die Nachfrage decken, ist mit einer stabilen Marktposition durch hohe Eintrittsbarrieren zu rechnen. • Das Premiumsegment könnte leichter von einer Umstellung profitieren (auch wegen stärkerer Entlastung bei CO_2-Abgaben). • Durch F&E-Investitionen in Richtung Produzierbarkeit und Modularisierung kann ein Fortbestehen über White Label und Komponentenfahrzeuge angestrebt werden. • Der Fokuswechsel hin zur Mobilität als Ganzes anstatt einer Wertschöpfung, die ausschließlich auf der Produktion eines Produkts basiert, kann Ideen für neue Geschäftsmodelle erzeugen.	• Die Serienproduktionen und Industrialisierung von Elektrofahrzeugkomponenten in Deutschland/Europa ist, insbesondere im internationalen Vergleich, noch schwach. • Jedoch könnte der Aufbau einer eigenen Batterieproduktion (durch sinkende Preise) evtl. nicht lohnenswert sein. • Das Ersatzteilgeschäft nimmt durch die geringere Anzahl von Teilen in den Elektroantrieben ab. • Die Fokussierung auf batterieelektrische Antriebe ohne Technologieoffenheit kann zum lock-in führen. • Die Abhängigkeit vom Diesel verschärft die Risiken in Europa, da die Abkehr vom Diesel möglicherweise der allgemeinen Abkehr vom Verbrenner vorangeht. • Es werden Strategien zur Differenzierung und Stärkung der Markenidentität benötigt, um Spielraum bei der Preissetzung und der Realisierung der Marge aufrecht zu erhalten. • Es wird sich am Themenkomplex Elektrifizierung aufgehalten. Eigentlich sind die neuen Mobilitätslösungen eine größere Gefahr. • Mobilitätsdienstleistungen können auch in Zukunft nicht gewinnbringend angeboten werden. • Das Festhalten am Konzept Auto und vor allem Innovation innerhalb des Systems, ohne einen Perspektivwechsel, führt nicht zur Entwicklung zukunftsfähiger Lösungen.

• Vermehrte Investition von Entwicklungsbudgets in Software und Services kann Position im Weltmarkt stärken. • Leasing (hauptsächlich Dienstwagen) ist schon heute ein eigener Markt mit eigener Unternehmenssparte bei den OEM: hier sind sie bereits Mobilitätsanbieter. Im Wandel hin zu Mobilität als Dienstleistung kann auf das existierende Vertriebsnetz zurückgegriffen werden.	• Die aktuelle Führungskultur ist nicht flexibel genug (bspw. im Themenbereich Digitalisierung), zu technokratisch. • Softwareunternehmen könnten im Bereich autonomes Fahren schneller sein (Stärke bei Assistenzsystemen der OEM kein sicherer Erfolgsindikator in Bezug auf erfolgreiche Umsetzung Autonomes Fahren). • OEM könnten zukünftig nur noch als Hardwarehersteller agieren, denn jedes Auto ist mit einer entsprechenden IT-Ausstattung autonom fahrbar. • Sobald andere Unternehmen geteilte Flotten managen und große Mengen an Fahrzeugen abnehmen, sinken die Margen im Vergleich zu Einzelkund*innen. • Existenz eines hohen Restwertrisikos in der aktuellen Flotte durch hohen Anteil Leasing von Verbrenner-Fahrzeugen im deutschen Markt (Unsicherheit über deren Wiederverkaufswert nach Ablauf Leasingdauer).

Quelle: eigene Darstellung

Die Automobilindustrie kann als Netzwerk vieler Akteure und Akteurinnen verstanden werden, die sowohl direkt im Fahrzeugbau aber auch in anderen Sektoren tätig sind. Die OEM sind dabei nur ein Teil des großen Netzwerks. Kleinere Zulieferunternehmen stehen im besonderen Fokus des beschriebenen strukturellen Wandels in der Automobilindustrie. Einerseits bieten sie durch Flexibilität und Innovationskraft viel Potenzial, den Strukturwandel aktiv mit zu gestalten. Andererseits sind sie durch ihr beschränktes Portfolio und Limitationen bei Investitionen den Verwerfungen, die sich in den frühen 2020er Jahren konzentrieren werden, unmittelbarer ausgesetzt als die großen Zulieferer oder die OEM. Die resultierenden Chancen und Risiken sind in Tabelle 7 aufgelistet.

Tabelle 7: Chancen und Risiken für das Netzwerk

Chancen	Risiken
• Große Zulieferunternehmen (und OEM) können Multistrategien bedienen, also zunächst Technologieoffenheit in verschiedenen Produkten umsetzen. • Fokus auf Spezialisierung: insbesondere KMU können durch Kreativität und Marktnischen im Geschäft bleiben. • Kleine Unternehmen, die die Verlagerung von Produktionsstätten nicht mitgehen können, werden häufig durch größere Firmen übernommen, um Knowhow zu sichern. • Die Nutzung der Fahrzeugbau-Expertise u. a. in den Bereichen Leistungselektronik, Elektromotor, Leichtbau, 3D Druck, Autonomie des Transports und der Energieversorgung ist vielversprechend (nicht nur Batterietechnologien, sondern eine Vielzahl an Technologieentwicklungen relevant).	• In den Jahren 2020-2025 ist mit einer Bündelung der Effekte durch die Exnovation aus dem Verbrenner zu rechnen, was deren Wirkung verstärken kann. • Simultanes Auftreten von sinkenden Margen, großen Investitionsbedarfen, neuen Akteuren (die sich mit ergänzenden Nischenprodukten platzieren und die möglichen zusätzlichen Wertschöpfungsoptionen der klassischen OEM und Zulieferunternehmen bereits ausfüllen). • Hohe Dynamik: Entwicklungen können schnell Fahrt aufnehmen, es herrscht eine große Unsicherheit bezüglich Diffusionsgeschwindigkeit. • Verschiebung der Beteiligung an der automobilen Wertschöpfung zwischen den Unternehmen

- Gutes Vorwissen in der Herstellung der produktionsrelevanten Leistungselektronik für Maschinen-/Anlagenbau und in der Montage von Batterien / Integration ins Fahrzeug.
- Das schnelle Erreichen großer Produktionszahlen, und nicht nur die Innovationsführerschaft, kann Indikator für Erfolg OEM und Zulieferunternehmen sein.
- Breite Aufstellung der deutschen Firmen innerhalb vieler Kompetenzfelder. Ein kollaborierendes Netzwerk kann komplexe Lösungen anbieten und Systemanbieter sein.
- Die intensivere Interaktion zwischen Nutzer*in und Fahrzeug führt zu einer Verschiebung des Umsatzes von der Produktion hin zu den Nutzungsarten über den Lebenszyklus und die Öffnung neuer Geschäftsfelder.
- Deutsche Akteure aus dem IT-Umfeld können die Wertschöpfung um Mobilität als Dienstleistung abdecken und neue Geschäftsfelder erschließen.
- Die Planbarkeit von Wasserstofftankstellen für Lkw kann durch die zunehmende Digitalisierung der Logistik und Kenntnis der Fahrprofile vereinfacht werden.

durch veränderte Kompetenzanforderungen. Für einzelne Unternehmen ist das kritisch.

- Eine zunehmende Rückverlagerung der Produktion in Richtung der OEM (in Bereichen mit bestehendem Knowhow) kann für die Zulieferunternehmen zu Umsatzeinbrüchen führen.
- Es ist eine hohe Anstrengung nötig um sowohl Investitionsbedarfe als auch Anleger*innen und Kreditgebende zu bedienen.
- Finanzierung des Wandels ist unklar (Nachteil gegenüber Konkurrenten aus Asien, mit deutlicher staatlicher Unterstützung).
- Aus Investorensicht: „Klumpenrisiko Automobilwirtschaft“, das zu mangelnder finanzieller Unterstützung der Firmen in Innovationsprozessen führt.
- Regulierungsumfänge und Gesetze werden überkomplex und überfordern sowohl Regulierte als auch Regulierende. Die Anforderungen können oft nur in Zusammenarbeit mit Juristen bearbeitet werden: längere Prozesse, höhere Kosten.
- Hoher Investitionsbedarf zum roll-out der Ladeinfrastruktur - das ist der Knackpunkt für Erfolg EV.

Quelle: eigene Darstellung

Umwelt und Energieverbrauch profitieren grundsätzlich von der besseren Effizienz von E-Antrieben, den Möglichkeiten smarter Netze und der Minderung der Importabhängigkeit von Rohöl. Gleichzeitig herrscht bei Firmen sowie Bürgerinnen und Bürgern teilweise eine Skepsis bezüglich der umweltpolitischen Ziele der Bundesregierung vor (bspw. hinsichtlich ausreichender Bereitstellung erneuerbarer Energien, intransparenter Kommunikation, mangelnder verbindlicher Ziele, Furcht um Beschäftigungsstabilität), und mögliche Potenziale werden wegen zögerlicher Marktentwicklungen nicht oder nicht schnell genug gehoben. Des Weiteren besteht Unsicherheit bezüglich sowohl der langfristigen Verfügbarkeit der erforderlichen Rohstoffe als auch der Verlässlichkeit der Förderländer in Bezug auf politische Stabilität. Insofern droht ein möglicherweise unterstützender Hebel für einen gesellschaftlich breit getragenen Wandel nicht vollumfänglich zur Verfügung zu stehen.

Während sich die volkswirtschaftlichen Effekte, mit dem Blick auf Deutschland, gemessen an der Gesamtwirtschaft in Grenzen halten werden, können insbesondere für monostrukturell geprägte Regionen beträchtliche Folgen entstehen. Die starke Verknüpfung der Automobilindustrie mit anderen Branchen kann dabei sowohl dämpfend (Substitution wegfallender Wertschöpfung in der Automobilindustrie durch den Aufstieg neuer Geschäftsmodelle) als auch verstärkend (*Spill-Over*-Effekte bei schlechter Performanz der Automobilindustrie in vor- oder nachgelagerte Produktions- oder Dienstleistungsbereiche) wirken. Kontrovers bleibt allerdings das Zusammenspiel der strukturellen Wandelprozesse im Automobilmarkt und im Arbeitsmarkt.

Tabelle 8: Chancen und Risiken für Umwelt und Volkswirtschaft

Chancen	Risiken
• Smarte Ladevorgänge von Elektroautos bieten Möglichkeit, den Gesamtenergiebedarf über den Tagesverlauf zu glätten. • Zunehmende Elektrifizierung führt zu einer Reduzierung der Öl-Nachfrage und damit geringere Abhängigkeit von Importen. • Profitierende nicht-automobile Sektoren: Verschiebungen und *Spill-over* Effekte in nicht direkt produktionsrelevante Sektoren (Treiber Erneuerbare Energien zur Sektorkopplung, neue Einsatzgebiete etc.) • Heutige Arbeitsplätze könnten durch ein noch verstärktes Setzen auf ein breites Spektrum von Antrieben inkl. PHEV stärker erhalten werden. • Geplante Arbeitsplatzverluste können auch Chance im Spannungsfeld Fachkräftemangel sein. • Skaleneffekte in Produktion, Entwicklung und Umsetzung sind durch politische Maßnahmen unterstützbar. • Intensive Auseinandersetzung und Entwicklung des Datenschutzes in Deutschland kann zunehmend als Asset angesehen und zum Wettbewerbsvorteil werden.	• Bürger*innen und Firmen fühlen sich von der Politik in Klimafragen schlecht abgeholt. • Energieversorgung wird nicht schnell genug angepasst, um die veränderten, gestiegenen Bedarfe zu decken. • Beispiel USA: schwache und inkonsistente Politiksignale bezüglich Umweltregulierungen und anvisierter Umsetzung von Klimazielen bewirkt Scheu von Investoren. • Die Versorgung mit Rohstoffen für neue, elektrische Komponenten kann kritisch werden, da durch den verhaltenen Markthochlauf von BEV nur zögerlich in Minen und Extraktionskapazitäten etc. investiert wird. • Die schnelle Erreichung von Klimaschutzzielen könnte durch eine zu breite Streuung von Förderung, Forschung und Entwicklung auf Technologien mit geringerer Gesamteffizienz gefährdet werden. • Insbesondere ökonomisch monostrukturell geprägte Regionen können stark betroffen sein. Die sinkende Attraktivität von Standorten kann zu negativen *Spill-over* Effekten auf andere Wirtschaftsbereiche führen. • Nicht nur die Elektrifizierung selbst muss als Risiko gesehen werden, sondern insbesondere die Geschwindigkeit der Entwicklung. • Flexibilität der Arbeitnehmer*innen in Bezug auf Qualifikation, Umbildung, Arbeitsort, Art der Tätigkeit ist erforderlich. • Bedarfsverlagerung in Richtung höher qualifizierter Arbeitnehmer*innen denkbar – geringere Qualifizierte müssen aufgefangen werden. • Wachsende Unsicherheit unter den Beschäftigten über das Fortbestehen ihrer Jobs. • Die Produktivitätssteigerungen durch bspw. Automatisierung sind allgemein kritisch in Hinblick auf Beschäftigungsverluste. • Eine Abwanderung der Produktion hin zu den Nachfragemärkten zur regionalen Belieferung kann im Rahmen handelspolitischer Zwänge zunehmen.

Quelle: eigene Darstellung

3.4.5 Zwischenfazit: Ausgangsposition und Erfolgsaussichten für OEM, Netzwerk und Volkswirtschaft in der Transformation der Automobilwirtschaft

Die vorangegangenen Kapitel 3.4.1 bis 3.4.4 beschreiben die möglichen Entwicklungen sowie die Folgewirkungen für verschiedene Akteursgruppen. Im Folgenden werden einige Erkenntnisse in Hinblick auf die Betroffenheit der Akteursgruppen noch einmal zusammengefasst.

Die Elektrifizierung und Digitalisierung von Fahrzeugen und Mobilitätsleistungen wird in den kommenden Jahren in regional unterschiedlichen Geschwindigkeiten den Automobil- und

Mobilitätsmarkt weiter verändern. Über die groben Entwicklungsrichtungen sind sich Studien und interviewte Expert*innen oft einig. In der Ausgestaltung von Abschätzungen konkreter Entwicklungspfade bezüglich Diffusions- und Durchdringungsraten, zukunftsfähiger Technologien sowie den Rollen der Beteiligten besteht weiterhin viel Unsicherheit. Große Bandbreiten an möglichen Verkaufszahlen, Umsätzen, Beschäftigten oder Marktanteilen für 2030/2050 kennzeichnen die Zusammenführung der Szenarien aus verschiedenen Quellen.

Unumstritten ist die steigende Relevanz von Fahrzeugen mit elektrifizierten Antrieben. Trotz der zunehmenden Konkurrenz aus bspw. China hatten die deutschen OEM im Jahr 2015 einen Anteil von ca. 20 % an den global verkauften elektrifizierten Fahrzeugen, was dem Anteil der deutschen Hersteller an konventionell betriebenen Fahrzeugen entsprach. Im Jahr 2019 hatten die deutschen OEM hingegen nur noch einen Anteil von etwa 10 % an den globalen Verkäufen elektrifizierter Fahrzeuge, wobei die Position bei PHEV mit etwa 30 % Anteil an den globalen Verkäufen deutlich über der Position bei BEV (Anteil etwas unter 10 % liegt).[8] Der im Vergleich zum Marken-Anteil an PHEV niedrige Gesamtwert ergibt sich dabei durch die deutliche höheren absoluten BEV-Zulassung weltweit. Die OEM kündigen zunehmenden neue Modelle mit elektrifiziertem Antrieb, meist BEV oder PHEV, an und setzen in ihrer Strategie maßgeblich auf batteriebetriebene Fahrzeuge.

In den Fachgesprächen wurden die mangelnde heimische Batteriezellenproduktion und die folgend bestehende starke Abhängigkeit von den internationalen Produzenten von Batterien als Risiko wahrgenommen. Auf der anderen Seite könne ein späterer Einstieg in die Produktion von Batterien einer neuen Generation sowie das Anbieten eines ausgereiften Gesamtkonzepts EV ebenfalls als möglicher erfolgreicher Entwicklungspfad gesehen werden. Darüber hinaus seien die deutschen OEM durch ein Auslagern des Risikos Batterie, meist an asiatische Batteriezellenhersteller, auch in einer flexiblen Position um auf etwaige Preisentwicklungen, Technologiesprünge o.Ä. zu reagieren.

Im Fachworkshop wurde insbesondere die Erfahrung der deutschen OEM in den Entwicklungs- und Produktionsprozessen großer Absatzmengen hervorgehoben. Dieses Knowhow, kombiniert mit umfassenden Beziehungen in das globale Netzwerk, lasse sich auch für alternative Antriebe und andere Technologien umsetzen. Letztendlich bestehe das Fahrzeug aus einer Vielzahl von Komponenten, die maßgebliche Anteile an automobilen Qualitätsmerkmalen darstellen. Der Antriebsstrang spiele dabei eine herausragende Rolle, andere Fachbereiche wie beispielsweise der Bereich Lärmmanagement werden aber trotz allem auch in einer elektrifizierten Flotte als Qualitätskriterium bestehen bleiben. Hier seien jedoch auch Lernkurveneffekte neuer Akteure zu erwarten, wodurch das Halten der Marktposition nur durch kontinuierliche Innovationen und Engagement möglich ist.

Die Positionierung im Premiumsegment kann dabei von Vorteil sein, da mehr Umsatz bspw. über exklusive Ausstattungsmerkmale sowie höhere Margen im Allgemeinen angesetzt werden können. Die hohen und weiter steigenden Absatzzahlen an höherpreisigen SUV können den Umsatz ebenfalls steigern. Durch die zusätzlichen Einnahmen lassen sich Investitionen in neue Technologien gegenfinanzieren, ob ein Fortbestehen der Industrie allein über diese Ko-Finanzierung zu gewährleisten ist, bleibt zu prüfen. Der Trend hin zu größeren und schwereren Fahrzeugen ist gleichzeitig aufgrund des höheren Ressourceneinsatzes bei der Produktion als

[8] Fraunhofer ISI-eigene xEV-Datenbank: Die Datenbank wurde im Jahr 2014 vom Fraunhofer ISI entwickelt und wird seitdem jährlich aktualisiert. Sie umfasst globale Produktions- und Verkaufszahlen für xEV-Modelle aufgeschlüsselt nach Ländern sowie Informationen zur Batteriekapazität und Reichweite der Fahrzeuge. Die Datenbank aggregiert Informationen, die von MarkLines Co, Ltd., der European Automobile Manufacturers Association und anderen veröffentlicht werden.

auch den höheren Verbrauchswerten während der Nutzung aus ökologischer Perspektive unvorteilhaft.

Neben der Konkurrenz durch andere Automobilhersteller wächst auch das potenzielle Geschäftsfeld neuer Akteure aus anderen Branchen, hauptsächlich dem IT-Bereich. Verschiedene Marktaufteilungen sind im Bereich autonomes Fahren, neue Mobilitätslösungen oder begleitende Services denkbar. In einem extremen Fall können die OEM zu reinen Hardwarezulieferern degradieren, die den IT-Akteuren Modul- oder „*white-label*"-Fahrzeuge zur Verfügung stellen. Auf der einen Seite sind die Automobilhersteller mit der reinen Fahrzeugproduktion in der Vergangenheit gut gefahren, wodurch sich die Frage nach den eigentlichen aktuellen und zukünftigen Kernkompetenzen der Branche stellt. Sollen die Hersteller sich überhaupt in allen Bereichen des neuen Mobilitätsmarkts engagieren? Auf der anderen Seite wird der Gesamtabsatz an Fahrzeugen womöglich zurückgehen, verbunden mit geringeren Margen, da sie als Hersteller nicht mehr im direkten Kontakt zu der Kundschaft stehen. Wollen die Automobilhersteller in einer zunehmend digitalisierten Mobilität mit neuen Konzepten als Anbieter agieren, müssen Kompetenzen aufgebaut oder Kollaborationen angestrebt werden. Ob die IT-Akteure zum aktuellen Zeitpunkt bereits uneinholbar voraus sind, wird unterschiedlich bewertet.

Sowohl im Bereich der Elektrifizierung als auch im Bereich der Digitalisierung sind große Investitionen durch OEM und Zulieferunternehmen notwendig. Gleichzeitig die Renditeerwartungen der Aktionär*innen oder anderer Kreditgebenden zu erfüllen, stellt eine Herausforderung dar. In einer angespannten Lage mit großer Unsicherheit bezüglich sich durchsetzender Technologien besteht auch von Seiten der Investorinnen und Investoren Scheu. Abnehmende Investitionen aufgrund des „Klumpenrisikos Automobilwirtschaft" und damit einer Diversifizierung ihrer Anlegestrategien weg von der Automobilindustrie können dabei schwerwiegende Folgen für die Firmen haben.

Deutschland ist bezüglich der in der Automobilindustrie tätigen Firmen sehr breit aufgestellt. Das Netzwerk umfasst viele verschiedene Typen von Unternehmen, die unterschiedlich auf den Strukturwandel reagieren können. Eines der Hauptrisiken ist dabei die Existenz monostrukturell geprägter Regionen, in denen nicht nur einzelne, auf den Verbrenner spezialisierte Firmen, sondern das ganze Netzwerk und damit die regionale ökonomische Aktivität leiden kann. Die großen Systemzulieferer oder OEM können große Entwicklungsabteilungen und eine intensive globale Vernetzung aufweisen und haben die Möglichkeit auf die Unsicherheit bezüglich der sich durchsetzenden Technologien Multi-Strategien zu verfolgen. Eine starke Fokussierung auf eine Technologie zwischen Batterieelektrischer Antrieb vs. Hybrider Antrieb vs. Brennstoffzelle kann Wettbewerbsvorteile bringen, aber auch zum Risiko werden. Daneben haben die kleineren Zulieferunternehmen oft nicht die ausreichenden Ressourcen, um die Produktpalette ebenso breit aufzustellen. Gleichzeitig sind diese Unternehmen oft agiler und können schneller auf Umstellungen reagieren. Flache Hierarchien tragen dabei auch zur schnellen Umsetzung neuer Ideen bei.

3.5 Strategie- und Handlungsempfehlungen

Die folgenden Strategie- und Handlungsempfehlungen leiten sich zum einen aus der mithilfe einer Literaturanalyse erstellten Beschreibung der Ausgangslage in den Abschnitten 3.2 und 3.3 sowie den Erwägungen zu möglichen zukünftigen Entwicklungen in Abschnitt 3.4 ab. Zum anderen fließen hier insbesondere die Ergebnisse aus Expert*innen-Interviews und dem Fachworkshop zur Fallstudie ein (nachfolgend gemeinsam als „Fachgespräche" bezeichnet).

3.5.1 Weichenstellungen in der Unternehmensstrategie

Wie in Abschnitt 3.4.5 verdeutlicht, sehen die Akteure die Branche grundsätzlich in einer guten Aufstellung für die Entwicklung alternativer Antriebe in der Post-Verbrennungsmotor-Ära. Als größte Stärke wird das grundsätzlich große Produktions-*Knowhow* der deutschen Automobilindustrie gesehen, das sich nun auch auf die flexible Produktion lokal emissionsfreier Fahrzeuge und innovativer Fahrzeugkonzepte übertragen lasse.

Voraussetzung für ein erfolgreiches Bestehen in der Zukunft ist jedoch eine ehrliche **Betrachtung der eigenen Schwächen**. Als große Gefahr wird die bestehende **Lock-in-Situation** betrachtet, die sich durch die hohe Fertigungskompetenz beim verbrennungsmotorischen Antriebssystem und die langjährige Dominanz dieses Antriebssystems ergeben hat und in einer **Innovationsträgheit bzw. bestehenden Innovationswiderständen** in Bezug auf die Entwicklung und Einführung neuer Antriebssysteme resultiert. Vor diesem Hintergrund herrscht Einigkeit, dass die Verhaftung von Unternehmen und regionalen Clustern an der Produktion von verbrennungsmotorischen Komponenten zügig aufgelöst werden muss, wenngleich sich dies als schwieriges Unterfangen herausstellt. Unternehmen müssen bereit sein, sich auf den Abschied von erfolgreichen Produkten aus dem Umsatzpool der Verbrenner-Ära einzustellen. Umgekehrt müssen v. a. spezialisierte Zulieferunternehmen **Stärken** in ihrer **Produktions- und Fertigungskompetenz analysieren** und diese auf potenzielle Produkte für die neue Antriebs- und Mobilitätswelt übertragen. In Workshop und Interviews wurde es zudem als erfolgversprechend identifiziert, wenn Unternehmen selbst **Visionen und Werte**, z. B. hinsichtlich einer nachhaltigen Mobilität der Zukunft, entwickeln und diese durch Beschäftigte übernommen werden, anstatt dass nur äußere (politische) Rahmensetzungen „hingenommen" werden – erfolgversprechend einerseits im Sinne des Gelingens einer ökologischen Transformation, und langfristig auch erfolgversprechend aus betriebswirtschaftlicher Sicht des Unternehmens.

Hinsichtlich der technologischen Strategie offenbarte sich in Workshops und Interviews ein Spannungsfeld zwischen

- der weiterhin wirtschaftlich attraktiven **Fortführung** und des langsamen Herunterfahrens der nach wie vor profitabelsten Option **Verbrennungsmotor**,
- der nötigen zügigen **Industrialisierung der Elektromobilität** als der ökologisch effizientesten, heute marktfähigen und somit mindestens mittelfristig vorherrschenden Antriebsoption und
- der Offenhaltung weiterer alternativer Technologieoptionen (z. B. Brennstoffzelle) für bestimmte Anwendungsbereiche (z. B. Güterverkehr) bzw. spätere Markteintrittszeitpunkte.

Hier gilt es für die einzelnen Unternehmen individuell die verschiedenen Ansprüche auszutarieren. Dabei sehen es die Branchenakteure übereinstimmend als sehr bedeutsam an, wenn politisch eine klare Rahmensetzung und Kommunikation erfolgt (s. Abschnitt 3.5.6). Veränderte **politisch-regulative Rahmenbedingungen** werden als **wichtige Einflussgröße auf die Unternehmensstrategie** bewertet, da angesichts der oben beschriebenen Lock-in-Situation sich viele Unternehmen aus sich heraus mit einer Neuausrichtung schwertun.

Angesichts der Unsicherheiten über den Ablauf des Antriebswechsels und weiterer parallellaufender Veränderungen im Markt werden **Diversifikationsfähigkeit und Flexibilität** als die entscheidenden Erfolgskriterien bewertet. Gleichzeitig finden Strategieentscheidungen zunehmend unter der Rahmenbedingung statt, dass sich Innovationszyklen verkürzen und somit

die Geschwindigkeit eine wichtigere Rolle spielt. Die Unternehmen der Branche können sich auf die Unsicherheiten einstellen und gleichzeitig Effizienzpotenziale nutzen, indem sie beispielsweise **weniger individuelle Komponenten** verwenden, eine stärkere Standardisierung in der Modellpallette zu erreichen, also die **Anzahl ihrer Plattformen**[9] **verringern** und diese aber auf **verschiedene Antriebsstränge vorbereiten**. **Produktionslinien** sollten **maximal flexibel** gestaltet sein, sodass zumindest in der Übergangszeit vom Verbrenner zu den emissionsfreien Antrieben auf einer Linie jedes Auto völlig unterschiedlich zum darauffolgenden sein kann. Es wird jedoch auch darauf hingewiesen, dass eine hochflexible Produktion mit wesentlich höheren Stückkosten verbunden ist als bei Massenfertigung und daher nur eine Übergangslösung darstellen kann. Für derartige Umbrüche hinsichtlich der Produktionsstandorte und auch der erforderlichen Fähigkeiten beim Personal sollten die sich bietenden **„Gelegenheitsfenster" konsequent genutzt** werden, die sich auftun, wenn z. B. die Neuerrichtung oder der Umbau von Produktionsstandorten anstehen oder aufgrund der Demografie ein Umbruch in der Beschäftigtenstruktur bevorsteht. Gewerkschaftsseitig wird darauf hingewiesen, dass die **Gefahr** besteht, dass der Technologiewandel von Unternehmen dazu genutzt werden könnte, **Standortverlagerungen** vorzunehmen, bestehende Standorte abzuwickeln und Arbeitsplätze zu verlagern und aus bisherigen Tarifvereinbarungen auszusteigen.

Als **technologische Kernkompetenzen**, um auf Anbieterseite weiter bestehen zu können, wurden Batterietechnologie, Sensorik, Software- und Infrastrukturkompetenz identifiziert. Hier müssten Entwicklungsbudgets fokussiert werden. Hinsichtlich der Batteriezellproduktion wurden in den Fachgesprächen weiter divergierende Ansichten geäußert. Sie reichen von der Forderung nach einem schnellst- und größtmöglichen Einstieg in die **industrielle Zellproduktion** in Deutschland über eine Konzentration auf die **Entwicklung neuer Technologiegenerationen** bis zur Einschätzung, dass auch ein langfristiger **Import der Zellen** keinen Wettbewerbsnachteil für deutsche OEM und Zulieferunternehmen darstellt, solange die Technologie- und Integrationskompetenz vorhanden ist.

Jenseits des antriebstechnologischen Wandels gilt es für die Unternehmen der Branche, neue Geschäftsfelder zu erschließen in einer Welt, in der das Produkt Auto aufgrund gewandelter Kundenanforderungen und eines politischen forcierten ökologischen Wandels gegenüber **Mobilität als Dienstleistung („MaaS")** an Wert verliert. Denkbar sind in diesem Zusammenhang perspektivisch ein sinkender Fahrzeugbestand und ein abnehmender Fahrzeugabsatz. Zudem wurde in den Fachgesprächen die Einschätzung geäußert, dass bei E-Fahrzeugen Alleinstellungsmerkmale schwerer zu realisieren seien, wodurch eventuell die heutige Zahlungsbereitschaft, insbesondere für Premiummarken, nicht mehr gegeben sein könnte. Diesen Entwicklungen können die Fahrzeughersteller und Komponentenlieferanten durch ein **diversifiziertes Leistungsangebot** begegnen. Jedoch bestand auch an dieser Stelle kein Konsens unter den Teilnehmenden der Fachgespräche: Es wurde mehrfach die Meinung geäußert, dass Mobilitätsdienstleistungen keine Kernkompetenz der klassischen Automobilindustrie seien und diese sich deshalb weiterhin auf die Fahrzeugproduktion konzentrieren könne und solle. Die Möglichkeit, dass OEM zu „*white label*"-Produzenten und damit zu Zuliefernde der Mobilitätsdienstleister würden, wurde weniger als Gefahr gesehen.

Um in Konkurrenz mit den Unternehmen aus der Digitalbranche zu treten, die den Mobilitätsmarkt verändern, wird vielfach ein **„Kulturwandel"** in den Unternehmen der Automobilindustrie eingefordert: Die Beschäftigten benötigen andere Fähigkeiten als bisher – mehr digitale Kompetenz sowie Verständnis für die neuen Geschäftsfelder anstelle eines

[9] Technisch einheitliche Fahrzeugbasis auf der äußerlich unterschiedliche Fahrzeugmodelle aufgesetzt werden.

klassischen Ingenieurshintergrunds – und eine flexiblere, flachere Führungskultur, welche die Konkurrenzfähigkeit fördere.

Ökologische Aspekte sind nicht der primäre Treiber der Kaufentscheidung der Kundschaft, sie können jedoch den Markthochlauf elektrischer Fahrzeuge bedeutend stärken. Daneben hilft eine glaubwürdige und konsequente **Nachhaltigkeitsstrategie** der Unternehmen, möglicherweise die Akzeptanz für soziale Härten, welche den Strukturwandel begleiten werden, zu erhöhen. Insofern stellt die Ökologie das Ziel wie auch den Hebel für die Modernisierung der deutschen und europäischen Automobilindustrie dar.

3.5.2 Stärkung und zukunftsfähige Aufstellung der Industriestruktur durch die regionalen Akteure

Die Teilnehmenden der Fachgespräche stellten vielfach Anzeichen von *Lock-in* in den regionalen Clustern der deutschen Automobilindustrie fest. Die Vielfalt der Wirtschaftsstruktur sei beispielsweise im vertieft diskutierten südwestdeutschen Schwerpunkt der Industrie gesunken, weil sich tiefgreifende technologische Neuerungen am Antriebsstrang des Automobils in der Vergangenheit schwer durchsetzen konnten. Am Markt belohnt wurden stattdessen inkrementelle Verbesserungen am Verbrennungsmotor und „umweltseitig" *End-of-Pipe*-Lösungen zur Abgasreinigung. Die Clusterbildung ist mit ihrer Dichte an Kompetenz und kurzen Wegen in der Vergangenheit oft von Vorteil gewesen. Bei Nachfrageveränderungen oder einem politisch forcierten ökologischen Strukturwandel wird sie zum Risiko. Insbesondere kleine Firmen sind Teil regionaler Verklumpungen in monostrukturell geprägten Regionen. Der soziale Abstieg ganzer Regionen durch die Exnovation aus dem Verbrenner stellt daher eine konkrete Gefahr dar.

Wie in Kapitel 2.2.1 diskutiert, haben große Unternehmen mit gut ausgestatteten Forschungs- und Entwicklungsabteilungen die besten Ressourcen, um diese Situation aufzulösen. Große Zulieferunternehmen und OEM stehen also in der Verantwortung, **klare und progressive Strategien** umzusetzen und die kleineren Zulieferer beim technologischen Wandel „mitzunehmen". Dabei kann ein **„Zusammenrücken" von OEM und Zuliefererunternehmen**, das von vielen Branchenakteuren beobachtet wird, wünschenswert sein. Es ist zu betonen, dass auch viele KMU über ein hohes Innovationspotenzial verfügen und mit ihren Innovationen die Chance bekommen müssen, bei ihren Kunden und Kundinnen „durchzudringen". Unterstützt werden kann die Stärkung der Innovationsfähigkeit des regionalen Netzwerks durch **Kompetenzzentren** für die neuen Kernkompetenzen. Mehrfach wurde gefordert, der Schwerpunkt solle in der anwendungsorientierten Forschung „in der Fläche" auch jenseits der Universitäten liegen, da sich auch dort viele sogenannte „*hidden champions*" abseits der Ballungszentren befinden, die jedoch nicht über die gleichen Forschungsbudgets und Zugänge zur akademischen Forschung verfügen.

Die durch die Automobilindustrie geprägten Regionen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Stärken und Schwächen deutlich voneinander. Ein „Patentrezept" kann daher nicht formuliert werden. Die regionale Politik ist gefordert laut der beteiligten Experten, **im Dialog mit der Branche, Gewerkschaften etc. den Wandel zu unterstützen**. Zudem wurde im Fachgespräch für einen **fairen Ausgleich zwischen den betroffenen Regionen** plädiert, um soziale Härten abzufedern, ohne dass dessen Form jedoch weiter konkretisiert wurde.

3.5.3 Unterstützung von Unternehmen durch die Politik bei Innovationen und klimagerechter Strategiesetzung

Eine **neue Auslotung der Strategie zur langfristigen Zusammenarbeit, der Rollenverteilung und des Dialogs** zwischen Politik und Wirtschaft ist notwendig – so eine vielfach unterstützte Empfehlung in den Fachgesprächen. Nur auf diese Weise könnten Unternehmen in ihrer Neuausrichtung hin zu nachhaltigen Mobilitätslösungen zielgerichtet unterstützt werden. Dabei sollten gemeinsame Strategien formuliert und gleichzeitig ein technologiefreundlicheres Umfeld geschaffen werden. Als konkrete Beispiele dieser neuen Form der Industriepolitik wurde das Format des Automobilgipfels im Kanzleramt sowie der Strategiedialog Automobilwirtschaft in Baden-Württemberg genannt.

Die aus dem Strategiedialog resultierenden Veränderungen sollten jedoch nicht nur die Unternehmen betreffen, sondern auch die Politik. So solle beispielsweise der **Zuschnitt von Ministerien** an Mobilitätswende und Wandel von Industrie- zu Digitalgesellschaft angepasst werden. Es sei hinderlich, dass sich aktuell fünf Bundesministerien mit der Förderung mobilitätsrelevanter Forschung und Entwicklung beschäftigten. Eine erste Verbesserung wird in ressortübergreifenden *Think Tanks* der Bundesministerien gesehen.

Einerseits wird eine klare politische Strategie für die zukünftige Aufstellung der Automobilindustrie gewünscht. Hier wird vor allem auch eine mangelnde Abstimmung einer europäischen Position beklagt, die einen Wettbewerbsnachteil gegenüber Konkurrenten etwa aus China darstellten. Andererseits besteht zum aktuellen Zeitpunkt auch unter den Sachverständigen kein Konsens, wie diese Strategie inhaltlich ausgestaltet sein soll. Der Forderung nach einer **„Reindustrialisierungsstrategie“** mit Ansiedlung möglichst der gesamten Wertschöpfungskette innerhalb Europas wird teils entgegengesetzt, dass an einer Produktion bestimmter Komponenten z. B. in Asien nichts auszusetzen sei, solange die **Integrations- und Systemkompetenz** in Deutschland und Europa stark sei. Zudem wird auf den Druck wichtiger Exportmärkte jenseits Europas verweisen, die zunehmend neben der Produktion auch die Produktentwicklung zur Bedingung für den Fahrzeugabsatz ausländischer Unternehmen machen.

Unternehmensseitig wurden mehrfach „technologiefeindliche“ Rahmenbedingungen beklagt. Dazu zählen auf der einen Seite „klassische“ Themen wie hohe Energie- und Lohnkosten sowie Umweltauflagen und aufwändige Genehmigungsprozesse für Produktionsanlagen, auf der anderen Seite aber auch Hemmnisse bei der Praxiseinführung von innovativen Technologien (z. B. Automatisierung). Ein Ansetzen primär an den erstgenannten Hemmnissen könnte jedoch die ökologische und soziale Glaubwürdigkeit des Strukturwandels gefährden. Ein Fokus muss auf dem Erhalt und der Zukunftsfähigkeit bestehender Standorte liegen. Denn sobald Standortverlagerungen in Erwägung gezogen werden, ist die Gefahr aus Sicht der Sachverständigen groß, dass diese nicht im Inland erfolgt, sondern eine Verlagerung ins Ausland erfolgt. Daher wird für die Akzeptanz des Wandels in den Betrieben und der Gesellschaft als wichtig erachtet, den notwendigen Technologiewandel nicht mit Standortverlagerungen zu verknüpfen.

„Technologiefreundliche“ Rahmenbedingungen im Sinne einer vereinfachten Umsetzung innovativer Fahrzeug- und Mobilitätskonzepte, etwa die Schaffung von Experimentierräumen, sollten noch stärker auf die politische Agenda gesetzt werden. Gleichzeitig sollte sowohl in Unternehmen als auch in der Politik die Akzeptanz von Misserfolgen in der Entwicklung neuer Fahrzeug- und Mobilitätslösungen als Teil des Innovationsprozesses gefördert und eine verbesserte „Fehlerkultur“ angestrebt werden. Dazu gehört auch die ehrliche Diskussion und Reflexion vergangener Prozesse sowie die Aufarbeitung von *Lessons Learned*. Beispiele hierfür

sind die gescheiterte Markteinführung von batterieelektrischen Fahrzeugen in den 1990er Jahren sowie der seit 30 Jahren ausbleibende Schritt von Brennstoffzellenfahrzeugen hin zur Serienreife.

Innovationsförderung sollte der heutigen Zeit, die durch kurze Innovationszyklen und einem hohen Maß erforderlicher Flexibilität geprägt ist, gerecht werden. Lange Beantragungsprozesse für Fördergelder und ein hoher administrativer Aufwand über die Projektlaufzeit hinweg mit oft eisern an Teiltechnologien gebundenen Förderberechtigungen charakterisieren die Innovationsförderung der Politik aus Sicht der Unternehmen. Eine einfache und vor allem den sich schnell ändernden Technologieansprüchen angemessene, offene Förderung sollte in den Vordergrund treten. Von den Sachverständigen wurden dabei die „Innovationsgutscheine" des Landes Baden-Württemberg für KMU hervorgehoben. Hierbei handelt es sich um gezielte Programme, welche speziell KMU und junge Start-Ups bei der Planung, Entwicklung, Umsetzung und Weiterentwicklung von innovativen Produkten, Dienstleistungen oder Produktionsverfahren in ausgewählten High-Tech-Feldern unterstützen (WM BW 2021). Ähnliche, unkomplizierte Förderungen für die kurzfristige Finanzierung von kleinen Projekten sollten auch für andere Unternehmensgrößen zugänglich gemacht werden. Die Teilnehmenden der Fachgespräche betonten, dass Deutschland bei Themen wie Robotik, *Cyber Security* und Künstlicher Intelligenz stark sei und diese Kompetenzen durch die Förderung praxisnaher Forschung gestärkt werden sollten. Dies widerspricht scheinbar der in Abschnitt 2.3.2 erhobenen Forderung nach Stärkung der Grundlagenforschung im Interesse der Diversifizierung. Jedoch ist zu betonen, dass in den für Kapitel 2 analysierten Studien Regionen im Mittelpunkt stehen, in denen, anders als beim südwestdeutschen Automobilindustriecluster, eine Industrie mitsamt verbundener Forschungsinstitute vorherrscht, die im ökologischen Interesse vollständig abgewickelt werden soll (s. Braunkohle).

3.5.4 Gewährleistung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Automobilindustrie im Strukturwandel

Eine zentrale Aufgabe der nationalen und europäischen Politik im ökologischen Strukturwandel der Automobilindustrie stellt eine Handelspolitik dar, die die Umsetzung der Zielsetzung „Dekarbonisierung bis 2050" mit einer Stützung der Marktposition der einheimischen Fahrzeughersteller verbindet. Denn falls Importeure nicht denselben Auflagen hinsichtlich der Klimawirkung ihrer Produkte (inklusive ihrer Vorketten aus der Produktion) unterworfen sind, drohen sich Marktanteile zu Ungunsten der hiesigen Industrie zu verschieben und somit die Wirkung ambitionierter deutscher und europäischer Standards zu verpuffen. Zudem wäre die Folge ein deutlicher Rückgang der Produktionszahlen bei den deutschen Herstellern, verbunden mit einem ungewollten Arbeitsplatzabbau. Denn gleichzeitig wird ein Rückgang der europäischen Exporte erwartet, da sich auch die Bedeutung der Absatzmärkte für Kraftfahrzeuge weiter auf außereuropäische Länder verschieben wird.

Handelsrestriktionen und Protektionismus als mögliche Reaktion wurden in den Fachgesprächen jedoch abgelehnt. Von der Politik erwartet wird vielmehr die Herstellung eines *level playing field*, also eines fairen Markts mit gleichen ökologischen, sozialen und ökonomischen Rahmenbedingungen für einheimische Hersteller und Importeure. Ein konkretes Instrument zur Herstellung eines solchen *level playing field* wären ein *Carbon Border Adjustment Mechanism* bzw. ***Carbon Border Tax***. Diese würde beim Import von Gütern aus Ländern ohne CO_2-Bepreisung in die EU die mit der Vorkette der Güter verbundenen CO_2-Emissionen in Rechnung stellen und somit dazu dienen, eine Gleichbehandlung mit den innerhalb der EU unter einem Emissionsbepreisungsregime hergestellten Gütern zu gewährleisten. Zudem sind möglichst im globalen Maßstab **einheitliche soziale und ökologische Standards bei der**

Rohstoffgewinnung durch Zulieferunternehmen erforderlich, beispielsweise im Rahmen der UN-Rohstoffzertifizierung. Wenn unabhängig vom Produktionsland einheitliche Vorgaben zur Transparenz und Einhaltung von Umweltstandards und Arbeitsbedingungen in der Vorkette gelten, ermöglicht dies insbesondere eine faire Konkurrenz um die Standorte der Batterieproduktion. Dasselbe gilt für **Vorgaben zum Fahrzeugrecycling**.

In den Fachgesprächen wurde zudem betont, dass eine progressivere Umsetzung **bindender Klimaschutzinstrumente** wie Quoten für E-Pkw in Märkten wie China die Ansiedlung von Entwicklungskapazitäten im dortigen Markt – also „nah an der Erprobung" – fördert. Somit fördern indirekt auch verbindliche klimapolitische Maßnahmen die Entwicklung von Innovationen und damit die Wettbewerbsfähigkeit der einheimischen Industrie auf dem Weltmarkt. Dieses konkrete Beispiel unterstreicht die herausragende Bedeutung der Wechselwirkung von Unternehmensstrategie (siehe Abschnitt 3.5.1) und der politischen Rahmensetzung (siehe Abschnitt 3.5.6) für einen gelingenden Strukturwandel.

3.5.5 Beschäftigungspolitik durch Politik, Gewerkschaften und Unternehmen

Die Einschätzungen der Akteure im Sektor wie auch der einschlägigen Studien (siehe auch Abschnitt 3.4.2) zur Frage, ob ein ökologischer Strukturwandel hin zu einer dekarbonisierten Mobilität im Jahr 2050 überhaupt umfassende Arbeitsplatzverluste mit sich ziehen wird, divergieren. Weithin unbestritten ist, dass Produktion und Entwicklung des elektrischen Antriebsstrangs weniger Arbeitskräfte erfordern als der Verbrennungsmotor inkl. seiner Abgasreinigung etc. Zumindest mittelfristig wird die Batteriezellproduktion als wichtiges Element der Wertschöpfungskette nicht in nennenswertem Maßstab in Deutschland angesiedelt sein. Von Seiten der Gewerkschaft wird darin eine Gefahr für die industrielle Leistungsfähigkeit gesehen und entsprechend der Aufbau einer europäischen Batteriezellproduktion forciert. Insbesondere unter den kleinen und rein auf verbrennungsmotorische Technologien spezialisierten Zulieferunternehmen wird auch das Verschwinden ganzer Unternehmen vom Markt erwartet. Inwieweit diese Verluste innerhalb der Automobilindustriebranche oder in neuen Segmenten des Mobilitätsbereichs kompensiert werden können, ist noch in der Diskussion. Die Altersstruktur der Beschäftigten ist, sowohl unter den OEM als auch den Zulieferern, unterschiedlich und damit auch die Fähigkeit der Unternehmen, den demografischen Wandel mittels Altersteilzeitregelungen o. Ä. zur Abfederung etwaiger Beschäftigungsrückgänge zu nutzen.

Als große Herausforderung in dieser Transformation – neben dem grundsätzlichen Rückgang der Beschäftigungsintensität bei der Fertigung des elektrischen Antriebs – wird die **Weiterbildung und Qualifizierung von Beschäftigten** gesehen. Qualifikationsmaßnahmen sind insbesondere für die Felder essenziell, die für neue Antriebstechnologien und Mobilitätsdienstleistungen zentral sind und in denen heute schon ein Fachkräftemangel herrscht, z. B. im IT-Bereich. Die Verantwortung für die Umschulung liegt dabei zunächst bei den Unternehmen, sollte aber **staatliche Unterstützung** erhalten. Speziell gilt dies für **spezialisierte Mittelständler**, die, anders als die OEM, ggf. ihr Produktangebot weitgehend umstellen müssen und dafür kurzfristig ganz neue Qualifikationen benötigen. Als herausfordernd für die Integration von Umschulungsmaßnahmen in die laufenden Arbeitsprozesse werden insbesondere das parallele Auslaufen der Verbrennungsmotorentwicklung und -produktion und das Hochlaufen der E-Fahrzeugtechnologie beschrieben. Sofern für Arbeitskräfte im Unternehmen selbst keine alternativen Beschäftigungsmöglichkeiten gefunden werden können, kommen auch **außerhalb der Fahrzeugproduktion** Tätigkeiten im Feld Elektromobilität in Frage, so etwa im Aufbau und Betrieb von Ladeinfrastruktur oder in den Mobilitätsdienstleistungen. Die Möglichkeiten zur

Umschulung von Personal aus der Produktion auf diese Betätigungsfelder wurden aber in den Fachgesprächen skeptisch gesehen, weil Personalableitungen bislang zu wenige Kompetenzen vorhalten. Damit die Herausforderung der Weiterbildung und Qualifizierung gelingt, sind Personalabteilungen und Betriebsräte gefordert, Qualifikation und Weiterbildung in den Betrieben aktiv zu befördern und Kapazitäten müssen entsprechend aufgebaut werden.

Für einen erfolgreichen Transfer von Arbeitskräften in die Produktion alternativer Antriebe wird auch eine **Unterstützung der geografischen Mobilität** (vgl. Abschnitt 2.2.4) erforderlich sein. Denn schon heute siedelt sich die Herstellung von Komponenten des elektrischen Antriebsstrangs teils in Regionen an, in denen die Automobilindustrie bisher eine untergeordnete Rolle spielt. Aktuelle Beispiele sind die Ansiedlung von Batteriezell- und Elektrofahrzeugfertigungsanlagen in erheblichem Umfang in Thüringen bzw. Brandenburg.

Als eine mögliche staatliche Unterstützungsmaßnahme wurde in den Fachgesprächen ein sogenanntes **Transformationskurzarbeitergeld** genannt. Dieses soll eine Umschulung von Arbeitskräften auf zukunftsfähige Technologien ermöglichen. Die Beschäftigten bleiben in diesem Fall während der Qualifikationsmaßnahmen beim Unternehmen beschäftigt, der Lohn wird jedoch von der Bundesagentur für Arbeit bezuschusst. So könnten OEM und Zulieferunternehmen in Umbruchphasen finanziell unterstützt und Beschäftigung gesichert werden. In den Fachgesprächen wurde gefordert, eine solche Unterstützung der Unternehmen mit sozialen und ökologischen Zielen, wie zum Beispiel der Tarifbindung geförderter Unternehmen, für die Industrie zu koppeln. „Gegenleistungen“ staatlicherseits könnten verbindliche Ziele beim für den Antriebswechsel erforderlichen Ladeinfrastrukturausbau sein und seitens der Gewerkschaften der mögliche temporäre Verzicht auf Gehaltserhöhungen. Gleichzeitig wurden aber auch Bedenken hinsichtlich der Wirksamkeit der Maßnahme geäußert, da der Veränderungsprozess auch deutlich schneller als die Dauer der Qualifikationsmaßnahmen ablaufen könnte und auch eine – wenn auch gesellschaftlich unerwünschte – Entwicklung hin zu Altersteilzeit und Frühverrentung denkbar ist.

Insgesamt wäre ein **umfassender**, zwischen **allen Beteiligten** – Unternehmen, Beschäftigten, Gewerkschaften, staatlichen Akteuren, Arbeitsagentur, Bildungseinrichtungen – ausgehandelter **Prozess** wünschenswert, der auf gegenseitigen Verpflichtungen zur Unterstützung der Transformation basiert. Dieser Prozess sollte nach Einschätzung der Teilnehmenden an den Fachgesprächen durch einen nationalen Ausschuss oder auch regionale Gremien – „**Strukturwandelräte**“ – getragen werden.

3.5.6 Politische Steuerung des Mobilitätswandels

Neben den in den Abschnitten 3.5.2 bis 3.5.5 erläuterten politischen Strategien, die direkt auf die Industrie wirken, erwarten alle Beteiligten von den politischen Verantwortlichen vor allem **Visionen und planbare Rahmenbedingungen** für die Transformation des Mobilitätssektors, eine **Moderationsfunktion**, aber auch **Diskurstreiber** und eine **aktive Kommunikation** des vereinbarten Pfads. Diese Rolle nimmt die Politik bisher nicht ausreichend ein. Industrie, Beschäftigte und Gesellschaft suchen nach Sicherheit im Wandel. Strategische Unternehmensentscheidungen können nur getroffen werden, wenn klar ist, auf welchen externen Bedingungen sie fußen. Ein Mangel an klaren Zielen schränkt nicht nur die Planungsfähigkeit der Unternehmen ein, sondern verunsichert auch Investoren, welche die Transformation finanzieren können. Für die notwendigen unternehmerischen Weichenstellungen sind daher – insbesondere in einer Situation in der die Gefahr eines Lock-in besteht – klare politische Rahmenbedingungen notwendig (siehe auch Abschnitt 3.5.1)

Aufgabe der Politik ist es, das Ziel der Dekarbonisierung des Verkehrssektors bis spätestens 2050 als **zentrales Leitbild zu vermitteln**, es durch regelmäßige verbindliche Etappenziele zu ergänzen sowie darzustellen, wie konkrete Maßnahmen darauf einzahlen und wie sich die konkreten Maßnahmen in das konkrete Lebensumfeld übersetzen. Insgesamt sollte eine positive und proaktive Herangehensweise verbreitet werden, nach dem Motiv „Zukunftsfähigkeit erhalten und nicht anderen den Strukturwandel überlassen". In diesem Zusammenhang sollten auch die in Strukturwandelprozessen der Vergangenheit festgestellten insgesamt (auch wirtschaftlich) positiven Wirkungen einer „schöpferischen Zerstörung" (vgl. Abschnitt 2.2.3) herausgestellt werden.

In den Fachgesprächen ließ sich jedoch ein erkennbarer Dissens nicht auflösen: Wie weit sollen die allseits geforderten klaren politischen Rahmenbedingungen und Zielbilder in Form von technologischen Weichenstellungen konkret werden? Es besteht offensichtlich nach wie vor ein Dilemma zwischen den Forderungen

1. nach **klarer und eindeutiger politischer Kommunikation** der Umweltvorteile von **Batteriefahrzeugen** und einer schwerpunktmäßigen Förderung dieser effizientesten und marktfähigsten Technologie sowie
2. nach **größtmöglicher Technologieoffenheit, die auch andere Technologieoptionen berücksichtigt** (v.a. Brennstoffzelle und synthetische Kraftstoffe).

Für den ersten Standpunkt spricht, dass eben dadurch die klaren Rahmenbedingungen geschaffen werden, auf welche die Öffentlichkeit wartet und die Akteure der Branche fordern. Auch sind angesichts des Handlungsdrucks gewisse Vorfestlegungen nötig, wenn nicht stets für alle Antriebsoptionen – batterieelektrisch, Plug-in-Hybride, Wasserstoff-Brennstoffzelle, Verbrennungsmotor mit synthetischen Kraftstoffen – die Infrastruktur parallel aufgebaut werden und der unterschiedlichen Technologiereife Rechnung getragen werden soll.

Vertreterinnen und Vertreter des zweiten Standpunkts begründen ihn damit, dass es durch eine zu frühe Festlegung auf die Elektromobilität zu einer neuen Lock-in-Situation kommen könne. Es sei erforderlich, Alternativen zur Elektromobilität gleichberechtigt in Einsatz zu bringen, um einen technologischen Wettbewerb zu ermöglichen, und auch langfristig seien für verschiedene Kontexte – Stadt / Land, Güter- / Personenverkehr etc. – möglicherweise unterschiedliche Technologien im Vorteil.

Dem gegenüber stehen bereits klare Festlegungen von großen OEM auf den batterieelektrischen Antrieb für die Fahrzeugproduktion in den kommenden Jahren. Auch in den (anonymen) Telefoninterviews wurde durchgängig die Einschätzung geteilt, dass der batterieelektrische Antrieb sich im Pkw-Bereich in den nächsten Jahren zur dominierenden Technologie entwickeln wird.

Nicht nur in Hinblick auf die Antriebstechnologie, sondern auch auf die zukünftige Mobilität im Allgemeinen wird von der Politik eine klare Positionierung erwartet: Beinhaltet die politische Vision auch das Ziel „Nicht nur andere, sondern weniger Autos"?

Ein konkretes Instrument zur Definition eines verlässlichen Transformationspfads können **für die Hersteller verbindliche Anteile alternativer Antriebe an den Neuzulassungen** sein. Diesbezüglich wird von manchen Sachverständigen China als Positivbeispiel gesehen, da dort kontinuierlich steigende Quoten von Elektrofahrzeugen mit einem Etappenziel von 50 % der Neufahrzeuge im Jahr 2030 existieren. Gleichzeitig wird simultan und verlässlich die Infrastruktur gefördert und bereitgestellt. Eine Möglichkeit, die Verantwortung zur Erreichung einer solchen möglichen Quote auch in Deutschland bzw. Europa nicht alleine den Herstellern

aufzuerlegen, wird daher darin gesehen, diese mit der Erreichung von staatlichen Ladeinfrastruktur-Ausbauzielen zu koppeln.

Eine überwiegende Mehrheit der am Projekt beteiligten Sachverständigen hält zudem die **CO_2-Bepreisung** für geeignet, einen verlässlichen Pfad zur Dekarbonisierung zu schaffen. Vorschläge für ein positives Framing dieser Maßnahme aus den Fachgesprächen sind

- der **zweckgebundene Einsatz** der durch die zusätzliche Bepreisung fossiler Kraftstoffe entstandener Einnahmen für Maßnahmen im Mobilitätsbereich (z. B. Aufbau von Ladeinfrastruktur),
- feste Mechanismen zur Anpassung der Höhe der Bepreisung an die Zielerreichung und
- die **Kompensation** von Auswirkungen der Bepreisung auf Nutzergruppen, die den Umstieg nicht kurzfristig umsetzen können (z. B. Handwerksbetriebe).

Neben der mittlerweile auch im Verkehrssektor eingeführten CO_2-Bepreisung von Energieträgern empfehlen sich auch Instrumente, die direkt auf Antriebstechnologien und Verbräuche neu zugelassener Fahrzeuge wirken. Ein existierendes Instrument ist die **europäische Regulierung des CO_2-Ausstoßes von Neufahrzeugen**, die einen Rückgang der durchschnittlichen Flottenemissionen um 37,5 % gegenüber 2021 vorschreibt. Hier bietet die vorgesehene Revision im Jahr 2023 die Möglichkeit zur Nachjustierung.

Darüber hinaus könnte durch Preissignale an die Kundschaft schon beim Fahrzeugkauf der Erwerb von elektrischen und sonstigen emissionsfreien Fahrzeugen angereizt werden. Eine vielversprechende Option ist ein Bonus-Malus-System bei der Zulassung: Die Förderung von Null-Emissions-Fahrzeugen würde in diesem Modell über eine nach CO_2-Ausstoß gestaffelte Zulassungssteuer (bzw. eine Erhöhung der Kfz-Steuer im ersten Jahr nach der Zulassung) auf verbrennungsmotorische Autos gegenfinanziert. Der Einstieg in ein solches System bietet perspektivisch auch die Möglichkeit, die Energieeffizienz auch von (teil-) elektrischen Fahrzeugen zu berücksichtigen und so einen Anreiz zur Beschaffung verbrauchsarmer Autos zu geben.

Der Trend zur Elektrifizierung des Antriebsstrangs wird bisher von außen, u. a. von China, getrieben und steigert grundsätzlich die Nachhaltigkeit des Produktes Automobil. Um die Wirkung zu maximieren, ist eine **globale Zertifizierung von Rohstoffen für Batterien und Elektronik** sowie die schnelle **Weiterentwicklung der Energiewende** unerlässlich. Neben der Dekarbonisierung des Produktes sollte die politische Steuerung daher auch die **nachhaltige Gestaltung des Produktionsprozesses** durch internationale Standards forcieren. Dies betrifft die Beschaffung, Produktionsprozesse sowie Versorgungsketten.

4 Fallstudie Chemieindustrie

Autoren: Carl-Otto Gensch (Öko-Institut), Frank Marscheider-Weidemann (Fraunhofer ISI)

4.1 Einführung und Eingrenzung der Fallstudie

Die Chemische Industrie in Deutschland wird als eine wichtige Schlüsselindustrie angesehen. Sie ist mit 5,4 % bzw. absolut mit etwa 330.000 Beschäftigten der fünftgrößte Arbeitgeber innerhalb des Verarbeitenden Gewerbes und belegt gemessen am Umsatz mit 7,6 % Rang vier (Zahlen für 2015 / 2016, vgl. Commerzbank 2015; Gehrke & Weilage 2018)[10]. Die besondere Bedeutung der Chemieindustrie ergibt sich auch dadurch, dass sie eine bedeutende Zulieferin für eine Vielzahl anderer Wirtschaftsbranchen ist und innovative Produkte und Verfahren aus der Chemie als wichtige Bestandteile der Lösungen globaler Herausforderungen, z. B. für die Sicherung von Gesundheit, Ernährung, Mobilität und Klimaschutz, gelten (Gehrke et al. 2014; Gehrke & Weilage 2018).

In der amtlichen Statistik (Fachserie 4, Reihe 4.1.1) wird die Chemische Industrie in sechs Sparten gegliedert:

- Chemische Grundstoffe, Düngemittel und Stickstoffverbindungen, Kunststoffe und synthetischer Kautschuk in Primärformen,
- Schädlingsbekämpfungs-, Pflanzenschutz- und Desinfektionsmittel,
- Anstrichmittel, Druckfarben und Kitte,
- Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Körperpflegemittel,
- Sonstige chemische Erzeugnisse,
- Chemiefasern.

Dabei hat die Herstellung chemischer Grundstoffe mit jeweils mehr als 50% des Umsatzes und der Beschäftigten eine besondere wirtschaftliche Bedeutung (Gehrke & Weilage 2018; Voß 2013).

Mit Blick auf Zahlen zur Entwicklung der Branche – etwa zum Umsatz, zur Beschäftigung oder zur Außenhandelsquote – muss beachtet werden, dass der Verband der Chemischen Industrie (VCI) in der Regel sich auf die chemisch-pharmazeutische Industrie bezieht, während die amtliche Statistik (und in Folge auch einige Branchenanalysen) die „Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen“ als eigenständigen Wirtschaftszweig betrachtet und unter Chemischen Industrie ausschließlich die o.a. Sparten verstanden werden. Allerdings gibt es enge Zusammenhänge und wechselseitige Abhängigkeiten. So wies etwa 2016 der damalige VCI-Hauptgeschäftsführer Utz Tillmann auf folgenden Sachverhalt hin: „Die Verbundstruktur in der Chemischen Industrie in Deutschland macht es […] erforderlich, die Pharma-Sparte einzubeziehen. Denn eine enge Verknüpfung zwischen Pharma, Spezial- und Basis-Chemie gibt es nicht nur auf der gemeinsamen Grundlage von Molekülen für Wirk- und Werkstoffe. Sie besteht auch aus intensiven Geschäftsbeziehungen der Unternehmen. Ohne die Produkte der Basis-Chemie würden Pharma und Spezialchemie in Deutschland schwieriger an Rohstoffe

[10] Zahlenangaben ohne pharmazeutische Industrie, siehe Erläuterung zu unterschiedlichen Abgrenzungen weiter unten.

gelangen. Andererseits ist die Basis-Chemie auf die beiden Sparten als verlässliche Kunden angewiesen“ (Tillmann 2016).

Geht man von der engeren Definition der Chemischen Industrie aus, wird in der Regel zwischen der **Basis- oder Grundstoffchemie** einerseits und zwischen der **Spezialchemie** andererseits unterschieden (Commerzbank 2015; Wagemann 2014):

- Chemische Grundstoffe sind in der Regel in großen Mengen hergestellte Standardchemikalien wie organische Primärchemikalien (z. B. Ethylen, Propylen oder Benzol), organische Zwischenprodukte, Düngemittel und Stickstoffverbindungen, Industriegase, Kunststoffe in Primärform, synthetischer Kautschuk und Chemiefasern. Diese Produkte sind von ihrer chemischen Struktur vergleichsweise einfach aufgebaut, und sind Ausgangsbasis für andere chemische Erzeugnisse. Im Gegensatz zu stark auf Kundenanforderungen maßgeschneiderten Spezialchemikalien lassen daher chemische Grundstoffe eine geringere Differenzierung am Markt zu und stehen in einem starken Preis- und Kostenwettbewerb.

- Zur Herstellung von Spezialchemikalien werden die (Vor-)Produkte der Grundstoffchemie weiterverarbeitet. Im Vergleich zu chemischen Grundstoffen sind Spezialchemikalien vielfältiger (hohe Produktdifferenzierung), die Anwendungsgebiete zahlreicher und die Produktlebenszyklen kürzer. Spezialchemikalien sind innovationsgetrieben und werden oft in Zusammenarbeit mit dem Kunden entwickelt, womit eine Produktsubstitution erschwert und die Wettbewerbsintensität eingeschränkt wird.

Gehrke und Weilage (2018) weisen darauf hin, dass eine eindeutige Abgrenzung zwischen Grundstoff- und Spezialchemie nicht möglich ist, sondern der Übergang zwischen Basis- und Spezialchemie fließend ist und sich im Zeitverlauf ändern kann. Zwar sind Spezialchemie- im Gegensatz zu Basischemieunternehmen in der Regel eher mittelständisch geprägt. Aber auch stark diversifizierte Großunternehmen zählen inzwischen zur Gruppe der Spezialchemie-hersteller, wobei die Spezialchemiebereiche dort rückwärtig mit den vorgelagerten Wertschöpfungsstufen verbunden sind (ebd.). Auch in der amtlichen Statistik ist keine klare Abgrenzung zwischen Grundstoff- und Spezialchemie möglich. Zwar sind die Basischemikalien eindeutig der Wirtschaftszweiggruppe 20.1 (Herstellung von chemischen Grundstoffen, Düngemitteln und Stickstoffverbindungen, Kunststoffen in Primärformen und synthetischem Kautschuk in Primärformen) zuzuordnen. Allerdings finden sich hier insbesondere bei Kunststoffen und Kautschuk in Primärformen auch Produkte, die zur Spezialchemie zählen. Aufgrund des Hauptbeteiligtenkonzeptes werden sie der Basischemie zugeordnet, wenn der Produktionswert der Betriebe überwiegend dort verortet ist (Gehrke & Weilage 2018).

Im Rahmen der vorliegenden Fallstudie wurde nach eingehenden Diskussionen mit dem Umweltbundesamt als Auftraggeber die **Basischemie als Fokusthema** ausgewählt. Die Fokussierung begründet sich auf den Ergebnissen einer ersten Sichtung der Literatur. Danach steht die Basischemie stärker als die Spezialchemie oder das Pharmageschäft unter einem Anpassungsdruck:

- So hat sich in den letzten zehn bis 15 Jahren für die Basischemie das Wettbewerbsumfeld verändert. Dieses ist geprägt durch neue globale Wettbewerber (eine durch die Nutzung von Schiefergas wiedererstarkte Basischemie in den USA und Aufbau rohstoffnaher Produktionskapazitäten in Asien) und die im internationalen Vergleich hohen Rohstoff- und Energiekosten in Deutschland (siehe unten Kap. 4.3.1 sowie eingehend (VCI 2017)).

- Die Chemieindustrie und dabei v.a. die Basischemie gehört in Deutschland zu den energie- und emissionsintensiven Industrien. Sie steht damit vor der Herausforderung, ihre Produktionsprozesse so zu transformieren, dass sie zur Erreichung von anspruchsvollen Klimazielen im eigenen Verantwortungsbereich beiträgt. Dabei ist die Chemieindustrie im Unterschied zu anderen Branchen besonders dadurch gekennzeichnet, dass sie in erheblichem Umfang für ihre Produkte auch fossile Rohstoffe und Edukte[11] auf Erdöl- und Erdgasbasis nicht-energetisch als Rohstoffe nutzt (Geres et al. 2019). Mit Blick auf Emissionsminderungen müssen daher neben den Prozessemissionen und energetischen Emissionen auch die sogenannten Scope-3-Emissionen berücksichtigt werden, die aus der Nutzung oder Verbrennung chemischer Produkte stammen.

Die Basischemie in Deutschland steht somit vor einem tiefgreifenden Wandel, der auch einen Wechsel der Rohstoffbasis umfasst und ähnliche Änderungen mit sich bringt wie beispielsweise vor Jahrzehnten der Wechsel der Rohstoffgrundlage von Kohle auf Erdöl und Erdgas.

Der vorliegende Bericht beruht auf einer Analyse einschlägiger Literatur und statistischer Quellen, die durch Interviews mit Expertinnen und Experten ergänzt wurde. Der wesentliche Bearbeitungszeitraum war im zweiten Halbjahr 2019, wesentliche Ergebnisse wurden in einem Fachworkshop am 15.01.2020 in Frankfurt am Main vorgestellt und mit Expertinnen und Experten aus den Bereichen Chemieindustrie, Nachhaltigkeitspolitik, sowie Sozial- und Arbeitsmarktforschung diskutiert.

Bei den insgesamt mehr als 30 Literaturquellen wurden insbesondere solche herangezogen, in denen Querschnittsbetrachtungen sowie Überlegungen zur (umwelt-)politischen Instrumentierung angestellt werden. In diesem Sinne waren die folgenden Veröffentlichungen besonders relevant:

- Die von der Hans-Böckler-Stiftung herausgegebene Branchenanalyse Chemieindustrie, in der der Chemiestandort Deutschland im Zusammenhang mit weltweiten Veränderungen von Nachfragestrukturen und Wertschöpfungsketten beschrieben wird. In diesem Bericht wird quantitativ die bisherige Entwicklung der letzten Dekade analysiert und einordnet. Darauf aufbauend wird auf der Grundlage von Experteninterviews eine Einschätzung künftiger Trends und Unternehmensstrategien gegeben, um einen qualitativen Ausblick auf künftige Entwicklungen zu ermöglichen (Gehrke & Weilage 2018).

- Eine ebenfalls von der Hans-Böckler-Stiftung beauftragte und herausgegebene Studie, in der speziell die Grundstoffchemie in Deutschland im internationalen Umfeld betrachtet wird. Diese Studie berücksichtigt insbesondere auch den „Aufstieg der Anderen", also die Entwicklung in den BRIC+2-Staaten[12] und beinhaltet Länder-Fallstudien (China, Saudi-Arabien und Vereinigte Arabische Emirate) (Voß 2013).

- In der 2017 vom Verband der Chemischen Industrie (VCI) veröffentlichten und unter Mitarbeit der Prognos AG erstellten Studie[13] wird das Ziel verfolgt, die Zukunft der Branche in einer Welt des Umbruchs mit einem realistischen Szenario zu beschreiben und Antworten

[11] Mit Edukten werden in der Chemie Ausgangsstoffe für chemische Reaktionen bezeichnet.

[12] Brasilien, Russland, Indien, China, Indonesien und Südkorea.

[13] Es handelt sich dabei um die Überarbeitung und Aktualisierung einer bereits 2013 veröffentlichten Studie, in der zwischenzeitlich eingetretene Entwicklungen antizipiert und neu bewertet wurden – darunter auch die inzwischen positiver eingeschätzte Verfügbarkeit von Rohöl.

auf folgende Leitfragen zu geben: Wie wird der weltweite Chemiemarkt im Jahr 2030 aussehen? Und wie stellt sich die chemisch-pharmazeutische Industrie in Deutschland darauf ein? In der auf verschiedenen Modellen[14] basierenden Studie werden einem Basisszenario auch Alternativszenarien gegenübergestellt. Dadurch sollen unterschiedliche industriepolitische Rahmenbedingungen modelliert und Ansatzpunkte für das künftige politische Handeln aufgezeigt werden (VCI 2017).

- Die vom europäischen Verband der Chemischen Industrie cefic beauftragte Studie der DECHEMA untersucht Technologieoptionen und mögliche Entwicklungsszenarien hin zu einer klimaneutralen, aber zugleich wettbewerbsfähigen europäischen Chemieindustrie bis zum Jahr 2050. Der Fokus der Studie liegt auf den wesentlichen sogenannten Plattformchemikalien, die am Beginn der Wertschöpfungskette in großen Mengen produziert werden (Ammoniak, Methanol, Ethylen, Propylen, Chlor und die Aromaten Benzol, Toluol und Xylol) und für etwa zwei Drittel aller Treibhausgasemissionen des Chemiesektors verantwortlich sind (Bazzanella & Ausfelder 2017).
- Aufbauend auf dieser Studie hat der VCI in einer im September 2019 veröffentlichten Studie untersuchen lassen, mit welchen Maßnahmen und Technologien die Chemie auf dem Weg zur vollständigen Treibhausgasneutralität jeweils wie weit kommen kann und welche Investitionen dafür erforderlich sind. In Form einer Roadmap unter Einbezug von drei Entwicklungspfaden (Referenzpfad, Technologiepfad und Pfad Treibhausgasneutralität) werden zum einen die Aufgaben skizziert, vor denen die Chemische Industrie in den kommenden Jahrzehnten steht, zum anderen werden die nötigen politischen und ökonomischen Rahmenbedingungen beschrieben, die zur Realisierung des Wegs als erforderlich gesehen werden (Geres et al. 2019).
- Ebenfalls Ende 2019 wurde von der Agora Energiewende und dem Wuppertal Institut die Studie „Klimaneutrale Industrie 2050“ veröffentlicht, in der Schlüsseltechnologien und Politikoptionen für Stahl, Chemie und Zement untersucht werden. Ausgangspunkt ist dabei die Überlegung, dass in diesen Bereichen anstehende Investitionsentscheidungen schon heute so getroffen werden müssen, dass sie klimasicher sind, um Fehlinvestitionen zu vermeiden. Es wird davon ausgegangen, dass die Technologien für eine klimaneutrale Produktion schon weit entwickelt sind, aber der großtechnische Einsatz bislang an fehlenden politischen Rahmenbedingungen scheitert. Vor diesem Hintergrund wird mit der Studie ein Sofortprogramm vorgeschlagen, um die deutsche Industrie zum Vorreiter bei grünem Wasserstoff, Elektrifizierung und der Vermeidung von Prozessemissionen zu machen (Agora Energiewende & Wuppertal Institut 2019).

Die Fallstudie gliedert sich im Folgenden analog zur Fallstudie zur Automobilwirtschaft (Kap. 3).

[14] Makro- und Industriemodell (Prognos) sowie Chemiemodell und Indikatorenmodell (beide VCI).

4.2 Branchenstruktur sowie vor- und nachgelagerte Wertschöpfungsketten

4.2.1 Die Rolle der deutschen Chemischen Industrie im nationalen und internationalen Kontext

Die Chemieindustrie in Deutschland zählt zu den Kernbranchen des Verarbeitenden Gewerbes, der Jahresumsatz lag 2018 bei knapp 149 Mrd. Euro (ohne Pharma) bzw. bei knapp 203 Mrd. Euro (einschließlich Pharma). 2018 wurden in der Branche 343 Tsd. bzw. 463 Tsd. Personen beschäftigt, was 5,4 % bzw. 7,3 % der insgesamt im Verarbeitenden Gewerbe beschäftigten Personen entspricht (VCI 2019).

Die Struktur und Größe der Unternehmen in den eingangs vorgestellten Sparten sind ausgesprochen heterogen. Dabei ist die Grundstoffchemie einer der konzentriertesten Bereiche. Einer Analyse der Commerzbank zufolge erwirtschafteten hier die Betriebe ab 50 Mio. Euro Umsatz, die 10 % der gesamten Unternehmen in der Sparte ausmachen, über 90 % der Umsätze. Demgegenüber ist die Spezialchemie wesentlich stärker von kleinen und mittelständischen Unternehmen geprägt. Beispielsweise haben im Bereich Agrochemie (Herstellung von Schädlingsbekämpfungs-, Pflanzenschutz- und Desinfektionsmitteln) die Unternehmen in der Umsatzklasse größer als 50 Mio. Euro Umsatz einen Anteil an der Unternehmenszahl der Branche von knapp 3 %, bei einem Anteil am Gesamtumsatz von lediglich 42 % (Commerzbank 2015). Die Bedeutung und Struktur der Grundstoffchemie wird auch anhand der Beschäftigtenzahlen deutlich: Während im Jahr 2016 die Chemischen Grundstoffe über die Hälfte aller Beschäftigten stellten, fanden sich hier nicht einmal 40 % der Betriebe (631 von 1.645), auf der anderen Seite wurden jedoch fast zwei Drittel des Umsatzes erzielt (86 von 136,5 Milliarden Euro) (Gehrke & Weilage 2018).

Abbildung 5 stellt einige Kennzahlen der Chemieindustrie in Verhältnis zum Verarbeitenden Gewerbe insgesamt da. Es wird deutlich, dass – gemessen am Umsatz – Beschäftigung sowie Löhne und Gehälter eher unterdurchschnittlich, Investitionen, Aufwendungen für Forschung und Entwicklung sowie der Außenhandel sowohl mit Blick auf Importe als auch auf Exporte überdurchschnittlich hoch liegen. Besonders deutlich wird der vergleichsweise hohe Energieeinsatz – und dementsprechend auch der starke Einfluss von Klimaschutzmaßnahmen.

Abbildung 5: Kennzahlen zur Chemischen Industrie (einschließlich Pharma) im Überblick

Quelle: VCI 2017

In ihrer Branchenanalyse, die neben einer Auswertung von statistischen Kennzahlen auch stärker qualitative Aspekte auf der Grundlage von Experteninterviews in den Blick nimmt, fassen Gehrke und Weilage (2018) die Entwicklung der deutschen Chemieindustrie nach verschiedenen Kenngrößen wie folgt zusammen:

- „Insgesamt ist die **physische Produktion chemischer Erzeugnisse** in Deutschland in den letzten Jahren annähernd stabil geblieben, während die **Bruttowertschöpfung**[15] trotz ölpreisbedingt schwacher Umsatzentwicklung kontinuierlich gesteigert werden konnte“ (Gehrke & Weilage 2018).

- Die **Beschäftigung** in Chemiebetrieben ist von 2008 (ca. 311.000) bis 2014 (ca. 332.000) Personen gewachsen und 2016 annähernd gehalten worden. „Dabei hat die Überalterung der Belegschaft allerdings weiter zugenommen: Waren 2007 noch 13,7 % aller Mitarbeiter über 55 Jahre, sind es 2017 bereits 20,5 %“ (ebd.). Die Unternehmen versuchen seit mehreren Jahren, diesem Trend entgegen zu wirken. So hat die Zahl der Auszubildenden in Chemieproduktionsberufen und die Auszubildendenquote, d. h. der Anteil der Auszubildenden in Relation zu den beschäftigten Fachkräften, merklich zugenommen.

- **Inlandsnachfrage und internationaler Wettbewerb:** Während die Inlandsnachfrage eher schwach ausfällt, haben die deutschen Unternehmen im internationalen Wettbewerb ihre Stellung ausbauen können. So betrug die Exportquote 2016 fast 60 % (gegenüber 55,6 % im Jahr 2008). Auch die absoluten Exporte waren so groß, dass Deutschland 2016 hinter dem von der Schiefergasförderung profitierenden USA den zweiten Platz belegte. 70 % der Exporte gingen ins europäische Ausland (60 % in andere EU-Länder), wenngleich der Anteil

[15] Die Bruttowertschöpfung wird durch Abzug der Vorleistungen von den Produktionswerten errechnet; sie umfasst somit nur den im Produktionsprozess geschaffenen Mehrwert. Die Bruttowertschöpfung ist bewertet zu Herstellungspreisen, das heißt ohne die auf die Güter zu zahlenden Steuern (Gütersteuern), aber einschließlich der empfangenen Gütersubventionen (destatis o.J.).

leicht rückläufig ist (2005: 73 %). Bei den Importen spielt die intraeuropäische Vernetzung sogar eine noch größere Rolle (ebd.).

- **Investitionen:** Bei den Investitionen der Chemieindustrie zeigt sich ein geteiltes Bild; während diese in Deutschland vor allem in der Grundstoffchemie seit Ende der 1990er Jahre deutlich zurückgegangen sind, stiegen die Auslandsinvestitionen kontinuierlich an. Seit 2012/13 ist im Inland wieder ein leichter Aufwärtstrend zu verzeichnen. Auch Forschungs- und Entwicklungskapazitäten in Deutschland sind, nach eher schwacher Entwicklung im letzten Jahrzehnt, wieder stärker ausgeweitet worden (ebd.). Aufgrund des stark wachsenden chinesischen Markts und den dadurch sich bietenden Absatzmöglichkeiten streben die meisten deutschen Firmen insbesondere in Asien eine stärkere Präsenz an: „Die zunehmende Bedeutung Chinas zeigt sich u. a. daran, dass der Anteil Chinas am Weltchemieumsatz von 11,6 % im Jahr 2005 auf fast 40 % im Jahr 2015 gestiegen ist, während sich der Anteil der EU von 28,2 % auf 14,7 % fast halbierte“ (ebd.). Investitionen werden vor diesem Hintergrund verstärkt in anderen Weltregionen (Asien, speziell China, aber auch Nordamerika) getätigt, um wachsende Märkte besser erschließen und bedienen zu können. Direktinvestitionen deutscher Chemiefirmen im Ausland sind von 2011 bis 2015 um mehr als 40 % gestiegen. Dieser Prozess wird sich aller Voraussicht nach auch zukünftig weiter fortsetzen. Dennoch gehen alle von Gehrke & Weilage (2018) befragten Expert*innen davon aus, dass Deutschland und Europa auf absehbare Zeit Kernmärkte bleiben werden.

Speziell mit Blick auf die Basischemie ist festzustellen, dass diese Sparte mit über 50 % aller Beschäftigten und gut 60 % des Umsatzes noch immer die deutsche Chemieindustrie klar dominiert. Allerdings befürchten mehrere Expertinnen und Experten, dass China vor allem in der Grundstoffchemie massive Überkapazitäten aufbaut, die mittelfristig nicht nur den chinesischen, sondern auch den globalen Markt zumindest teilweise einbrechen lassen könnten, wenn chinesische Hersteller zunehmend auch in andere Weltregionen drängen. Die Hersteller von Grundstoffchemikalien in Europa sind zudem zunehmendem Wettbewerbsdruck US-amerikanischer Produzenten ausgesetzt, die durch die niedrigen Rohstoffkosten (Schiefergas) viele Basischemikalien selbst unter Berücksichtigung der Transportkosten deutlich günstiger produzieren können als hiesige Unternehmen. In jüngerer Zeit ist dieser Druck durch den niedrigen Ölpreis und die gleichzeitig steigende Nachfrage in Europa zwar weniger spürbar. Längerfristig dürfte die Grundstoffchemie in Deutschland aber tendenziell weiter an Gewicht verlieren (Gehrke et al. 2014; Gehrke & Weilage 2018; Voß 2013).

In diesem Zusammenhang muss allerdings auch berücksichtigt werden, dass die Grundstoffchemie keine homogene Gruppe darstellt, da sie anorganische Grundstoffe, Petrochemikalien, organische Zwischenprodukte, Standardpolymere und Düngemittel umfasst. Zudem kann mit Blick auf die Wettbewerbsfähigkeit der Grundstoffchemie festgehalten werden,

dass sie besonders von den Chemieparks[16], der Verbundproduktion[17] und der Nähe zu anderen Chemiebetrieben profitiert (VCI 2017).

Die integrierte Verbundproduktion ist eine große Stärke von vielen Standorten in Deutschland. In hochintegrierten Stoff- und Energiekreisläufen werden anfallende Nebenprodukte aus einem Produktionsschritt als Ausgangsmaterial für weitere Produkte verwendet. Die für die Prozesse genutzten Hilfsstoffe werden in einem geschlossenen Kreislauf bewegt. Auch die Abwärme aus den Produktionsprozessen wird für weitere chemische Prozesse genutzt.

Mit Blick auf die geographische Verteilung der Chemischen Industrie in Deutschland gibt es fünf regionale Schwerpunkt-Cluster (vgl. VCI o.J.):

- das Rhein-Main-Gebiet, darunter der Standort Ludwigshafen der BASF SE;
- das Rheinland und hier die großen Werke der Bayer AG und der Nachfolgeunternehmen wie Lanxess oder Covestro;
- die Region an der Niederelbe;
- das mitteldeutsche „Chemiedreieck“ um die Städte Halle, Merseburg und Bitterfeld; und
- das „Chemiedreieck“ im Südosten Bayerns.

Die Lage dieser Standortcluster ist entweder durch die günstige Lage an Verkehrswegen wie Flüssen oder (wie in Südostbayern) durch die Versorgung mit Rohöl (hier an einem Abzweig der transalpinen Rohöl-Pipeline) bedingt.

4.2.2 Wertschöpfungsketten: Abnehmerbranchen und Zulieferindustrie

Nach der Input-Output-Statistik (destatis 2019) gehen die Güter der Chemischen Industrie etwa zur Hälfte in den Export (2016: ca. 49 %), ca. 43 % in andere Wirtschaftsbereiche und nur zu ca. 9 % direkt in die Hand von Konsumentinnen und Konsumenten. Bei den Wirtschaftsbereichen gingen die meisten Güter wieder zurück in die Chemische Industrie (14,8 %) bzw. in die Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren (7,7 %). Weitere wichtige Abnehmerbranchen waren 2016 die Landwirtschaft (1,4 %), Pharmaindustrie (1,6 %), Automobilbau (1,8 %) und das Baugewerbe (1,9 %).

Die Chemische Industrie und dabei wiederum die Basischemie steht am Anfang weit verzweigter Wertschöpfungsketten, Zulieferer sind daher im Wesentlichen die erdöl- und erdgasverarbeitende Industrie und der Bergbau.

Mit Blick auf die künftige Rohstoffbasis der Chemischen Industrie ist u. a. auch die Gestaltung einer Kreislaufwirtschaft von Relevanz (vgl. auch Abschnitt 4.3.2). Dabei ist die Produktion von ca. 12,6 Millionen Tonnen (Mio. t) Kunststoffen im Jahr 2017 als Werkstoffe von großer Bedeutung (UBA 2018). Der Verbrauch in Deutschland lag nach Bereinigung um Im- und Exporte bei ca. 11,8 Mio. t (Conversio 2018). Davon fielen ca. 6,2 Mio. t als Kunststoffabfall an, wovon

[16] Chemieparks gehen auf die Werksgelände großer Chemieunternehmen zurück. Aufgrund von Zerschlagungen (im Falle von Hoechst), Joint-Ventures (GE Bayer Silicones), Abspaltungen (Lanxess) bzw. Abriss oder überschüssigem Gebiet wurden die ehemals von jeweils einem Unternehmen betriebenen Werksgelände für andere Firmen der Chemiebranche geöffnet (Chemie.de, 2020).

[17] Produktionsverbund im Zusammenhang mit der Herstellung chemischer Produkte bedeutet, dass diese im Verbund mit anderen Herstellern in sogenannten Chemieparks stattfindet. Diese Chemieparks weisen eine effiziente gemeinsame Versorgungsstruktur mit gängigen Rohstoffen, Grundstoffen sowie Betriebsmitteln auf und sind mit gemeinsamen Sicherheits- und Entsorgungseinrichtungen ausgestattet. Die Verbundstruktur bietet kostensenkende Synergien.

3,2 Mio. t unter Energiegewinn verbrannt und 2,8 Mio. t werkstofflich recycelt wurden. Das rohstoffliche Recycling mit 0,05 Mio. t spielte keine Rolle. Allerdings gibt es Kritik an diesen Zahlen, da ein Teil des werkstofflichen Recyclings in Übersee stattfindet und auch Produktionsabfälle mit einberechnet werden (Bethge et al. 2019).

Betrachtet man stattdessen den Anteil des aus Post-Consumer Kunststoffen hergestellten Recyclats von ca. 810 kt und setzt sie ins Verhältnis der in Deutschland verarbeiteten Kunststoffmenge von 14,4 Mio t (12, 6 Mio. t Primärproduktion plus 1,8 Mio t verarbeitete Recyclate), so ergibt sich eine „harte Quote" von nur 5,6 %.

Um das hier vorhandene Potential zu nutzen, müssten die Stoffströme umgelenkt werden. Dies gilt vor allem für Altkunststoffe (VCI 2018), aber auch für speziellere Produkte wie Reifen, Rotorblätter o. a. (Hiebel et al. 2017). Einerseits müsste die thermische „Verwertung" deutlich reduziert werden, andererseits gerade die werkstoffliche Nutzung ausgebaut werden, da hier ein kurzer Kreislauf möglich ist, bei der die Energieeinsparung prinzipiell am größten ist (s. Abbildung 6). Wo eine werkstoffliche Nutzung nicht möglich ist, sollte eine rohstoffliche Verwertung genutzt werden, um chemische Rohstoffe wieder zu gewinnen. Bei Verbrennung entstehen „größere Kreisläufe", es entsteht CO_2, welches unter hohem Energieeinsatz aus den Abgasen abgetrennt und gereinigt werden muss, ehe es wiedereingesetzt werden kann.

Abbildung 6: Mögliche Kreisläufe für Kohlenstoff

Quelle: VCI 2018

Heute betrachtet die Chemische Industrie die Produkte ganzheitlicher, versucht sie in Kohlenstoffkreisläufen zu halten und sieht sich auch in der Verantwortung für die CO_2-Emissionen am Ende der Nutzungsphase der Produkte. In der Vergangenheit wurde bezüglich einer Produktverantwortung häufig reflexartig darauf hingewiesen, dass Chemieprodukte enorm zur Energieeinsparung in anderen Branchen beitragen, etwa durch die Herstellung von Dämmmaterialien, Leichtbau u. a. (McKinsey 2008).

4.3 Trends, Treiber und Hemmnisse des Strukturwandels

4.3.1 Megatrends und globale Entwicklungen in der Basischemie

Wie bereits einführend in Abschnitt 4.1 dargestellt wurde, wird für die Basischemie von einem stark veränderten Wettbewerbsumfeld ausgegangen. Dieses ist geprägt durch neue globale Wettbewerber (eine durch die Nutzung von Schiefergas wiedererstarkte Basischemie in den USA und Aufbau rohstoffnaher Produktionskapazitäten in Asien) und die im internationalen Vergleich hohen Rohstoff- und Energiekosten in Deutschland. Diese Entwicklung führt zu der Prognose, dass die deutsche Basischemie die Weltmärkte nicht (mehr) vom Standort Deutschland aus beliefern kann. Allerdings wird davon ausgegangen, dass der Produktionsverbund, eine der zentralen Stärken der deutschen Chemie, erhalten bleibt, so dass der deutsche und europäische Chemiemarkt auch zukünftig mit Basischemikalien im Wesentlichen aus deutscher Produktion beliefert wird.

In der 2017 vom Verband der Chemischen Industrie (VCI) veröffentlichten und unter Mitarbeit der Prognos AG erstellten Zukunftsstudie werden einem Basisszenario auch Alternativszenarien gegenübergestellt, um unterschiedliche industriepolitische Rahmenbedingungen abzubilden und Ansatzpunkte für künftiges politisches Handeln aufzuzeigen. Spezifisch mit Blick auf die Basischemie kommt die Studie im Basisszenario zusammenfassend zu folgenden Ergebnissen und Schlussfolgerungen (VCI 2017):

- Im Gegensatz zur Spezialchemie wird für die Basischemie das Wachstumspotenzial in Deutschland bis 2030 als gering eingeschätzt, was vor allem auf die im internationalen Vergleich hohen Energie- und Rohstoffkosten zurückgeführt wird.
  Produktionskostenvorteile haben in den rohstoffreichen Ländern nicht nur in der Öl- und Gaswirtschaft einen Investitionsboom ausgelöst, sondern auch zu einem kräftigen Ausbau der Produktionskapazitäten für energieintensive Basischemikalien geführt. Die dortige Produktion übersteigt die Inlandsnachfrage und drängt auf die Weltmärkte. Für die deutsche Basischemie bedeutet das eine geringere Exportdynamik, zunehmenden Importdruck und insgesamt niedrigeres Wachstum.

- Ferner wird in der Zukunftsprognose davon ausgegangen, dass bestehende Ausnahmen bei energie- und klimapolitischen Instrumenten für die im internationalen Wettbewerb stehenden energieintensiven Industrien auch in Zukunft Bestand haben werden und es daher nicht zu einer Abwanderung der Basischemie kommt.

- Daneben wird angenommen, dass die deutsche Basischemie hauptsächlich für den deutschen und europäischen Chemieverbund produziert. Der Basischemie in Deutschland wird für weiterverarbeitende Chemie- und Industriezweige eine große Rolle zugemessen, da sie eine große Bandbreite an Branchen mit den für ihre Produktion notwendigen Grundstoffen in räumlicher Nähe zur Weiterverarbeitung versorgt.
  Demgegenüber wird eine Substitution der Basischemieproduktion in Deutschland oder Europa durch außereuropäische Importe für schwer vorstellbar gehalten, da die entscheidenden Wertschöpfungsschritte in der Basischemie in integrierter Produktion erfolgen.

In der o.a. Studie wurden neben dem Basisszenario auch alternative Entwicklungen abgebildet: während ein Chancenszenario zukünftige Entwicklungspfade in einem investitions- und innovationsfreundlichen Umfeld mit einer Ausweitung staatlicher Innovationsförderung sowie einem als effizient angesehenen Regulierungsrahmen beschreibt, der die preisliche Wettbewerbsfähigkeit stärkt, werden in einem Risikoszenario die Auswirkungen eines

gegenüber dem Basisszenario verschlechterten industriepolitischen Umfeldes mit einer zunehmenden Planungsunsicherheit bei den Unternehmen dargestellt. Die nachstehende Tabelle fasst die wesentlichen Annahmen der beiden zusätzlichen Szenarien sowie ihre Auswirkungen zusammen.

Tabelle 9: Chancen- und Risikoszenarien für die Chemieindustrie 2030

	Chancenszenario	Risikoszenario
Annahmen		
Energiepolitik	Effizienterer EE-Ausbau mit Wahrung der Wettbewerbsfähigkeit; keine zusätzlichen Belastungen durch Energiewende (Deckelung der EEG-Umlage oder Haushaltsfinanzierung), Netzausbau gelingt, Bestandsschutz für EE-Altanlagen	EEG weiter ineffizient und steigende EEG-Umlage; Entlastungsregelungen geraten unter Druck, Kosten des Netzausbaus und der Reservekraftwerke werden auf Verbraucher umgelegt
Industriepolitik	Investitions- und innovations-freundliches Umfeld; Abbau und effizientere Regulierungen, Abbau von Investitionshemmnissen, Planungssicherheit, Einführung einer steuerlichen Forschungsförderung, themenoffene Projektförderung, Fokus Breitenförderung ohne Beschränkung auf Mittelstand	Keine zusätzlichen Forschungsanreize; zunehmende Regulierungsdichte; Investitionshemmnisse durch Planungsunsicherheit und steigende Kosten
Öffentliche Investitionen	Deutschland: Investitionen für Infrastruktur, Schule und Bildung gewinnen ggü. konsumtiven Ausgaben an Gewicht; EU: mehr Investitionen, Ausweitung und breite Anwendung des EFSI, Planungssicherheit im Energiebereich	Deutschland: kaum zusätzliche Investitionen für Infrastruktur, Schule und Bildung; EU: keine wirksamen Investitionsanreize, Investitionsprogramm EFSI scheitert, Planungsunsicherheit durch ETS
Auswirkungen *(in Deutschland)*		
Chemiebranche, gesamt	Erhöhte FuE-Intensitäten in der Spezialchemie und Pharmaindustrie; Verbesserung der Standortbedingungen (funktionierende Infrastruktur und qualifiziertes Personal), Ausweitung der Investitionen; Wachstum steigt auf 1,7 % p.a., v.a. Pharmaindustrie (2,6 % p.a.) und Spezialchemie (2,1 % p.a.); Zunahme der Exporte bei Spezialchemie und Pharmazeutika. Nachhaltiges Wachstum sichert langfristig Chemiestandort	Rückgang von Investitionen im Inland - auch für Modernisierung und Ersatz von Anlagen; in Folge höhere Produktionskosten und Abnahme der Wettbewerbsfähigkeit und Verlust an Marktanteilen. Produktionsrückgang in Basischemie (s.u.) bis hin zu Lieferengpässen dämpfen Wachstum in Spezialchemie; dadurch auch steigender Importdruck bei Spezialchemie. Enge Verzahnung von Industriebranchen gefährdet, unterbrochene Wertschöpfungsketten schwächen deutschen Industrieverbund

Basischemie	Abnahme der Investitionszurückhaltung; Wachstum steigt auf 0,4 % p.a.; Basischemie produziert weiterhin v.a. für den Heimatmarkt; stagnierende Exporte und bleibender Importdruck führen zu leicht negativem Außenhandelssaldo	Standortschließungen und abnehmender Produktionswert (-1 % p.a.), Deutschland wird Nettoimporteur von Basischemikalien

Quelle: Eigene Darstellung auf der Grundlage von (VCI 2017)).

Mit Blick auf die Zukunft der Basischemie kann daraus der Schluss gezogen werden, dass auch in einem investitionsfreundlichen Umfeld die Basischemie in Deutschland allenfalls stabilisiert wird, der Importdruck aus Ländern mit günstigerem Zugang zu den Rohstoffen und geringeren Energiepreisen bestehen bleibt und die Basischemie überwiegend für den Heimatmarkt produziert. Im Risikoszenario bleiben die negativen Auswirkungen nicht allein auf die von Rohstoff- und Energiepreisen besonders abhängige Basischemie beschränkt. Produktionsrückgänge bis hin zu Lieferengpässe bei Grundchemikalien dämpfen auch die Spezialchemie und bergen das Risiko, dass der bestehende Vorteil durch Verbundproduktion und Chemieparks verloren gehen, was sich über die Chemiebranche hinausgehend durch unterbrochene Wertschöpfungsketten auf eine Schwächung des deutschen Industrieverbunds insgesamt negativ auswirken kann.

4.3.2 Pfade zur Defossilierung[18] der Rohstoffbasis

Seit 2019 ist das Ziel der Klima- bzw. Treibhausgasneutralität bis spätestens zur Mitte des Jahrhunderts im deutschen Klimaschutzgesetz rechtlich verankert (seit 2021 auch auf EU-Ebene). Treibhausgasneutralität bedeutet, weitgehend ohne die Emission von klimaschädlichen Treibhausgasen zu wirtschaften – und die Menge nicht vermeidbarer Treibhausgase aufzufangen und zu speichern, oder der Atmosphäre zu entziehen. Da chemische Produktionsanlagen wie Steamcracker eine technische Lebensdauer von 50-70 Jahren haben (Agora Energiewende & Wuppertal Institut 2019), sind selbst langfristige Klimaschutzziele relevant für bestehende und v.a. neu zu bauende Anlagen im Chemiesektor.

Überlegungen bzw. Ambitionen, anspruchsvolle Klimaschutzziele in der Chemieindustrie zu erreichen, setzen vor allem bei den sogenannten Plattformchemikalien an. Ammoniak, Methanol, Ethylen, Propylen, Chlor und die Aromaten Benzol, Toluol und Xylol (BTX) werden in Deutschland und Europa in großen Mengen am Beginn der chemischen Wertschöpfungskette produziert und sind erfahrungsgemäß für etwa zwei Drittel aller Treibhausgasemissionen des Chemiesektors verantwortlich (Bazzanella & Ausfelder 2017).

Im Juli 2017 wurde vom europäischen Chemieverband cefic eine von der DECHEMA erstellte Studie veröffentlicht, in der der Frage nachgegangen wurde, wie die Chemische Industrie bis 2050 klimaneutral werden kann (Bazzanella & Ausfelder 2017). Dazu wurden Technologieoptionen und mögliche Entwicklungsszenarien hin zu einer klimaneutralen, aber zugleich wettbewerbsfähigen europäischen Chemieindustrie bis zum Jahr 2050 analysiert. Konkret wurden vier Szenarien mit unterschiedlichem Anspruchsniveau aufgestellt, von *Business-as-usual* bis hin zu einem Maximalszenario, das das theoretische Potenzial mit einer Obergrenze an möglichen CO_2-Einsparungen darstellt.

[18] Mit dem Thema Chemie befasste Expertinnen und Experten verwenden den in Klimaschutzszenarien häufig verwendeten Begriff der Dekarbonisierung nicht, da chemische Erzeugnisse notwendigerweise auf Kohlenstoff basieren. Der Begriff Defossilierung stellt demgegenüber die Abkehr von der Nutzung von (primären) kohlenstoffhaltigen Rohstoffen wie Kohle, Erdöl und Erdgas in den Vordergrund.

Die Studie unterstellt zum einen den Einsatz von Effizienzmaßnahmen und die Erneuerung von Produktionsanlagen, einen Wechsel zu strombasierter Wärme- und Dampfbereitstellung und die forcierte Rückgewinnung von Abwärme. Zum anderen beruht der größte Anteil zusätzlicher CO_2-Einsparungen auf der Herstellung von Ammoniak auf der Grundlage von Wasserstoff, der mit Hilfe von Strom aus erneuerbaren Energien produziert wird, und auf der Herstellung von Methanol, Olefinen und den BTX-Aromaten auf der Grundlage von Wasserstoffen und Kohlendioxid. Dabei wird neben der Nutzung von Kunststoffabfällen als Rohstoff insbesondere eine industrielle Symbiose mit der Stahlindustrie verfolgt, weil dort aus den Abgasen große Mengen an Kohlenmonoxid und Wasserstoff verwertet werden könnten. Allerdings ist diese Strategie, also im Hochofen und Oxygenstahlkonverter anfallendes Kohlenmonoxid (CO) und CO_2 abzuscheiden und zur Herstellung von kohlenstoffhaltigen Grundchemikalien einzusetzen (*Carbon Capture and Utilization*, CCU), nicht unumstritten. So wird nach Einschätzung der Autorin und der Autoren der vom Umweltbundesamt durchgeführten Rescue-Studie durch den weiteren Einsatz des Kohlenstoffs die Emission von fossilem CO_2 nicht vermieden, da der Kohlenstoff lediglich einer weiteren Nutzung zugeführt wird und anschließend als fossiles CO_2 in die Umwelt abgegeben wird. Zudem ist es aufgrund des hohen Energiebedarfs für die Umwandlung von CO_2 energetisch und unter der Zielsetzung des Klimaschutzes effizienter, CO_2-Emissionen aus der Stahlindustrie zu vermeiden, beispielsweise durch gasbasierte Direktreduktionsverfahren mit Wasserstoff, der aus erneuerbarem Strom erzeugt wurde. „Anderenfalls würden sich die Gesamtemissionen an CO_2 durch CCU sogar erhöhen, weil die Erzeugung der benötigten Energie auf absehbare Zeit noch mehr CO_2 verursacht als durch den zusätzlichen Nutzungszyklus des Kohlenstoffs an fossilen CO_2-Emissionen vermieden werden kann“ (UBA 2019).

Die Herausforderungen des in der cefic-Studie unterstellten Strukturwandels werden deutlich, wenn man beispielsweise die Nachfrage nach Strom aus erneuerbaren Energien für die Chemieindustrie betrachtet. Beim ambitionierten Szenario würde in Europa beispielsweise der Strombedarf 140 % der nach einer Vorausschau der Internationalen Energieagentur IEA verfügbaren Energiemenge betragen. Auch die erforderlichen Investitionen wären enorm und lägen zum Teil außerhalb des Einflussbereichs der Chemieindustrie. Schließlich wären auch die Produktionskosten für Ammoniak, Methanol, Olefine und die BTX-Aromaten zwei- bis fünffach höher im Vergleich zu den auf fossilen Rohstoffen basierenden Produkten.

Die hier nur ausschnitthaft dargestellten Ergebnisse der Studie verdeutlichen, wie gravierend und komplex der Strukturwandel im Bereich der Plattformchemikalien wäre. Ferner müssten bei einer Betrachtung insbesondere auch intersektorale Standortfragen mitbehandelt werden (v.a. zur Energieerzeugung und zur Stahlindustrie), da die Energie- und Ressourceneffizienz stark von der sektorenübergreifenden Zusammenarbeit und Schaffung von Synergien abhängt.

Aufbauend auf dieser Studie hat der VCI in einer im September 2019 veröffentlichten Roadmap-Studie untersuchen lassen, mit welchen Maßnahmen und Technologien die Chemie auf dem Weg zur vollständigen Treibhausgasneutralität jeweils wie weit kommen kann und welche Investitionen dafür erforderlich sind. In dieser Studie werden alternative Verfahren für die Herstellung der wichtigsten Basischemikalien einbezogen, die den mit Abstand größten Teil der Emissionen der Chemischen Industrie umfassen, wobei darunter auch die Scope-3-Emissionen fallen. Die Studie betrachtet neben den THG-Emissionen auch die Kosten zur Emissionsvermeidung um festzustellen, wann neue Technologien im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren wirtschaftlich werden. Konkret untersuchte Technologien sind dabei

- die Chlor-Alkali-Elektrolyse,
- die Bereitstellung von Wasserstoff und die Ammoniaksynthese,

- die Harnstoffsynthese,
- die Methanolsynthese,
- die Herstellung von Olefinen und Aromaten sowie
- die Energieerzeugung an den Chemiestandorten.

Der Roadmap liegen einige Annahmen zur zukünftigen Entwicklung zugrunde, die hier nicht eingehend beschrieben werden können. Wesentlich für alle der drei betrachteten Pfade (s.u.) sind die Veränderungen in der Energiewirtschaft durch den Kohleausstieg und den Ausbau erneuerbarer Energien, steigende CO_2-Preise mit bis zu 100 €/t im Jahr 2050, eine konstante Produktionsmenge in der Basischemie und ein leichter Zuwachs in der Spezialchemie sowie die Aufrechterhaltung eines sogenannten *Carbon-Leakage*-Schutzes für den Fall, dass Wettbewerbsregionen keine vergleichbaren Klimaschutzanstrengungen wie die EU und Deutschland unternehmen. Die Szenarien „Referenzpfad“, „Technologiepfad“ und „Pfad Treibhausgasneutralität“ unterscheiden sich deutlich im Ambitionsniveau und den erforderlichen Investitionen, vgl. die nachstehende Tabelle.

Tabelle 10: Untersuchte Pfade in der Roadmap Chemie 2050

Untersuchte Pfade	Wesentliche Annahmen	THG-Emis. im Jahr 2050 ggü. 2020
Referenzpfad (Pfad 1)	Unternehmen produzieren ausschließlich mit heutigen Technologien; gleichbleibende Investitionen in Höhe von 7 Mrd. €/a an zur Erhaltung und Effizienzsteigerung der Anlagen; verstärktes Recycling	27% Reduktion durch Kohleausstieg und Effizienzsteigerung
Technologiepfad (Pfad 2)	Zusätzliche Investition in neue Produktionstechnologien, aber mit technischen und wirtschaftlichen Restriktionen (max. 225 TWh EE-Strom im Jahr 2050 für Chemieindustrie, zusätzliche jährliche Investitionen begrenzt auf 1,5 Mrd. €/a; verstärkte Kreislaufführung durch chem. Recycling	61% Reduktion durch höhere Investitionen in neue Verfahren mit rund vierfachem Strombezug
Pfad Treibhausgasneutralität (Pfad 3)	Keine Restriktionen, vollständiger Ersatz aller Verfahre der Basischemie durch alternative Verfahren	(Nahezu) 100% Reduktion durch maximale Investitionen für altern. Verfahren und elffachem Strombezug

Quelle: Eigene Darstellung auf der Grundlage von Geres et al. (2019)

4.4 Mögliche Entwicklungen der Branche und ihre Folgewirkungen

4.4.1 Rohstoffe Basischemie 2030 und 2050

In der Vergangenheit hat die deutsche Chemische Industrie mit Blick auf ihre Rohstoffbasis bereits mehrfach einen Strukturwandel bewältigt: Einerseits den Umbau einer kohlebasierten Industrie hin zu einer mineralöl-basierten Produktion in den 50er und 60er Jahren und, nach der Wiedervereinigung, nochmal der Ausstieg aus der Nutzung von Braunkohle als Energieträger und Rohstoff in Ostdeutschland, vergleiche Abbildung 7.

In der Abbildung ist auch der Verbrauch von Rohbenzin (Naphtha) eingezeichnet, welches als Hauptrohstoff (nicht-energetisch) in der Chemie eingesetzt wird.

Abbildung 7: Energieträger der deutschen Chemischen Industrie

Quelle: eigene Darstellung (Fraunhofer ISI), auf Basis von Daten der Arge Energiebilanzen 1950-2017

Die im Kapitel 4.1 dargestellten Studien zur Basischemie untersuchen unterschiedliche Szenarien und Pfade, aus denen sich die Rohstoffe für die Jahre 2030 und 2050 ergeben.

Bei der VCI/Prognos Studie wird davon ausgegangen, dass fossile Rohstoffe – darunter vor allem Naphtha – noch bis 2030 der wichtigste Ausgangsstoff für die Branche bleibt und der Anteil nachwachsender Rohstoffe von derzeit 13 auf 18,5 % (2030) steigt (VCI 2017).

In der Technologiestudie "*Low carbon energy and feedstock for the European chemical industry*" wird eine erhebliche Menge an CO_2-freien Strom für die Synthese von Wasserstoff für *PtX-Feedstocks*[19] benötigt (Bazzanella & Ausfelder 2017). Die Nachfrage für die chemische Produktion in Europa liegt im Jahr 2050 zwischen 960 TWh im „*intermediate scenario*", bei 1.900 TWh im „*ambient scenario*" bis zu 4.900 TWh im „*maximum scenario*". Verknüpft mit der Feedstock-Produktion ist auch eine Menge von 50 (Interim) bis 300 Mt (maximal) CO_2 als Feedstock notwendig.

In der Roadmap Chemie 2050 haben die DECHEMA und die FutureCamp Climate GmbH untersucht, auf welchem Wege eine klimaneutrale Chemie in Deutschland bis zum Jahre 2050 möglich ist (Geres et al. 2019). Diese Studie betrachtet nicht nur die THG-Emissionen, die direkt oder indirekt bei der Produktion entstehen, sondern darüber hinaus auch die Emissionen aus der Nutzung oder Verbrennung darauf basierender chemischer Produkte. Damit wird auch der Bereich des sogenannten „Nicht-energetischen Verbrauchs" berücksichtigt. Damit erhöhen sich die Gesamtemissionen der Chemischen Industrie deutlich gegenüber den vorigen genannten Studien.

[19] Mit dem Begriff „*PtX-Feedstocks*" werden grüner Wasserstoff und nachhaltige strombasierte Brenn-, Kraft- und Grundstoffe zusammengefasst, vgl. https://www.bmu.de/themen/klima-energie/klimaschutz/wasserstoff-und-power-to-x/gruener-wasserstoff-und-ptx/

Zur Erreichung einer Klimaneutralität der Chemie müssen sich auch die eingesetzten Rohstoffe vollständig ändern, vergleiche Abbildung 8. Im Referenzszenario, in dem durch Energieeffizienzmaßnahmen und vor allem durch die Erhöhung erneuerbaren Stroms im öffentlichen Stromnetz, schon 27 % CO_2 gespart werden kann, dominieren weiter fossile Rohstoffe. Im Pfad Treibhausgasneutralität sind fossile Rohstoffe fast verschwunden (bis auf einen kleinen Rest zur Methanpyrolyse); die dominierende Quelle für Kohlenstoff ist CO_2. Weitere Kohlenstoffquellen sind Biomasse und Kunststoffabfälle, siehe auch Kapitel 4.2.2.

Abbildung 8: Rohstoffe für die deutsche Chemische Industrie im Jahr 2050 nach der Studie Roadmap Chemie 2050 (C-Gehalt)

Quelle: Geres et al. 2019

Auf dem im Rahmen des Projekts durchgeführten Fachworkshop wurde eingehend die Frage diskutiert, wo und wie der *Feedstock* auf Basis von CO_2 in den benötigten Mengen gewonnen werden kann. Ein Diskussionspunkt war dabei, inwieweit die Annahme der Versorgbarkeit der Chemie-Standorte haltbar ist, da dies einen immensen EE-Ausbau und Ausbau der Stromnetze erforderlich macht. Es wurde seitens der Industrievertreter*innen betont, dass dezentrale Wasserstofferzeugung auf Grund der hohen erforderlichen Leistungen der Elektrolyseanlagen im Gigawatt-Bereich keinen Sinn mache.

Es wurde auch diskutiert, Schwellenländer zu unterstützen, CO_2-frei-Wasserstoff oder C_1-Produkte zu produzieren, was zu ihrer wirtschaftlichen und sozialen Entwicklung beitragen könnte. Einigkeit bestand darin, dass es in diesem Sinne nicht nur darum gehen kann, die Wasser- und Stromversorgung der Elektrolyseure in diesen Ländern sicher zu stellen, sondern gleichzeitig die Versorgung der Bevölkerung zu gewährleisten sowie wirtschaftliche Infrastrukturen zum Bau, Unterhalt und Wartung der Anlagen einzurichten, damit dauerhaft „*win-win*“ Situationen entstehen können.

4.4.2 Übergangszeit bis zur klimaneutralen Chemischen Industrie

Während man sich in den verschiedenen Studien bei den nötigen Technologien für eine klimaneutrale Chemische Industrie im Jahr 2050 kaum unterscheidet, gibt es durchaus unterschiedliche Auffassungen, was zu tun ist, bis dieser Endpunkt erreicht ist. So gibt es derzeit z. B. Punktquellen bei Kohlekraftwerken oder in der Stahlindustrie, die große Mengen an CO_2 zur Verfügung stellen können, die dann weiter zu *Feedstocks* umgesetzt werden können. Auch fallen immer noch Mengen an Wasserstoff an, die thermisch genutzt werden. Während man einerseits diese „*low hanging fruits*“ heute schon nutzen könnte, um CO_2-Emissionen „sofort“ zu reduzieren, gibt es andererseits die Befürchtung, dass dadurch der Status quo konserviert und eine Pfadabhängigkeit geschaffen wird. Zudem führt die Verwendung von fossilem Kohlenstoff, der in industriellen Produktionsprozessen freigesetzt wird, unabhängig von der Anzahl der

Mehrfachnutzung (CCU), generell zu einer Erhöhung der anthropogen verursachten CO_2-Konzentration in der Atmosphäre, siehe Abschnitt 4.3.2 sowie eingehend UBA (2019).

Einig ist man sich dabei, dass notwendige Technologien wie z. B. der elektrisch beheizte Cracker[20] möglichst rasch auf Reifegrad TRL 9[21] (EC 2014) gebracht werden müssen, um dann sobald möglich im großtechnischen Maßstab in Pilotanlagen eingesetzt werden zu können.

Es stellt sich gesamtgesellschaftlich auch die Frage, in welcher Reihenfolge wo auf CO_2-freie Verfahren umgestellt wird. Dazu müssten Merit-Order-Überlegungen angestellt werden, wo knapper grüner Wasserstoff als erstes eingesetzt werden sollte und dabei am meisten CO_2 bei geringen Kosten eingespart wird. Um diese Diskussion branchenweit zu führen, will der VCI eine Plattform ins Leben rufen, in deren Rahmen die Umsetzung der Roadmap zum Gesamtbild mit Meilensteinen und Entscheidungsfenstern erfolgt. Geplante Themen sind u. a. (1) gesellschaftliche Akzeptanz, (2) tatsächliche Möglichkeiten der Stromerzeugung und (3) erforderliche / passende Instrumente.

Die Notwendigkeit einer gut austarierten Roadmap ergibt sich auch dadurch, dass die tatsächlich verursachten Treibhausgasemissionen von PtX-Techniken stark zeitabhängig sind, erstens vom Zeithorizont im Transformationsprozess und dem Zubau mit EE-Strom, zweitens aber auch vom unmittelbaren Nutzungszeitpunkt. Wenn beispielsweise bei der Wasserstoffbereitstellung das herkömmliche Dampfreformierung-Verfahren durch strombasierte Elektrolyse ersetzt wird, ergibt sich erst ab einem CO_2-Gehalt im Bezugsstrom von etwa 180 g CO_2e/kWh eine Treibhausgasminderungswirkung (UBA 2019). Vor diesem Hintergrund müsste die Roadmap so ausgestaltet werden, dass effiziente Techniken mit hohem Substitutionspotential bevorzugt und im Laufe des Transformationsprozesses frühzeitiger in die Stromversorgung integriert werden (UBA 2016).

4.4.3 Resultierende Chancen und Risiken

In der nachstehenden Übersicht werden die Chancen und Risiken einer geänderten Rohstoffversorgung für die Basischemie in Deutschland auf der Grundlage der ausgewerteten Literatur, der Gespräche mit Expertinnen und Experten und des durchgeführten Fachworkshops zusammenfassend skizziert. Deutlich wird, dass dabei auch Aspekte eine Rolle spielen, die über die Treibhausgasneutralität der Chemischen Industrie und ihrer Produkte hinausgehen.

Tabelle 11: Chancen und Risiken einer geänderten, klimaneutralen Rohstoffversorgung für die Basischemie in Deutschland (DE)

Chancen	Risiken
Chemie investiert in CO_2-freie Verfahren wegen guter Rahmenbedingungen in DE	DE hebt nicht die Potentiale seiner regenerativen Energiequellen, dadurch „Erneuerbaren-*Leakage*“: Industrie wandert aus DE in Länder ab, die CO_2-armen/freien Strom haben
Es gelingt, eine „*Circular Economy*“ mit CO_2 Kreisläufen in Einklang zu bringen, wodurch sich CO_2 Emissionen und Abfallmengen reduzieren	Offene Kreisläufe führen aufgrund der sukzessiven Zersetzung von Polymeren in der Anthroposphäre zu

[20] Unter „Cracken“ werden in Erdölraffinerien Prozesse bezeichnet, mit deren Hilfe schwersiedende Erdölbestandteile in leichter siedende Produkte umgewandelt werden. Zur Konversion werden Thermocracker, Katcracker und Hydrocracker eingesetzt (vgl. ausführlich Weissermel und Arpe (1998)).

[21] TRL steht für “*Technology readiness levels*”. Der Begriff stammt ursprünglich aus der Weltraumfahrt, der Reifegrad von Technologien wird auf einer Skala von neun Stufen beschrieben – von TRL 1 (*basic principles observed*) bis hin zu TRL 9 (*actual system proven in operational environment (competitive manufacturing in the case of key enabling technologies; or in space*).

	tendenziell steigenden Emissionen an Mikroplastik und Erhöhung der Verbrennungsmengen
Schwellenländer werden durch DE ertüchtigt, CO_2-frei-Wasserstoff oder C_1-Produkte zu produzieren, was zu ihrer (wirtschaftlichen & sozialen) Entwicklung beiträgt und sie zu zuverlässigen Exporteuren dieser Rohstoffe nach DE macht. In DE können die vorhandenen Verbundstandorte ohne große Transformationen weiter produzieren und ihre Marktnähe sowie ökologischen und ökonomischen Vorteile nutzen.	Schwellenländer mit CO_2-freiem Wasserstoff produzieren vermehrt Chemikalien und Spezialprodukte entlang der Wertschöpfungskette und konkurrieren um den Markt in DE. Es entstehen „kleine Chemievalley“ um diese Produktionsstandorte außerhalb Deutschlands.
Hebel Ausbau öffentliches Stromnetz und verstärkte Nutzung von regenerativem Strom wird genutzt, um weit vor 2038 CO_2-frei zu werden. Führt auch zu schneller verringerten Emissionen der Chemieindustrie mit hohem Stromverbrauch aus dem Öffentlichen Netz (z. B. bei der Chlor-Alkali-Elektrolyse)	Öffentlicher Strom wird kaum CO_2-freier, daher erfolgt Chemie-Produktion in DE mit erheblichen CO_2-Fußabdruck, unabhängig von getroffenen weitergehenden Maßnahmen zur CO_2-Reduktion der Chemischen Industrie. Erzeugt Wettbewerbsnachteile in DE
Entwicklung neuer CO_2-freier Technologien wird forciert, so dass DE Technologieführerschaft gewinnt	Keine Impulse für Chemieindustrie und Anlagenbau
Schneller Umstieg auf PtX: Investitionen in Gigawatt H_2-Anlagen werden von Staat und Gesellschaft unterstützt	Unklare Rahmenbedingungen führen zum Abwandern der Basischemie mit negativen Folgewirkungen auch auf Spezialchemie durch geringere Rohstoffeffizienz und resultierend höhere Kosten

Quelle: eigene Darstellung

4.4.4 Aspekte der Sektor-Integration und der Nachhaltigkeit

In den vorangegangenen Abschnitten wurde deutlich, dass Pfade zur Defossilierung der Rohstoffbasis der Chemischen Industrie mit einem sehr hohen Bedarf an Strom verbunden sind. In diesem Zusammenhang muss berücksichtigt werden, dass der gesamte Bedarf an strombasierten Rohstoffen und die dafür erforderliche EE-Erzeugung zusätzlich auch von weiteren Sektoren der Grundstoffindustrie (hier insbesondere Stahl und Zement) und von anderen Sektoren und den dort anstehenden weiteren Entwicklungen mitbestimmt wird, vgl. eingehend die Studie von Heinemann und Kasten (2019):

- Verkehrssektor: Im Verkehrssektor ist der zukünftige Bedarf an (strombasierten) Kraftstoffen im Wesentlichen davon abhängig, wie ambitioniert das Klimaschutzszenario ist (80 % oder 95 % Minderung der THG-Emissionen gegenüber 1990), wie sich der Grad der direkten Elektrifizierung des Straßenverkehrs und wie sich die Verkehrsnachfrage entwickeln. Beim Bedarf kommt insbesondere der Zusammenhang zum Tragen, dass die unterschiedlichen Antriebs- und Energieträgeroptionen deutlich unterschiedliche spezifische Strombedarfe aufweisen. Dabei sind batterieelektrische Antriebe im Vergleich zu verbrennungsmotorischen und mit Brennstoffzellen ausgestatteten Fahrzeugen erheblich effizienter, und die Ladung der Fahrzeuge mit Strom ist mit wesentlich geringeren energetischen Verlusten als die Umwandlung und der Transport strombasierter Kraftstoffe verbunden. Bei einer angenommenen Minderung der THG-Emissionen im Verkehrssektor um 95 % weist der Bedarf an strombasierten Kraftstoffen im Verkehrssektor im Jahr 2050 eine Bandbreite zwischen rund 100 bis 380 TWh auf, wobei sich der untere Wert auf ein

Klimaschutzszenario bezieht, das starke Maßnahmen zur Verkehrsvermeidung und -verlagerung annimmt (Heinemann & Kasten 2019).

- Gebäudesektor: Unter der Zielsetzung eines (nahezu) klimaneutralen Gebäudesektors im Jahr 2050 sehen langfristige Klimaschutzszenarien für die Gebäudewärme (Raumwärme- und Warmwasserbedarf der Wohn- und Nichtwohngebäude) auch den Einsatz strombasierter Brennstoffe vor, darunter insbesondere die Szenarien, die auf den oberen Rand des Minderungskorridors (THG minus 95 %) abzielen. Die Strombedarfe in den Szenarien reichen dabei von 6 TWh bis hin zu rund 210 TWh, wobei die große Bandbreite sich unter anderem aus unterschiedlichen Annahmen zur Verfügbarkeit von PtX-Importen, der Rolle der Biomasse im Wärmesektor und dem Restwärmebedarf im Jahr 2050 erklärt (ebd.).
- Stromsektor: Aufgrund von so genannten „Dunkel-Flauten", das sind längere Phasen mit geringer Erzeugung aus Wind und PV, entsteht im Stromsystem ein Langzeitspeicherbedarf, wobei der Bedarf für diese Art von Speicher in Szenarienanalysen ab einem EE-Anteil an der Stromerzeugung von ca. 80 % auftritt. In Abhängigkeit vom Wetterjahr und dem Einsatz von anderen Flexibilitätsoptionen (Kurzzeitspeicher und europäischer Stromaustausch) müssen ca. 10 bis 40 TWh Strom pro Jahr aus Langzeitspeichern zur Deckung der Nachfrage bereitgestellt werden (Heinemann & Kasten 2019).

In der Gesamtschau gelangen Heinemann und Kasten (2019) zu dem Ergebnis, dass die wirtschaftliche und mengenmäßig relevante Erzeugung von strombasierten Stoffen allein auf Basis von netzbedingter, überschüssiger EE-Erzeugung in Deutschland nicht möglich sein wird. Daher muss die zusätzliche Stromnachfrage durch zusätzlich erzeugten erneuerbaren Strom abgedeckt werden, d. h. es muss sich um Strom handeln, der ohne die Herstellung von strombasierten Stoffen nicht erzeugt worden wäre. Hierzu gehört, dass die Ausbauziele für die Erzeugung von EE-Strom angehoben werden müssen. Insgesamt übersteigt der prognostizierte Strombedarf für die Produktion von strombasierten Stoffen und für direkt-elektrische Anwendungen in ambitionierten Klimaschutzszenarien im Jahr 2050 die Potenziale für die erneuerbare Stromerzeugung in Deutschland. Somit werden Importe von strombasierten Stoffen aus dem Ausland wahrscheinlich. Dabei sollte die Produktion von strombasierten Stoffen im Ausland im Einklang mit der Umstellung des lokalen Stromsystems auf erneuerbare Quellen realisiert werden. Konkret bedeutet das, dass beim Import von strombasierten Stoffen aus weltweiten Gunstregionen vor allem die Frage nach der Wirkung auf das exportierende Land und dessen Energie- und Wirtschaftssystem zu stellen ist. Unter Gunststandorten werden dabei Regionen verstanden, die geringe Stromgestehungskosten aus PV oder Wind und eine hohe Flächenverfügbarkeit aufweisen. Auch in diesen Ländern gelten grundsätzlich dieselben Überlegungen zur Wirkung auf das jeweilige Stromsystem, wie sie mit dem Schwerpunkt auf Deutschland geführt werden. Das bedeutet, dass zusätzlich zu den auf das Energiesystem bezogenen Aspekten (EE-Überschüsse, Flexibilität, Netzintegration) auch nachhaltigkeitsbezogene Aspekte berücksichtigt werden müssen, wobei der Bezug von CO_2 aus der Umgebungsluft oder aus Punktquellen (vgl. ausführlicher Abschnitt 4.6.3) sowie die Inanspruchnahme von Flächen und Frischwasser besonders relevante Aspekte darstellen.

4.5 Zwischenfazit

Die deutsche Chemische Industrie und dabei insbesondere die Basischemie ist einem ausgesprochenem Veränderungsdruck ausgesetzt, der sich zusammenfassend auf folgende Entwicklungen und Anforderungen zurückführen lässt:

- Das mittelfristige Wachstumspotenzial der Basischemie in Deutschland wird (im Gegensatz zur Spezial- und Pharmachemie) als gering eigeschätzt. Dies wird von Branchenvertretern vor allem auf die im internationalen Vergleich hohen Energie- und Rohstoffkosten zurückgeführt. Produktionskostenvorteile haben in den letzten zehn bis 15 Jahren in den USA sowie im Nahen Osten nicht nur in der Öl- und Gaswirtschaft einen Investitionsboom ausgelöst, sondern auch zu einem kräftigen Ausbau der Produktionskapazitäten für energieintensive Basischemikalien geführt. Dabei übersteigt die Produktion in diesen rohstoffreichen Ländern die Inlandsnachfrage und bedient zunehmend die Weltmärkte, was für die deutsche Basischemie eine geringere Exportdynamik, zunehmenden Importdruck und insgesamt niedrigeres Wachstum nach sich zieht. In diesem Zusammenhang weist eine vom Branchenverband VCI durchgeführte Szenarioanalyse darauf hin, dass auch in einem investitionsfreundlichen Umfeld die Basischemie in Deutschland allenfalls stabilisiert wird, der Importdruck aus Ländern mit günstigerem Zugang zu den Rohstoffen und geringeren Energiepreisen bestehen bleibt und die Basischemie überwiegend für den Heimatmarkt produziert. Umgekehrt würden sich die Auswirkungen eines verschlechterten industriepolitischen Umfelds nicht allein auf die von Rohstoff- und Energiepreisen besonders abhängige Basischemie beschränken. Bei einem solchen Risikoszenario würden Produktionsrückgänge bis hin zu Lieferengpässen bei Grundchemikalien auch die Spezialchemie dämpfen. Zusätzlich wird das Risiko gesehen, dass der bestehende Vorteil durch Verbundproduktion und Chemieparks verloren gehen, was sich über die Chemiebranche hinausgehend durch unterbrochene Wertschöpfungsketten auf eine Schwächung des deutschen Industrieverbunds insgesamt negativ auswirken könnte.

- Die zweite große Herausforderung resultiert aus den Anforderungen zur nahezu vollständigen Reduktion von Treibhausgasen gemäß den Verpflichtungen aus dem Pariser Klimaabkommen. Als energie- und rohstoffintensiver Sektor ist die Chemische Industrie besonders betroffen, weil die heute eingesetzten fossilen Energieträger nicht nur energetisch, sondern auch stofflich genutzt werden. Dies sind allen voran Mineralölprodukte (darunter insbesondere Rohbenzin/Naphtha), aber auch Erdgas, während Kohle nur in geringem Umfang genutzt wird. In der Chemischen Industrie sind fossile Energieträger als kohlenwasserstoffhaltige Rohstoffe die Grundlage für viele Produkte und Prozesse, die Ausgangsbasis wichtiger industrieller Wertschöpfungsketten bilden.

Der mit der Anforderung der Treibhausgasneutralität erforderliche Wechsel in der Rohstoffbasis ist zum einen technologisch eine überaus große Herausforderung, da einige der erforderlichen Verfahren noch nicht im großtechnischen Maßstab verfügbar und erprobt sind. Erschwerend wirken darüber hinaus die vielfältigen Wechselbeziehungen, sowohl innerhalb des Sektors als auch sektorübergreifend. Zwar gab es historisch gesehen in der Chemischen Industrie auch in der Vergangenheit ähnlich tiefgreifende Änderungen in der Rohstoffbasis – zu nennen ist hier der Wechsel von Kohle hin zu Erdöl und Erdgas. Der nun erforderliche Strukturwandel trifft allerdings im Unterschied zu vergangenen Wandelprozessen in eine Phase der Stagnation der Basischemie, während historisch der Wandel in eine Phase großen wirtschaftlichen Wachstums fiel, wodurch Entscheidungen über hohe Investitionsausgaben leichter getroffen werden konnten. Dieser Aspekt muss mit Blick auf die Gestaltung des Wandels besonders berücksichtigt werden.

4.6 Strategie- und Handlungsempfehlungen zur Unterstützung des Strukturwandels

4.6.1 Überblick

Eine eingehende Diskussion, mit welchen Politikinstrumenten ein Strukturwandel der Basischemie im Sinne einer Green Economy gestaltet werden könnte, steht bislang noch aus. VCI und DECHEMA (Geres et al. 2019) benennen politische Voraussetzungen, um die erforderlichen neuen Verfahren schneller verfügbar zu machen; dazu gehören

- die Verfügbarkeit von bezahlbarem erneuerbarem Strom;
- die Förderung neuer Technologien und
- politische Rahmenbedingungen, u. a. mit Befreiung von Abgaben sowie internationale Klimaschutzvereinbarungen, die für die Industrie vergleichbare Wettbewerbsbedingungen schafft und bestehende *Carbon-Leakage*-Maßnahmen erhält und verbessert.

Die von der Agora Energiewende und dem Wuppertal Institut vorgelegte Studie „Klimaneutrale Industrie 2050“ geht hier weiter und konkretisiert einige Politikinstrumente. Ausgangspunkt ist dabei die Überlegung, dass in diesen Bereichen anstehende Investitionsentscheidungen schon heute so getroffen werden müssen, dass sie „klimasicher“ sind, um Fehlinvestitionen zu vermeiden. Es wird davon ausgegangen, dass die Technologien für eine klimaneutrale Produktion schon weit entwickelt sind, aber der großtechnische Einsatz bislang an fehlenden politischen Rahmenbedingungen scheitert. Das vorgeschlagene Sofortprogramm soll die deutsche Industrie zum Vorreiter bei grünem Wasserstoff, Elektrifizierung und der Vermeidung von Prozessemissionen machen (Agora Energiewende & Wuppertal Institut 2019).

Die folgenden Strategie- und Handlungsempfehlungen greifen im Grundsatz die in den Studien entwickelten Vorschläge auf, erweitern jedoch den Blick auf der Grundlage der eingangs beschriebenen Ausgangslage, der Trends und Szenarien zu möglichen zukünftigen Entwicklungen und beziehen auch die Ergebnisse aus den Gesprächen mit Expertinnen und Experten und dem durchgeführten Fachworkshop mit ein.

4.6.2 Entwicklung einer sektorübergreifenden und integrierten Roadmap zur Grundstoffindustrie in Deutschland

Als wesentliche Voraussetzung zur Gestaltung des Strukturwandels in der Basischemie ist die Entwicklung einer Roadmap für eine klimaneutrale Zukunft der gesamten Grundstoffindustrie in Deutschland erforderlich. Bei dieser Roadmap müssten zudem über Klimaschutzaspekte hinausgehend auch andere Nachhaltigkeitsaspekte integriert betrachtet und verhandelt werden, um ökologische Problemverlagerungen und die Gefahr von Fehlinvestitionen zu vermeiden. Der Gedanke einer solchen Roadmap schließt auch an Überlegungen an, die von Expertinnen und Experten im Rahmen der Fachgespräche geäußert wurden. Mit entsprechender Ausgestaltung dieser Roadmap könnte auch die Diskussion zu Politikinstrumenten zur Gestaltung des Strukturwandels auf eine breite gesellschaftliche Basis gestellt werden.

In Abschnitt 4.4.4 wurde dargestellt, dass strombasierte (Roh-)Stoffe nicht nur in der Chemischen Industrie, sondern in mehreren weiteren Sektoren für ambitionierte Klimaschutzszenarien eine wichtige Rolle spielen und der gesamte prognostizierte Strombedarf für die Produktion von strombasierten Stoffen und für direkt-elektrische Anwendungen die Potenziale für die erneuerbare Stromerzeugung in Deutschland deutlich übersteigt. Damit ist ein

erfolgreicher Strukturwandel in Deutschland auch untrennbar an eine langfristig angelegte internationale Kooperation mit Ländern geknüpft, in denen bessere Bedingungen zur Erzeugung erneuerbarer Energien bzw. von strombasierten Rohstoffen bestehen. Vor diesem Hintergrund müssten für die Roadmap zur Grundstoffindustrie in Deutschland in sektorübergreifenden und transnational angelegten Diskussionen mögliche Entwicklungsziele gemeinsam verhandelt und in einem mittel- bis langfristig ausgerichteten Maßnahmenpaket verbindlich vereinbart werden. Die Diskussionen sollten grundsätzlich breit angelegt werden und neben den klassischen Sozialpartnern (Arbeitgeber und Gewerkschaften) auch zivilgesellschaftliche Akteure aus den Bereichen Umwelt und Entwicklungszusammenarbeit umfassen.

Trotz des sektorübergreifenden Ansatzes gibt es für die Entwicklung der Roadmap aber auch Fragestellungen, die spezifisch die Gegebenheiten der Basischemie betreffen und entsprechend in fokussiert angelegten Diskussionen weiterentwickelt und geklärt werden müssen:

- Wie kann der Bedarf an strombasierten Rohstoffen durch engere Kreislaufführung im Sinne einer integrierten Stoffstrompolitik mittel- bis langfristig verringert werden?
- Welche besonderen Herausforderungen, aber möglicherweise auch Chancen ergeben sich mit Blick auf eine Sektorintegration durch die stark ausgeprägte räumliche Konzentrierung der Chemischen Industrie (vgl. Abschnitt 4.2.2)?
- Wo liegen unter Berücksichtigung eines fairen, internationalen Interessensausgleichs und unter Einbezug von bestehenden und geplanten Infrastrukturen für Transport und Speicherung die optimalen energetischen und stofflichen „Schnittstellen“ zwischen einer Chemischen Industrie (mit Basis- und Spezialchemie) in Deutschland und EE-Gunstregionen? Wo liegen Zielkonflikte beispielsweise zwischen Klimaschutz und anderen ökologischen Zielsetzungen, zwischen Klimaschutz, Sicherheitspolitik und Entwicklungszusammenarbeit und wie können diese Zielkonflikte angegangen, verhandelt und mit Richtungs- und Investitionssicherheit entschieden werden?
- Könnte es angesichts auch jetzt schon stattfindender Entwicklungstendenzen Sinn machen, Teile der Basischemie aus Deutschland in Gunstregionen zu verlagern? Wie wäre diese Verlagerung im Spannungsfeld von Standortfragen und Beschäftigungssicherung einerseits und langfristig angelegter Wettbewerbsfähigkeit andererseits sowie aus Nachhaltigkeitssicht zu bewerten?
- Wie können zur Behandlung und Gestaltung dieser Fragen die ressortübergreifenden Abstimmungen zwischen Wirtschafts-, Umwelt- und Außenpolitik sowie wirtschaftlicher Zusammenarbeit erfolgen und langfristig angelegte, kohärente Politikstrategien entwickelt werden?

4.6.3 Erforderliche Rahmenbedingungen zur Gestaltung des Strukturwandels

Sowohl in der ausgewerteten Literatur als auch in den durchgeführten Fachgesprächen wurde auf die Relevanz der Rahmenbedingungen hingewiesen, um in einem einschätzbaren und fairen Umfeld den Unternehmen die Voraussetzung zu geben, langfristig angelegte Investitionen in den erforderlichen Umbau bzw. Neubau von Produktionsanlagen zu tätigen. In diesem Zusammenhang wurden konkret folgende Aspekte benannt:

- Günstige und im internationalen Wettbewerb konkurrenzfähige Energiekosten
- EE-Ausbau samt Infrastrukturen für Strom, Wasserstoff und ggf. weitere Zwischenprodukte

- Überarbeitung der EU-Beihilferichtlinien zur Technologieförderung.

Neben diesen einheitlich getragenen Positionen bestehen mit Blick auf die Rahmenbedingungen aber auch offene bzw. strittige Fragestellungen, die im Zusammenhang mit der oben vorgeschlagenen Roadmap verhandelt und geklärt werden müssten:

- VCI und DECHEMA weisen in ihrer Roadmap darauf hin, dass die Installation verfügbarer strombasierter Alternativen zeitlich vorgezogen werden könnte, selbst wenn diese aufgrund des Strommixes noch keine Netto-Minderungen an THG-Emissionen zur Folge haben. Dies könnte trotz der damit verbundenen höheren strombedingten Emissionen sinnvoll sein, da die Technologien dann zu dem Zeitpunkt, ab dem sich aufgrund des Emissionsfaktors im Strommix eine Netto-Minderung ergibt, bereits in größerem Umfang installiert sind und dadurch die Marktdurchdringung und damit verbundene starke Emissionsreduktion beschleunigt werden. Über den gesamten Zeitraum würden die kumulierten Emissionen geringer ausfallen. Damit dies eintritt, müssten aber die Ausbauziele an EE im Stromnetz gesichert erreicht werden, was angesichts der aktuellen Situation auch in Frage gestellt werden kann (Geres et al. 2019).
- Der Energieaufwand zur Gewinnung von CO_2 aus der Umgebungsluft ist deutlich höher als die Abtrennung aus fossilen Punktquellen. Demgegenüber steht die Überlegung, dass CO_2 aus der Umgebungsluft und aus Prozessen, in denen nachhaltige Biomasse zum Einsatz kommt, mittel- bis langfristig die einzigen Kohlenstoffquellen sind, die zu einem treibhausgasneutralen CO_2-Kreislauf mit der Umgebungsluft bei der Nutzung strombasierter, kohlenwasserstoffhaltiger Stoffe führen können (Heinemann & Kasten 2019). Es wird befürchtet, dass die Nutzung von CO_2 aus fossilen Punktquellen den Anreiz für Industrieanlagen verringert, den CO_2-Ausstoß im für den Klimaschutz notwendigen Maßstab zu reduzieren, solange die Produktion strombasierter Stoffe CO_2 benötigt. Dadurch könnten sich die notwendigen Veränderungen in diesen Industrieprozessen für eine THG-Minderung zeitlich nach hinten schieben bzw. sich Pfadabhängigkeiten verfestigen (ebd.). Zudem können sich die Gesamtemissionen an CO_2 durch CCU sogar erhöhen, wenn die Erzeugung der benötigten Energie noch mehr CO_2 verursacht als durch den zusätzlichen Nutzungszyklus des Kohlenstoffs an fossilen CO_2-Emissionen vermieden werden kann, siehe Abschnitt 4.3.2 sowie UBA (2019).
- Generell muss die Effizienz des Gesamtsystems aus Stromerzeugung, PtX-Erzeugung und der Einsatz in der Chemischen Industrie berücksichtigt werden. Um Umwandlungsverluste und damit den erheblichen Strombedarf für die Rohstoffbereitstellung zu begrenzen, ist eine schrittweise Umstellung der Prozessketten in der Chemischen Industrie je nach Produkt zu überlegen. Es besteht jedoch noch Forschungsbedarf, welche Prozesse sinnvollerweise auf welche PtX-Produkte umgestellt werden können, um eine effiziente Transformation der Chemieindustrie zu ermöglichen (UBA 2019).

4.6.4 Nähere Prüfung und Auswahl konkreter Politikinstrumente

Zur Gestaltung des Strukturwandels entlang der vorgeschlagenen Roadmap und zum Erreichen der förderlichen Rahmenbedingungen müssen die möglichen Politikinstrumente näher geprüft und bewertet werden. In diesem Zusammenhang wurden in der o.a. Studie von Agora Energiewende und Wuppertal Institut klassische ökonomische Instrumente zur Bepreisung von CO_2, Förderinstrumente, Instrumente zur Schaffung sicherer Absatzmärkte für grüne Produkte sowie ordnungsrechtliche Optionen analysiert; im Einzelnen:

- CO_2-Mindestpreis mit Grenzausgleichsregime

- *Carbon Contract for Difference* (CfD)
- Grüne Finanzierungsinstrumente
- Klima-Umlage auf Endprodukte
- CO_2-Preis auf Endprodukte
- Nachhaltige öffentliche Beschaffung
- Quote für CO_2-arme Materialien
- Quote für grünen Wasserstoff
- Änderungen von Bau- und Produktnormen
- Standards für recycelbare Produkte.

In einer Zusammenschau und Bewertung dieser Instrumente empfehlen die Autor*innen als Option 1 einen hohen CO_2-Preis im EU-ETS gekoppelt mit einem Grenzausgleichsregime. Diese Option wird auch von den Autoren der VCI / DECHEMA Roadmap grundsätzlich erwogen: „Wenn es gelänge, fossile Rohstoffe über eine CO_2-Bepreisung zu verteuern, ohne dass dies Auswirkungen auf die Wettbewerbsfähigkeit des Standorts Deutschland hat, kann dies zur Wirtschaftlichkeit alternativer Technologien beitragen. Weil dieser Ansatz aufgrund der *Carbon Leakage* Gefahr schwer umzusetzen ist und schon allein auf Grund des starken Bezugs zu schwierigen Handelsfragen auf europäischer Ebene [schwer][22] zu verfolgen ist, könnten stattdessen auch alternative Rohstoffe gezielt verbilligt werden“ (Geres et al. 2019). Die Autor*innen der Studie von Agora Energiewende und Wuppertal Institut konstatieren ebenfalls, dass bei der Option der CO_2-Bepreisung eine akkurate Berechnung des Grenzausgleichs erforderlich ist und sich dabei eine Reihe schwieriger methodischer Fragen stellt. Aus diesem Grund wird zusätzlich mit Option 2 ein Policy-Mix vorgeschlagen, der verschiedene Instrumente kombiniert und jeweils auf den unterschiedlichen wirtschaftlich-technologischen Ebenen der Wertschöpfungskette ansetzt, vgl. die folgende Abbildung.

[22] Ergänzung durch die Autoren, Auslassung in der zitierten Quelle.

Abbildung 9: Mix an Politikinstrumenten auf den unterschiedlichen wirtschaftlich-technologischen Ebenen der Wertschöpfungskette

Quelle: Agora Energiewende 2019

Bei den durchgeführten Fachgesprächen wurde die Wirksamkeit der einzelnen Politikinstrumente unterschiedlich bewertet. Hingewiesen wurde auf die Notwendigkeit, eine Kohärenz der einzelnen Politikinstrumente sicher zu stellen. In dieser Hinsicht ist die hier vorgeschlagene Verständigung auf eine breit aufgestellte Roadmap und förderliche Rahmenbedingungen eine wichtige Voraussetzung, um die notwendige Detaillierung der Politikinstrumente vornehmen zu können.

5 Fallstudie neues Geschäftsfeld: Second-Life von Batteriespeichern aus der Elektromobilität für den stationären Einsatz

Autor: Martin Gsell (Öko-Institut) unter Mitarbeit von Frank Marscheider-Weidemann (Fraunhofer ISI)

5.1 Einführung und Eingrenzung der Fallstudie

Bei der zwingend notwendigen Transformation der Mobilität wird die Elektromobilität einen zentralen Stellenwert einnehmen (siehe dazu insbesondere die Automobilfallstudie in Kapitel 3). Von in naher Zukunft getroffenen Entscheidungen und Entwicklungen im Verkehrsbereich wird es maßgeblich abhängen, ob die Klimaziele insgesamt eingehalten werden können, da der Verkehrsbereich derzeit verantwortlich ist für 19 % der energiebedingten Treibhausgasemissionen in Deutschland (BMU 2020). Dazu kommen lokal wirksame Luftschadstoffemissionen durch Verbrennungsmotoren und der hohe Verbrauch an endlichen fossilen Ressourcen.

In der aktuellen Debatte um die politische Förderung zukunftsfähiger und nachhaltiger Technologien für die Verkehrswende wird eine politische Vorfestlegung bei der Wahl künftiger Technologien kritisiert und dem ein marktwirtschaftlicher Wettbewerbsprozess entgegengestellt. Die Agora Verkehrswende stellt klar, dass mit dem Begriff der Technologieoffenheit nicht regulatorische Technologieneutralität gemeint sein kann, sondern der Wettbewerb auf Basis eines „unverzerrten, alle volkswirtschaftlichen Kosten und Nutzen berücksichtigenden Wettbewerbs erfolgen [sollte]“ (Elmer et al. 2020). Darüber hinaus sollen mit einer gezielten Exnovationspolitik klimaschädliche Technologien zurückgedrängt werden und Infrastrukturen und zielgerichtet neue Technologien für ihre Wettbewerbsfähigkeit gefördert werden. Festgelegte Zielsetzungen mit expliziten Roadmaps können Investitionssicherheit fördern (Elmer et al. 2020).

Die Dekarbonisierung des Verkehrssektors kann vor allem dann wirkungsvoll und ökonomisch effizient erfolgen, wenn der Gesamtenergieverbrauch des Verkehrssektors absolut gesenkt und der nötige Strom regenerativ erzeugt und gespeichert werden kann. In Abbildung 10 sind die Primärenergieverbräuche unterschiedlicher Antriebstechnologien im Vergleich aufgeführt, um 100 km mit dem Pkw zurückzulegen. Die Relationen des Vergleichs mit Brennstoffzelle bzw. synthetischen Kraftstoffen zeigen, dass mit der Elektromobilität der weitaus geringste Primärenergiebedarf verbunden wäre.

Abbildung 10: Primärenergieverbräuche unterschiedlicher strombasierter Pkw-Antriebstechnologien

Quelle: Elmer et al. 2020

Gleichzeitig deuten sich bereits ökologische Zielkonflikte zwischen Klima- und Ressourcenschutz an, da je nach Technologiewahl, insbesondere der Wahl der Antriebstechnologien, im Verkehrssektor voraussichtlich unterschiedlich große Mengen an Primärressourcen verbraucht werden (z. B. für den Aufbau der nötigen Infrastrukturen und Produktionsanlagen, dem Betrieb der Fahrzeuge und Entsorgung der Fahrzeuge inklusive der Batterien oder Brennstoffzellen).

Nach dem Leitbild der *Circular Economy* sollen Material- und Produktströme nach dem Motto „*reduce, reuse and recycle*“ möglichst in Kreisläufen geführt werden. Nach diesem Prinzip können sich tragfähige Geschäftsfelder entwickeln. Dazu gehört in diesem Zusammenhang, die für den Einsatz in Elektroautos nicht mehr geeigneten Batterien aufzubereiten und diese anschließend in stationären Anwendungen einzusetzen und ihnen somit ein zweites (oder sogar drittes) Produktleben („*Second Life*“ [SL]) zu ermöglichen bevor sie entsorgt bzw. recycelt werden (siehe detailliert zu den Geschäftsmodellen im Bereich *Second-Life* Kapitel 5.2.3).

Die Motivationen für eine *Second-Life*-Nutzung sind vielfältig: Aus Sicht der Automobilhersteller (*Original Equipment Manufacturer* (OEM)) können entlang der Wertschöpfungskette die ökologischen Auswirkungen reduziert werden. Aber auch der Restwert der Batterie in einer *Second-Life*-Anwendung schafft Spielräume für Kostensenkungen, die auch an Endverbrauchende weitergegeben werden können. Damit die zukünftige Mobilität so nachhaltig wie möglich gestalten werden kann, hilft eine längere Nutzung dabei, Ressourcen einzusparen und somit die Primärproduktion insbesondere an kritischen Rohstoffen zu reduzieren. Eine weitere Motivation ist, dass bei energieintensiven Produkten wie Batterien das Recycling möglichst weit in die Zukunft geschoben werden sollte, weil die Recyclingtechnologien dann weiterentwickelt und die Recyclingkosten geringer werden. Es wird aber auch argumentiert, dass die hohen Kobaltgehalte der ersten Batteriegenerationen durch Recycling eine strategische Reserve darstellen können und bei Verwendung in künftigen kobaltärmeren Batteriegenerationen effizient eingesetzt werden können (Rimaszéki, 2019). Grundsätzlich kann

angenommen werden, dass in Lebenszyklusbetrachtungen eine längere Lebensdauer bereits hergestellter Produkte eine größere Ressourcen- und Energieeinsparung bedeutet, auch im Vergleich mit zukünftigen energie- und ressourceneffizienteren Technologie-Generationen (Prakash et al. 2016). *Second-Life*-Ansätze helfen somit dabei, die nutzenstiftende Lebensdauer einer bereits hergestellten Batterie zu verlängern. Im Anschluss könnten die Batterien einem hochwertigen Recycling zugeführt werden. Die Sekundärmaterialien würden dann wieder für die Produktion neuer Batterien eingesetzt werden können.

In der vorliegenden Fallstudie wird der Stand und die mögliche künftige Entwicklung von Geschäftsfeldern im Bereich *Second-Life* von Batteriespeichern aus sozio-ökonomischer und ökologischer Perspektive thematisiert. Außerdem werden Treiber und Hemmnisse einer weiteren Entwicklung untersucht und Strategie- und Handlungsempfehlungen abgeleitet. Für die Fallstudie wurden Literatur und Internetquellen ausgewertet und zudem Expertinnen und Experten befragt.[23] Der Hauptbearbeitungszeitraum war das 2. Halbjahr 2019. Darauf beziehen sich auch Angaben über „laufende" Modellprojekte. In die finale Fallstudie und in die Ableitung von Handlungsempfehlungen flossen zusätzlich jüngere Forschungsarbeiten ein, die das Öko-Institut im Rahmen von Projekten zum *Impact Assessment* für die EU-Batterie-Direktive durchgeführt hat (Stahl et al. 2021a; Stahl et al. 2021b).

5.2 Technisch-ökonomische Grundlage und Geschäftsmodelle von SL-Lithiumspeichern aus der Elektromobilität

5.2.1 Technische Grundlagen

Während man die Lebensdauer der verwendeten Leistungselektronik und der anderen Systemkomponenten eines Großspeichers recht gut abschätzen kann, gibt es zur Lebensdauer und Degradation von für Elektrofahrzeuge geeigneten Lithiumbatterien noch keine langfristigen Erfahrungen. Der Rücklauf der Batterien aus dem mobilen Einsatz zur Weiternutzung erfolgt nach dem Ende der ersten Lebensdauer im mobilen Einsatz. Zu den Lebensdauern unter Echtbedingungen gibt es unterschiedliche Angaben und Prognosen, auch weil die Lebensdauer stark von den Einsatz- und Nutzungsbedingungen abhängt. Doch während man vor kurzem noch von Batterielebensdauern von acht bis zehn Jahren ausging (mit garantierten Laufleistungen zwischen 100.000 und 160.000 km), gibt es aktuellere Meldungen auch zu Lebensdauern von mehr als 14 Jahren (Casals, Lluc, Canals et al. 2019). Optimistische Schätzungen gehen davon aus, dass sich die Kapazitäten bei einigen Tesla-Modellen im Durchschnitt erst bei 780.000 km Fahrleistung auf 80 % reduzieren.

Dabei unterscheidet man zwischen kalendarischen und zyklischen Alterungsprozessen. Auch wenn Batterien nicht genutzt werden, begrenzen dennoch chemische Prozesse ihre Lebensdauer. Auf diese kalendarische Alterung hat der Ladezustand (SoC für „*State of Charge*") einen wesentlichen Einfluss, so erfolgt die Zellalterung bei komplett geladenen Batterien (SoC = 100 %) und hohen Betriebstemperaturen besonders schnell. Das ist auch einer der Gründe, warum eine intelligente Betriebsführung (z. B. auf SoC angepasste Belastungsraten, Temperierung) des Speichersystems die Alterung sehr positiv beeinflussen kann.

Die zyklische Alterung erfolgt durch die Ladezyklen beim Laden und Entladen. Hierbei gibt es viele Parameter, wie z. B. die Häufigkeit, aber auch die Höhe der jeweiligen Belastung (z. B.

[23] Die Befragung umfasste Automobilhersteller, Systemintegratoren, Netzbetreiber, Dienstleister und Start-Ups aus verschiedenen Anwendungsbereichen von Second-Life-Anwendungen. Die Befragung wurde schwerpunktmäßig im Zeitraum Juli-September 2019 durchgeführt. Zunächst wurden ca. 20 Personen und Organisationen für Interviews aus den verschiedenen Sektoren angeschrieben, wovon mit insgesamt 11 Personen Interviews durchgeführt werden konnten bzw. die Personen in Form von schriftlichen Rückmeldungen geantwortet haben.

Schnellladung), die Zelltemperatur während der Belastung und auch die Gradienten der Temperatur im Inneren der Zelle, weshalb dem Thermomanagement in der Regel eine sehr hohe Bedeutung zukommt. Im Vergleich zum Einsatz in Fahrzeugen bei extremen Wechselbelastungen und extremen Temperaturen stellt der Einsatz in einem stationären Umfeld vergleichsweise wesentlich geringe Anforderungen für dieses „zweite Akkuleben". Das liegt an verschiedenen Faktoren (Urban 2018).

- Stationäre Batteriesysteme werden i.d.R. in klimatisierten Gebäuden und bei idealen Temperaturbedingungen betrieben. Bei einem Einsatz im Fahrzeug werden Batterien bei Temperaturen von minus 25 Grad bis über 35 Grad Celsius in Volllast betrieben.
- Stationäre Batteriesysteme werden in der Regel mit Belastungsraten von maximal 1Coulomb betrieben, d. h. einem Laststrom, der die Zelle in einer Stunde lädt oder entlädt. Beim Einsatz in Fahrzeugen kommen Belastungen bis 3 Coulomb vor (bedeutet theoretisch: Ladung bzw. Entladung in 20 min), wenn nach einem Beschleunigen (voller Entladestrom) ein Bremsvorgang erfolgt (voller Ladestrom).
- Die in Fahrzeugen häufig auftretenden mechanischen Belastungen durch Beschleunigungen, Bremsen oder Fahrzeugerschütterungen entfallen bei stationären Systemen.

Grundsätzlich kann man Batterien jeden Alters, jeder Generation und jeder Restkapazität miteinander in einem stationären Speichersystem zusammen verwenden. Es ist aber suboptimal, unterschiedlich gealterte Batterien zu verwenden, da der schlechteste Batterieblock den ganzen Strang limitiert und der elektronische Aufwand steigt. Dieses Problem kann durch eine effiziente Steuerung vermieden werden, in der über die Steuerungselektronik gezielt einzelne Zellen oder Module angesteuert werden können, wenn die benötigten Informationen vorliegen.

Bei der Wiederaufbereitung können grundsätzlich entweder die Batterieblöcke im Ganzen weiterverwendet werden oder es erfolgt eine De- und Remontage einzelner Batteriemodule oder gar -zellen. Der Wiederaufbereitungsprozess umfasst verschiedene Schritte. Nach dem Ausbau aus dem Fahrzeug und ggf. Zerlegung in kleinere Batterieeinheiten (Module, Zellen etc.) erfolgt die Bestimmung des Alterszustands. Aus wirtschaftlicher Sicht sind die Entnahme des gesamten Batterieblocks und dessen Aufbereitung als *Second-Life*-Speicher die wirtschaftlichste Methode. Das Zerlegen in die nächstkleinere Einheit, d. h. das Zerlegen der Traktionsbatterie bis auf Modulebene bzw. auf Zellebene, ist aufgrund erhöhter Arbeitskosten kostenmäßig oft schwer darstellbar. Allerdings können beim Zerlegen auf Modulebene und einer folgenden Neuverschaltung spezifische Anforderungen besser berücksichtigt werden. Die weiteren verschiedenen Komponenten (wie Batteriemanagementsysteme (BMS), Sensoren, Kühlung und Gehäuse) können dabei grundsätzlich weiterverwendet werden (Canals Casals et al. 2017; Fischhaber et al. 2016b).

Können im Fahrzeug aufgezeichnete Daten ausgelesen und ausgewertet werden, um auf den „*State of Health*" (SoH) der Batterieeinheiten und weitere Angaben zugreifen zu können, kann der Alterszustand einer Batterie kostengünstig und detailliert festgestellt werden. Für eine genauere Bestimmung sind Informationen zum Innenwiderstand / Impedanz, Leitfähigkeit, Kapazität, Spannung, Selbstentladung, Anzahl der Lade- und Entladevorgänge, Höhe und Tiefe der Entladungszustände, Alter der Batterie, Temperatur der Batterie während ihrer vorherigen Verwendung, Informationen zum OEM und *Point of Sale* (Interview Systemintegrator) erforderlich.

Die im BMS hinterlegten Algorithmen zur Zustandsschätzung stehen jedoch nur dann zur Verfügung, wenn der Fahrzeughersteller diese Daten weitergibt. In Interviews wurde deutlich,

dass eine Kooperation in einem geplanten Modellprojekt scheiterte, weil der für die Kooperation angefragte Fahrzeughersteller die Weitergabe seiner Schnittstelleninformationen von der Abnahme einer garantierten Menge Alt-Batterien des Systemintegrators abhängig machen wollte.

Sofern, wie zuvor dargestellt, die benötigten Daten aufgrund diverser Hemmnisse nicht ausgelesen werden können, müssen die Batterieeinheiten aufwendig vermessen werden. Die Entwicklung von Alterungsschnelltests zur Bestimmung des SoC bzw. SoH zeigen hier mögliche Lösungswege auf. Nach der Altersbestimmung erfolgt eine Klassifizierung und Auswahl weiterverwendbarer Batterieeinheiten mit möglichst ähnlichen Zellparametern (Fischhaber et al. 2016b).

Wechselrichter und weitere Leistungselektronik wird durch ein Energiemanagementsystem (EMS) gesteuert. Diese greift als Master auf die Batteriemanagementsysteme zurück, so dass hier von Seiten der OEM eine Kommunikation sichergestellt sein muss. Die Kosten für Wechselrichter und Elektronik sind bei *Second-Life*- und neuen Speichern identisch.

5.2.2 Markt- und Preisentwicklung von Lithium-Ionen-Batterien

Für alle stationären Anwendungsfälle gilt, dass diese auch mit neuen Speichern umgesetzt werden können. Somit stehen grundsätzlich Second-Life -Speicher mit geringerer Kapazität und einer geringeren Lebensdauererwartung mit neuen Speichern in Konkurrenz, die allerdings auch einen höheren Preis aufweisen. Gleichzeitig haben Entwicklungskosten und Innovationssprünge in der Batteriezellforschung und der Aufbau von Produktionskapazitäten für Batteriezellen mittelbaren Einfluss auf die Menge der für SL-Anwendungen zur Verfügung stehenden Batterien.

Die Markt- und Preisentwicklung von Lithiumionen-Batteriezellen wird einerseits vom Wachstum der E-Mobilität bestimmt, aber andererseits bestehen auch weitere relevante Anwendungsmärkte im Bereich portabler Geräte (z. B. im IKT-Bereich, Handwerks- und Freizeitbereich etc.). Im Jahr 2010 war die Nachfrage nach Lithiumionen-Batteriezellen noch fast ausschließlich durch *Consumer*-Anwendungen und durch tragbare Geräte geprägt. Bereits 2015 lag die Nachfrage für den Einsatz in elektrischen Fahrzeugen bei ca. 50 % der produzierten Lithiumionen-Zellen. Die hohen erwarteten Wachstumsraten für die E-Mobilität lassen die Annahme zu, dass bis ca. 2025 der weitaus größte Anteil der Zellproduktion in EV-Anwendungen zum Einsatz kommen wird (75 % bis 80 %). Die Steigerung der Nachfrage nach stationären dezentralen Speichertechnologien wird in der gleichen Größenordnung prognostiziert wie die nach Powertools und anderen portablen Geräten (Thielmann et al. 2017).

Bezüglich der prognostizierten Nachfragemengen gehen die Angaben in verschiedenen Literaturquellen jedoch auseinander. Eine Studie geht davon aus, dass bis 2030 die globale Nachfrage nach Lithiumionen-Batterien ca. eine Terrawatt-Stunde pro Jahr betragen wird (Thielmann et al. 2017). In einer weiteren Studie errechnete das Öko-Institut den Bedarf für die Elektromobilität (inklusive Pedelecs, Krafträdern, Minibussen, Busse, LKW und PKW), basierend auf Verkehrsprognosedaten der International Energy Agency (IEA). Demnach werden allein im Verkehrssektor über eine Terrawattstunde für das Jahr 2030 benötigt, wenn das Zwei-Grad-Ziel im Klimaschutz eingehalten werden soll (Abbildung 11) (Buchert et al. 2019).

Abbildung 11: Globale kumulierte Bedarfe an Batteriekapazitätsnachfrage für die Elektromobilität zur Erreichung der Klimaziele im Verkehr

Quelle: Buchert et al. 2019

Dieser prognostizierten Nachfrage steht eine begrenzte Verfügbarkeit gegenüber, auch wenn bereits heute der Ausbau der Batterieproduktionskapazitäten weltweit geplant ist. So wurden beispielsweise in China die Kapazitäten seit 2015 gezielt erhöht. Mittlerweile beträgt Chinas Anteil an der globalen Batterieproduktion ca. 70 %. Durch die hohe Fertigungstiefe, werden vor- und nachgelagerte Wertschöpfungsketten von der Ressourcenentnahme bis zum *Remanufacturing* integriert (Thielmann et al. 2017).

Weitere nennenswerte Produktionsländer sind bzw. werden, entsprechend der Ankündigungen, die USA, Japan und Südkorea sein. In Europa sind Anlagen in Deutschland, Frankreich, Polen und Ungarn geplant. Voraussichtlich könnten dann in Europa ca. 12 % der global benötigten Batterien gefertigt werden, wobei noch unklar ist, welche Fertigungstiefe realisiert werden kann bzw. welche vor- bzw. nachgelagerten Wertschöpfungsstufen (z. B. Zellfertigung) beispielsweise aus Kostengründen nicht in Europa angesiedelt sein werden. Die geplanten europäischen Fertigungskapazitäten werden nach jetzigem Stand ca. 50 % der prognostizierten europäischen Bedarfe decken können (Thielmann et al. 2017).

In der Literatur werden verschiedene Nachfrageszenarien diskutiert und den bereits fertiggestellten bzw. in Planung befindlichen Produktionskapazitäten gegenübergestellt. Darin zeigt sich deutlich, dass unter verschiedenen Annahmen (pessimistisch bis optimistisch) schon im Jahr 2023 die Nachfrage, die verfügbare Menge an Batteriezellen (Summe der fertiggestellten und aktuell in Planung befindlichen Produktionskapazitäten) übersteigen könnte. Möglicherweise wäre dies dann ein Treiber für steigende Batteriezellenpreise (Thielmann et al. 2017; Thielmann et al. 2020).

Für die Preisentwicklung der Batteriezellen stellen nicht nur die verfügbaren und nachgefragten Mengen an Lithiumionen-Zellen wichtige Determinanten dar. Innovationssprünge im Bereich der Entwicklung der chemischen Zusammensetzung und der Kathodenforschung haben fortlaufend zu höheren Energiedichten geführt. Gleichzeitig drittelten sich die Preise trotz Schwankungen der Rohstoffpreise von rund 300 $/kWh Anfang 2014 auf bis zu 100 $/kWh Mitte 2019. Diese niedrigen Preise gelten jedoch eher für echte Großkunden, mittelständische Unternehmen dürften noch bis zu 150 Euro/kWh zahlen (Bobba et al. 2019 und Interviews).

Die Auslegung der Elektronik in heutigen Batteriesystemen erfolgt stark anwendungsfokussiert: Größtenteils ist sie entweder für die Nutzung im automobilen oder im stationären Bereich konzipiert. Dabei werden zum einen automobile Anforderungen erfüllt, wie eine Lebensdauer von mindestens 10 Jahren, 10.000 Betriebsstunden und 300.000 km Laufleistung. Für den stationären Bereich beinhalten die Anforderungen stattdessen Lebensdauern von mindestens 20 Jahren sowie die Realisierung des durchgängigen Betriebes über 24 Stunden und 7 Tage die Woche hinweg (Thielmann et al. 2017).

Zu den Preisunterschieden von SL-Speichern gingen die Fachleute aus Literaturquellen und Interviews davon aus, das SL-Speicher aus dem mobilen Einsatz mit einer Kapazität von minimal 80 % rund die Hälfte von neuen Speichern kosten würden. Darüber hinaus spielt der Wiederverkaufswert des Speichers möglicherweise nur eine geringe Rolle in Bezug auf den Anschaffungspreis eines elektrischen Fahrzeugs (Fischhaber et al. 2016a; Tsiropoulos et al. 2018).

Prognosen über die zukünftige Entwicklung der Bestände und Ströme von Batterien im Markt sind sehr unsicher. Eine Abschätzung der Bestände und Ströme des SL-Marktes ist sogar noch unsicherer. Der Markt für *Second-Life*-Anwendungen befindet sich noch im Aufbau. In Abbildung 12 ist eine Abschätzung basierend auf Annahmen aus der Literatur dargestellt. Die Zahlen für EoL-Batterien wurden dem Batterie-Massenstrommodell des Öko-Instituts entnommen (Stahl et al. 2021 i.E.). Analog zu Bobba et al. (2019) wurde angenommen, dass ab 2005 der Anteil der Batterien, die für eine zweite Lebensdauer-Phase bereitstehen, jedes Jahr linear bis auf 20 % der insgesamt verfügbaren EoL-Batterien im Jahr 2030 ansteigt. Danach wurde kein weiterer Anstieg mehr angenommen. Für die Lebensdauer der Batterien wurde eine Weibull-Verteilung[24] unterstellt. Demnach könnten in 2035 mehr als 100.000 Tonnen EoL-Batterien für SL-Anwendungen bereitstehen, wie in Abbildung 12 dargestellt.

[24] Mit der Weibull-Verteilung werden statistische Ausfallwahrscheinlichkeiten im Zeitverlauf angegeben, mit der Werkstoffe, Bauelemente oder mechanische Bauteile ausfallen können.

Abbildung 12: EoL Batterien und Batterien bereitgestellt für Second-Life Anwendungen, in Tonnen pro Jahr

Quelle: Stahl et al. 2021a

Mit der weiteren Verbreitung der Elektromobilität erhöht sich das Angebot an Speichern, die für SL-Anwendungen verfügbar sind. Eine schnelle Verbreitung kann auch ein Treiber für sinkende Kosten der Batteriezellfertigung sein, da sich durch Skaleneffekte sowohl die Auslastung der Kapazitäten als auch die Amortisation der Investitionen verbessern.

5.2.3 Geschäftsmodelle und Anwendungsfälle

Die Nachfrage nach *Second-Life*-Batterien wird nach heutigem Kenntnisstand wahrscheinlich nur langsam weiter ausdifferenzieren. Bereits heute bestehen einige Geschäftsfelder mit Potenzialen für *Second-Life*-Batterien. Geschäftsmodelle, die eine Zweit-Nutzung von Batteriespeichern aus der Elektromobilität im stationären Einsatz möglich machen können, umfassen Anwendungsfälle für den Netzbetrieb, Industrie / Gewerbe und private Haushalte. Die folgende Tabelle 12 zeigt basierend auf Literaturrecherchen und Interviews eine Übersicht potenzieller Anwendungsfelder für SL-Batterien, der beteiligten Akteure und Sektoren.

Tabelle 12: Anwendungsfelder für stationäre Batteriespeicher

Sektor	Akteure (Bsp.)	Anwendung
Industrie / Gewerbe	Stromerzeuger, Netzbetreiber, Systemintegratoren, Dienstleister, Stromhandel	Steuerung von Frequenz und Spannung im Netz (z. B. Blindleistung, Regelleistung)
Industrie / Gewerbe	Stromerzeuger, Netzbetreiber, Systemintegratoren	Optimierung des Betriebspunktes durch Pufferspeicher
Industrie / Gewerbe	Stromerzeuger, Netzbetreiber, Systemintegratoren, Stromhandel, Dienstleister	Gezielte EE-Strom-Vermarktung über digitale Plattformen und Strombörsen (z. B. Intra-Day-Handel) durch Einsatz von Pufferspeichern zur Optimierung des Portfolios und zur Risikominimierung
Industrie / Gewerbe	Stromerzeuger, Netzdienstleister	Schwarzstartunterstützung durch Pufferspeicher
Industrie / Gewerbe	Produzierendes Gewerbe / Industrie, Systemintegratoren, Dienstleister	*Peak Shaving*: Pufferspeicher können zur Kompensation von Lastspitzen und zur Glättung hoher Verbrauchsspitzen eingesetzt werden.
Industrie	Energieerzeuger, Netzbetreiber	Pufferspeicher für den *Redispatch* von energieerzeugenden Anlagen
Industrie / Gewerbe	Krankenhäuser, Sportstadien	Notstrom, Unterbrechungsfreie Notstromversorgung (USV)
Industrie / Gewerbe	Landwirtschaft, sonstige	Sonstige, z. B. Weidezaun
Industrie / Gewerbe	Hersteller / Logistik,	Flurförderzeuge (z. B. Gabelstapler)
Industrie / Gewerbe	Verkehrsdienstleister, kommunale Unternehmen, Dienstleister	Puffer an Schnellladesäulen für die E-Mobilität
Industrie / Gewerbe	Verkehrsunternehmen	Pufferspeicher für Energierückgewinnung bei Schienenfahrzeugen
Haushalte	Systemdienstleister, Haushalte, Stromhandel	Bereitstellung von Blind- und Regelleistung als Geschäftsmodell für dezentrale Erzeugung und Speicherung (Schwarmstrom) über digitale Plattformen
Haushalte	Haushalte, Installateure	Eigenverbrauchssteuerung bzw. –puffer im Haushalt für EE-Anlagen
Haushalte	Haushalte, Energiedienstleister, Installateure	Pufferspeicher für dezentrale Energienetze (z. B. auf Quartiersebene)
Haushalte Gewerbe	Haushalte, Gewerbe, Installateure	Pufferspeicher für autarke Off-Grid-Versorgung

Quelle: eigene Zusammenstellung auf Basis von Fischhaber et al. 2016a; Heuer et al. 2015; Heymans et al. 2014; Madlener & Kirmas 2017; Tsiropoulos et al. 2018

Die Übersicht zeigt, dass im Bereich SL-Anwendungen insbesondere Akteure aus dem Verkehrssektor auf Energieversorger, Netzbetreiber, Dienstleister, Haushalte und Monteure treffen können. SL-Anwendungen im Bereich der Industrie stellen einerseits Alternativen zum Einsatz von neuen Batterien dar und können in vielen Anwendungsbereichen in Industrie / Gewerbe und Haushalten eingesetzt werden. Andererseits können SL-Anwendungen zur Netzversorgung durch schnell zuschaltbare Pufferspeicher und zur Stromabgabe eingesetzt werden und damit den dezentralen Ausbau der Stromnetze für regenerative Energien unterstützen. Im Bereich der Dienstleistungen zur Netzstabilität, in denen SL-Anwendungen eingesetzt werden können, konkurrieren stationäre Batteriespeicher u. a. mit fossilen Kraftwerken (z. B. Braunkohle) an der Strombörse in Leipzig um Regelenergieleistung.

Die gemäß Literaturrecherche und Interviews zukünftig vermutlich relevantesten Anwendungsbereiche und Geschäftsfelder von *Second-Life*-Batterien werden im nächsten Abschnitt beschrieben.

5.2.3.1 SL-Anwendungen im Bereich Regelleistung zur Frequenzhaltung im Stromnetz

Um die notwendige Frequenz von 50 Hz im Bereich des Synchronbereichs des UCTE-Netzes (*Union for the Coordination of Transmission of Electricity*) im europäischen Stromverbund halten zu können und damit die Stromabgabe und Strombereitstellung synchronisieren zu können, sind von den Übertragungsnetzbetreibern ständig Reserveleistungen vorzuhalten. SL-Anwendungen können als Pufferspeicher oder für schnell zuschaltbare Regelenergieleistungen im Bereich der Netzstabilität eingesetzt werden.

Diese Reserveleistungen haben unterschiedliche zeitliche Restriktionen, stellen also für das Stromnetz unterschiedlich schnell Energie bereit oder speichern diese[25]. Der Bedarf an Primärregelleistung (PRL) umfasst insgesamt 3.000 MW im UCTE-Netz. Deutschland hat einen Bedarf von rund 600 MW, ähnlich wie Frankreich (rund 550 MW). Im Vergleich dazu beträgt der Bedarf für Österreich und die Schweiz je rund 60 MW.[26] Im betrachteten Zeitraum[27] lag der Preis pro MW im Mittel bei 200 Euro.[28] Sekundärregelleistung umfasst in Deutschland einen Bedarf von rund 1.800 MW. Die Regelleistungskapazitäten werden über eine gemeinsame Internetplattform der Übertragungsnetzbetreiber täglich ausgeschrieben und vergeben. SL-Batteriespeicher sind gut geeignet für eine schnelle Stromaufnahme und -abgabe. Gleichzeitig ist der Markt für Regelleistung beschränkt. Laut Interview mit einem Systemintegrator, der fertige SL-Speicher-Lösungen in verschiedenen Baugrößen anbietet, ist dieser Markt mittlerweile gesättigt und auf Grund der festgelegten Bedarfe für Primärregelleistung auch beschränkt. Zukünftige Mehrbedarfe könnten in Zukunft dadurch entstehen, dass nun sukzessive Kraftwerke mit fossilen Energieträgern (z. B. Gas, Kohle) stillgelegt werden, die bisher einen Teil ihrer Kapazität für die Regelleistung verwendet haben, und damit zusätzliche Marktpotenziale für Batteriespeicher entstehen.

Im fränkischen Wendelstein entstand ein Projekt zwischen den Gemeindewerken Wendelstein, der Audi AG und dem Systemintegrator Covalion. Die Anlage hat eine Kapazität von 1 MWh und eine Leistung von 500 KW für die Primärregelleistung. Dabei bieten die Gemeindewerke Wendelstein an der Strombörse in Leipzig 500 KW Primärregelleistung an. Es kommen zwei

[25] Primärregelleistung muss innerhalb von 30 Sekunden zuschaltbar sein und mindestens für 15 Minuten abgegeben werden können, Sekundärregelleistung innerhalb von 5 Minuten, Minutenleistung innerhalb von 15 Minuten.
[26] https://www.regelleistung.net/apps/datacenter/tenders/?productTypes=PRL&from=2019-08-12&to=2019-08-12&tid=PRL_20190812_D1, abgerufen am 12.08.2019
[27] Zeitraum: 01.08.2019 – 12.08.2019
[28] https://www.regelleistung.net/apps/datacenter/tenders/?productTypes=PRL,SRL,MRL&from=2019-08-01&to=2019-08-12&tid=PRL_20190801_D1, abgerufen am 12.08.2019

vollklimatisierte Container zum Einsatz, die auf 75 m² für 84 Batterien Platz bieten. Die Batterien stammen aus ausgemusterten Entwicklungsfahrzeugen von Audi, die in unterschiedlichen Umgebungen getestet wurden. Projektziel der Audi AG ist, Erkenntnisse über das Leistungsverhalten der Batterien während der gesamten Lebensdauer zu erlangen.

Die Finanzierung erfolgte teilweise über festverzinste Bürgeranleihen, wobei die Batterien von der Audi AG kostenneutral eingebracht worden sind. Bürgerinnen und Bürger können so vor Ort investieren, erhalten garantierte Renditen und leisten gleichzeitig einen Beitrag zum nachhaltigen Ausbau der Energieversorgung.

Ein weiteres Pilotprojekt läuft seit 2013 unter dem Namen „Second Life Batteries“ im Hamburger Hafen, bei dem BMW gemeinsam mit Vattenfall und Bosch die optimale Nutzung von Stromspeichern aus ausgedienten Batterien von Elektroautos in Hamburg testen. Ein Großspeicher aus 2.600 Batteriemodulen, die aus 100 Elektroautos gewonnen wurden, liefert hier bereits Regelenergie. Insgesamt hat der Speicher eine Kapazität von ca. 3 MWh (Energyload 2017).

Ein anderes Unternehmen bietet ein Hybridkonzept für PRL-Speicher an, in welchem SL-Batterien und neue Batterien zusammen verbaut sind (80 % SL-Batterien). Bei (den recht häufigen vorkommenden) kleinen Leistungen und Regeleinsätzen werden bevorzugt nur die neuen Zellen zum Einsatz gebracht, so dass die gebrauchten SL-Zellen über weite Strecken unter optimalen Bedingungen gefahren werden können und sich ihre Zyklen-Alterung verlangsamt (Urban 2018).

5.2.3.2 Spitzenlastkappung (*peak shaving*) in Industrie und Gewerbe

Industrielle Prozesse führen oft zu kurzfristig hohen Stromnachfragespitzen. Da Stromnetze für maximale Strommengen ausgelegt sind, kann es bei Lastspitzen zu Engpässen in der Stromversorgung kommen. Für industrielle und gewerbliche Stromkunden fallen neben dem Arbeitspreis auch zusätzliche Netzentgelte an. Die Netzentgelte richten sich am durchschnittlichen Stromverbrauch und an der Leistung aus, die über einen bestimmten Zeitraum bezogen wird (z. B. 50 Euro pro KW). Steigt wegen einer Produktionsspitze auch nur kurzfristig der Verbrauch, so steigen die Netzentgelte exponentiell an (z. B. 25.000 Euro pro KW) (Interview Systemintegrator).

Durch ein stationäres Batteriesystem können für kurzfristige Strombedarfe Reserven vorgehalten werden, die zu Niedriglastzeiten ins Produktionssystem eingespeist werden. Die Kapazitäten dieser Anlagen bewegen sich im Bereich von mehreren MWh. In diesem Bereich bieten Dienstleister verschiedene *Contracting*- und Servicelösungen an, die über Errichtung, Betrieb und Wartung hinaus noch weitere Servicekomponenten enthalten. In diesem Bereich wurden die wirtschaftlich lukrativsten Anwendungsbereiche für SL-Speicher gesehen. In Bezug auf Batteriespeicher allgemein ergaben Recherchen, dass eine Amortisationsdauer von unter 3 Jahren bei Investitionskosten von unter 400 Euro pro KWh erreicht werden kann (Kühl 2018).

Dieses Geschäftsmodell bietet laut Aussagen in den Interviews noch erhebliche Potenziale, die gehoben werden können. Bereits in kleineren Gewerbebetrieben fallen kurzfristige Spitzenverbräuche an, die durch eigene SL-Speicher kompensiert werden können. Netzentgelte können so eingespart und die Übertragungsnetze gleichzeitig entlastet werden. Beispiele dafür sind Großbäckereien, bei denen Spitzenverbräuche oft während der Vorheizphase auftreten oder Sägewerke bei enorm hoher Auslastung (ads-tec o.J.).

5.2.3.1 Energiespeicher für Schnellladesäulen

SL-Speicherlösungen können auch für die Ladeinfrastruktur im Mobilitätsbereich eingesetzt werden. Insbesondere aktuelle Schnellladesäulen erfordern eine hohe Stromentnahme, insbesondere zu Stoßzeiten. Hier werden Batteriespeicher vorgeschaltet, die selbst kontinuierlich Strom über das Netz beziehen. Somit können nach dem Prinzip der Spitzenlastkappung hohe Stromnachfragespitzen über das Netz vermieden werden, was eine notwendige Voraussetzung für die zukünftige Elektromobilität darstellt.

Die Verkehrsbetriebe Hamburg-Holstein GmbH (VHH) und MAN Truck & Bus erproben aktuell in Hamburg Bergedorf eine Zweitnutzung von Batterien als Ladestation für E-Busse (Volkswagen AG 2018).

5.2.3.2 Stromhandel über digitale Energieplattformen

Digitale Stromhandelsplattformen bieten laut Aussagen von Expertinnen und Experten in Interviews zukünftig vielversprechende Geschäftsmodelle für Batteriespeicherlösungen. Diese Handelsplattformen basieren auf dezentralen Datenbanksystemen (*distributed ledger* a.k.a. "Blockchain„). Private Haushalte oder gewerbliche Produzenten von regenerativen Energien, z. B. Solarstrom oder Biogas, können über diese Plattform elektrische Energie bei Anbietern von Batteriespeicherlösungen in dezentralen Energiespeichersystemen einspeichern oder diesen bei Bedarf dem Strommarkt zur Verfügung stellen. Sowohl die Speicherung als auch Energiebereitstellung sind Dienstleistungen, die über die digitale Handelsplattformen vergütet und abgerechnet werden können. Hier bieten sich weitere Einsatzmöglichkeiten für SL-Speicher, deren Potenziale aktuell jedoch noch schwer abschätzbar sind.

5.2.3.3 SL-Lösungen im Privatkundenbereich

Im Privatkundenbereich kommen stationäre Speicherlösungen z. B. zur Eigenverbrauchsoptimierung für PV-Anlagen im Eigenheim zum Einsatz. Hierbei werden in der Regel Speicher mit Kapazitäten zwischen zwei und sechs kWh installiert.

Gemäß einem Interview mit einem Unternehmen, das haushaltsnahe stationäre Batteriespeicherlösungen in Verbindung mit einer Stromhandelsplattform anbietet, gibt es zum jetzigen Zeitpunkt keine Überlegungen, SL-Speicher in privaten Haushalten anzubieten. Als Gründe wurden Haftungs- und Sicherheitsbedenken sowie Akzeptanzprobleme gegenüber gebrauchten Speichern seitens der in diesem Thema besonders risikoavers eingestellten Hausbesitzenden vorgebracht. Außerdem bestehen Unsicherheiten bezüglich der Gewährleistungsausgestaltung für SL- Speicherlösungen im Haushaltsbereich. Außerdem sei der Kostenvorteil der SL-Lösungen im Vergleich zu neuen Speichersystemen für die benötigten Kapazitäten eher gering. Dazu müssten erst weitere kostendämpfende Skaleneffekte bei der Herstellung von SL-Speichern für den Privatkundenbereich realisiert werden (Interview).

Diese Gründe würden dazu führen, dass private Endnutzende Batteriespeicherlösungen bevorzugt als Neukauf anschaffen.

5.2.3.4 Weitere Anwendungsfelder, Forschungs- und Modellprojekte

- Weitere Anwendungsfelder bieten sich in Einrichtungen, die über eine unterbrechungsfreie Notstromversorgung (USV) verfügen müssen, wie Krankenhäuser, Feuerwehren oder Sportstadien. Aktuell sind hier vor allem Diesel-Generatoren oder Blei-Säurebatterien im Einsatz.
- Derzeit wurde der größte SL-Batteriespeicher der Welt von Daimler, genauer dem Tochterunternehmen Accumotive, The Mobility House, Getec und Remondis im

westfälischen Lünen errichtet. Dafür wurden insgesamt 1.000 Batteriesysteme aus Smart-Elektrofahrzeugen zu einem stationären Batteriespeicher mit einer Kapazität von insgesamt 13 Megawattstunden (MWh) gebündelt (Daimler 2016).

- Die Begleit- und Wirkungsforschung Schaufenster Elektromobilität hat im April 2015 eine Studie zum Thema „Second-Life-Konzepte für Lithiumionen-Batterien aus Elektrofahrzeugen“ vergeben. Den Zuschlag zur Studienbearbeitung erhielt ein Projektkonsortium, bestehend aus der Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. und dem Lehrstuhl für Elektrische Energiespeichertechnik der Technischen Universität München. Im Februar 2016 wurde die Studie in Berlin vorgestellt (FfE 2016).
- Auch die Fraunhofer Gesellschaft hat bereits Projekte zum Thema Second-Life Batterien bearbeitet, wie z. B. das seit 2015 abgeschlossene und über drei Jahre gelaufene EU-Projekt AbattReLife.[29] Dabei wurden in fünf Projektschritten die Ursachen für die Alterung von Elektrofahrzeug-Batterien sowie Möglichkeiten, den Alterungsprozess aufzuhalten oder mindestens zu verlangsamen und die Möglichkeit gealterte Batterien einer Zweitnutzung bzw. einem finalen Recycling zuzuführen, untersucht (Fraunhofer ISC 2015).
- Ein weiteres vom Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE von Dezember 2013 bis November 2015 durchgeführtes Projekt nennt sich StaTrak. Untersucht wurden gealterte und für mobile Anwendungen ausgemusterte Energiespeicher mit einer mittlerweile geringeren Energiedichte sowie deren Eignung für bestimmte Anwendungen (Fraunhofer ISE 2015).
- Weitere aktuell laufende Projekte sind das von der Akasol AG durchgeführte Verbundprojekt EffSkalBatt - Effiziente und Skalierbare Systemtechnik für stationäre Batteriespeicher, bei dem das Ziel ist, ein Systemtechnikkonzept für stationäre Batteriespeicher zu entwickeln, welches durch eine hohe Skalierbarkeit eine hohe Vielfalt mit geringen Anpassungen verarbeiten kann. Ein weiterer Fokus wurde auf die Energieeffizienz des Systems gelegt. Im Teilprojekt 'Modulare Batteriesysteme für Second-Use Anwendungen' wird ein aus verschiedenen SL- Einzelsystemen bestehendes Batteriespeichersystem aufgebaut. Ziel des Teilprojekts ist die Untersuchung der praktischen Probleme in diesem modularen Konzept durch den Aufbau eines Versuchsträgers, um anschließend eine fundierte technische und kommerzielle Bewertung ausarbeiten zu können. Zudem soll die mögliche ökologische Gesamtbilanz, die durch eine Second-Use Anwendung verbessert werden kann, dargestellt werden. Das Projekt läuft seit Beginn des Jahres 2019 und soll im Dezember 2021 abgeschlossen werden (EffSkalBatt 2019).
- Das Verbundvorhaben New 4.0 Norddeutsche Energiewende, Teilvorhaben „Entwicklung und Netzanschluss eines 5 MW Stationärspeichers aus Second-Use-Lithiumionen Batterien am Standort ChemCoast Park Brunsbüttel“ befasst sich aktuell ebenfalls mit der Thematik. Das bis November 2020 laufende Projekt wird von der Coulomb GmbH in München ausgeführt. Dabei soll aus Second-Use-Lithiumionen Batterien unterschiedlicher Fahrzeughersteller ein Stationärspeicher mit ca. 5 MW Anschlussleistung hergestellt werden. Dabei soll nicht nur die Steuerung der Batterien untersucht werden, sondern auch

[29] Das Projekt wurde vom Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC in Würzburg mit den Partnern Peugeot Citroën Automobiles, Bayerische Motoren Werke, Nederlandse Organisatie Voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek - TNO, KEMA Nederland B.V., Pôle Véhicule du Futur, Technische Universität München, Technische Universität Bergakademie Freiberg, Université de technologie Belfort-Montbéliard und der Université de technologie de Troyes bearbeitet.

das Verhalten von Second-Use Batterien in verschiedenen stationären Anwendungen mit Fokus auf die Alterung der gebrauchten Batterien (EnArgus 2019).

- internationale Forschungsprojekte: Die Volvo Bus Corporation, Göteborg Energi, Riksbyggen und Johanneberg Science Park untersuchen die Nutzung gebrauchter Elektrobus-Batterien für stationäre Energiespeicher. Renault führt mit dem Projekt „Advanced Battery Storage" den Bau eines Energiespeichers mit einer Kapazität von über 60 Megawattstunden vor, der dann der größte Energiespeicher Europas wäre (Volvo 2018).
- Ein weiteres großes Second-Life-Pilotprojekt ist das Modellprojekt Second Life von Forsee Power, Mitsubishi Motors Corporation, Mitsubishi Corporation, EDF und PSA Peugeot Citroën, welches im September 2015 auf dem Geschäftssitz von Forsee Power in der Nähe von Paris startete. Ziel des Projekts ist es, anhand von SL-Konzepten das Smart Grid und das Energiemanagementsystem zu optimieren, indem Solarmodule, Elektrofahrzeuge und stationäre Stromspeicher mithilfe von neuen und wiederverwendeten Batterien im bidirektionalen Modus verknüpft werden (EDF 2015).
- Außerdem forscht Nissan derzeit einerseits mit Eaton Power andererseits mit der brasilianischen Federal University of Santa Catarina (UFSC) im Bereich Second-Life Batterien, um mit den Partnern zeitnah zuverlässige und kostengünstige Energiespeicher und Regeltechnologien auf den Markt zu bringen (Eaton 2016).
- Weitere internationale Projekte sind das „PHEV/EV Li-Ion Battery Second-Use Project" der NREL, das Projekt „SASLAB - Sustainability Assessment of Second Life Application of Automotive Batteries" des JRC, und das Projekt „Second-use of Li-ion batteries from hybrid and electric vehicles" bei der Chalmers Universität in Göteburg (zusammen mit Volkswagen, Stena Metall und Ferroamp) (Chalmers 2019).

5.3 Mögliche Entwicklungen der Branche und ihre Folgewirkungen

Derzeit ist es schwierig, die weitere Entwicklung in dieser Fallstudie vorherzusagen. Aufgrund der erst beginnenden Verbreitung von Batteriefahrzeugen in Deutschland ist der Rücklauf von SL-Batterien aktuell im Moment noch nicht ausreichend, um die schon laufenden Planungen für stationäre Speicher umzusetzen. Die zurzeit in Speicherprojekten eingesetzten SL-Batterien stammen aus Test-Flotten und haben häufig noch ca. 90 % Restkapazität.

Aktuell wird weltweit Produktionskapazität für neue Traktionsbatterien aufgebaut. Eventuell kann es zwischenzeitlich Überkapazitäten geben, sofern die Automobilindustrie nicht die gesamte Produktion nachfragt. Dies könnte die Preisunterschiede zwischen Alt- und Neubatterien weiter verringern und SL-Batteriespeicher weniger wirtschaftlich machen.

In Projekten für stationäre Speicher wird derzeit der jeweilige Business Case individuell durchgerechnet. Es stellt sich immer die Frage, ob stationäre Batteriespeicher oder ein Netzausbau günstiger sind. Massive Batterieausbauten finden weltweit in Märkten statt, wo gute ökonomische und regulatorische Rahmenbedingungen oder regulatorische Auflagen bestehen oder der Netzausbau keinen Sinn macht, z. B. aufgrund der Entfernungen. Eine Einzelzerlegung von SL-Batterien zur Analyse des technischen Zustands ist aus ökonomischer Sicht oft unattraktiv, deshalb werden Geschäftsmodelle angestrebt, die mit der on-board Diagnose der Batterien arbeiten und die Batterien unangetastet lassen.

Aus Nutzendensicht ist noch unklar, wann das Ende der Batterielebensdauer im Fahrzeug erreicht sein wird. Garantiebestimmungen der OEM weisen darauf hin, dass bei einer Reichweite von 150.000 gefahrenen Kilometern die Kapazität bis auf 70 bis 80 % absinkt. Dass Fahrzeuge in

Deutschland und der EU länger als zehn Jahre genutzt werden, entspricht dem Regelfall. Sollte die Entwicklung so verlaufen, dass gebrauchte Elektrofahrzeuge in großer Anzahl auf einem Zweitnutzungsmarkt für andere Einsatzzwecke z. B. mit geringerer Kapazität in der Stadt weitergenutzt werden, könnten die verwendeten Batterien den Anforderungen vieler stationärer SL-Anwendungen nicht mehr genügen. Die Altbatterien würden dann dem Recycling zugeführt werden.

Aus ökologischer Sicht wäre ein verbreiteter Einsatz in den dargestellten SL-Anwendungen wünschenswert. Untersuchungen haben gezeigt, dass beispielsweise beim Einsatz von SL-Batterien für *Peak Shaving* Anwendungen im Vergleich zu Gaskraftwerken rund 56 % der CO_2e-Emissionen eingespart werden können (Ahmadi et al. 2014; Madlener & Kirmas 2017). Der weitere Ausbau von SL-Batteriespeicherkapazitäten kann auch für den Ausbau der erneuerbaren Energien unterstützend wirken, da hierdurch dezentrale Speichermöglichkeiten den stockenden Netzausbau zumindest partiell kompensieren können.

5.3.1 Arbeitsmarkteffekte durch Second-Life

In einem parallel laufenden Projekt des Öko-Instituts wurden die wirtschaftlichen und sozialen Auswirkungen der SL-Wiederaufbereitung in Bezug auf Umsatz und Beschäftigung abgeschätzt (Stahl et al. 2021a). Der Sektor schafft zusätzliche Arbeitsplätze, da die Arbeitsintensität hier deutlich höher sein dürfte als in hochautomatisierten Batteriezellenfabriken bei der Neuproduktion. Für die Berechnung wurde von einem Preis für SL-Produkte von 200 €/kWh auf Systemebene und einer Kostendegradation für stationäre Batterien bis 2030 von 65 % des heutigen Preises ausgegangen. Für die Kosten des Wiederaufbereitungsprozesses wurden 55 % für Arbeitskosten, 35 % für Investitionen und 10 % Gewinn-/Verlustspanne angesetzt. Für die Verteilung der Arbeitskosten werden 25 % hochqualifizierte Arbeitskräfte und 75 % geringqualifizierte Arbeitskräfte mit durchschnittlichen jährlichen Arbeitskosten von ca. 49.200 Euro angenommen.

Wirtschaftliche Auswirkungen werden durch den induzierten Umsatz und die induzierte Arbeitsnachfrage dargestellt. In Abbildung 13 sind der Gesamtumsatz und die Vollzeitäquivalente (VZÄ) dargestellt (jeweils brutto), wenn 25 % der jährlich anfallenden Altbatterien in SL-Anwendungen verwendet werden. Wie die Abbildung zeigt, könnten im Jahr 2035 knapp 1 Mrd. Euro durch SL-*Remanufacturing* erwirtschaftet und eine Nachfrage nach Arbeitskräften von rund 11.000 VZÄ ausgelöst werden.

Abbildung 13: Abgeschätzte Brutto-Beschäftigungs- und Umsatzeffekte durch Second-Life

Quelle: Stahl et al. 2021a

5.3.2 Ökologische Auswirkungen von Second-Life

Für die ökologische Wirkungsabschätzung wurde in Stahl et al. 2021 i.E. beispielhaft angenommen, dass im stationären Markt NMC 811-Batterien eingesetzt und durch SL-Batterien ersetzt werden. Als durchschnittliche Energiedichte dieses Batterietyps wird eine 170 Wh/kg

Batterie zu Grunde gelegt (Vetter 2018). Für NMC 811-Batterien werden die in der Literatur und in Datenbanken gefundenen Werte für die Umweltwirkungskategorien angesetzt.

In Abbildung 14 ist die Treibhausgas-Reduktion für verschiedene Anteile von EoL-Traktionsbatterien dargestellt, wenn diese für SL-Anwendungen eingesetzt werden würden. Diese Abbildung zeigt exponentiell zunehmende Einsparungen von Treibhausgasen pro Jahr an. Das Minderungspotenzial steigt mit dem Volumen der für SL verfügbaren EoL-Traktionsbatterien an. Die Abbildung zeigt auch, dass die Effekte nach 2035 weiter zunehmen werden, wobei nach 2035 noch deutlich höhere Effekte zu erwarten sind.

Würden 100 % der EoL-Batterien im Jahr 2035 in SL-Anwendungen eingesetzt werden, könnten insgesamt 1,6 Mio. Tonnen CO_2e/a vermieden werden. Würden 25 % in SL-Anwendungen eingesetzt, könnte im Jahr 2035 eine Gesamtmenge von rund 400.000 t CO_2e/a vermieden werden. Die Berechnung zeigt, dass für jede zusätzlichen 5 % der EoL-Batterien, die für SL-Anwendungen eingesetzt werden, zusätzliche Einsparungen in einer Größenordnung von rund 80.000 Tonnen CO_2e/a im Jahr 2035 erreicht werden könnten.

Abbildung 14: Treibhausgas Einsparpotenzial durch Second-Life

Quelle: Stahl et al. 2021a

5.4 Treiber und Hemmnisse des Strukturwandels

5.4.1 Reparatur, Aufbereitung und Recycling

Wie beschrieben sind Reparatur- und Aufbereitungsschritte für SL-Anwendungen auf Zellebene im Moment ökonomisch wenig tragfähig und werden im kommerziellen Kontext eher nicht durchgeführt. Einige der untersuchten Projekte haben modellhaft eine Demontage auf Modulebene untersucht (siehe EffSkalbat Darmstadt, Hamburger Hafen). Wie die Interviews gezeigt haben, wäre ein einfacher Zugang zu den Informationen über den Zustand der Batterie auf Modul- oder Zellenebene (z. B. über eine offene Schnittstelle) für wirtschaftliche

Geschäftsmodelle nötig. Im Moment ist hierfür die Kooperation der herstellenden Unternehmen erforderlich.

Die Automobilhersteller verwenden derzeit verschiedene proprietäre Schnittstellen (Soft- und Hardware), was die *Second-Life*-Anwendungen durch dritte Unternehmen erschwert. Für die Funktion eines effizienten Energiemanagementsystems (EMS), das verschiedene Akkupacks steuert, ist es notwendig, dass diese Informationen über eine Datenschnittstelle leicht zugänglich sind. Die Offenlegung detaillierter Informationen ist notwendig, damit das Batteriemanagementsystem (BMS) und das EMS auf Modul- oder Zellenebene steuern und interagieren können, auch wenn Batterien unterschiedlicher Generationen oder unterschiedlicher Materialzusammensetzungen eingesetzt werden.

Zur Erhöhung der Recyclingeffizienzen von Lithiumionen-Batterien gab und gibt es viele Forschungs- (z. B. LiBri, LithoRec, EcoBatRec) und Entwicklungsaktivitäten. Mittlerweile konnten auch Erfahrungen bei der industriellen Umsetzung gesammelt werden. Aufgrund des höheren Anteils an Aktivmaterialien in Antriebsbatterien ist eine gezielte Demontage und Aufarbeitung der Materialien auch hier sowohl ökonomisch als auch ökologisch sinnvoll und trägt zudem zur Ressourceneffizienz und -schonung bei. EU-weite Direktiven schreiben bestimmte Recyclingeffizienzen vor. So müssen nach der Batterierichtlinie 2006/66/EG die Verfahren der Recyclingbetriebe von Altbatterien entsprechende Mindesteffizienzen erzielen. Für die Recyclingbetriebe von Blei-Säure-Batterien beträgt die Mindesteffizienz 65 %, von Nickel-Cadmium-Batterien 75 % und den Sonstigen Batterien 50 %. Die Recyclingeffizienz eines Recyclingverfahrens erhält man, indem die Masse der durch Recycling entstandenen Outputfraktionen (Sekundärrohstoffe) durch die Masse der zugeführten Altbatterien geteilt wird. Unter die Kategorie „Sonstige Altbatterien“ fallen insbesondere Alkali-Mangan (AlMn)-, Zink-Kohle (ZnC)-, Lithium (Li)- und Lithium-Ionen (Li-Ion)-Altbatterien.

5.4.2 Verfügbarkeit von Second-Life-Batterien

Von der Lebensdauer der Batterien hängt auch die Verfügbarkeit von SL-Batterien ab: Für Batterien gibt es zum Teil Garantien von 20 Jahren, so dass Batterien bis zum Ende der Lebensdauer des Gesamtfahrzeugs genutzt werden könnten. Es ist zurzeit unklar, wie groß die Restkapazität der Batterien dann ist. Aber auch wenn die Batterien schneller Kapazität verlieren als von den Herstellern angenommen, kann es sein, dass eine Anzahl von Nutzerinnen und Nutzern auch mit einer geringen Restkapazität zufrieden sein wird, weil sie nur kurze Strecken mit dem Auto fahren und über sehr gute Lademöglichkeiten verfügen. Auch wenn die Batterien dann bei alten Elektrofahrzeugen sehr geringe Restkapazitäten aufweisen, werden sie möglicherweise nicht erneuert, weil sich dann ein „wirtschaftlicher Totalschaden“ einstellen würde.

In den Interviews zeigte sich ein Konsens zu Forderungen nach einer „Mindestrestkapazität“ von 80 % für Batterien, die als SL-Batterien genutzt werden sollen. Unter 80 % (zum Teil auch unter 60 %) wird eine exponentielle Degradation durch die Speicher/Entnahme-Zyklen befürchtet. Nicht zuletzt bräuchte man bei stationären Speichern mit einer gegebenen Kapazität einfach 40 % mehr Platz, wenn Batterien mit 60 % Kapazität statt Neubatterien mit 100 % eingebaut werden.

5.4.3 Kostenentwicklung und Skaleneffekte

Die Kosten spielen für den Erfolg von SL-Batteriegeschäftsmodellen eine große Rolle: In der Vergangenheit sind die Preise für neue Batterien stark gefallen, so dass sich evtl. die Nutzung von SL-Batterien nicht lohnt, da neue Batterien pro kWh nicht wesentlich über den Kosten für

SL-Batterien liegen. Bei SL-Batterien schwankt der Preis stark, genannt wurden in den Interviews und in der Literatur Preise von 30 bis 110 Euro /kWh. Neue Batterien kosten 300 bis 400 Euro pro kWh. Laut Modellrechnung eines Interviewpartners waren im Business Case die Systempreise für SL-Batterien noch zu hoch. Demnach mussten für SL-Batterien mit 80 % Restkapazität 100 Euro pro kWh und für neue Batterien mit 100 % Nennkapazität 300 Euro pro kWh gezahlt werden. Erfolgreiche Geschäftsmodelle für SL-Batterien, so die Aussage einzelner Branchenkenner, könnten bei Preisen von 20-50 Euro pro kWh, ernsthaft an Bedeutung gewinnen. Man kalkuliert dann noch mit einer Batterielebensdauer von 10 Jahren.

Beim Einsatz neuer Lithiumionen-Batterien erhalten die Nutzenden die Gewährleistung, Qualifizierung u. a. vom Batteriehersteller und die Verschaltung muss wegen geringerer Gefahrenpotentiale nicht so kleinteilig erfolgen wie bei SL-Batteriespeichern. Dadurch wird die Komplexität der Anlage reduziert.

Bei der Geschwindigkeit der Innovationszyklen können sich Größe, Gewicht und Energiedichte verschiedener Batteriegenerationen erheblich unterscheiden, was ältere SL-Speicher weniger attraktiv erscheinen lässt, insbesondere im Privatkundenbereich, wobei hier allerdings Skepsis und Akzeptanzschwierigkeiten noch vorherrschen. Im Gewerbebereich existieren Batterieparks mit Batterien unterschiedlicher Hersteller, chemischer Zusammensetzungen und unterschiedlichen Alters (Interview).

5.4.4 Zugriff auf ausgediente Speicher und Rücknahmesysteme

Der Zugriff auf Altbatterien, die als SL-Speicher geeignet sind, wird zum derzeitigen Stand in der Mehrzahl der dargestellten Geschäftsmodelle über vertraglich abgesicherte Kooperationen abgewickelt. Oft stammten die verwendeten Altbatterien aus Testflotten von E-Fahrzeug-Herstellern. Dabei werden z. B. zwischen Systembetreiber und Hersteller von Elektrofahrzeugen Verträge abgeschlossen, die detailliert regeln, wie der Zugriff auf die Batterien, der Transport und die Lagerung erfolgen muss. Darüber hinaus wird hier auch vertraglich geregelt, wie bei der Wiederaufbereitung Informationen über das BMS ausgelesen werden können, die eine Zustandsmessung der Batterien ermöglichen. Für viele SL-Geschäftsmodelle ist es zusätzlich auch notwendig, das vorhandene BMS ansteuern zu können und damit eine Steuerung auf Modul- und Zellebene realisieren zu können, was ebenfalls vertraglich geregelt wird.

Nach § 5 BattG[30] sind alle Hersteller von Batterien verpflichtet, die von den Vertreibern, öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern, Behandlern von Elektro-Altgeräten und Behandlern von Altfahrzeugen zurückgenommenen Altbatterien unentgeltlich zurückzunehmen und stofflich zu verwerten. Die zukünftigen Altbatterien, mit denen etwa ab 2025 in einer größeren Anzahl zu rechnen ist, werden dann aber diffus verteilt anfallen (z. B. Kfz-Werkstätten, Schrottplätze, private Stellflächen etc.) und sind damit dem Zugriff der Hersteller zunächst entzogen. Gleichzeitig sind die Hersteller von Fahrzeugbatterien nach § 8 BattG verpflichtet, die Fahrzeugbatterien kostenfrei zurückzunehmen oder dies über Dritte zu ermöglichen und die Altbatterien entsprechend zu verwerten. Die Rücknahmepflichten können durch ein gemeinsames, flächendeckendes Rücknahmesystem im Rahmen der Produkthaftung sichergestellt werden. Für Fahrzeug-Batterien gibt es in § 10 BattG eine Pfandpflicht. Das gemeinsame Rücknahmesystem muss zur Erfolgskontrolle und Überprüfung der vorgegebenen Sammelziele jährlich eine Dokumentation beim Umweltbundesamt vorlegen.

Damit zeichnet sich ein Hemmnis für die Entwicklung des Marktes für Second-Life-Batterien ab, wenn bei den jeweiligen Rücknahmeregelungen keine Anreize für die Marktakteure,

[30] Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Batterien und Akkumulatoren (kurz: Batteriegesetz, BattG)

insbesondere OEM aber auch bei Behandlern von Altfahrzeugen gesetzt werden, um Altbatterien für die Second-Life-Aufbereitung zur Verfügung zu stellen.

5.4.5 Sicherheit und Haftung

Grundsätzlich sind die Betriebsanforderungen in einem stationären Speicher für die Batterien geringer als im Batteriefahrzeug. Extreme Wechselbelastungen und Temperaturschwankungen entfallen durch Batteriemanagement und Klimatisierung. Gleichzeitig sind Sicherheitsaspekte zentrale Hemmnisse, wenn es um die Akzeptanz von SL-Speichern geht. Insbesondere für mögliche SL-Anwendungen im Heimspeichermarkt stellen sich dabei erhebliche Akzeptanzprobleme. Ob gebrauchte Batterien ein höheres potenzielles Risiko für Kurzschlüsse, Fluorwasserstoffleckagen und nachfolgende Brandfälle mit sich bringen, kann nicht eindeutig festgestellt werden. Die Gefahr der Brandlast besteht auch bei neuen Batterien und muss nicht unbedingt ein spezielles Problem von SL-Batterien sein.

Grundsätzlich zeigen die Interviews, dass Haftungsfragen in den betrachteten Modellprojekten klar geregelt sind. Wenn ein Schaden durch die Steuerungselektronik oder -software verursacht wird, haftet der Aufbereiter oder Systemintegrator; wenn chemische Komponenten die Ursache für einen Schaden sind, haftet der Hersteller. Auch eine sichere und ordnungsgemäße Behandlung und Lagerung wird vertraglich geregelt.

5.5 Strategie- und Handlungsempfehlungen

Wie oben dargestellt, gibt es bei der Nutzung von SL-Batterien für stationäre Anwendungen noch offene Fragen, vor allem, was die Verfügbarkeit dieser Batterien, deren Restkapazität, Kosten sowie Sicherheits- und Haftungsaspekte angeht.

Aus ökologischer Sicht beinhalten die dargestellten SL-Anwendungen sowohl in Bezug auf die Wertschöpfungskette der Elektromobilität als auch in Bezug auf andere Sektoren ein hohes Umweltentlastungspotenzial. Daher gilt es zu überlegen, wie die Rahmenbedingungen für die beteiligten gewerblichen Akteure und Endnutzenden in der Zukunft verbessert werden könnten.

5.5.1 Anpassung der rechtlichen Vorgaben zum Abbau von Hemmnissen und Schaffung von Rechtsicherheit

Rechtliche Rahmenbedingungen geben vor, für welchen Zweck die Verkehrsfähigkeit von E-Auto-Batterien gegeben ist und für welchen Zweck diese zugelassen sind. Abhängig davon, ob der Zweck ausschließlich auf die Nutzung im Kraftfahrzeug beschränkt ist, wird die Batterie am Ende der Nutzungsdauer im Kraftfahrzeug zu Abfall. Mit dem am 10.12.2020 von der EU-Kommission vorgelegten Vorschlag an das EU-Parlament für die Novellierung der Batterie-Richtlinie (EC 2020) werden relevante Themen für die Kreislaufführung von Batterien adressiert, darunter auch explizit Vorschläge für den Umgang mit Second-Life-Batterien.

Die darin enthaltene enge Definition von E-Auto-Batterien legt den spezifischen Zweck als Traktionsbatterie für die Nutzung im Straßenverkehr fest (Art. 2). Hierbei sollte allerdings noch der Gesetzgeber klären, ob alle E-Auto-Batterien am Ende ihres ersten Lebens dann automatisch zu Abfall werden oder nicht. Die enge Definition im Gesetzesvorschlag könnte so ausgelegt werden, dass die für den anzunehmenden Entledigungswillen wichtige Zweckbindung (siehe KrWG § 3, Abs. 3) bei einer anderen Nutzung als im Straßenverkehr wegfallen könnte. Allerdings erfolgt die Homologation von E-Auto-Batterien nach Aussagen von Herstellern meist schon unter Berücksichtigung ihres späteren Einsatzes im stationären Bereich (z.B. inklusive CE-Zulassung).

Für den Zweck der Wiederverwendung wird in Art. 59 explizit der Zugang zu Informationen gefordert (siehe auch nächster Abschnitt) und diese Akteure sollen sicherstellen, dass Behandlung, Transport und Lagerung entsprechend der gesetzlichen Sicherheitsstandards erfolgt und von den SL-Batterien keine Gefahren für die menschliche Gesundheit ausgehen und alle technischen Anforderungen der Zielmärkte erfüllt sind.

Damit Altbatterien nach ihrer Wiederaufbereitung das Abfallregime verlassen und damit ihre Abfallende-Eigenschaft erhalten, sieht der Richtlinienvorschlag vor, dass für diese Batterien folgende Dokumentationen vorgelegt werden müssen:

- einen Nachweis über die Eignung zur Wiederaufbereitung durch Prüfung der Batterieleistungsdaten,
- die Gewissheit über die weitere Verwendung (durch eine Rechnung oder einen Kaufvertrag)
- einen angemessenen Schutz vor Beschädigung während der Beförderung, des Be- und Entladens.

Diese Informationen werden den Endnutzenden und Dritten, die in ihrem Namen handeln, zu gleichen Bedingungen als Teil der technischen Unterlagen zur Verfügung gestellt, die der wiederverwendeten Batterie beiliegen, wenn sie in Verkehr gebracht oder in Betrieb genommen wird. Schließlich kann die EU-Kommission ermächtigt werden über zusätzliche Ausführungsbestimmungen (*implementing acts*) detaillierte Bestimmungen für ihr Abfallende zu formulieren.

Durch diese Maßnahmen wäre bei Verabschiedung der Richtlinie gewährleistet, dass die zweite Stufe der Abfallhierarchie verankert ist und SL-Anwendungen besser marktfähig werden.

Die gesetzlichen Grundlagen in Bezug auf die erweiterte Produzentenhaftung (*extended producer responsibility*, EPR) von EV-Batterien sind gerade im Entstehen. Bei der erweiterten Produzentenhaftung werden die OEM verpflichtet, die Altbatterien kostenfrei zurückzunehmen. Allerdings können diese schlecht für die wiederaufbereiteten Speicher in einer Second-Life-Anwendung haftbar gemacht werden. Somit bietet sich an, das EPR-Regime aufzuteilen und die Verpflichtungen auf die Inverkehrbringer der SL-Produkte für die Dauer ihres zweiten Lebens zu übertragen. Die Kosten könnten ggf. analog zur jeweiligen Wertschöpfung entlang der Wertschöpfungskette zwischen den verschiedenen Akteuren aufgeteilt werden.

5.5.2 Offenlegungspflicht von Schnittstelleninformationen

Für alle SL-Anwendungen gilt, dass eine Zerlegung auf Modul- oder gar auf Zellebene und eine folgende Neuverschaltung zu Batterieblöcken aktuell ökonomisch wenig tragfähig ist. Daher ist es notwendig, dass die Batterien im Ganzen in SL-Anwendungen eingesetzt werden können. Eine Standardisierung der Systeme könnte Geschäftsmodelle einfacher möglich machen. So kann man sich in der Zukunft vorstellen, dass zukünftig nicht nur die Batterie aus dem Auto ausgebaut wird. Im Elektroauto sind auch weitere Aggregate wie Leistungselektronik und der Wechselrichter verbaut, der für den Motor angepasst ist. Wenn diese Bauteile hinreichend „universal“ sind, könnten sie durch Kooperation der Autowerkstatt und einem Elektrobetrieb ausgebaut und in einem 220 V, 50 Hz-Haushalt angeschlossen werden, sei es als einfacher Batteriespeicher oder in Kombination mit einer PV Anlage, vergleiche Kapitel 5.2.3.5.

Verfügen die Systemintegratoren über die benötigten Zugänge zu Softwareschnittstellen, so können Informationen über den Zustand der Batterie schnell ausgelesen werden und einzelne Module und Zellen effizient angesteuert werden. Daher sollten die Hersteller (z. B. über die Batterie-Richtlinie) die für SL-Anwendungen relevanten Informationen verbindlich und zu

verhältnismäßigen Kosten an Akteure im Bereich SL-Anwendungen verfügbar machen. Dies wird in Artikel 14 des Vorschlags der EU-Kommission adressiert und in Anhang VII weiter ausgeführt. Dabei sollen die benannten Leistungsdaten diskriminierungsfrei dem Eigentümer der Batterie oder beauftragten Dritten, auch unabhängigen Wiederaufbereitungs-Betrieben, zur Verfügung stehen, damit diese sie zum Zwecke der Wiederaufbereitung auslesen können (Art. 59).

5.5.3 Ökologischen Nutzen der SL-Anwendungen sicherstellen

Der ökologische Nutzen scheint auf der Hand zu liegen: Die Umweltauswirkungen von Li-Ionen-Batterien werden hauptsächlich durch die Produktion der Zellen erzeugt. Die Unsicherheiten bei ökologischen Abschätzungen sind dabei groß, da sich zurzeit die Energiedichte der Lithiumionenbatterien erhöht, sich Optimierungspotentiale bei der Batterieherstellung einstellen und sich die Anoden- und Kathodenzusammensetzung ändert.

Aus ökologischer Perspektive stellt sich der Nutzen von SL-Speichern dann ein, wenn diese neue, stationäre Speicher ersetzen. Natürlich ist aber zu prüfen, ob SL-Speicher auch in jeder Anwendung ökologisch sinnvoll sind. So stellt sich beispielsweise die Frage, ob größere regionale stationäre Speicher im Quartier nicht umweltfreundlicher sind als viele kleine Hausspeicher mit eigener Elektronik für PV-Anlagen. Hierzu sollte es nähere Untersuchungen geben.

5.5.4 Zurechnung der Emissionsreduktion zum Verkehrsbereich in den Klimainventaren

Damit für die OEM ein Anreiz entsteht, selbst aktiv oder in Kooperation in SL-Anwendungen zu investieren, sollten die durch SL-Anwendungen eingesparten Treibhausgasemissionen im Rahmen der für die Berechnung der Sektorziele genutzten Klimainventare dem Verkehrssektor zugeschrieben werden. In diesem Sektor findet auch die erste Nutzung statt und die entsprechenden Umweltbelastungen werden dort systematisch zugeschrieben.

6 Synthese

*Autor: Dirk Arne Heyen (Öko-Institut), unter Mitarbeit der Autor*innen der vorherigen Kapitel sowie Katrin Ostertag (Fraunhofer ISI)*

Abschließend sollen zentrale und übergreifende Erkenntnisse formuliert werden, die sich aus den Fallstudien und der allgemeinen Literaturauswertung (Kap. 2) ergeben. Bei den Fallstudien wird hierbei primär auf die ersten beiden zurückgegriffen, in denen mit Automobil- und Chemieindustrie zwei etablierte, volkswirtschaftlich bedeutsame Branchen mit großer Klima- und Umweltrelevanz untersucht wurden, und die sich somit eher miteinander als auch mit den Fallbeispielen der allgemeinen Literaturauswertung vergleichen lassen.

- Mit rund 830.000 Erwerbstätigen (2019) ist die **Automobilindustrie** einer der größten Arbeitgeber in Deutschland. Die Beschäftigten erwirtschafteten 4,7 % der gesamten deutschen Bruttowertschöpfung und erbrachten entsprechend eine wirtschaftliche Leistung von 138 Mrd. Euro im Jahr 2017. Schließt man die vorgelagerten Branchen mit ein, können in den vergangenen Jahren insgesamt etwa 1,75 Millionen bis 2,2 Millionen Erwerbstätige direkt und indirekt mit der Automobilwirtschaft in Verbindung gesetzt werden (s. Kap. 4.1).
- Die **Chemische Industrie** (ohne pharmazeutische Erzeugnisse) erbrachte 2017 eine Bruttowertschöpfung von ca. 49,7 Milliarden Euro, was einem Anteil von 2 % an der gesamten Bruttowertschöpfung in Deutschland entspricht (Statistisches Bundesamt 2020). Sie hat etwa 340.000 Beschäftigte (VCI 2019). Die hier im Fokus stehende Basischemie ist für über die Hälfte der Beschäftigten und fast zwei Drittel des Umsatzes verantwortlich. Eine besondere Bedeutung der Branche ergibt sich dadurch, dass sie ein bedeutender Zulieferer für andere Sparten der Chemischen Industrie selbst und eine Vielzahl anderer Wirtschaftsbranchen ist.

Damit ist auch ein wichtiger Unterschied der beiden (Teil-)Branchen angesprochen: die Position in der Wertschöpfungskette. Die **Basischemie** ist wichtiger **Lieferant** der Spezialchemie, der pharmazeutischen Industrie und vieler Wirtschaftszweige außerhalb (u. a. Automobilindustrie, Kunststoffverarbeitende Industrie etc.). Die **Fahrzeughersteller** stehen mit ihren Produkten dagegen am Ende der Wertschöpfungskette und direkt am Endkunden. Die Automobilindustrie ist wichtiger **Abnehmer** für eine Vielzahl von Bauteilen und Materialien.

Bei beiden Branchen muss aber in den nächsten Jahren ein Strukturwandel bewerkstelligt werden, der eine Erreichung von ambitionierten Umwelt- und v.a. Klimazielen (in Richtung „Klimaneutralität“) sicherstellt und zugleich ökonomisch erfolgreich ist, also Wertschöpfung und Beschäftigung in Deutschland sichert.

Im Folgenden werden Erkenntnisse zu a) Ursachen / Treibern des Wandels, b) möglichen Entwicklungen und Folgewirkungen, sowie c) Strategie- und Handlungsempfehlungen zusammengefasst und verglichen. Bei den Empfehlungen wird auch noch einmal auf die allgemeine Literaturauswertung in Kap. 2 zurückgegriffen. Wenn nicht anders angegeben, entstammen die folgenden Informationen aus den vorherigen Kapiteln (2-5). Quellenangaben von dort werden hier nicht noch einmal wiederholt. Gelegentlich wird auch auf den Branchenscreening-Bericht aus AP 1 des Projekts verwiesen (Hünecke et al. 2021).

Der folgende Fokus auf Treiber soll nicht darüber hinwegtäuschen, dass einem Wandel immer auch Hemmnisse entgegenstehen, insbesondere Pfadabhängigkeiten und Lock-in-Effekte bestehender Technologien und Infrastrukturen, aber auch Lebensweisen und Normen. Dies hat die Literaturauswertung (Kap. 2), aber auch die Fallstudie zum neuen Geschäftsfeld (Kap. 5) aufgezeigt. In der Automobil- und Chemieindustrie sind solche hemmenden Effekte ebenfalls

relevant. Schließlich sind beide Branchen lange Zeit sehr erfolgreich mit ihren bestehenden Technologien und Produkten gefahren und haben viel in entsprechende Forschung, Entwicklung und Produktionskapazitäten investiert.

6.1 Ursachen & Treiber des Wandels

Strukturwandel wird klassischerweise von technischen und/oder ökonomischen Entwicklungen verursacht bzw. vorangetrieben. Beim „ökologischen Strukturwandel" sind Treiber (auch) die Lösungssuche für Umweltprobleme (Ressourcenverbräuchen oder Emissionen) und/oder die Reaktion auf ökologische Megatrends (wie die Anpassung an den Klimawandel). Aber auch hier wirken parallel starke technisch-ökonomische Entwicklungen (vgl. auch die Megatrend-Analysen in AP 1, s. Hünecke et al. 2021). Die unterschiedlichen Treiber des Strukturwandels werden im Folgenden zusammengefasst, wobei sie sich inhaltlich nicht völlig trennen lassen.

6.1.1 Ökologischer Handlungsdruck

Ein zentraler Treiber für den Wandel der hier betrachteten Branchen ist die Bekämpfung des Klimawandels und somit der ihn verursachenden THG-Emissionen. Vor dem Hintergrund der im Pariser Klimaabkommen formulierten Ziele zur Eingrenzung des Klimawandels ist eine drastische Minderung der THG-Emissionen innerhalb der nächsten zehn bis zwanzig Jahre notwendig. Bis spätestens 2050 wird „Klima-„ bzw. „Treibhausgasneutralität" angestrebt, was mittlerweile auch in den Klimaschutzgesetzen Deutschlands (hier nun neuerdings sogar mit der Zielmarke 2045) und der EU rechtlich verankert ist. Angesichts dessen sind bloße Effizienzsteigerungen bestehender Technologien unzureichend.

- Die **Chemieindustrie** gehört zu den energie- und emissionsintensivsten Industrien. Die Herstellung der sogenannten „Plattformchemikalien"[31] ist allein für etwa zwei Drittel aller THG-Emissionen des Sektors verantwortlich. Die gesamten Emissionen aus Energiebedarf, Prozessen und Produkten der Basischemie lagen nach einer für den Verband der Chemischen Industrie erstellten Roadmap bei knapp 113 Mio. t CO_2 im Jahr 2020 (VCI 2017). In der Branche werden fossile Rohstoffe (v.a. Erdöl, aber auch Erdgas, sowie nur noch in geringem Umfang Kohle) nicht nur energetisch, sondern auch stofflich genutzt. Mit einem Anteil von 87 % liegt die stoffliche Einsatzmenge fossiler Rohstoffe deutlich über dem Anteil biogener Rohstoffe (13 %), bezogen auf die Rohstoffbasis der organischen Basischemie. Mit Blick auf Emissionsminderungen müssen daher neben den energetischen und prozessbedingten Emissionen die sogenannten Scope-3-Emissionen berücksichtigt werden, die aus der Nutzung oder Verbrennung chemischer Produkte stammen. Die Basischemie steht somit auch vor einem grundlegenden Wechsel ihrer Rohstoffbasis.

- In der **Automobilwirtschaft** entstehen ebenfalls THG-Emissionen in der Produktion (insbesondere bei metallverarbeitenden Wertschöpfungsstufen). Der größte Änderungsdruck zur Minderung von Emissionen besteht jedoch auf Ebene der produzierten Fahrzeuge: Der Straßenverkehr ist weltweit für 26 % des Endenergiebedarfs und 24 % der energiebedingten Treibhausgasemissionen verantwortlich. Hinzu kommt der Ausstoß von gesundheitsschädlichen Luftschadstoffen. Durch fossile Kraftstoffe angetriebene Fahrzeuge unterliegen daher in vielen Ländern der Welt immer anspruchsvolleren staatlichen Regulierungen (z. B. durch Effizienz-/Emissionsstandards, Luftschadstoffgrenzwerte, innerstädtische Fahrbeschränkungen, teils auch langfristige Neuzulassungsverbote),

[31] Ammoniak, Methanol, Ethylen, Propylen, Chlor und die Aromaten Benzol, Toluol und Xylol (BTX) sowie Butadien werden in großen Mengen am Beginn der chemischen Wertschöpfungskette produziert.

während die Verbreitung von Elektroautos gefördert wird (z. B. durch Kaufprämien, Steuerprivilegien, teils auch Absatzquoten für die Hersteller).

Im Vergleich der beiden Branchen ist der globale politisch-regulative Handlungsdruck in Sachen Klimaschutz und Luftqualität auf der Automobilwirtschaft in den letzten Jahren stärker gewesen als der Druck auf die Chemieindustrie.[32] Dies hängt mutmaßlich zum einen damit zusammen, dass für Fahrzeuge die technischen, (lokal) schadstofffreien Alternativen schon ausgereifter und erprobter sind als für viele chemische Prozesse und Produkte. Zum anderen tragen dazu aber auch globale Marktentwicklungen und nationale Interessen in Absatzmärkten bei. Beide Aspekte werden im Folgenden näher ausgeführt.

6.1.2 Globale Marktentwicklungen und Regulierungen in Absatzmärkten

Beide hier betrachteten Branchen sind durch ihre Wertschöpfungsketten international stark verflochten. Die Handelsintensität beider Branchen in Deutschland liegt über dem Durchschnitt des produzierenden Gewerbes hierzulande; im Chemiesektor sogar besonders deutlich (vgl. Hünecke et al. 2021). Daraus ergibt sich grundsätzlich eine hohe Sensitivität gegenüber dem weltwirtschaftlichen Umfeld (z. B. Konjunktur) und dem internationalen Wettbewerb.

In beiden Branchen ist außerdem die Nachfrage in den letzten Jahren hauptsächlich in Asien, insbesondere China, stark gewachsen. So hat sich der Anteil Chinas am weltweiten Pkw-Absatz zwischen 2005 und 2017 von 9 % auf 35 % fast vervierfacht (2019: 33%). Gleiches gilt für den Anteil Chinas am Weltchemieumsatz, der von 11,6 % im Jahr 2005 auf fast 41 % im Jahr 2019 stieg. Entsprechend exportieren deutsche Firmen nicht nur viel in diese Region, sondern bauen insbesondere auch zusätzliche Produktionskapazitäten (oft als Joint Ventures) vor Ort auf.

China und andere Länder haben ihre Produktionskapazitäten in den letzten Jahren jedoch auch selbst massiv ausgebaut, was deutsche Unternehmen in den beiden hier betrachteten Branchen auf unterschiedliche Weise unter Druck setzt:

- Die europäische **Grundstoffchemie** ist zunehmendem Wettbewerbsdruck internationaler Konkurrenten ausgesetzt, die angesichts von Produktionskostenvorteilen ihre Kapazitäten deutlich ausgebaut haben. So haben US-amerikanische Produzenten von niedrigen Energie- und Rohstoffkosten durch die Schiefergasförderung profitiert. Aber auch im Nahen Osten wurden rohstoffnahe Produktionskapazitäten ausgebaut. Dabei übersteigt die Produktion in diesen rohstoffreichen Ländern die Inlandsnachfrage und bedient zunehmend die Weltmärkte. Zudem geht man von entstandenen Überkapazitäten in China aus. Der deutschen Basischemie mit relativ hohen Rohstoff- und Energiekosten drohen somit eine geringere Exportdynamik, zunehmender Importdruck und insgesamt niedrigeres Wachstum.

- Die europäische **Automobilwirtschaft** sieht sich vor allem im wichtigen Absatzmarkt China der zunehmenden Konkurrenz einheimischer Hersteller gegenüber – insbesondere im Segment der Elektroautos, die durch den chinesischen Staat zunehmend privilegiert werden gegenüber Autos mit Verbrennungsmotoren. Neben umwelt- bzw. gesundheitspolitischen Gründen spielen hier auch industriepolitische Erwägungen eine Rolle. Denn während chinesische Firmen bei der Entwicklung von Verbrennungsmotoren einen technischen Kompetenzrückstand hatten, besitzen sie bei Batterietechnologien einen Entwicklungsvorsprung gegenüber der deutschen Automobilwirtschaft. Hinzu kommt, dass China durch die Elektromobilität seine hohe Importabhängigkeit von Öl reduzieren kann.

[32] Die Chemieindustrie stand freilich bereits in den 1970er Jahren und auch folgenden Jahrzehnten unter Druck mit Blick auf Umwelt- und Gesundheitsgefährdungen durch Chemikalien und Fabrik-Störfälle.

6.1.3 Technologischer Wandel

Voraussetzung (und teilweise auch Treiber) für einen Strukturwandel sind zudem die Fortschritte bei neuen alternativen Technologien, die die bestehenden ersetzen können:

- Im Fall der **Elektromobilität** ist dies in erster Linie die kontinuierliche Weiterentwicklung von Batteriesystemen (zunächst in anderen Anwendungsgebieten), die in einer Erhöhung der Energiedichte und einer Kostendegression resultierte. Dies ist das Ergebnis von hohen F&E-Investitionen sowie zunehmenden Skaleneffekten über die letzten 25 Jahre.
- Im Fall der **Basischemie** geht es insbesondere um eine CO_2-freie Energiebereitstellung – beispielsweise zur Bereitstellung von Prozesswärme für chemische Reaktoren – sowie den Einsatz nicht-fossiler Kohlenstoffquellen (strombasierte Rohstoffe, Biomasse, Kunststoffabfälle). Beides wird im Grundsatz zunehmend durch den Ausbau von Erneuerbaren Energien zur Strombereitstellung begünstigt. Auch hier gibt es zwar bereits technologisch weit entwickelte Lösungen, allerdings steht eine breite Markteinführung noch aus, da hier hohe Investitionen unter schwierigen ökonomischen Rahmenbedingungen (weltweite Überkapazitäten an konventioneller Produktion) getätigt werden müssen.

Darüber hinaus treibt der Megatrend der fortschreitenden Digitalisierung und Automatisierung den Strukturwandel vieler Branchen voran. Dies wird sich auf Produktionsprozesse („Industrie 4.0“) sowie Produkte und Geschäftsmodelle auch der Automobil- und der Chemieindustrie auswirken. Besonders stark werden jedoch voraussichtlich Straßenfahrzeuge betroffen sein. Das vernetzte und automatisierte Fahren erfordert neue Kompetenzen im Automobilbau; gleichzeitig entstehen neue Mobilitätsdienstleistungen. Im Zuge dessen gewinnen neue Akteure mit hoher Innovationskraft und dem Fokus auf Digitalisierung und Automatisierung an Bedeutung und setzen klassische Hersteller unter zusätzlichen Druck.

6.2 Mögliche Entwicklungen der Branchen und ihre Folgen

Die eben beschriebenen Treiber sorgen dafür, dass die Automobil- und Chemieindustrie (neben anderen Branchen, vgl. Hünecke et al. 2021) vor einem erheblichen Wandel stehen. Zwar zeichnet sich jeweils eine grobe Richtung ab, eine genaue Prognose der weiteren Entwicklung ist aber immer mit Unsicherheiten behaftet. Vielmehr sind verschiedene Szenarien denkbar und werden in fundierten Studien auch getrennt betrachtet und verglichen.

6.2.1 Automobilwirtschaft

In der Automobilwirtschaft wird für die kommenden Jahre und Jahrzehnte weltweit eine Fortsetzung des exponentiellen Wachstums des E-Pkw-Bestands erwartet. Die Größenordnung des Wachstums bzw. der Zeitpunkt des beschleunigten Markthochlaufs variiert jedoch zwischen den Szenarien. Zudem spielen die anderen Trends wie Digitalisierung, automatisiertes Fahren und neue Mobilitätsdienstleistungen eine Rolle, deren genauen Effekte ebenfalls unsicher sind. So ist offen, wie sich der Markt zwischen den etablierten Herstellern und neuen Akteuren (u. a. aus dem IKT-Bereich) aufteilen wird, und welche Rolle(n) die etablierten Hersteller einnehmen. Eine Möglichkeit ist, dass sie zu „Hardware“-Zulieferern von Modul-Fahrzeugen für IKT-Akteure werden, womit sie in der Wertschöpfungskette eine Stufe nach unten rücken würden. Unter Branchenakteuren gibt es hierzu unterschiedliche Einschätzungen und auch Empfehlungen.

Sowohl für die Elektrifizierung als auch die Digitalisierung sind große Investitionen durch die Hersteller und Zulieferer notwendig. Gleichzeitig die Renditeerwartungen der Investoren zu erfüllen, stellt eine Herausforderung dar. Die Erfolgschancen der deutschen Hersteller und großer, breit aufgestellter Zulieferer werden dennoch durchaus optimistisch eingeschätzt

angesichts ihres in vielerlei Hinsicht auch weiterhin benötigten Know-hows, ihres globalen Netzwerks und im Fall der Premiumsegmente auch der höheren Margen. Schwieriger wird die Lage für jene (mittelständischen) Zulieferer eingeschätzt, die bislang auf Komponenten im Zusammenhang mit Verbrennungsmotoren spezialisiert waren. Diese müssten ihr Produktportfolio bei der absehbaren Durchsetzung batterieelektrischer Antriebe grundlegend umstellen. Es wird damit gerechnet, dass manche dieser Betriebe komplett vom Markt verschwinden. Durch die oft vorhandene regionale Konzentration solcher Unternehmen könnten auch ganze regionale Wirtschaftscluster betroffen sein, die auf solche Komponenten spezialisiert sind.

Die Notwendigkeit einheimischer Batterieproduktion zur Sicherung von Wertschöpfung und Wettbewerbsfähigkeit in Deutschland wird von Expert*innen unterschiedlich eingeschätzt. Auf der einen Seite wurden die mangelnde heimische Batteriezellenproduktion und die folgend bestehende starke Abhängigkeit von den internationalen Produzenten von Batterien als Risiko wahrgenommen. Auf der anderen Seite könne ein späterer Einstieg in die Produktion von Batterien einer neuen Generation sowie das Anbieten eines ausgereiften Gesamtkonzepts EV als möglicher erfolgreicher Entwicklungspfad gesehen werden. Darüber hinaus seien die deutschen Hersteller durch ein Auslagern der Komponente Batterie, meist an asiatische Batteriezellenhersteller, auch in einer flexiblen Position, um auf etwaige Preisentwicklungen, Technologiesprünge o.ä. zu reagieren.

Ob der Strukturwandel insgesamt umfassende Arbeitsplatzverluste mit sich bringen wird, dazu gehen die Einschätzungen der Studien und Akteure im Sektor auseinander. Weithin unbestritten ist, dass Entwicklung und Produktion des elektrischen Antriebsstrangs weniger Arbeitskräfte erfordern als die des klassischen Verbrennerfahrzeugs. Der Fahrzeugbau und seine Zulieferer müssen daher mit einem gewissen Beschäftigungsrückgang rechnen, der zudem von der weiteren Entwicklung der jeweiligen Marktanteile abhängig ist. Gewerkschaften befürchten zudem, dass die Umbrüche von den Unternehmen für Standortverlagerungen und den Ausstieg aus Tarifvereinbarungen genutzt werden könnten. Inwieweit Verluste beim Fahrzeugbau innerhalb der Automobilindustrie oder in anderen Segmenten des Verkehrssektors (Bahn, ÖPNV, neue Mobilitätsdienstleistungen) – freilich mit teils veränderten Qualifikationsprofilen – kompensiert werden können, ist in der Diskussion. In der Summe werden auch positive Beschäftigungseffekte für möglich gehalten.

6.2.2 Basischemie

Bislang spürte die deutsche Basischemie vor allem die o.g. ökonomischen Trends, insbesondere den verschärften internationalen Wettbewerb durch gewachsene Produktionskostenvorteile und -kapazitäten in Asien und den USA. Es wird davon ausgegangen, dass Exportdynamik und Wachstum der hiesigen Basischemie gering sein werden, sie aber dank räumlicher Nähe und integrierter Verbundproduktion weiterhin für den europäischen Markt produzieren kann – wenn sich die ökonomischen Rahmenbedingungen (wie Konjunktur und Strompreise) nicht weiter verschlechtern. In einem pessimistischen Risikoszenario dagegen könnten sich Produktionsrückgänge und unterbrochene Wertschöpfungsketten auf den deutschen Industrieverbund insgesamt negativ auswirken.

Zugleich muss die Chemieindustrie einen Pfad zu weitgehender Klimaneutralität einschlagen, der durch reine Effizienzverbesserungen nicht zu bewerkstelligen ist, sondern neue Rohstoffe und Produktionsprozesse benötigt. Hierbei geht es insbesondere um strombasierte Wärme- und Dampfbereitstellung, Wasserstoffherstellung auf Basis erneuerbarer Energien sowie Nutzung nicht-fossiler Kohlenstoffquellen (strombasierte Rohstoffe, Biomasse, Kunststoffabfälle). Die

technischen Optionen dafür stehen weitgehend bereit, allerdings stehen zum Teil noch eine Weiterentwicklung von Technologien zur Marktreife sowie ein großflächiger „Roll-out“ aus.

Auch detaillierte Analysen der Implikationen einer weitgehenden Umstellung der Energie- und Rohstoffbasis stehen noch relativ am Anfang, deuten jedoch auf einen tiefgreifenden Wandel mit komplexen Herausforderungen hin. Hierbei spielen die engen Zusammenhänge und Abhängigkeiten zwischen Chemieindustrie und anderen Sektoren mit hinein, die im Zuge eines gestiegenen Bedarfs an erneuerbaren Energien, Wasserstoff und alternativen Kohlenstoffquellen (etwa aus der Stahlindustrie) noch verstärkt werden könnten. Die erforderlichen, teils außerhalb der Chemieindustrie liegenden, Investitionen sind in einem ambitionierten Klimaneutralitätsszenario enorm. Die Produktionskosten für viele Plattformchemikalien wären zwei- bis fünffach höher im Vergleich zu den bislang fossil basierten Produkten. Zudem würde der Strombedarf einer „defossilierten“ Chemieindustrie das hierzulande verfügbare Produktionspotenzial erneuerbarer Energien wahrscheinlich übersteigen. Dies würde den Import strombasierter Grundstoffe notwendig machen – oder die Frage der Produktionsverlagerung an „Gunststandorte“ aufwerfen. Dies hätte wiederum Auswirkungen auf die Beschäftigung im Land, wobei detaillierte Prognosen zu Beschäftigungseffekten in der Chemieindustrie bislang fehlen.

Zudem muss die Effizienz des Gesamtsystems aus Stromerzeugung, PtX-Erzeugung und der Einsatz in der Chemieindustrie berücksichtigt werden. Um Umwandlungsverluste und damit den erheblichen Strombedarf für die Rohstoffbereitstellung zu begrenzen, ist eine schrittweise Umstellung der Prozessketten in der Chemischen Industrie je nach Produkt zu überlegen. Es besteht noch Forschungsbedarf, welche Prozesse sinnvollerweise auf welche PtX-Produkte umgestellt werden können, um eine effiziente Transformation des Sektors zu ermöglichen.

6.3 Zwischenfazit

Beide hier im Fokus stehenden Branchen stehen vor einem grundlegenden Strukturwandel. Als Treiber vermischen sich ökologischer Handlungsdruck und entsprechende politische Maßnahmen mit globalen technologischen und ökonomischen Entwicklungen. Die beiden Branchen unterscheiden sich jedoch mit Blick auf diverse Eigenheiten ihres Strukturwandels:

- **Stärke des umweltpolitischen Handlungsdrucks**: In den letzten Jahren ist der politisch-regulative Druck in Sachen Klimaschutz und Luftqualität **auf der Automobilwirtschaft global stärker ausgeprägt gewesen als in der Chemieindustrie**. Dies hängt neben ökologischen auch mit unterschiedlichen nationalen ökonomischen Interessen zusammen. Das ändert jedoch nichts daran, dass auch die Chemieindustrie bis 2045 klimaneutral sein muss und damit vor großen Herausforderungen steht.
- **Kern / Typus des Strukturwandels**: Während in der (am Ende der Wertschöpfungskette operierenden) **Automobilwirtschaft** primär das **Endprodukt** (Fahrzeug) vor einem Umbruch steht, ist es in der (am Anfang vieler Wertschöpfungsketten stehenden) **Grundstoffchemie** primär die fossile **Rohstoff- und Energiebasis der Produktion**. So sprechen Hünecke et al. (2021) im ersten Fall von einem „produktbezogenen“ und im zweiten Fall von einem „ressourcenbezogenen Strukturwandel“.
- **Stand & Dynamik des Wandels**: Im Fall der **Automobilwirtschaft** ist der technologische Umbruch schon **am Laufen** und wird in den nächsten Jahren wahrscheinlich die gesamte Industrie erfassen und eine **hohe Dynamik** bekommen. Im Fall der **Chemieindustrie** steht der Wandel eher noch **am Anfang** und die **weitere Dynamik ist stark abhängig** von den künftigen klima- und energiepolitischen Rahmenbedingungen.

- **Vorreiter-/Nachzügler-Rolle der deutschen Unternehmen**: Im Fall der **Elektromobilität** sind die etablierten deutschen Hersteller eher **Nachzügler** gegenüber ausländischen, teils auch neuen Marktakteuren. Im Bereich klimaneutraler **(Basis-)Chemie** könnten die deutschen Hersteller sowie – vorgelagert – der deutsche Anlagenbau technologischer **Vorreiter** werden. Beide Rollen beinhalten ökonomische Chancen und Risiken. Nichts zu tun, wäre jedoch in beiden Fällen weder ökologisch noch ökonomisch eine sinnvolle Option.
- **Rolle neuer vs. etablierter Unternehmen für den Wandel:** In der **Automobilindustrie** bringt die Elektromobilität und noch stärker das vernetzte und automatisierte Fahren **neue Akteure** in den (heimischen) Markt. Das setzt die klassischen Hersteller an verschiedenen Fronten unter Druck. Auf Komponenten des Verbrenner-Antriebsstrangs spezialisierte Zulieferer drohen ganz vom Markt zu verschwinden. In der **Basischemie** sind die Markteintrittsbarrieren aufgrund der Spezifika der Prozessindustrie und der Vorteile der Verbundproduktion der **etablierten Unternehmen** traditionell hoch. Da es sich um physische Interdependenzen handelt, ändern voraussichtlich weder die Umstellung auf eine klimaneutrale Energie- und Rohstoffbasis noch die Digitalisierung daran viel. Es ist daher unwahrscheinlich, dass der Wandel der Chemischen Industrie in Deutschland oder der EU durch das Auftreten neuer Akteure im heimischen Markt beschleunigt wird.
- **Interessen entlang der Wertschöpfungskette:** Mit Blick auf die Wertschöpfungskette einer unter Druck stehenden Branche stellt sich die Frage, ob ein gemeinsames Interesse am Wandel der gesamten Wertschöpfungskette besteht. Für die **Grundstoffchemie** könnte dies durch die ausgeprägten Verbundvorteile innerhalb der Chemischen Industrie und die Vorteile der engen Hersteller-Nutzer-Beziehungen mit nachgelagerten Abnehmersektoren auch jenseits der Branche gegeben sein. Die Akteure in der **Automobilindustrie** unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Interessen teilweise grundlegend. Einige etablierte Firmen akzeptieren den Wandel prinzipiell und arbeiten an einer Umstellung ihrer Produktportfolios bei gleichzeitiger Wertschätzung und zumindest temporärem Festhalten an den „alten“ Technologien zur Sicherung ihres Umsatzes. Insbesondere Firmen mit stark auf den Verbrenner spezialisierten Produkten, die ihr Angebot nicht nur ändern, sondern nahezu ersetzen müssten, zeigen eher Desinteresse an einem Wandel. Neue Akteure und etablierte Zulieferer mit Stärken in den Zukunftstechnologien sehen große Chancen in einem sich möglichst schnell durchsetzenden Wandel.

6.4 Strategie- und Handlungsempfehlungen

Trotz der eben genannten Unterschiede zwischen beiden Fällen sind die grundsätzlichen Empfehlungen aus den Fallstudien und der allgemeinen Literaturauswertung recht ähnlich.

6.4.1 Herangehensweise: proaktiv, partizipativ und sektorübergreifend

Der Literaturauswertung zufolge haben vergangene Strukturwandelprozesse gezeigt, dass sie erfolgreicher verlaufen, wenn sie **frühzeitig** erkannt und die einhergehenden Herausforderungen **proaktiv** angegangen wurden, um spätere Investitionsfehlentscheidungen oder gar Strukturbrüche zu vermeiden. Eine frühzeitige Gestaltung des Strukturwandels gibt Unternehmen und Beschäftigten mehr Zeit zur Umstellung auf neue Geschäftsmodelle bzw. veränderte berufliche Anforderungen und Qualifikationen.

Vorausschauendes Handeln ist zentral **angesichts langer Planungs- und Investitionszyklen**, wie sie unter anderem in der Automobil- und Chemieindustrie gegeben sind. Der Planungsvorlauf für Pkw-Modelle liegt bei mehreren Jahren und die Fahrzeuge sind dann für zehn bis zwanzig Jahre auf der Straße. Große Produktionsanlagen gerade in der Chemieindustrie

haben in der Regel eine Lebensdauer von mehreren Jahrzehnten. Vorausschauendes Handeln **reduziert außerdem das Risiko, dass mehrere Anpassungserfordernisse gleichzeitig zu bewerkstelligen sind**. So ist in der Chemieindustrie bereits absehbar, dass in Zukunft auch ihr Produktportfolio unter Anpassungsdruck geraten könnte. So könnten im Zuge der Umstellung auf zirkuläres Wirtschaften solche Produkte, die das werkstoffliche Recycling bestmöglich unterstützen, an Bedeutung gewinnen.

Daraus folgt für die Politik, klare langfristige Ziele und verlässliche Rahmenbedingungen zu formulieren (s. nächster Abschnitt 6.4.2). Auch die Unternehmen selbst müssen sich frühzeitig auf den Wandel einstellen und sich über ihre Strategie klar werden. Es müssen, eventuell in Zusammenarbeit mit neuen Akteuren, **rechtzeitig neue Kompetenzen und womöglich auch neue Geschäftsfelder sowie verlässliche Lieferketten aufgebaut werden**.

Angesichts der kombinierten ökologischen, ökonomischen und sozialen Herausforderungen ist es wichtig, dass Vertreter*innen von Politik, Wirtschaft, Gewerkschaften, Industrieregionen, Umweltverbänden und Zivilgesellschaft **gemeinsam und konstruktiv** darüber diskutieren, wie anstehende Strukturwandelprozesse in verschiedenen Branchen am besten zu gestalten sind. Studien haben gezeigt, dass in der Vergangenheit Transformationsstrategien mit hohem Konsensgrad eine höhere Kohärenz und Resilienz aufwiesen und letztlich erfolgreicher waren.

Wichtiger Ausgangspunkt ist, ein gemeinsames Verständnis zu finden. Hiermit ist nicht zwingend eine Einigung auf bestimmte politische Maßnahmen gemeint, sondern ein **Konsens über Notwendigkeit und Zielrichtung des Wandels** – und optimalerweise eine **gemeinsame Zukunftsvision für den Sektor**, der dann auch die Unternehmensleitbilder und Beschäftigten beeinflusst. Vor- und Nachteile einzelner Technologien, konkrete Maßnahmen sowie Zielkonflikte bei der Erreichung der Vision können dann innerhalb des gemeinsamen normativen Rahmens offen diskutiert werden.

Angesichts großer Zusammenhänge und Abhängigkeiten zwischen Branchen müssen diese auch gemeinsam betrachtet werden. So können sich entlang von Wertschöpfungsketten mehrere parallele und zusammenhängende Anpassungserfordernisse ergeben. Insbesondere zwischen energieintensiven Grundstoffindustrien (aber auch zwischen diesen und dem Verkehrssektor) kann es zudem zu Konkurrenzen um große Mengen erneuerbar produzierten Strom und Wasserstoff kommen. In seiner RESCUE Studie hat das Umweltbundesamt 2019 mit integrierten, alle relevanten Sektoren umfassenden Szenarien Wege aufgezeigt, wie Treibhausgasneutralität bei möglichst sparsamer Rohstoffnutzung bis 2050 erreicht werden kann (UBA 2019). So wird in der Fallstudie zur Chemieindustrie die sektorübergreifende Erarbeitung einer **Roadmap** für die klimaneutrale Zukunft der gesamten Grundstoffindustrie in Deutschland empfohlen.

Anders als bei der Energie- und Automobilwirtschaft steht die Debatte über Wege zur Klimaneutralität in der Chemieindustrie und anderen Grundstoffindustrien noch am Anfang. Das zeigt auch die im Vergleich zur Automobilindustrie deutlich geringere Zahl an Studien, die sich bisher mit Strukturwandel (-effekten) in der Chemieindustrie beschäftigt hat. Die **Diskussionen zu Zielen und Strategien für die Chemie- und andere energieintensive Grundstoffindustrien müssten dringend an Dynamik und Bedeutung gewinnen**, um frühzeitig die nötigen Weichen zu stellen.

6.4.2 Umweltpolitik: vorausschauend, ambitioniert, kohärent und lernend

Mit der Formulierung **klarer, ambitionierter, mittel- und langfristiger Nachhaltigkeitsziele** kann die Politik Planungssicherheit schaffen. Dies ist von Vorteil für Unternehmen, Investoren und (künftige) Beschäftigte gleichermaßen – etwa mit Blick auf Investitionen in Forschung & Entwicklung oder in langlebige Produktionsanlagen, die Produktpalette oder auch hinsichtlich Berufswahl bzw. Weiterbildung. Soweit sinnvoll möglich, sollten **Ziele auf sektoraler Ebene präzisiert** werden, um gegenseitige Verantwortungszuweisungen zwischen Sektoren zu vermeiden

Wichtig ist zudem, den Blick nicht auf einzelne Nachhaltigkeitsziele zu verengen, sondern frühzeitig mögliche **Zielkonflikte zu identifizieren und zu bearbeiten**. Dies hilft, spätere Korrekturbedarfe zu reduzieren und stärkt die Planbarkeit. Dabei ist auch auf **Kohärenz zwischen den Zielen unterschiedlicher politischer Ebenen und Ressorts** zu achten.

Neben ambitionierten Zielen gehören zur Gestaltung eines „ökologischen Strukturwandels" auch **ambitionierte klima- und umweltpolitische Instrumente**, die den Ersatz umwelt- und klimaschädlicher Prozesse und Produkte durch ökologisch vorteilhafte sicherstellen. Welche Instrumente das konkret sein sollten, lässt sich nicht pauschal für alle Branchen und Umweltziele kurz benennen. In der Regel braucht es für einen tiefgreifenden Wandel aber einen „Policy-Mix", der neben Information und Beratung auch **preisliche und ordnungsrechtliche Instrumente** beinhaltet. Im Automobilsektor könnte die bestehende EU-Regulierung der CO_2-Emissionen von Pkw-Flotten auf Produzentenseite etwa um verbindliche Quoten an Elektroautos (wie in China) und konsumentenseitig um eine schneller ansteigende CO_2-Bepreisung ergänzt werden. Für den Chemiesektor werden unter anderem ebenfalls eine stärkere CO_2-Bepreisung und Quoten für CO_2-arme Materialien oder für Wasserstoff diskutiert.

Diese Instrumente können mit der Zeit auch verschärft werden, insbesondere wenn entsprechende Schritte wiederum frühzeitig kommuniziert wurden. Beispiele bei ökonomischen Instrumenten sind jährlich steigende CO_2-Steuern (bzw. CO_2-basierte Komponenten bei Energiesteuern) und die sinkende Zahl an Zertifikaten im europäischen Emissionshandel; Beispiele für ordnungsrechtliche Instrumenten sind über die Zeit sinkende Emissionsgrenzwerte (etwa bei den Pkw-Flotten von Herstellern) oder steigende Absatzquoten für Pkw mit alternativen Antrieben.

Die Politik muss bei der Formulierung von Zielen und Maßnahmen zugleich darauf achten, dass diese einen **Spielraum für Innovationen und neue Erkenntnisse** lassen, denn der Strukturwandel findet in einem dynamischen Umfeld statt und gerade zu Beginn bestehen noch hohe Unsicherheiten. Das **richtige Maß zwischen Planungssicherheit und Flexibilität** zu bestimmen, kann ein schmaler Grat sein. In Debatten um die politische Förderung nachhaltiger Technologien wird häufig eine politische Vorfestlegung auf bestimmte Technologien kritisiert und dem ein „marktwirtschaftlicher" Wettbewerbsprozess entgegengestellt. Wie die Agora Verkehrswende jedoch in einer Studie klarstellte, sollte **notwendige Technologieoffenheit nicht als regulatorische Technologieneutralität verstanden** werden, sondern als „alle volkswirtschaftlichen Kosten und Nutzen berücksichtigende[r] Wettbewerb", der Verzerrungen durch Pfadabhängigkeiten und nicht eingepreiste externe Kosten berücksichtigt und aufzulösen versucht (Elmer et al. 2020).

In jedem Fall muss ein lernendes Politiksystem seine **Ziele und Maßnahmen regelmäßig überprüfen** und eventuell anpassen oder präzisieren. Eine wichtige Grundlage dafür ist eine geeignete Indikatorik sowie Maßnahmen für Monitoring, Evaluierung und Kommunikation. Bei notwendigen Anpassungen ist es wichtig, dass die Politik die dahinterliegenden Muster – z. B.

die Kriterien, die sie bei der Anpassung ihres Instrumentariums anwendet – transparent und nachvollziehbar macht.

Eine wichtige Rahmenbedingung für den ökologischen Strukturwandel ist schließlich die **Verfügbarkeit großer (und relativ kostengünstiger) Mengen an erneuerbarem Strom**: direkt als elektrische Energie, aber etwa auch zur Produktion von Wasserstoff. Der sich aus ambitionierten Klimaschutzszenarien ergebende Bedarf für alle Sektoren übersteigt nicht nur deutlich die derzeitigen Ausbauambitionen für erneuerbare Energien (EE), sondern absehbar das überhaupt verfügbare EE-Potenzial in Deutschland. Damit ist ein erfolgreicher ökologischer Strukturwandel kurz- bis mittelfristig an einen schnelleren EE-Ausbau sowie Überlegungen über die prioritäre Nutzung von Wasserstoff in verschiedenen Branchen zu knüpfen – und mittel- bis langfristig zudem an internationale Kooperationen mit Ländern mit besseren Bedingungen für die Produktion von Strom aus erneuerbaren Energien und strombasierten Rohstoffen. Der o.g. Roadmap-Vorschlag aus der Chemie-Fallstudie greift diese Aspekte entsprechend auf.

6.4.3 Unternehmen beim Wandel unterstützen

Bei einer anspruchsvollen Klima- und Umweltpolitik in Deutschland und Europa muss darauf geachtet werden, dass durch die Maßnahmen keine bloße Verlagerung von Emissionen ins Ausland (*carbon leakage*) stattfindet, sei es durch Standortverlagerungen oder die Ersetzung heimischer Produktion durch Importe. Zur Regulierung beziehungsweise Bepreisung von Treibhausgasemissionen, oder auch hinsichtlich Gewinnung und Verbrauch von Ressourcen, wären international verbindliche Instrumente wünschenswert, diese sind jedoch in der Regel sehr schwierig zu realisieren. Eine sinnvolle Alternative kann ein europäisches Grenzausgleichsregime (*carbon border adjustment mechanism*, häufig auch „*carbon border tax*“) sein. Ein solcher Mechanismus berücksichtigt beim Import von Gütern aus Ländern mit einer weniger strengen Klimapolitik die mit der Produktion verbundenen Emissionen und erhebt einen entsprechenden monetären Aufschlag auf diese Güter. Damit soll eine Gleichbehandlung mit den inländisch (bzw. innerhalb der EU) hergestellten Gütern gewährleistet werden.

Die Europäische Kommission arbeitet derzeit an einem Vorschlag für ein solches System. Dabei gilt es methodische (korrekte Berechnung), handelsrechtliche (WTO-Recht) und -politische Herausforderungen (Risiko von Gegenmaßnahmen von Handelspartnern) zu überwinden.

Darüber hinaus kann die Politik die vom Strukturwandel betroffenen Unternehmen durch die gängige Instrumentenpalette zur **Förderung von klimafreundlichen Innovationen und Investitionen** unterstützen, z. B. durch direkte Investitionszuschüsse, günstige Kredite (insbesondere über die KfW), staatliche Bürgschaften, steuerlich vorteilhafte Abschreibungsregelungen – und kostenlose Beratungsangebote zu den Fördermöglichkeiten.

Angesichts der Notwendigkeit und zugleich großen Investitionsbedarfe eines „ökologischen Strukturwandels“ sollte sich die öffentliche Innovations- und Investitionsförderung noch **konsequenter als bisher nach Klima- und Umweltkriterien** richten. Mit der missionsorientierten Innovationspolitik der Hightech-Strategie 2025[33] sind dafür erste Weichen gestellt, die konkrete Ausrichtung gilt es stetig weiterzuentwickeln. Eine entsprechende Ausrichtung empfiehlt sich auch für milliardenschwere Konjunkturprogramme, wie sie in Zuge der „Corona-Krise“ aufgelegt wurden.

[33] Von besonderer Umweltrelevanz sind z. B. die Missionen „Plastikeinträge in die Umwelt substanziell verringern“, „Weitgehende Treibhausgasneutralität der Industrie“, „Nachhaltiges Wirtschaften in Kreisläufen“, „Biologische Vielfalt erhalten“ und „Eine sichere, vernetzte und saubere Mobilität“. Die Mission „Gut leben und arbeiten im ganzen Land“ thematisiert explizit den nachhaltigen und sozial gerechten Strukturwandel.

Zugleich ist angesichts kurzer Innovationszyklen zu überlegen, wie die aus Sicht von Unternehmen zu langen und bürokratischen Prozessen mit oft an spezifischen Teiltechnologien gebundenen F&E Förderungen **einfacher und flexibler** gestaltet werden können. Ein Beispiel guter Praxis sind die „Innovationsgutscheine" des Landes Baden-Württemberg. Hierbei handelt es sich um Programme, welche speziell KMU und Start-Ups bei der Planung, Entwicklung, Umsetzung und Weiterentwicklung von innovativen Produkten, Dienstleistungen oder Produktionsverfahren in ausgewählten High-Tech-Feldern unterstützen.

Im Vergleich zu etablierten, großen Unternehmen fällt es jungen und kleinen Firmen tendenziell schwerer, nötige Investitionen (etwa in F&E oder den Umbau von Produktionsanlagen) zu finanzieren, da die Kosten relativ zu ihrer Größe höher ausfallen, sie geringere absolute Überschüsse haben und bei Banken schwerer Kredite bekommen. Auch verursacht die Bewältigung bürokratischer Hürden bei ihnen relativ gesehen höhere Kosten. Daher sollten die **Bedarfe von KMU besonders berücksichtigt und sie gezielt unterstützt werden**.

Hinzu kommt, dass KMU oft spezialisiert sind. Wenn nun, wie im Fall der Automobilwirtschaft, viele kleinere Zulieferbetriebe auf Komponenten des klassischen Antriebsstrangs mit Verbrennungsmotoren spezialisiert sind, stehen diese vor besonders großen Herausforderungen. Diese Betriebe müssen in besonderem Maße – auch von ihren Abnehmern und den Sozialpartnern – unterstützt werden, die Stärken in ihrer Produktions- und Fertigungskompetenz auf, in dem Fall, die neue Antriebs- und Mobilitätswelt zu übertragen.

Es kann für Unternehmen in einer Marktwirtschaft jedoch keine Bestandsgarantie und Unterstützung „um jeden Preis" geben; manche werden auch vom Markt verschwinden. Im Gegenzug entstehen aber immer auch neue Unternehmen mit neuen Geschäftsmodellen und Arbeitsplätzen. Dafür ist es wichtig, Hemmnisse abzubauen und die **Rahmenbedingungen so zu gestalten, dass nachhaltige Geschäftsmodelle und Gründungen attraktiv werden**. Die dritte Fallstudie zu *Second-Life*-Batterien zeigt beispielsweise die Bedeutung von gesetzlichen Vorgaben zur Offenlegung bestimmter Daten aus dem automobilen Betrieb der Batterie, um nachhaltige Geschäftsmodelle einer „digitalisierten Kreislaufwirtschaft" zu erleichtern.

Neue Geschäftsmodelle und Firmengründungen kommen aber nicht automatisch den Beschäftigten und Regionen zugute, die von der Schrumpfung bestimmter Branchen betroffen sind. Daher brauchen häufig auch diese eine gewisse Unterstützung, womit sich die letzten beiden Abschnitte beschäftigen.

6.4.4 Beschäftigte beim Wandel unterstützen

Beschäftigte in schrumpfenden oder in einem starken Wandel befindlichen Industrien sollten, unter Berücksichtigung vorhandener Kompetenzen, insbesondere durch **Weiterbildungen und Umschulungen in Richtung zukunftsträchtige Tätigkeitsfelder** unterstützt werden. Hierbei sind zunächst die Unternehmen selbst gefragt, in Kooperation mit Betriebsräten, Sozialpartnern und Ausbildungsstätten, ihre Beschäftigten zu unterstützen. Schließlich können auch die Unternehmen von den neu erworbenen Kompetenzen profitieren. Das Qualifizierungschancengesetz des Bundes bietet zudem staatliche Unterstützung. Es sieht finanzielle Fördermittel vor, die Unternehmen nutzen können, um ihre Beschäftigten durch Weiterbildungen auf künftigen Herausforderungen ihres Arbeitsfeldes vorzubereiten.

Für tiefgreifende Strukturwandelprozesse wie in der Automobilwirtschaft liegt zudem ein Vorschlag der IG Metall für ein „**Transformationskurzarbeitergeld**" vor. Strukturwandel-bedingte Kurzarbeit würde dabei systematisch für Qualifizierungsmaßnahmen für neue Tätigkeitsfelder genutzt werden. Die Beschäftigten blieben während der Qualifizierung beim

Unternehmen beschäftigt, wobei der Lohn von der Bundesagentur für Arbeit bezuschusst würde.

Wenn eine Beschäftigung im bisherigen Betrieb nicht mehr möglich ist, sollten die üblichen **Maßnahmen zur Unterstützung bei der Arbeitssuche** greifen. Dazu gehören die Beratungs- und Vermittlungsangebote der Arbeitsagenturen, Umzugsunterstützung, Einstellungs- und Beschäftigungsanreize für Unternehmen oder die Förderung von Existenzgründungen. Bei größeren Umbrüchen können auch Beschäftigungs-/Auffanggesellschaften eingerichtet werden, die die Betroffenen mithilfe öffentlicher Förderung befristet beschäftigen, weiterbilden oder umschulen, sowie bei der Beschäftigungssuche unterstützen. Bei älteren Beschäftigten können **Vorruhestandsregelungen** greifen, die einen Teil des Einkommensverlusts ausgleichen.

In den Fallstudien oben spielt das Thema Qualifikation bei der Automobilwirtschaft eine größere Rolle als bei der Chemieindustrie. Beim Wandel der Fahrzeugantriebe und Geschäftsmodelle in der Automobilindustrie werden sich die Kompetenzanforderungen deutlich ändern. Unterstützung bräuchten insbesondere auf Verbrennungsmotoren spezialisierte Mittelständler, die kurzfristig ganz neue Qualifikationen benötigen. Als herausfordernd wird außerdem das parallele Auslaufen der Verbrennungsmotoren und Hochlaufen der Elektromobilität beschrieben. In der Chemiebranche wurde über viele Jahre hinweg der Schwerpunkt in Forschung und Lehre in der organischen Chemie gelegt. Erst in den letzten Jahren wurde die enorme Bedeutung der thermoelektrischen Chemie für die Zukunftsausrichtung der Branche erkannt, was eine entsprechende Erweiterung der Qualifikationsprofile angestoßen hat.

6.4.5 Industrieregionen beim Wandel unterstützen

Je regional konzentrierter eine Branche ist, und je tiefgreifender ihr Wandel (oder gar ihr Niedergang), desto eher brauchen auch die betroffenen Regionen Unterstützung. Ein aktueller Extremfall ist die Lausitz mit Blick auf den Ausstieg aus der die regionale Wirtschaft dominierenden Braunkohle. In diesen Fällen geht es in erster Linie um die **Förderung der Ansiedlung neuer Unternehmen** mit nachhaltigen Geschäftsmodellen zur Diversifizierung und Ökologisierung der Wirtschaftsstruktur. Maßnahmen hierzu können **Investitionsanreize, Gründungsförderung und Infrastrukturausbau** sein. Gut funktionierende öffentliche Infrastrukturen werden als grundlegende Voraussetzung für die Attraktivität und damit Wettbewerbs- und Zukunftsfähigkeit eines Standorts gesehen.

Zudem wird grundsätzlich eine **gut ausgebaute Forschungs- und Ausbildungslandschaft** als wichtiger Erfolgsfaktor gesehen. Sie sichert im Zusammenspiel mit Unternehmen die Verfügbarkeit von Know-how und die Innovationsfähigkeit in einer Region. Doch auch Forschungseinrichtungen neigen dazu, sich an den (anwendungsorientierten) Bedürfnissen der regional dominierenden Industrie auszurichten. **Für eine Diversifizierung der Wirtschaft ist eine Diversifizierung der Forschung nötig**, jeweils mit Fokus auf nachhaltige Geschäftsfelder. Dabei hat eine starke Grundlagenforschung (zunächst) den Vorteil hat, offener in ihrer Ausrichtung und Nutzbarkeit zu sein.

Im Fall der Automobil- und der Chemieindustrie geht es nicht zwangsläufig um eine regionale Diversifizierung, sondern um den **Wandel innerhalb etablierter Branchen. Mit Blick auf die Forschungslandschaft machen hier regionale Kompetenzzentren** (zur Vernetzung und Kooperation von Wissenschaft, Unternehmen, Organisationen, Think Tanks etc.) **und eine hohe Anwendungsnähe Sinn, freilich bezogen auf die neuen Technologien und Geschäftsmodelle**. Dies gilt sowohl für Regionen, in denen die Branchen schon lange prägend sind (wie beim Automobilcluster Baden-Württemberg), als auch für neue Standortregionen (z. B. Tesla-Fabrik oder Batterieproduktion in den östlichen Bundesländern).

Die Bundesregierung fördert auf verschiedene Weise regionale Innovationscluster, u. a. auch speziell in der Zulieferindustrie des Fahrzeugbaus im Rahmen des Konjunkturpakets 2020. Mit Blick auf die Forschungslandschaft sind regionale Kompetenzzentren und eine hohe Anwendungsnähe sinnvoll, freilich bezogen auf die neuen Technologien und Geschäftsmodelle. Um technologischen „Sackgassen" in regionalen Clustern der deutschen Automobilindustrie zu begegnen, ist auch die Politik vor Ort gefordert einen Dialog- und Strategieprozess mit allen Stakeholdern über die regionale Anpassung und Ausgestaltung des Strukturwandels zu führen.

7 Literaturverzeichnis

Acea (European Automobile Manufacturers' Association) (2019): Average vehicle age. Verfügbar unter Agora Energiewende (2017): Eine Zukunft für die Lausitz. Elemente eines Strukturwandelkonzepts für das Lausitzer Braunkohlerevier.

ads-tec (o.J.): Lastspitzenkappung „Peak Shaving“. Verfügbar unter https://www.ads-tec.de/energy-storage/anwendungsfaelle/lastspitzenkappung.html, abgerufen am 12.11.2019

Agora Energiewende (2017): Eine Zukunft für die Lausitz. Elemente eines Strukturwandelkonzepts für das Lausitzer Braunkohlerevier.

Agora Energiewende & Wuppertal Institut (2019): Klimaneutrale Industrie. Schlüsseltechnologien und Politikoptionen für Stahl, Chemie und Zement.

Ahmadi, Leila; Yip, Arthur; Fowler, Michael; Young, Steven B.; Fraser, Roydon A. (2014): Environmental feasibility of re-use of electric vehicle batteries. In: Sustainable Energy Technologies and Assessments (6), S. 64–74.

Arrow, Kenneth J. (1962): The Economic Implications of Learning by Doing. The review of economic studies 29 (3), S. 155–173.

Arthur, W. B. (1989): Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-In by Historical Events. The Economic Journal 99 (394), S. 116–131.

Baes, Kurt; Kolk, Michael; Carlot, Florence; Merhaba, Adnan & Ito, Yuma (2018): Future of batteries. Winner takes all? Verfügbar unter https://www.adlittle.com/sites/default/files/viewpoints/adl_future_of_batteries-min.pdf.

Barré, Anthony; Deguilhem, Benjamin; Grolleau, Sebastien; Gérard, Mathias; Suard, Frédéric et al (2013): A review on lithium-ion battery ageing mechanisms and estimations for automotive applications. Journal of Power Sources, 241, pp. 680 - 689. 10.1016/j.jpowsour.2013.05.040

Bauer, Wilhelm; Riedel, Oliver; Herrmann, Florian; Borrmann, Daniel & Sachs, Carolina (2018): ELAB 2.0. Wirkungen der Fahrzeugelektrifizierung auf die Beschäftigung am Standort Deutschland (Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und organisation IAO, Hrsg.), Stuttgart.

Bazzanella, Alexis M. & Ausfelder, Florian (2017): Low carbon energy and feedstock for the European chemical industry. Technology study (DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V., Hrsg.) (Technology Study), Frankfurt am Main.

Bethge, P.; Bruhns, A.; Klawitter, N. & Salden, S. (2019). Deutschlands dreckiger Rest. Die Müll-Lüge. Der Spiegel.

Binder, M., Jänicke, M. & Petschow, U. (Hrsg.) (2001): Green industrial restructuring. International case studies and theoretical interpretations. Berlin u.a.: Springer.

Binder, Manfred (2001): Coal and Steel in Western Europe. In M. Binder, M. Jänicke & U. Petschow (Hrsg.), Green industrial restructuring. International case studies and theoretical interpretations (S. 243–286). Berlin u.a.: Springer.

Bloomberg Finance (2017): Electric Vehicle Outlook 2017. Bloomberg New Energy Finance’s annual long-term forecast of the world’s electric vehicle market. Executive summary.

BMU (2020): Klimabilanz 2018: 4,5 Prozent weniger Treibhausgasemissionen - BMU-Pressemitteilung. Verfügbar unter https://www.bmu.de/pressemitteilung/klimabilanz-2018-45-prozent-weniger-treibhausgasemissionen/.

BMUB & UBA (2012): Green Economy. UMWELT (6), S. 58–61.

BMVI (2019): Automobilindustrie. Verfügbar unter https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Textsammlungen/Branchenfokus/Industrie/branchenfokus-automobilindustrie.html, zuletzt abgerufen am 15.08.2019.

Bobba, Silvia; Mathieux, Fabrice & Blengini, Gian A. (2019): How will second-use of batteries affect stocks and flows in the EU? A model for traction Li-ion batteries. Resources, Conservation and Recycling 145, S. 279–291.

Boschma, Ron (2005): Rethinking regional innovation policy. In G. Fuchs & P. Shapira (Hrsg.), Rethinking regional innovation and change: Path Dependency or Regional Breakthrough (Economics of Science, Technology and Innovation, Bd. 30, S. 249–271). Springer Science & Business Media.

Botta, Enrico (2018): A review of "Transition Management" strategies. Lessons for advancing the green low-carbon transition. Issue Paper. OECD. Verfügbar unter https://www.oecd.org/greengrowth/GGSD_2018_IssuePaper_Transition_Management.pdf.

Buchert, Matthias; Dolega, Peter & Degreif, Stefanie (2019): Gigafactories für Lithium-Ionen-Zellen – Rohstoffbedarfe für die globale Elektromobilität bis 2050. Kurzstudie erstellt im Rahmen des BMBFVerbundprojektes Fab4Lib - Erforschung von Maßnahmen zur Steigerung der Material- und Prozesseffizienz in der Lithium-Ionen-Batteriezellproduktion über die gesamte Wertschöpfungskette.

Bundesregierung (BReg) (2019): Masterplan Ladeinfrastruktur der Bundesregierung. Ziele und Maßnahmen für den Ladeinfrastrukturaufbau bis 2030. Verfügbar unter https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/masterplan-ladeinfrastruktur.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt abgerufen am 23.03.2021.

C40 Cities (2019): Fossil Fuel Free Streets Declaration. Verfügbar unter https://www.c40.org/other/green-and-healthy-streets, zuletzt abgerufen am 25.10.2019.

Caldecott, Ben; Sartor, Oliver & Spencer, Thomas (2017): Lessons from previous 'Coal Transitions'. High-level Summary for Decision-makers. Part of 'Coal Transitions: Research and Dialogue on the Future of Coal' Project. IDDRI and Climate Strategies.

Cambridge Econometrics; Element Energy (2018): Low-carbon cars in Europe: A socio-economic assessment. Final Report.

Cambridge Econometrics & elementenergy (2018): Low-carbon cars in Europe. A socio-economic assessment (European Climate Foundation (ECF), Hrsg.).

Campiglio, Emanuele (2013): The structural shift to green services: A two-sector growth model with public capital and open-access resources. Centre for Climate Change Economics and Policy Working Paper No. 158.

Casado-Asensio, Juan & Steurer, Reinhard (2014): Bookkeeping rather than climate policy making. National mitigation strategies in Western Europe. Climate Policy 16 (1), S. 88–108.

Casals, Lluc Canals; Garcia, Beatriz Amante & Cremades, Lazaro V. (2017): Electric Vehicle Battery Reuse: Preparing for a Second Life. Journal of Industrial Engineering and Management (10 (2)), S. 266–285.

Casals, Lluc Canals; García, Beatriz Amante & Canal, Camille (2019): Second life batteries lifespan: Rest of useful life and environmental analysis. Journal of environmental management (232), S. 354–363.

Chalmers (2019): Second-use of Li-ion batteries from hybrid and electric vehicles. https://research.chalmers.se/en/project/8366

Clausen, Jens & Fichter, Klaus (2016): Pfadabhängigkeiten und evolutorische Ökonomik.

Commerzbank (2015): Chemie. Branchenbericht - Corporate Sector Report.

Conversio (Hrsg.) (2018): Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2017. Kurzfassung. Verfügbar unter https://www.bkv-gmbh.de/fileadmin/documents/Studien/Kurzfassung_Stoffstrombild_2017_190918.pdf, zuletzt abgerufen am 05.02.2020.

Daimler (2016): Weltweit größter 2nd-Use-Batteriespeicher geht ans Netz. Verfügbar unter https://media.daimler.com/marsMediaSite/de/instance/ko/Weltweit-groesster-2nd-Use-Batteriespeicher-geht-ans-Netz.xhtml?oid=13634457.

David, Paul A. (1985): Clio and the Economics of QWERTY. The American Economic Review 75 (2), S. 332–337.

Deloitte (2017): The future of the automotive value chain - 2025 and beyond.

destatis (o.J.): Bruttowertschöpfung. Verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Volkswirtschaftliche-Gesamtrechnungen-Inlandsprodukt/Glossar/bruttowertschoepfung.html.

destatis (2019): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen. Input-Output-Rechnung nach 12 Gütergruppen / Wirtschafts- und Produktionsbereichen. 2016 (Revision 2019, Stand: August 2019). Verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Volkswirtschaftliche-Gesamtrechnungen-Inlandsprodukt/Publikationen/Downloads-Input-Output-Rechnung/input-output-12-guetergruppen-pdf-5815117.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt abgerufen am 05.02.2020.

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrttechnik (DLR); IMU Institut & bridging IT (2019): Strukturstudie BWemobil 2019. Transformation durch Elektromobilität und Perspektiven der Digitalisierung (e-mobil BW GmbH, Hrsg.).

Dosi, Giovanni (1982): Technological paradigms and technological trajectories. Research Policy 11 (3), S. 147–162.

Dzieciolowski, Krzysztof & Maciek, Hacaga (2015): Polish coal at the turning point: uneasy past, challenging future. Journal of Energy Security. Verfügbar unter http://www.ensec.org/index.php?option=com_content&view=article&id=588:polish-coal-at-the-turning-point-uneasy-past-challenging-future&catid=126:kr&Itemid=395, zuletzt abgerufen am 12.11.2018.

Eaton, 2016: Nissan and Eaton make home energy storage reliable and affordable to everyone with 'xStorage'. Verfügbar unter https://www.eaton.com/Eaton/OurCompany/NewsEvents/NewsReleases/PCT_2004519, zuletzt abgerufen am 18.05.2021

EC (European Commission, Hrsg.) (2014): HORIZON 2020 –WORK PROGRAMME 2014-2015. General Annexes. Verfügbar unter https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014_2015/annexes/h2020-wp1415-annex-g-trl_en.pdf, zuletzt abgerufen am 05.02.2020.

EC (2019): The European Green Deal. Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. COM(2019) 640 final. Brussels, 11.12.2019: European Commission.

EC (2020): Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council concerning batteries and waste batteries, repealing Directive 2006/66/EC and amending Regulation (EU) No 2019/1020. https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/batteries/Proposal_for_a_Regulation_on_batteries_and_waste_batteries.pdf, abgerufen am 24.03.2021

Ecker, Madeleine; Nieto, Nerea; Käbitz, Stefan, Schmalstieg; Johannes, Blanke; Holger, Warnecke, Alexander; Sauer, Dirk Uwe (2014): Calendar and cycle life study of Li(NiMnCo)O2-based 18650 lithium-ion batteries. Journal of Power Sources 248, 839–51

EDF (2015): Battery Second Life Project. Verfügbar unter https://www.edf.fr/en/edf/battery-second-life-project.

EEA (European Environment Agency) (2020): Use of renewable energy for transport. Verfügbar unter https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/use-of-cleaner-and-alternative-fuels-2/assessment, zuletzt abgerufen am 23.03.2021.

EffSkalBatt (2019): Effiziente und skalierbare Systemtechnik für stationäre Batteriespeicher. Verfügbar unter https://www.ei.tum.de/ees/forschungsprojekte/effskalbatt/.

Elmer, Carl-Friedrich; Lehmann, Paul; Korte, Klaas; Gawel, Erik; Jöhrens, Julius & Lambrecht, Udo (2020): Technologieneutralität im Kontext der Verkehrswende - Kurzfassung (Agora Verkehrswende., Hrsg.).

EnArgus (2019): https://new4-0.erneuerbare-energien-hamburg.de/de/new-40-blog/details/3083.html.

Energyload (2017): BMW und Viessmann: Gemeinsame Vermarktung von Second Life Batterien. Verfügbar unter https://energyload.eu/stromspeicher/grossspeicher-batterieparks/bmw-viessmann-second-life-batterien/.

Ernst&Young (EY) (2019): Die Automobilindustrie in Deutschland 2018, EY. Verfügbar unter https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-automobilindustrie-in-deutschland-2019/$FILE/ey-automobilindustrie-in-deutschland-2019.pdf, zuletzt abgerufen am 22.10.2019.

Felizeter, Bernhard (2016): Leitfaden für Elektromobilität in China. Verfügbar unter https://china.ahk.de/fileadmin/AHK_China/Services/Building__Environment/EMOChina_Leitfaden_final.pdf.

FfE (2016): Second-Life-Konzepte für Lithium-Ionen-Batterien aus Elektrofahrzeugen. https://www.ffe.de/publikationen/vortraege/620-second-life-konzepte-fuer-lithium-ionen-batterien-aus-elektrofahrzeugen

Fischhaber, Sebastian; Regett, Anika; Schuster, Simon F. & Hesse, Holger (2016a): Studie: Second-Life-Konzepte für Lithium-Ionen-Batterien aus Elektrofahrzeugen. Analyse von Nachnutzungsanwendungen, ökonomischen und ökologischen Potenzialen.

Fischhaber, Sebastian; Regett, Anika; Schuster, Simon F. & Hesse, Holger (2016b): Studie: Second-Life-Konzepte für Lithium-Ionen-Batterien aus Elektrofahrzeugen. Analyse von Nachnutzungsanwendungen, ökonomischen und ökologischen Potenzialen (Begleit- und Wirkungsforschung Schaufenster Elektromobilität, Hrsg.). Deutsches Dialog Institut GmbH.

Foxon, T. J.; Gross, R.; Chase, A.; Howes, J.; Arnall, A. & Anderson, D. (2005): UK innovation systems for new and renewable energy technologies: drivers, barriers and systems failures. Energy Policy 33 (16), S. 2123–2137.

Fraunhofer ISC (2015): ABattReLife – Ursachen für Batteriealterung. Verfügbar unter http://www.vehiculedufutur.com/abattrelife/

Fraunhofer ISE (2015): StaTrak – Weiter- und Fremdverwendung (Second Life) von Lithium-Ionen-Traktionsbatterien in mobilen und stationären Anwendungen. Verfügbar unter https://www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/statrak.html.

Fraunhofer IAO (2018): ELAB 2.0 Wirkungen von Fahrzeugelektrifizierung auf die Beschäftigung am Standort Deutschland. Vorabbericht.

Fraunhofer IAO; Bauer, Wilhelm; Rothfuss, Florian; Dungs, Jennifer; Hermann, Florian; Cacilo, Andrej; Schmidt, Sarah; Brand, Marius; Klausmann; Florian & Borrmann, Daniel (2015): Strukturstudie BWe Mobil 2015. Elektromobilität in Baden-Württemberg (e-mobil BW GmbH, Hrsg.).

Gales, Ben & Hölsgens, Rick (2017): Coal transition in the Netherlands. An historical case study for the project "Coal Transitions: Research and Dialogue on the Future of Coal".

Galgóczi, Béla (2018): Just Transition towards environmentally sustainable economies and societies for all (ILO ACTRAV Policy Brief). International Labour Organisation.

Gambhir, Ajay; Green, Fergus & Pearson, Peter J. (2018): Towards a just and equitable low-carbon energy transition. Grantham Institute Briefing paper: 26.

Gao, Paul; Malorny, Christian; Sha, Sha; Mingyu, Guan; Ting, Wu; Luk, Thomas; Ling, Yang; Lin, Danny & Xiaoqi, Xu (2015): Supercharging the Development of Electric Vehicles in China. McKinsey.

Gehrke, Birgit; Haaren, Friederike von & Vassiliadis, Michael (2014): Die chemische Industrie. Eine Branchenanalyse (Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie & VB 1 - Gesamtleitung/Globalisierung/Industrie, Hrsg.), Hannover.

Gehrke, Birgit & Weilage, Insa (2018): Branchenanalyse Chemieindustrie. Der Chemiestandort Deutschland im Spannungsfeld globaler Verschiebungen von Nachfragestrukturen und Wertschöpfungsketten (edition Hans-Böckler-Stiftung, Bd. 395). Düsseldorf: Eigenverlag Hans-Böckler-Stiftung. Verfügbar unter https://www.boeckler.de/pdf/p_study_hbs_395.pdf, zuletzt abgerufen am 27.05.2019.

Geres, Roland; Kohn, Andreas; Lenz, Sebastian; Ausfelder, Florian; Bazzanella, Alexis M. & Möller, Alexander (2019): Roadmap Chemie 2050. Auf dem Weg zu einer treibhausgasneutralen chemischen Industrie in Deutschland. Eine Studie von DECHEMA und FutureCamp für den VCI (DECHEMA & FutureCamp, Hrsg.). Verfügbar unter https://www.vci.de/vci/downloads-vci/publikation/2019-10-09-studie-roadmap-chemie-2050-treibhausgasneutralitaet.pdf, zuletzt abgerufen am 05.02.2020.

Giovacchini, Elia & Sersic, Jasna (2012): Industry Transformation Report: Shipbuilding Industry. European Commission.

Grimm, Anna; Doll, Claus; Hacker, Florian & Minnich, Lukas (2020): Nachhaltige Automobilwirtschaft. Strategien für eine erfolgreiche Transformation (Working Paper Sustainability and Innovation WP S 19/2020). Fraunhofer ISI.

Gruss, Peter (o.J.): Grundlagenforschung ist der zentrale Innovationstreibe. Max-Planck-Gesellschaft. Verfügbar unter https://www.mpg.de/801613/W000_Zur-Sache_006-009.pdf, zuletzt abgerufen am 13.11.2018.

Haggerty, Julia H.; Haggerty, Mark N.; Roemer, Kelli & Rose, Jackson (2018): Planning for the local impacts of coal facility closure. Emerging strategies in the U.S. West. Resources Policy 57, S. 69–80.

Healy, Noel & Barry, John (2017): Politicizing energy justice and energy system transitions. Fossil fuel divestment and a “just transition”. Energy Policy 108, S. 451–459.

Heffron, Raphael J. & McCauley, Darren (2018). What is the ‘just transition’? Geoforum 88, S. 74–77.

Heinemann, C. & Kasten, P. (2019): Die Bedeutung strombasierter Stoffe für den Klimaschutz in Deutschland. Zusammenfassung und Einordnung des Wissenstands zur Herstellung und Nutzung strombasierter Energieträger und Grundstoffe.

Heuer, Adrian; Heck, Michael; Schmitt, Julius; Lux, Stephan & Vetter, Matthias (2015): „StaTrak“ Weiter- und Fremdverwendung (Second Life) von Lithium-Ionen-Traktionsbatterien in mobilen und stationären Anwendungen und Untersuchungen möglicher Geschäftsmodelle. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE.

Heyen, Dirk A. (2011): Policy Termination durch Aushandlung. Eine Analyse der Ausstiegsregelungen zu Kernenergie und Kohlesubventionen. der moderne staat – Zeitschrift für Public Policy, Recht und Management (1), S. 149–166.

Heyen, Dirk A. (2016): Exnovation. Herausforderungen und politische Gestaltungsansätze für den Ausstieg aus nicht-nachhaltigen Strukturen (Working Paper 3/2016). Öko-Institut.

Heyen, Dirk A.; Menzemer, Luisa; Wolff, Franziska; Beznea, Andreea & Williams, Rob (2020): Just Transition in the context of EU environmental policy and the European Green Deal. Issue Paper under Task 3 of the 'Service contract on future EU environment policy'.

Heyen, Dirk A. & Wolff, Franziska (2019): Drivers and barriers of sustainability transformations. A comparison of the 'Energiewende' and the attempted transformation to organic agriculture in Germany. GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society (28, Supplement 1), S. 226-232(7).

Heymans, Catherine; Walker, Sean B.; Young, Steven B. & Fowler, Michael (2014): Economic analysis of second use electric vehicle batteries for residential energys torage and load-levelling. Energy Policy (71), S. 22–40.

Hiebel, M.; Bertling, J.; Nühlen, J.; Pflaum, H.; Somborn-Schulz, A.; Franke, M.; Reh, K. & Kroop, S. (2017): Studie zur Circular Economy im Hinblick auf die chemische Industrie (Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits-und Energietechnik UMSICHT, Hrsg.). Oberhausen: Verband der Chemischen Industrie e.V.; Landesverband NRW. Verfügbar unter http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn_nbn_de_0011-n-4769003.pdf, zuletzt abgerufen am 05.02.2020.

Hünecke, Katja; Heyen, Dirk A. & Ostertag, Katrin (2021): Strukturwandel zu einer Green Economy. Screening von Wirtschaftsbranchen hinsichtlich ihrer Betroffenheit durch ökologische Herausforderungen. Teilbericht 1 (Umwelt, Innovation, Beschäftigung). Dessau: Umweltbundesamt.

Hüttler, Walter (2001): Cement Production in Austria. In M. Binder, M. Jänicke & U. Petschow (Hrsg.), Green industrial restructuring. International case studies and theoretical interpretations (S. 301–322). Berlin u.a.: Springer.

IEA (2019a): Transport sector CO2 emissions by mode in the Sustainable Development Scenario, 2000-2030 – Charts – Data & Statistics - IEA, IEA. Verfügbar unter https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/transport-sector-co2-emissions-by-mode-in-the-sustainable-development-scenario-2000-2030, zuletzt abgerufen am 23.03.2021.

IEA (2020a): Energy consumption in transport in IEA countries 2020, IEA. Verfügbar unter https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/energy-consumption-in-transport-in-iea-countries-2018, zuletzt abgerufen am 23.03.2021.

IEA (2020b): Tracking Transport 2020 – Analysis, IEA. Verfügbar unter https://www.iea.org/reports/tracking-transport-2020, zuletzt abgerufen am 23.03.2021.

ILO (2015): Guidelines for a just transition towards environmentally sustainable economies and societies for all. Verfügbar unter https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_emp/---emp_ent/documents/publication/wcms_432859.pdf.

ILO (2018): Greening with jobs. World Employment and Social Outlook 2018. Geneva: International Labour Office.

Institut für Politikevaluation (IPE); fka; Institut für Kraftfahrzeuge; RWTH Aachen; Roland Berger (2019): Automobile Wertschöpfung 2030/2050.

International Council on Clean Transportation (ICCT) (2014): The State of Clean Tansport Policy. A 2014 Synthesis of Vehicle and Fuel Policy Developments.

International Council on Clean Transportation (ICCT) (2018a): China's New Energy Vehicle Mandate Policy (Final Rule).

International Energy Agency (IEA) (2018): Global EV Outlook 2018: OECD.

International Energy Agency (IEA) (2019b): Global EV Outlook 2019. Scaling-up the Transition to Electric Mobility.

International Energy Agency (IEA) (2019c): Transport. Tracking clean energy progress, IEA. Verfügbar unter https://www.iea.org/tcep/transport/, zuletzt abgerufen am 20.09.2019.

International Energy Agency (IEA) (2020c): Global EV Outlook 2020. Analysis, IEA. Verfügbar unter https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020, zuletzt abgerufen am 23.03.2021.

International Energy Agency (IEA); Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2009): Transport, energy and CO2. Moving toward sustainability. Paris. Verfügbar unter http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10355605.

International Energy Agency (IEA); Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2017): Energy Technology Perspectives 2017. Catalysing Energy Technology Transformations Together (IEA Publications).

International Institute for Environment and Development (2017): Energy Technology Perspectives 2017: OECD.

International Organization of Motor Vehicle Manufacturers (OICA) (2019): Sales Statistics. Verfügbar unter http://www.oica.net/category/sales-statistics/, zuletzt abgerufen am 25.10.2019.

International Renewable Energy Agency (IRENA) (2015): Renewable Energy Target Setting. Verfügbar unter https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA_RE_Target_Setting_2015.pdf.

IPCC (2014): Climate Change 2014 - Synthesis Report. Fifth Assessment Report (AR5) (IPCC, Hrsg.).

IPCC (2018): Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Geneva: International Panel on Climate Change.

Jacob, Klaus (2001): Chlorine Production in Germany. In M. Binder, M. Jänicke & U. Petschow (Hrsg.), Green industrial restructuring. International case studies and theoretical interpretations (S. 187–216). Berlin u.a.: Springer.

Jacob, Klaus; Münch, Lisa & Büttner, Hannah (2012): Leitfaden zur Strategieentwicklung im BMU.

Jacobsson, Staffan; Sanden, B. A. & Bangens, L. (2004): Transforming the Energy Sector - the Evolution of the German Technological System for Solar Cells. Technology Analysis & Strategic Management 16 (1), S. 3–30.

Johnstone, Phil & Hielscher, Sabine (2017): Phasing out coal, sustaining coal communities? Living with technological decline in sustainability pathways. The Extractive Industries and Society (4), S. 457–461.

JRC (2018): Technical Reports, Sustainability Assessment of Second Life Application of Automotive Batteries (SASLAB)

JTC (2017): Just Transition. A Report for the OECD. Just Transition Centre. Verfügbar unter https://www.oecd.org/environment/cc/g20-climate/collapsecontents/Just-Transition-Centre-report-just-transition.pdf.

Keil, Peter; Schuster, Simon F.; Von Lüders, Christian; Hesse, Holger; Arunachala, Raghavendra; Jossen, Andreas (2015): Lifetime Analyses of Lithium-Ion EV Batteries 3rd Electromobility Challenging Issues conference (ECI), Singapore, 1st - 4th December 2015

Keil, Peter; Schuster, Simon F.; Wilhelm, Jörn, Travi, Julian, Hauser, Andreas, Karl, Ralph C.; Jossen, Andreas (2016): Calendar Aging of Lithium-Ion Batteries. J. Electrochem. Soc. 163 A1872-A1880

Keltaniemi, Anu; Karvonen, Tapio; Lappalainen, Anssi; Gustafsson, Jenny; Heikkilä, Annamari & Hilgren, Essi (2013): The Challenges and Best Practices of Structural Change in the European Maritime Industry.

Kern, Florian & Howlett, Michael (2009). Implementing Transition Management as Policy Reforms: a Case Study of the Dutch Energy Sector. Policy Sciences (42), S. 391–408.

Klemmensen, Borge (2001): Cement Production in Denmark. In M. Binder, M. Jänicke & U. Petschow (Hrsg.), Green industrial restructuring. International case studies and theoretical interpretations (S. 323–352). Berlin u.a.: Springer.

Knopf, Jutta; Mundt, Ingmar; Kirchner, Robert; Kahlenborn, Walter; Blazejczak, Jürgen; Edler, Dietmar; Schill; Wolf-Peter; Sartorius, Christian & Walz, Rainer (2016): Ökologische Modernisierung der Wirtschaft durch eine moderne Umweltpolitik. Synthesebericht (Im Auftrag des Umweltbundesamtes (FKZ 3710 14 101), Hrsg.), Dessau.

Koschatzky, Knut (2018): Innovation-based regional structural change: Theoretical reflections, empirical findings and political implications (Working Papers Firms and Regions R1/2018). Karlsruhe.

Kost, Klaus; Lötscher, Lienhard & Weingarten, Jörg (2011): Neue und innovative Ansätze zur Regionalentwicklung durch unternehmerische Wirtschaftsförderung (Edition der Hans-Böckler-Stiftung). Düsseldorf.

Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) (2021): Pressemitteilung Nr. 02/2021 - Fahrzeugzulassungen im Dezember 2020 - Jahresbilanz. Verfügbar unter https://www.kba.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/Fahrzeugzulassungen/pm02_2021_n_12_20_pm_komplett.html.

Kühl, Andreas (2018): Batteriespeicher zur Spitzenlastkappung in Gewerbe und Industrie. Verfügbar unter https://www.energynet.de/2018/11/29/batteriespeicher-spitzenlastkappung/#Batteriespeicher-in-Gewerbe-und-Industrie-zur-Senkung-der-Netzentgelte, abgerufen am 12.11.2019

Kuhnert, Felix; Stürmer, Christoph & Koster, Alex (2017): eascy - Die fünf Dimensionen der Transformation der Automobilindustrie (PricewaterhouseCoopers, Hrsg.).

Longdom (2021): Biofuel, Longdom. Verfügbar unter https://www.longdom.org/peer-reviewed-journals/biofuel-11967.html, zuletzt abgerufen am 23.03.2021.

Madlener, Reinhard & Kirmas, Alexander (2017): Economic Viability of Second Use Electric Vehicle Batteries for Energy Storage in Residential Applications. Energy Procedia 105, S. 3806–3815. The 8th International Conference on Applied Energy – ICAE2016.

Markwardt, Gunther & Zundel, Stefan (2017): Strukturwandel in der Lausitz – Eine wissenschaftliche Zwischenbilanz.

Mayer, Adam (2018): A just transition for coal miners? Community identity and support from local policy actors. Environmental Innovation and Societal Transitions 28, S. 1–13.

McKinsey (Hrsg.) (2008): Deutschland 2020. Zukunftsperspektiven für die deutsche Wirtschaft. Verfügbar unter https://www.erfahrung-deutschland.de/uploads/cms/elfinder/PDF/pdf_10.pdf, zuletzt abgerufen am 05.02.2020.

McKinsey & Company (2016a): Automotive revolution – perspective towards 2030. How the convergence of disruptive technology-driven trends could transform the auto industry (Advanced Industries).

McKinsey & Company (2016b): Automotive Revolution - Perspective Towards 2030. How the convergence of disruptive technology-driven trens could transform the auto industry (Nr. 4).

McKinsey & Company (2019): Elektromobilität: Boom in China, Europa wartet ab. Ergebnisse des aktuellen Electric Vehicle Index (März 2019) von McKinsey. Verfügbar unter https://www.mckinsey.com/de/branchen/automobil-zulieferer/electric-vehicle-index.

Medhurst, James & Henry, Nick (2011): Impacts of Structural Change: Implications for policies supporting transition to a Green Economy.

Messing, F.A.M. (1988): De mijnsluiting in Limburg: Noodzaak en lotgevallen van een regionale herstructurering 1955-1975. Leiden: Uitgeverij Martinus Nijhoff.

Mikulska, Anna & Kosinski, Eryk (2018, 28. März): Explaining Poland's Coal Paradox. Forbes. Verfügbar unter https://www.forbes.com/sites/thebakersinstitute/2018/03/28/explaining-polands-coal-paradox/, zuletzt abgerufen am 12.11.2018.

Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg (WM BW) (2021): Mit Innovationen neue Märkte erschließen, WM BW. Verfügbar unter https://wm.baden-wuerttemberg.de/de/innovation/innovationsgutscheine/, zuletzt abgerufen am 23.03.2021.

Mönning, Anke; Schneemann, Christian; Weber, Enzo; Zika, Gerd & Helmrich, Robert (2018): Elektromobilität 2035. Effekte auf Wirtschaft und Erwerbstätigkeit durch die Elektrifizierung des Antriebsstrangs von Personenkraftwagen (IAB-Forschungsbericht 8/18). Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB). Verfügbar unter http://doku.iab.de/forschungsbericht/2018/fb0818.pdf, zuletzt abgerufen am 21.11.2019.

NEC (2018): Unlocking the inclusive growth story of the 21st century. Accelerating climate action in urgent times. The New Climate Economy - The Global Commission on the Economy and Climate.

Negro, S. O.; Vasseur, V.; Sark, W. G. J. H. M. & Hekkert, M. P. (2009): Understanding innovation system build up: The rise and fall of the Dutch PV Innovation System. Innovation Studies Group Utrecht.

Negro, Simona; Hekkert, Marko & Alkemade, Floortje (2010): SEVEN TYPICAL SYSTEM FAILURES THAT HAMPER THE DIFFUSION OF SUSTAINABLE ENERGY TECHNOLOGIES.

Nelson, Richard R. & Winter, Sidney G. (1982): An evolutionary theory of economic change (4. [print.]. Cambridge, Mass.: Belknap Press of Harvard Univ. Press.

Nobis, Claudia & Kuhnimhof, Tobias (2018): Mobilität in Deutschland – MiD. Ergebnisbericht. Bonn & Berlin: Infas; DLR; IVT; infas 36. Verfügbar unter http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2017_Ergebnisbericht.pdf, zuletzt abgerufen am 23.03.2021.

Nordbeck, Ralf & Steurer, Reinhard (2015). Multi-sectoral strategies as dead ends of policy integration. Lessons to be learned from sustainable development. Environment and Planning C: Government and Policy (XX), S. 1–19.

OECD (2017): Investing in Climate, Investing in Growth (1. Aufl.). s.l.: OECD Paris.

Papadimitriou, Giannis; Ntziachristos, Leonidas; Wüthrich, Philipp; Notter, Benedikt; Keller, M.; Fridell, Erik et al. (2013): Transport data collection supporting the quantitative analysis of measures relating to transport and climate change. Project acronym: TRACCS. Final Report. European Commission, Directorate-General for Climate Action.

Porter, Michael E. (1998). Clusters and the New Economics of Competition. Harvard Business Review 76 (6), S. 77–90.

Prakash, Siddharth; Dehoust, Günter; Gsell, Martin; Schleicher, Tobias & Stamminger, Rainer (2016): Einfluss der Nutzungsdauer von Produkten auf ihre Umweltwirkung: Schaffung einer Informationsgrundlage und Entwicklung von Strategien gegen "Obsoleszenz". Abschlussbericht (Umweltbundesamt (UBA), Hrsg.) (Texte 11/2016). Öko-Institut; Universität Bonn.

Presse- und Informationsamt der Bundesregierung (BPA) (2021): Kaufprämie für Elektroautos erhöht, BPA. Verfügbar unter https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/energiewende/kaufpraemie-fuer-elektroautos-erhoeht-369482, zuletzt abgerufen am 23.03.2021.

PricewaterhouseCoopers (PwC) (2018): The Opening-up of Chinese Automotive Industry and its Impact. Verfügbar unter https://www.pwccn.com/en/automotive/chinese-automotive-industry-opening-up-impact.pdf, zuletzt abgerufen am 08.08.2019.

PWC (2017): eascy - Die fünf Dimensionen der Transformation der Automobilindustrie.

Rehfeld, Dieter (2005): Perspektiven des Clusteransatzes. Zur Neujustierung der Strukturpolitik zwischen Wachstum und Ausgleich. spw (5 / 2005), S. 52–55.

Reuters (2021): UPDATE 3-Chinese auto recovery on track as vehicle sales rise for ninth month, Reuters. Verfügbar unter https://www.reuters.com/article/china-autos-idUSL1N2JO0DG, zuletzt abgerufen am 23.03.2021.

Rimaszéki, Gergö (2019): Ist effizientes Recycling die bessere "Second-Life"-Lösung? Second-Life Tagung, 12.9.2019, ETH, Zürich. https://www.second-life-tagung.ch.

Rockström, Johan; Steffen, Will; Noone, Kevin; Persson, Asa; Chapin, F. S.; Lambin, Eric F.; Lenton, Timothy M.; Scheffer, Marten; Folke, Carl; Schellnhuber, Hans J.; Nykvist, Björn; Wit, Cynthia A. de; Hughes, Terry; van der Leeuw, Sander; Rodhe, Henning; Sörlin, Sverker; Snyder, Peter K.; Costanza, Robert; Svedin, Uno; Falkenmark, Malin; Karlberg, Louise; Corell, Robert W.; Fabry, Victoria J.; Hansen, James; Walker, Brian; Liverman, Diana; Richardson, Katherine; Crutzen, Paul & Foley, Jonathan a. (2009). A safe operating space for humanity. Nature (7263), S. 472–475.

Rogge, Karoline & Reichardt, Kristin (2016): Policy mixes for sustainability transitions. An extended concept and framework for analysis. Research Policy 45 (8), S. 1620–1635.

Rosenberg, Nathan (1982): Inside the Black Box. Technology and Economics. Cambridge, GBR: Cambridge University Press. Verfügbar unter https://ebookcentral.proquest.com/lib/gbv/detail.action?docID=4639857.

RWTH (2016): Modellierung der zukünftigen elektromobilen Wertschöpfungskette und Ableitung von Handlungsempfehlungen zur Stärkung des Elektromobilitätsstandortes NRW.

Sachs, Andreas (2018): Wertschöpfungsnetzwerke am Beispiel der deutschen Automobilindustrie.

Schade, Wolfgang; Zanker, Christoph; Kühn, André & Hettesheimer, Tim (2014): Sieben Herausforderungen für die deutsche Automobilindustrie. Strategische Antworten im Spannungsfeld von Globalisierung, Produkt- und Dienstleistungsinnovationen bis 2030. Verfügbar unter https://www.tab-beim-bundestag.de/de/pdf/publikationen/buecher/schade-etal-2014-152.pdf.

Schade, Wolfgang; Zanker, Christoph; Kühn, André; Kinkel, Steffen; Jäger, Angela; Hettesheimer, Tim & Schmall, Thomas (2012): Zukunft der Automobilindustrie (Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB), Hrsg.).

Schumpeter, Joseph A. (1942): Capitalism, socialism and democracy. New York, NY: Harper Perennial.

Seiberth, Gabriel (2015): Wie verändern digitale Plattformen die Automobilwirtschaft? Kompendium Industrie 4.0. Verfügbar unter http://plattform-maerkte.de/wp-content/uploads/2015/10/Gabriel-Seiberth-Accenture.pdf.

Snyder, Brian F. (2018): Vulnerability to decarbonization in hydrocarbon-intensive counties in the United States. A just transition to avoid post-industrial decay. Energy Research & Social Science 42, S. 34–43.

Spath, Dieter; Bauer, Wilhelm; Voigt, Simon; Borrmann, Daniel; Herrmann, Florian; Brand, Marius; Rally, Peter; Rothfuss, Florian; Sachs, Carolina; Frieske, Benjamin; Propfe, Bernd; Redelbach, Martin; Schmid, Stephan & Dispan, Jürgen (2012): Elektromobilität und Beschäftigung. Wirkungen der Elektrifizierung des Antriebsstrangs auf Beschäftigung und Standortumgebung (ELAB) (Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt - Institut für Fahrzeugkonzepte (DLR-FK) & IMU Institut, Hrsg.), Stuttgart. Verfügbar unter https://www.muse.iao.fraunhofer.de/content/dam/iao/muse/de/documents/AbgeschlosseneProjekte/elab-abschlussbericht.pdf.

Stahl, Hartmut; Mehlhart, Georg; Gsell, Martin; Sutter, Jürgen; Dolega, Peter; Baron, Yifaaat; Löw, Clara; Neumann, Thomas; Oliva, Judith & Montevecchi, Francesca (2021a): Assemssment of Options to Improve

Particular Aspects of the EU Regulatory Framework on Batteries. Final Report (Europäische Kommission (EK), Hrsg.), zuletzt abgerufen am 17.05.2021.

Stahl, Hartmut; Mehlhart, Georg; Gsell, Martin; Sutter, Jürgen; Dolega, Peter; Baron, Yifaaat; Löw, Clara; Williams, Robert & Keeling, William (2021b): Study to identify and assess the feasibility of measures to enhance the impact of Directive 2006/66/EC (Europäische Kommission, Hrsg.).

Stahl, Hartmut; Mehlhart, Georg; Gsell, Martin; Sutter, Jürgen; Dolega, Peter; Baron, Yifaat & Löw, Clara (2021 i.E.): Assessment of options to improve particular aspects of the EU regulatory framework on batteries.

Statistisches Bundesamt (2019a): Beschäftigte und Umsatz der Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe: Deutschland, Jahre, Beschäftigtengrößenklassen, Wirtschaftszweige (WZ2008 2-/3-/4-Steller), zuletzt abgerufen am 15.08.2019.

Statistisches Bundesamt (2019b): Unternehmen, Beschäftigte, Umsatz und weitere betriebs- und volkswirtschaftliche Kennzahlen im Handel: Deutschland, Jahre, Wirtschaftszweige, zuletzt abgerufen am 15.08.2019.

Statistisches Bundesamt (2019c): Automobilindustrie: Deutschlands wichtigster Industriezweig mit Produktionsrückgang um 7,1 % im 2. Halbjahr 2018. Pressemitteilung Nr. 139. Verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2019/04/PD19_139_811.html.

Statistisches Bundesamt (2020): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen. In-landsproduktberechnung (1.4 Nr. 18).

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

Steffen, W.; Richardson, K.; Rockström, J.; Cornell, S.; Fetzer, I.; Bennett, E. M.; Biggs, R.; Carpenter, S.R; Vries, W. de; Wit, C. A. de; Folke, C.; Gerten, D.; Heinke, J.; Mace, G. M.; Persson, L. M.; Ramanathan, V.; Reyers, B. & Sörlin, S. (2015). Planetary Boundaries: Guiding human development on a changing planet. Science 347 (6223), S. 736.

Stern, Nicholas (2006): The Economics of Climate Change: The Stern Review. Cambridge, UK: CUP.

Teixeira, Aurora A. C. & Queirós, Anabela S. S. (2016): Economic growth, human capital and structural change: A dynamic panel data analysis. Research Policy 45 (8), S. 1636–1648.

The International Council on Clean Transportation (ICCT) (2018b): Power play: How governments are spurring the electric vehicle industry.

Thielmann, Axel; Neef, Christoph; Hettesheimer, Tim; Döscher, Henning; Wietschel, Martin & Tübke, Jens (2017): Energiespeicher-Roadmap (Update 2017). Hochenergie-Batterien 2030+ und Perspektiven zukünftiger Batterietechnologien (Fraunhofer Institut für System- und Innovationstechnik, Hrsg.).

Thielmann, Axel; Wietschel, Martin; Funke, Simon; Grimm, Anna; Hettesheimer, Tim; Langkau, Sabine; Loibl, Antonia; Moll, Cornelius; Neef, Christoph; Plötz, Patrick; Sievers, Luisa; Espinoza, Luis T. & Edler, Jakob (2020): Batterien für Elektroautos: Faktencheck und Handlungsbedarf. Sind Batterien für Elektroautos der Schlüssel für eine nachhaltige Mobilität der Zukunft?

Tillmann, Utz (2016): Ausführungen von VCI-Hauptgeschäfsführer Utz Tillmann am 8. Februar 2016 vor der Presse bei der Commerzbank Frankfurt, im Rahmen der Vorstellung des Branchenberichtes Chemie.

Timmer, Marcel P.; Dietzenbacher, Erik; Los, Bart; Stehrer, Robert & Vries, Gaaitzen J. de (2015): An Illustrated User Guide to the World Input-Output Database. The Case of Global Automotive Production. Review of International Economics 23 (3), S. 575–605.

Tsiropoulos, Ioannis; Tarvydas, Dalius & Lebedeva, Natalia (2018): Li-ion batteries for mobility and stationary storage applications. Scenarios for costs and market growth (Joint Research Centre, Hrsg.) (EUR 29440 EN).

UBS (2017): UBS Evidence Lab Electric Car Teardown - Disruption Ahead?

Umweltbundesamt (UBA) (2016): Integration von Power to Gas/Power to Liquid in den laufenden Transformationsprozess. POSITION März 2016. Dessau.

Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.) (2018): Kunststoffabfälle. Verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/kunststoffabfaelle, zuletzt abgerufen am 05.02.2020.

Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.) (2019): Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität (RESCUE-Studie). CLIMATE CHANGE 36/2019. Dessau.

Umweltbundesamt (UBA) (2020): Marktdaten: Bereich Mobilität. Verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/konsum-produkte/gruene-produkte-marktzahlen/marktdaten-bereich-mobilitaet, zuletzt abgerufen am 23.03.2021.

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

UNFCCC (2016): Just transition of the workforce, and the creation of decent work and quality jobs. Technical paper. Verfügbar unter https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Just%20transition.pdf.

Urban, Hans (2018): Der PRL-Hybrid: Regelleistung in Zukunft noch wirtschaftlicher. Primärregelleistung oft wesentlicher Anteil der Speicherrendite. Feldkirchen: Smart Power GmbH.

Vallentin, Daniel; Wehnert, Timon; Schüle, Ralf & Mölter, Helena (2016): Strategische Ansätze für die Gestaltung des Strukturwandels in der Lausitz. Was lässt sich aus den Erfahrungen in Nordrhein-Westfalen und dem Rheinischen Revier lernen?

van Alphen, K.; van Ruijven, J.; Kasa, S.; Hekkert, M. & Turkenburg, W. (2009): The performance of the Norwegian carbon dioxide, capture and storage innovation system. Energy Policy 37 (1), S. 43–55.

van der Straaten, Jan (2001): Oil Refineries in the Netherlands. In M. Binder, M. Jänicke & U. Petschow (Hrsg.), Green industrial restructuring. International case studies and theoretical interpretations (S. 385–402). Berlin u.a.: Springer.

Verband der Automobilindustrie (VDA) (2019a): Automobilproduktion. Verfügbar unter https://www.vda.de/de/services/zahlen-und-daten/jahreszahlen/automobilproduktion.html, zuletzt abgerufen am 12.08.2019.

Verband der Automobilindustrie (VDA) (2019b): Markt Zulieferindustrie. Verfügbar unter https://www.vda.de/de/themen/automobilindustrie-und-maerkte/markt-zulieferindustrie/situation-der-zulieferindustrie.html, zuletzt abgerufen am 15.08.2019.

Verband der Automobilindustrie (VDA) (2019c): Neuzulassungen. Verfügbar unter https://www.vda.de/de/services/zahlen-und-daten/jahreszahlen/neuzulassungen.html, zuletzt abgerufen am 12.08.2019.

Verband der Automobilindustrie (VDA) (2019d): Produktionsstatistik. Verfügbar unter https://www.vda.de/de/themen/automobilindustrie-und-maerkte/produktion/entwicklungen-in-der-produktion.html, zuletzt abgerufen am 15.08.2019.

Verband der chemischen Industrie (VCI) (o.J.): Chemical Parks and Sites. Verfügbar unter https://www.vci.de/vci/downloads-vci/bilder/standortkarte-zahlen-300dpi.jpg, zuletzt abgerufen am 05.02.2020.

Verband der chemischen Industrie (VCI) (Hrsg.) (2017): Die deutsche chemische Industrie 2030. VCI-Prognos-Studie - Update 2015/2016.

Verband der chemischen Industrie (VCI) (2018): VCI-Position zu Kreisläufen für Kohlenstoff. Zirkuläre Wirtschaft: Kohlenstoff. Verfügbar unter https://www.vci.de/themen/energie-klima-rohstoffe/rohstoffe/vci-position-kreislaeufe-fuer-kohlenstoff.jsp, zuletzt abgerufen am 05.02.2020.

Verband der chemischen Industrie (VCI) (Hrsg.) (2019): Chemiewirtschaft in Zahlen 2019.

Vetter, Matthias (2018): Batteriespeicher in der stationären Anwendung, Karlsruhe.

VITO, Fraunhofer, Viegand Maagøe (2019): TASK 2 Markets – For Ecodesign and Energy Labelling, Preparatory Study on Ecodesign and Energy Labelling of Batteries under FWC ENER/C3/2015-619-Lot 1

Volvo, 2018: https://emobilitaet.online/news/forschungsprojekte/5152-volvo-e-busse.

Voß, Werner (2013): Die Grundstoffchemie in Deutschland im internationalen Umfeld (Hans-Böckler-Stiftung & IG Bergbau, Chemie, Energie, Hrsg.) (Industrie), Hannover. Verfügbar unter https://www.boeckler.de/pdf_fof/96090.pdf, zuletzt abgerufen am 27.05.2019.

Volkswagen AG (2018): Second Life Energiespeicher: VHH und MAN testen zweites Leben von Batterien als Ladestation für eBusse. Verfügbar unter https://www.volkswagenag.com/de/news/2018/03/MAN_VHH.html#.

Wagemann, Kurt (2014): Herstellung von Grundchemikalien auf Basis nachwachsender Rohstoffe als Alternative zur Petrochemie. Chemie Ingenieur Technik (12), S. 2115–2134.

Weber, K. M. & Rohracher, Harald (2012): Legitimizing research, technology andinnovation policies for transformative change Combining insights from innovation systems and multi-level perspective in a comprehensive 'failures'framework. Research Policy (41), S. 1037–1047.

Wehnert, Timon; Hermwille, Lukas; Mersmann, Florian; Bierwirth, Anja & Buschka, Michael (2018): Phasing-out Coal, Reinventing European Regions. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie.

Weiss, Clemens (2020): Stand der Mobilitätswende in ländlichen Regionen, Zukunft Mobilität. Verfügbar unter https://www.zukunft-mobilitaet.net/171427/analyse/laendliche-regionen-mobilitaetswende-zukunft-der-mobilitaet-auf-dem-land/, zuletzt abgerufen am 23.03.2021.

Weissermel, Klaus & Arpe, Hans-Jürgen (1998): Industrielle organische Chemie. Bedeutende Vor- und Zwischenprodukte (5., vollst. überarb. Aufl.). Weinheim: Wiley-VCH.

Wietschel, Martin; Thielmann, Axel; Plötz, Patrick; Gnann, Till; Sievers, Luisa; Breitschopf, Barbara; Doll, Claus & Moll, Cornelius (2017): Perspektiven des Wirtschaftsstandorts Deutschland in Zeiten zunehmender Elektromobilität (Fraunhofer ISI, Hrsg.).

Wolff, Franziska; Jacob, Klaus; Guske, Anna L.; Heyen, Dirk A. & Hüsing, Thomas (2016): Kohärenzprüfung umweltpolitischer Ziele und Instrumente. Endbericht (UBA-Texte 76/2016). Dessau: Umweltbundesamt.

Zundel, Stefan; Erdmann, G.; Nill, J.; Sartorius, C. & Weiner, D. (2005): Conceptual frame-work. In C. Sartorius & S. Zundel (Hrsg.), Time strategies, innovation, and environmental policy (Advances in ecological economics, S. 7–38). Cheltenham, UK: Edward Elgar.