

Grimm, Anna; Pfaff, Matthias

Working Paper

Transformation der Wertschöpfung in der Automobilbranche. Teilbericht Arbeitspaket 4: Entwicklungen im Regime

Working Paper Forschungsförderung, No. 249

Provided in Cooperation with:

The Hans Böckler Foundation

Suggested Citation: Grimm, Anna; Pfaff, Matthias (2022) : Transformation der Wertschöpfung in der Automobilbranche. Teilbericht Arbeitspaket 4: Entwicklungen im Regime, Working Paper Forschungsförderung, No. 249, Hans-Böckler-Stiftung, Düsseldorf

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/260573>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.



<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/de/legalcode>

WORKING PAPER FORSCHUNGSFÖRDERUNG

Nummer 249, Juni 2022

Transformation der Wertschöpfung in der Automobilbranche

Teilbericht Arbeitspaket 4: Entwicklungen im Regime

Anna Grimm und Matthias Pfaff

Auf einen Blick

Die Automobilindustrie steckt in einem tiefgreifenden Transformationsprozess. Die Digitalisierung der Produktion schreitet voran; auf die Erarbeitung automobiler Geschäftsmodelle durch Tech-Firmen reagieren Automobilfirmen mit eigenen IT-Abteilungen und Kooperationen. Nischenakteure gewinnen in den globalisierten Produktionsnetzwerken an Relevanz, und batterieelektrische Fahrzeuge prägen die Produktankündigungen der Hersteller. Die Studie stellt die Aktivitäten der etablierten Akteure systematisch dar, identifiziert Schnittstellen zu neuen Akteuren und gibt Hinweise auf mögliche Entwicklungen.

© 2022 by Hans-Böckler-Stiftung
Georg-Glock-Straße 18, 40474 Düsseldorf
www.boeckler.de



„Transformation der Wertschöpfung in der Automobilbranche“ von Anna Grimm und Matthias Pfaff ist lizenziert unter

Creative Commons Attribution 4.0 (BY).

Diese Lizenz erlaubt unter Voraussetzung der Namensnennung des Urhebers die Bearbeitung, Vervielfältigung und Verbreitung des Materials in jedem Format oder Medium für beliebige Zwecke, auch kommerziell.

(Lizenztext: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/de/legalcode>)

Die Bedingungen der Creative-Commons-Lizenz gelten nur für Originalmaterial. Die Wiederverwendung von Material aus anderen Quellen (gekennzeichnet mit Quellenangabe) wie z. B. von Schaubildern, Abbildungen, Fotos und Textauszügen erfordert ggf. weitere Nutzungsgenehmigungen durch den jeweiligen Rechteinhaber.

ISSN 2509-2359

Inhalt

| | |
|--|----|
| Zusammenfassung..... | 4 |
| 1 Ausgangssituation und Zielsetzung | 8 |
| 2 Märkte und Akteure | 12 |
| 2.1 Grundlegende Kennzahlen zu Produktion und Absatzmärkten .. | 12 |
| 2.2 Verlagerungsaktivitäten | 20 |
| 2.3 Neue Akteure in der automobilen Wertschöpfung | 26 |
| 3 Produkte und Geschäftsmodelle..... | 31 |
| 3.1 Alternative Antriebsformen..... | 31 |
| 3.2 Autonomes und automatisiertes Fahren..... | 33 |
| 3.3 Produkt- und Serviceangebote..... | 37 |
| 4 Produktion | 45 |
| 4.1 Internationale Wertschöpfungsstrukturen..... | 45 |
| 4.2 Digitalisierung der Produktion | 59 |
| 4.3 Umweltschutz in der Automobilproduktion | 63 |
| 5 Fazit | 69 |
| Literatur..... | 73 |
| Autor:innen..... | 84 |

Zusammenfassung

Die etablierte Automobilindustrie steckt im Zuge der voranschreitenden Digitalisierung, eines zunehmend ambitionierten Umwelt- und Klimaschutzes sowie der Globalisierung in einem tiefgreifenden Transformationsprozess. Zum einen verändern sich globale Märkte und die Aktivität von Herstellern, gleichzeitig treten vermehrt neue Akteure, insbesondere aus den Bereichen der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) und der Elektronik, in den Mobilitäts- oder Automobilmarkt ein. Zum anderen verändern sich die Produkte und Geschäftsmodelle in der Automobilbranche durch die zunehmende Substitution des Verbrennungsmotors durch alternative Antriebe und die teilweise Verlagerung von Produkt- zu Serviceangeboten. Schließlich durchlaufen die Produktionsprozesse und Wertschöpfungsnetzwerke der Automobilbranche im Kontext der Digitalisierung der Produktion aber auch der Energieeffizienz und Ressourcenschonung einen starken Wandel.

Die vorliegende Studie beleuchtet die Entwicklungen und Reaktionen der etablierten deutschen Automobilhersteller und -zulieferer in den drei Bereichen „Märkte und Akteure“, „Produkte und Geschäftsmodelle“ und „Produktion“. Dabei werden sowohl quantitative als auch qualitative, fallstudienbasierte Analysen durchgeführt. Ziel der Studie ist es, die Aktivitäten der etablierten Akteure systematisch darzustellen, Schnittstellen zu neuen Akteuren sowie Spannungsfelder zu identifizieren und die Grundlage zu schaffen, mögliche zukünftige Entwicklungspfade abzuleiten.

Märkte und Akteure

Die Analyse grundlegender **Kennzahlen zur Produktion und den Absatzmärkten** zeigt zunächst die weiterhin starke Abhängigkeit und Präsenz der deutschen Automobilindustrie vom bzw. im Ausland. Gleichzeitig stagnieren globale Fahrzeugabsätze seit einigen Jahren, wovon auch die deutsche Automobilindustrie betroffen ist. Hinsichtlich des Anteils von elektrifizierten Personenkraftwagen (Pkw) am Gesamtfahrzeugabsatz überholten die EU27-Länder den Vorreiter China im Jahr 2020.

Die wichtigsten Absatzregionen Europa, China und die USA waren ab der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts Ziele der **Verlagerung von Produktionsstandorten** deutscher Hersteller. In der jüngeren Vergangenheit nehmen Verlagerungen im verarbeitenden Gewerbe jedoch insgesamt ab und auch Rückverlagerungen sind beobachtbar.

Während in der Automobilindustrie bislang meist Konkurrenz zwischen etablierten Herstellern oder Zulieferern herrschte und die Markteintrittsbarrieren hoch waren, beobachtet man zunehmend den **Eintritt neuer Akteure in den Mobilitätsmarkt**. Diese Entwicklung lässt sich zu großen Teilen auf die Veränderungen in den Fahrzeugkomponenten und -kon-

zepten sowie Geschäftsmodellen im Zuge der Elektrifizierung und Digitalisierung zurückführen. Die neuen Akteure stammen dabei oft aus Industrien außerhalb der Automobilbranche, wie der Elektronik oder den Informations- und Kommunikationstechnologien. Damit beeinflussen erstmals sehr heterogene Akteure aus unterschiedlichen Branchen die automobilen Wertschöpfungskette von Rohstoffen über Komponenten und Endprodukte bis hin zu Betrieb und Entsorgung der Fahrzeuge.

Produkte und Geschäftsmodelle

Die Umstellung des verbrennungsmotorischen Antriebsstrangs auf (lokal) emissionsfreie alternative Antriebsformen spielt zur Erreichung der Klimaziele eine zentrale Rolle. Nach Jahren der Zurückhaltung gestalten deutsche Hersteller ihre Produktpaletten nun entsprechend um. Sie setzen sich dabei jedoch teils weniger ambitionierte Ziele als manch ausländische Konkurrenten.

Neben den alternativen Antrieben steht der Bereich des **autonomen und automatisierten Fahrens** im Zentrum der Forschung und Entwicklung in der Automobilindustrie und angrenzender Industrien. Aufgrund des damit verbundenen Bedarfs an Komponenten aus der Sensorik, der Bildverarbeitung und der Kommunikation sind neben etablierten Herstellern und Zulieferern vermehrt auch Firmen aus dem Elektronik- oder IKT-Bereich wie Sony, Qualcomm oder Baidu daran beteiligt. Die Entwicklung des autonomen Fahrens und seiner Komponenten ist mit hohen Investitionsbedarfen verbunden und kann nur im Zusammenspiel verschiedener Technologien realisiert werden. Daher lassen sich zunehmend viele **sektor- und grenzübergreifende Kooperationen** beobachten. Unklar bleibt dabei jedoch weiterhin, welche Technologien sich durchsetzen und zu welchem Zeitpunkt sie in den Massenmarkt eintreten werden.

Die zunehmende Digitalisierung in Fahrzeugen und ihren Ökosystemen bewirkt neben technologischen Veränderungen im Fahrzeug auch eine Verlagerung von reinen **Produkt- hin zu Serviceangeboten**. Dabei stehen digitale, begleitende Geschäftsmodelle während des Betriebs sowie Mobilitätsdienstleistungen im Mittelpunkt. Auch dieser Bereich ist von einer Vielzahl an Kooperationen zwischen unterschiedlichen Akteuren geprägt.

Während autonome Mobilitätsdienstleistungen prinzipiell das Potenzial haben, eine Abkehr vom privaten Pkw zu bewirken und Verkehr effizienter zu gestalten, ist die wissenschaftliche Literatur hinsichtlich der positiven Effekte teilweise skeptisch. In einigen Studien wird mit einem maximal leichten Rückgang des Pkw-Bestandes und einer Zunahme der zurückgelegten Fahrzeugkilometer sowie der Gesamtstrecke gerechnet.

Produktion

Automobilhersteller haben über die vergangenen Jahrzehnte ein komplexes System internationaler Wertschöpfung aufgebaut. Die traditionellen Automobilnationen wie Deutschland oder die USA zeigen für den Zeitraum 2000 bis 2014 eine teils deutliche Zunahme importierter Vorleistungen im Vergleich zu heimisch hergestellten Inputs. Chinas Automobilindustrie ist hingegen heimischer geprägt.

Zunehmende Importe bedeuten gleichzeitig eine Zunahme der Abhängigkeit vom Ausland, die wiederum mit Risiken verbunden sein kann, was durch den aktuellen Halbleitermangel und Lieferengpässe im Kontext des Angriffs auf die Ukraine verdeutlicht wird.

Der Grad der Umsetzung von Konzepten der digitalen und vernetzten Produktion weist innerhalb Deutschlands deutliche Unterschiede auf. Die Hersteller und großen Zulieferer sind weiter fortgeschritten, während insbesondere kleinere Zulieferer vor deutlichen Herausforderungen stehen. Hier stehen deutliche Potenziale zur Reduktion von Kosten und Steigerung der Qualität und Flexibilität hohen Investitionen und großem Planungsaufwand entgegen. Spannungsfelder entstehen auch in der Entscheidung zwischen der Modernisierung bestehender Produktionslinien und dem Neubau von Produktionsstätten.

Die zunehmende Produktion batterieelektrischer Fahrzeuge hat die Auseinandersetzung mit dem **Umweltschutz in der Automobilherstellung** deutlich in den Fokus gerückt, da bei diesem Fahrzeugtyp produktionsbasierte Umweltwirkungen einen höheren Anteil am Umweltprofil über den gesamten Lebenszyklus haben. Da ein Großteil der Umweltwirkungen in vorgelagerten Wertschöpfungsstufen anfällt, allen voran bei der Batterieproduktion, haben Hersteller bisher nur indirekten Einfluss darauf. Jedoch kann auch hier die Digitalisierung helfen, beispielsweise im Bereich des Monitorings von Umweltwirkungen. Einige Hersteller setzen zudem auf die Entwicklung alternativer Batterietechnologien und Produktionsprozesse und -standorte, um die Umweltwirkungen der Produktion zu reduzieren.

Entwicklungspfade

Bei der Betrachtung der drei Bereiche Märkte und Akteure, Produkte und Geschäftsmodelle, sowie Produktion zeigt sich: Sowohl die Digitalisierung als auch die Globalisierung und die Anforderung eines ambitionierten Umweltschutzes üben simultan einen hohen Veränderungsdruck auf die Automobilindustrie aus. Neben neuen Akteuren, die die Potenziale für einen Markteintritt längst erkannt und sich mit verschiedenen Konzepten etabliert haben, zeigt sich die unvermeidliche Auseinandersetzung mit den Trends nun auch in den Aktivitäten der etablierten Akteure.

Dabei sind die Elektrifizierung des Antriebsstrangs und die zunehmende Beachtung von sozialen und ökologischen Aspekten in den Liefer-

ketten auch in der Umsetzung angekommen. Die Diffusion und Weiterentwicklung erfordert weiterhin ein hohes Engagement, der grobe Entwicklungspfad ist jedoch abgesteckt.

Die Globalisierung, oft als unterliegende Entwicklung und kontinuierlicher Wachstumsmotor verstanden, bewegte sich in den letzten Jahren eher auf ein Plateau zu, was eine simple Trendfortschreibung erschwert. Die zukünftigen Dynamiken im globalen Automobilproduktions- und Absatzmarkt sind deshalb schwer abzusehen.

Im Bereich der Digitalisierung müssen drei grundsätzliche Berührungspunkte mit der Automobilindustrie unterschieden werden. Die Digitalisierung und Vernetzung der Produktion stellt zwar Herausforderungen in der Umsetzung dar, die entsprechenden Konzepte und Technologien bestehen jedoch bereits. Die Automatisierung der Fahrfunktionen schreitet technologisch voran, die zukünftige Ausgestaltung eines sicheren und umweltfreundlichen Mobilitätssystems sowie der Grad der gesellschaftlichen Akzeptanz sind aber noch nicht abzusehen.

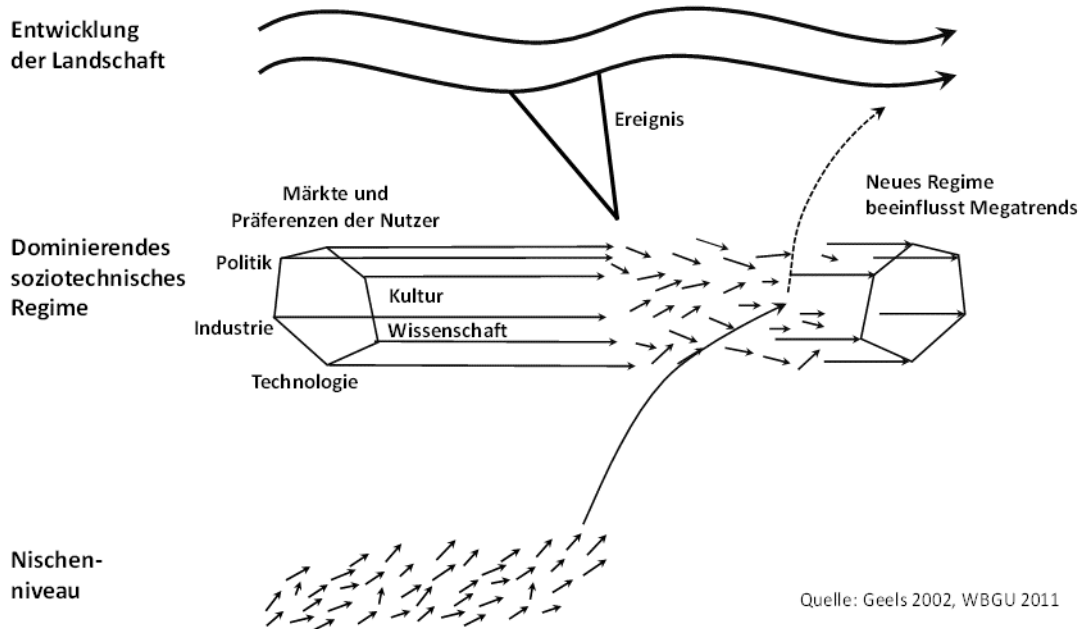
Im Bereich der Digitalisierung der Geschäftsmodelle wird eine Vielzahl an Konzepten entwickelt. Hinsichtlich des Ausmaßes der Beteiligung neuer Akteure, der Verschiebung der internationalen Innovations- und Beschäftigungsstandorte sowie der Rolle bzw. des Zusammenspiels mit der etablierten Automobilindustrie ist die mögliche Konfiguration einer neuen automobilen Wertschöpfungskette weiterhin schwer vorauszusagen.

1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Die globale Automobilindustrie befindet sich einer Phase des fundamentalen Wandels. Globalisierung, Klimawandel und Digitalisierung sind drei Megatrends, die zu Verschiebungen auf verschiedenen Ebenen und in verschiedenen Dimensionen führen. Die Automobilindustrie hat sich zwar in ihrem gesamten Bestehen stets weiterentwickelt und auf Veränderungen reagiert, die aktuellen Entwicklungen können jedoch als besonders tiefgreifend und durch ihr zeitlich paralleles Auftreten als noch nicht dagewesene Herausforderungen charakterisiert werden.

Im Rahmen des Projekts „Transformation der Wertschöpfung in der Automobilbranche“ wird der Wandel der Automobilindustrie analysiert und aktuelle sowie zukünftig mögliche Entwicklungspfade ausgearbeitet. Die Struktur der Analysen orientiert sich an der Multi-Level-Perspektive (Geels 2002) und bedient sich darüber hinaus noch weiterer konzeptioneller Ansätze (siehe dazu Gandenberger/Clausen/Grimm (2020) und qualitativer wie quantitativer Methoden. Die Beschreibung der Veränderungen in der Automobilindustrie erfolgt entsprechend der Multi-Level-Perspektive entlang der drei Ebenen der Landschaft, des soziotechnischen Regimes und der Nische (siehe Abbildung 1).

Abbildung 1: Die Multi-Level-Perspektive zur Analyse technologischer Transformationen



Quelle: Geels (2002), Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (2011)

Das bereits erschienene Arbeitspapier zu den Entwicklungen in der Landschaft (Pfaff/Grimm/Clausen 2022) beschreibt die drei Trends des Klimawandels, der Digitalisierung und der Globalisierung und skizziert mögliche Auswirkungen auf die Automobilindustrie. Die beiden Arbeitspapiere „Tesla als Start-up in der Automobilbranche“ (Clausen/Olteanu 2020) und „Neue Akteure in der Automobilbranche“ (Clausen/Olteanu 2021) beschreiben in Fallstudien die Aktivitäten und Entwicklungen ausgewählter Nischenakteure.

Im vorliegenden Arbeitspapier wird der Fokus auf die Entwicklungen im Regime der Automobilbranche gelegt. Als Regime versteht man ein eingespieltes und dominantes soziotechnisches System, das sich meist über Jahre etabliert hat. Das Einwirken der Trends aus der Landschaft kann dieses etablierte Konstrukt schwächen, Akteure zu Veränderungen zwingen und gleichzeitig Räume und Eintrittsmöglichkeiten für neue Akteure eröffnen. Zum Regime der Automobilbranche gehören neben den vorherrschenden Technologien und der produzierenden Industrie auch die etablierten Strukturen und Prozesse der Politik, Wissenschaft und Kultur, sowie Märkte und Präferenzen der Kunden.

Die betrachteten Trends bestehen aus vielen Facetten. Im Rahmen des Arbeitspapiers wird der Trend des Klimawandels und des sich ändernden Umweltbewusstseins insbesondere auf die Veränderung der Antriebskonzepte sowie der eingesetzten Rohstoffe hin untersucht. Im Bereich der Digitalisierung stehen das autonome Fahren, die Vernetzung von Fahrzeugen sowie die digitale Produktion im Vordergrund. Die Globalisierung wird nicht als neuer Trend betrachtet, sondern vielmehr als eine bislang recht stetige Entwicklung, die vor einem Umbruch steht.

In der Automobilbranche sind die drei Trends so stark verwoben, dass sie nicht isoliert voneinander betrachtet werden können; es bestehen vielmehr erhebliche Überschneidungen und Wechselbeziehungen (Pfaff/Grimm/Clausen 2022), die sich auf alle Dimensionen der Automobilbranche auswirken. Zum einen verändern sich globale Märkte und die Aktivität von Herstellern, gleichzeitig treten vermehrt neue Akteure, insbesondere aus dem IKT- und Elektronik-Bereich, in den Mobilitäts- oder Automobilmarkt ein.

Zum anderen verändern sich das Produkt und die Geschäftsmodelle in der Automobilbranche durch die zunehmende Substitution des Verbrennungsmotors durch alternative Antriebe und die teilweise Verlagerung von Produkt- zu Serviceangeboten. Letztendlich durchlaufen die Produktionsprozesse und Wertschöpfungsnetzwerke der Automobilbranche im Kontext der Digitalisierung der Produktion aber auch der Energieeffizienz und Ressourcenschonung einen starken Wandel.

Die drei Themenbereiche „Märkte und Akteure“, „Produkte und Geschäftsmodelle“ und „Produktion“ dienen im Rahmen dieses Arbeitspapiers der Strukturierung der Analysen. Aufgrund von teilweisen Überlappungen zwischen diesen Themenbereichen können jedoch nicht alle Analysen vollkommen trennscharf zugeordnet werden.

Das Arbeitspapier zeichnet die Entwicklung im Regime der Automobilbranche in relevanten Bereichen nach und untersucht die Reaktion des soziotechnischen Systems, mit einem Fokus auf den etablierten Akteuren in der Industrie. Ziel ist es, den Status Quo aus systemischer Perspektive zu erfassen, Herausforderungen zu identifizieren und eine Grundlage für die Analyse möglicher zukünftiger Entwicklungspfade zu schaffen.

Dazu werden sowohl bestehende Literaturquellen ausgewertet als auch eigene Analysen auf quantitativer sowie qualitativer Ebene durchgeführt. In der Auswertung der offiziellen Statistiken auf Branchen- bzw. Wirtschaftszweigebene lässt sich dabei jedoch schwer zwischen Regime- und Nischen-Akteuren unterscheiden. Vielmehr wird die gesamte Aktivität eines Wirtschaftszweigs betrachtet, wodurch im Bereich der Automobilindustrie auch die Leistungen von Nischen-Akteuren beinhaltet sein können. Dieser teilweisen Unschärfe hinsichtlich der Abgrenzung des Regimes wird durch die Darstellung von exemplarischen Entwicklungen ein-

zelter Hersteller entgegengewirkt. Auf diese Weise werden die makroökonomische und die mikroökonomische Perspektive zusammengeführt.

Das Arbeitspapier ist entlang der oben genannten Themenbereiche aufgeteilt. In Kapitel 2 werden Entwicklungen im Themenbereich „Märkte und Akteure“ aufgezeigt. Hier werden grundlegende Kennzahlen zu Produktion und Absatzmärkten dargestellt, Verlagerungsaktivitäten sowie treibende Faktoren betrachtet und neue Akteure in der automobilen Wertschöpfung vorgestellt. Kapitel 3 widmet sich dem Themenbereich „Produkte und Geschäftsmodelle“. Der Fokus liegt dabei auf alternativen Antriebsformen, dem automatisierten und autonomen Fahren sowie der Verschiebung von Produkt- zu Serviceangeboten. Der Themenbereich „Produktion“ wird hinsichtlich etablierter Wertschöpfungsstrukturen in der Automobilindustrie, der Digitalisierung der Produktion sowie dem Umweltschutz, insbesondere in der Produktion batterieelektrischer Fahrzeuge, in Kapitel 4 diskutiert. Kapitel 5 bietet ein Fazit.

2 Märkte und Akteure

2.1 Grundlegende Kennzahlen zu Produktion und Absatzmärkten

Im Folgenden werden zunächst grundlegende Kennzahlen zur globalen Automobilproduktion und dem Fahrzeugabsatz dargestellt. Dabei wird auf die Rolle deutscher Hersteller fokussiert. Die Märkte und Akteure im Bereich alternativer Antriebsformen werden gesondert analysiert.

Produktion und Exporte

Im Jahr 2019¹ wurden global knapp 80 Millionen Pkw hergestellt (Verband der Automobilindustrie 2021a). Davon entfielen mit etwa 16 Millionen produzierten Fahrzeugen ca. 20 Prozent auf die Produktion deutscher Hersteller. Die Gesamtproduktion deutscher Hersteller nahm damit im Vergleich zu den Jahren 2017 und 2018 leicht ab. Dabei sank insbesondere die Produktion im Inland, während die die Auslandsproduktion stieg (siehe Abbildung 2). Die Produktion deutscher Hersteller im Ausland betrug 2019 ca. 70 Prozent der Gesamtproduktion, während in Deutschland 30 Prozent der Pkw produziert wurden.

Im Jahr 2017 lag das Verhältnis bei 65 Prozent ausländischer zu 35 Prozent inländischer Produktion, was darauf hindeutet, dass die Vor-Ort-Produktion weiter an Bedeutung gewinnt (Verband der Automobilindustrie 2020). Auch im von der Covid-19-Pandemie geprägten Jahr 2020 brach die internationale Pkw-Produktion deutscher Hersteller weniger stark zusammen und machte sogar knapp 75 Prozent der Gesamtproduktion aus.

Die hohe Quote der ausländischen Produktion deutscher Hersteller kann zum einen mit geringeren Transportkosten sowie einer besseren Abstimmung von Entwicklung und Varianten auf den jeweiligen regionalen Markt erklärt werden. Zum anderen ist sie im Kontext verschiedener nationaler Strategien der wichtigen Handelspartner zu sehen, die Wertschöpfung im Land sichern wollen. So gelten in China hohe Importzölle für ausländische Fahrzeuge und bis vor Kurzem ein Joint-Venture-Zwang mit heimischen Firmen, wenn ausländische Hersteller Produktionskapazitäten in China aufbauen wollten. Dieser wurde für elektrische Pkw zwar zu Beginn des Jahres 2018 abgeschafft und die Abschaffung für alle Pkw ist ebenfalls ab 2022 geplant.

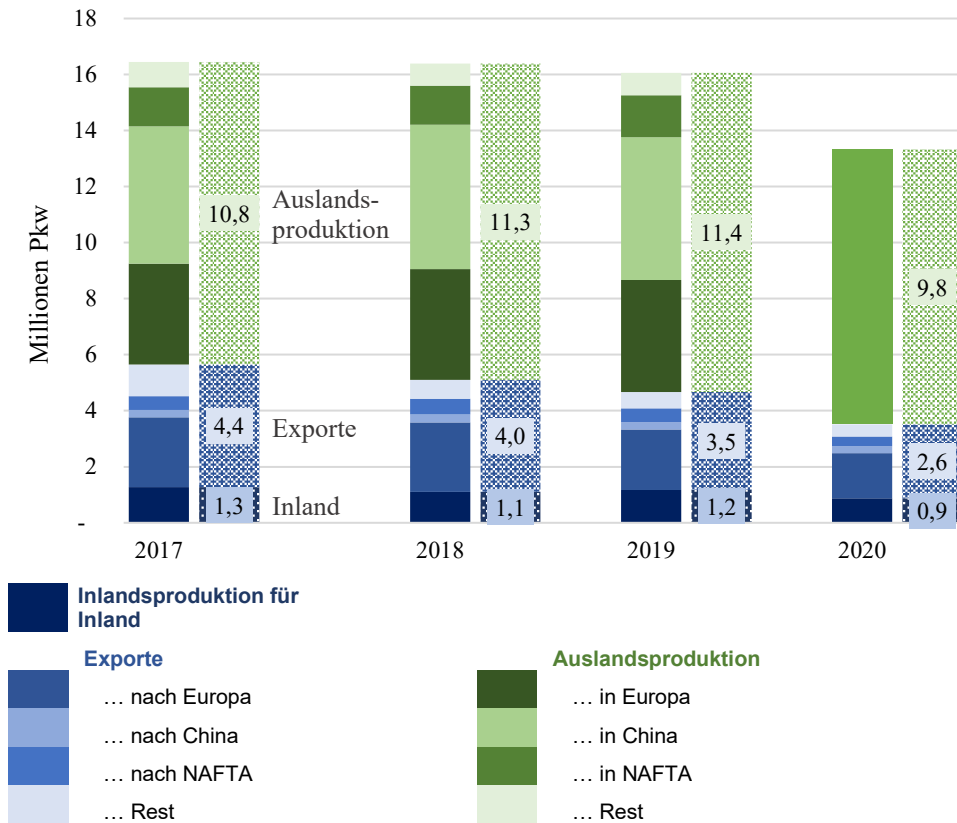
Gleichzeitig gibt es aber bislang kaum Ankündigungen deutscher Hersteller, die eingespielten Kooperationen aufzulösen (Schaal/Deuber 2018),

1 2019 wurde als Referenzjahr für Einzelwerte gewählt, um Verzerrungen durch die Effekte der Covid-19-Pandemie zu vermeiden.

die auch die lokalen Zulieferstrukturen sowie Kontakte zu den relevanten staatlichen Organisationen umfassen. Eher wurden Vorhaben deutscher Hersteller angekündigt, die Joint-Ventures zu Mehrheitsbeteiligungen auszubauen (Lichtenstein 2019).

Die deutsche Automobilindustrie ist außerdem für ihre hohen Exporte bekannt. Im Laufe der letzten zehn Jahre lag die Exportquote aus deutscher Produktion recht konstant zwischen 75 und 78 Prozent (Ausnahme 2010: 72 Prozent). Die Exporte gehen zum größten Teil in das europäische Ausland. China und die Region des North American Free Trade Agreement (NAFTA) werden zu deutlich größeren Teilen aus den verschiedenen ausländischen Produktionsstätten deutscher Hersteller als aus Exporten bedient. Die Pkw-Produktion deutscher Hersteller in China macht mit 45 Prozent den größten Teil der Auslandsproduktion aus; Produktionsstätten im europäischen Ausland haben einen Anteil von etwa 35 Prozent. In den Jahren 2018 und 2019 produzierten deutsche Hersteller zudem mehr Fahrzeuge in China als in Deutschland.

Abbildung 2: Inlandsproduktion, Exporte und Auslandsproduktion deutscher Hersteller 2017–2020



Quelle: eigene Darstellung auf Basis Verband der Automobilindustrie 2018, 2020, 2021a, 2021b

Pkw-Absatz

Die Analysen zum Pkw-Absatz beruhen auf Auswertungen einer Datenbank des Fraunhofer ISI, die 2014 entwickelt wurde und seitdem jährlich aktualisiert wird. Die letzte Aktualisierung erfolgte im April 2021. Sie erfasst die Produktion und Absätze von elektrifizierten Fahrzeugen nach Fahrzeugmodell, Produktionsstandort, Nachfrage-/Absatzmarkt, etc. Die elektrifizierten Fahrzeugtypen sind Hybrid-Elektrofahrzeuge (Hybrid Electric Vehicle – HEV), Plugin-Hybride (Plug-in Hybrid Electric Vehicle – PHEV) und batterieelektrische Fahrzeuge (Battery Electric Vehicle – BEV), die unter dem Akronym „xEV“ zusammengefasst werden. Die Daten sind ab 2004 für HEVs, seit 2010 für PHEVs/BEVs erfasst.

Sie werden der kostenpflichtigen Datenbank Marklines² entnommen und jeweils mit weiteren Datenquellen und Studien abgeglichen und plausibilisiert, insbesondere mit den Veröffentlichungen lokaler Ämter (wie des Kraftfahrtbundesamtes in Deutschland), des Europäischen Verbands der Automobilhersteller³, des EV Sales Blog⁴ und anderer Online-Quellen (z. B. Websites von Fahrzeugherstellern). Die xEV-Datenbank des Fraunhofer ISI wird regelmäßig mit dem European Alternative Fuels Observatory⁵ abgeglichen und ist in guter Übereinstimmung. Die Datenbank wurde zudem über die Jahre stetig um weitere Inhalte und Schnittstellen erweitert (z. B. Preise, Reichweite, Verbrauch, Batteriezulieferer, Batteriegröße).

In den drei Kernmärkten EU 27, China und USA wurden im Jahr 2019 in Summe mehr als 55 Millionen Fahrzeuge abgesetzt, was in etwa 70 Prozent der globalen Automobilproduktion entspricht. China ist der größte Markt, gefolgt von den USA und den EU-27-Staaten. Im Zeitverlauf zwischen 2011 und 2020 zeigen die Märkte leicht unterschiedliche Dynamiken hinsichtlich der Entwicklung abgesetzter Fahrzeuge nach Antriebstypen, wie in Abbildung 3 zu sehen ist. In der Analyse wurde zwischen BEV, PHEV und ICEV (Internal Combustion Engine Vehicle) unterschieden. Fahrzeuge mit hybridem Antrieb ohne die Option, diese extern zu laden (HEV), wurden aufgrund der geringen Absatzzahlen ausgeschlossen.

Der Blick auf die Entwicklung der jeweiligen Gesamtzahlen abgesetzter Pkw in Abbildung 3 zeigt einen ähnlichen Trend in China und den USA, wo die Zahl der Neuzulassungen zwischen 2011 bis 2016 bzw. 2017 zunächst anstieg und anschließend bis 2020 stagnierte bzw. sogar zurückging. Die Neuzulassungen in China zeigen im Vergleich zwischen 2019 und 2020 jedoch kaum Reaktion auf die Covid-19-Pandemie und bleiben stabil. In den USA und den EU-27-Staaten ist hingegen zwischen den Neuzulassungen 2019 und 2020 ein deutlicher Rückgang zu verzeichnen. In den EU-27-Staaten betrug dieser über 20 Prozent. Zuvor sind in Europa die Neuzulassungen im Zeitraum 2013 bis 2019 angestiegen. Zwischen den Jahren 2011–2013 sanken die Neuzulassungen, im Gegensatz zur Entwicklung in China und den USA, deutlich ab.

Neben der Dynamik der gesamten Absatzzahlen zeigen sich auch für die Neuzulassungen von BEVs und PHEVs Unterschiede zwischen den Regionen. In den EU-27-Staaten sowie den USA hatten BEVs bereits ab 2011 sehr kleine Anteile an den Neuzulassungen, die bis 2019 kontinu-

2 Marklines Automotive Industry Portal: <http://www.marklines.com>.

3 European Automobile Manufacturers Association Registration Statistics.

4 EV Sales Blog: www.ev-sales.blogspot.com/.

5 European Alternative Fuels Observatory: <https://www.eafo.eu/>.

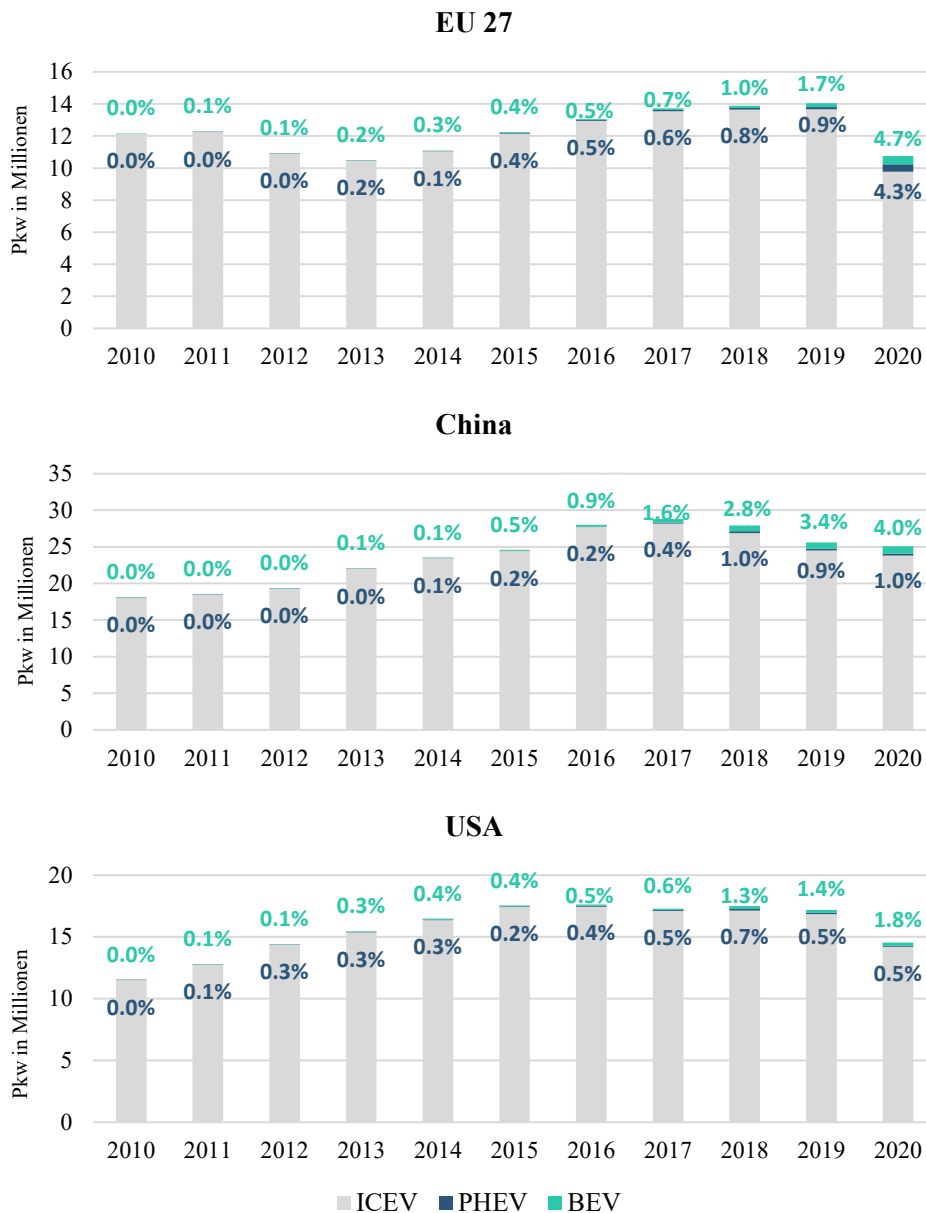
ierlich auf 1,7 Prozent (EU 27) bzw. 1,4 Prozent (USA) angestiegen sind. In China begann die Entwicklung etwas später, dafür mit deutlich höherer Dynamik. Bereits 2015 überholte China die anderen beiden Regionen hinsichtlich des Anteils an BEVs an den Neuzulassungen. Gleichzeitig zeigt sich bei Betrachtung der absoluten Zulassungen aufgrund der Größe des chinesischen Absatzmarktes ein noch deutlicherer Vorsprung.

Im Jahr 2019 waren dort 3,4 Prozent der neuzugelassenen Fahrzeuge rein batterieelektrisch betrieben. Im Jahr 2020 ergab sich in Europa jedoch ein deutlicher Schub auf 4,7 Prozent BEVs an den Neuzulassungen, wodurch China von der ersten Position abgelöst wurde. Die USA erhöhten den Anteil nur leicht auf 1,8 Prozent. Die positive Entwicklung des Anteils von BEVs an den Absatzzahlen blieb in allen Regionen unabhängig von Schwankungen in der Gesamtabsatzzahl. PHEVs spielen in China und den USA eine untergeordnete Rolle und verblieben im Gesamtzeitraum bei maximal 1 Prozent. In den EU-27-Staaten erreichten sie jedoch mit 4,3 Prozent im Jahr 2020 einen ähnlichen Anteil wie BEVs.

Zur Einordnung der Rolle der USA und Chinas in ihrer jeweiligen Region wurden die Absatzzahlen elektrischer Fahrzeuge mit denen der NAFTA-Region sowie Asien verglichen. Im Jahr 2020 wurden 90 Prozent aller abgesetzten BEVs und 95 Prozent aller PHEVs in der NAFTA-Region in den USA zugelassen. Für China galten im Jahr 2020 ähnlich hohe Anteile: In China wurden 95 Prozent aller in Asien zugelassenen BEVs und 90 Prozent aller PHEVs angemeldet. Die USA und China sind demnach zum aktuellen Zeitpunkt die größten Märkte für BEVs/PHEVs in ihren jeweiligen Regionen.

Mit Blick auf die Verteilung der Neuzulassungen elektrisch betriebener Fahrzeuge in Europa war Deutschland im Jahr 2020 mit einem Anteil von etwa 35 Prozent der EU-27-BEV-Neuzulassungen der größte Markt. Die deutsche Nachfrage zog damit im Jahr 2020 deutlich an, zuvor (2016–2019) schwankte der Anteil Deutschlands am Absatz von BEVs in allen EU-27-Staaten zwischen 20 und 30 Prozent. Bei den PHEVs war die Rolle des deutschen Markts im Jahr 2020 noch größer: Fast 50 Prozent der in den EU-27-Staaten neuzugelassenen PHEVs wurden in Deutschland angemeldet.

Abbildung 3: Absatz Pkw nach Antriebstypen: EU 27, China, USA, 2011–2020



Quelle: ISI-Datenbank

Märkte und Akteure im Bereich alternativer Antriebsformen

Die etablierten Fahrzeughersteller (Original Equipment Manufacturer – OEM) des Regimes beliefern seit Jahren die globalen Absatzmärkte und haben verschiedene Schwerpunkte. Dabei weisen die Märkte EU 27, China und USA verschiedene Strukturen auf. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden die Absatzzahlen der großen europäischen OEMs (VW, Mercedes-Benz (ehem. Daimler), BMW) und verschiedene interna-

tionale OEMs (Toyota, BYD, SAIC, Ford, Tesla) betrachtet. Bei der Auswahl der internationalen OEMs wurde auf eine regionale Ausgewogenheit sowie punktuell den Vergleich jüngerer und etablierter Firmen geachtet. An den Märkten für ICEVs hat sich die Marktaufteilung unter den betrachteten OEMs in den vergangenen zehn Jahren nur wenig verändert⁶. Die sich entwickelnden Märkte für BEVs und PHEVs weisen hingegen eine hohe Dynamik auf.

Abbildung 4 zeigt die Anteile an den Absatzzahlen von BEVs (links) und PHEVs (rechts) der genannten OEMs für die drei Märkte EU 27, China und USA. Die Werte sind für die Jahre 2015 bis 2020 dargestellt, also ab dem Zeitpunkt, ab dem der Absatz von BEVs und PHEVs Fahrt aufnahm. Es ist zu beachten, dass die Märkte noch immer recht klein sind und aufgrund uneinheitlicher Datenlage, insbesondere im Fall Chinas, teils Unsicherheiten enthalten sein können. Die betrachteten OEMs decken zudem jeweils nur Teile der Gesamtmärkte für BEVs und PHEVs ab. Insbesondere in China wird die Mehrheit der BEVs von einer Vielzahl kleinerer OEMs gestellt, die hier nicht betrachtet werden.

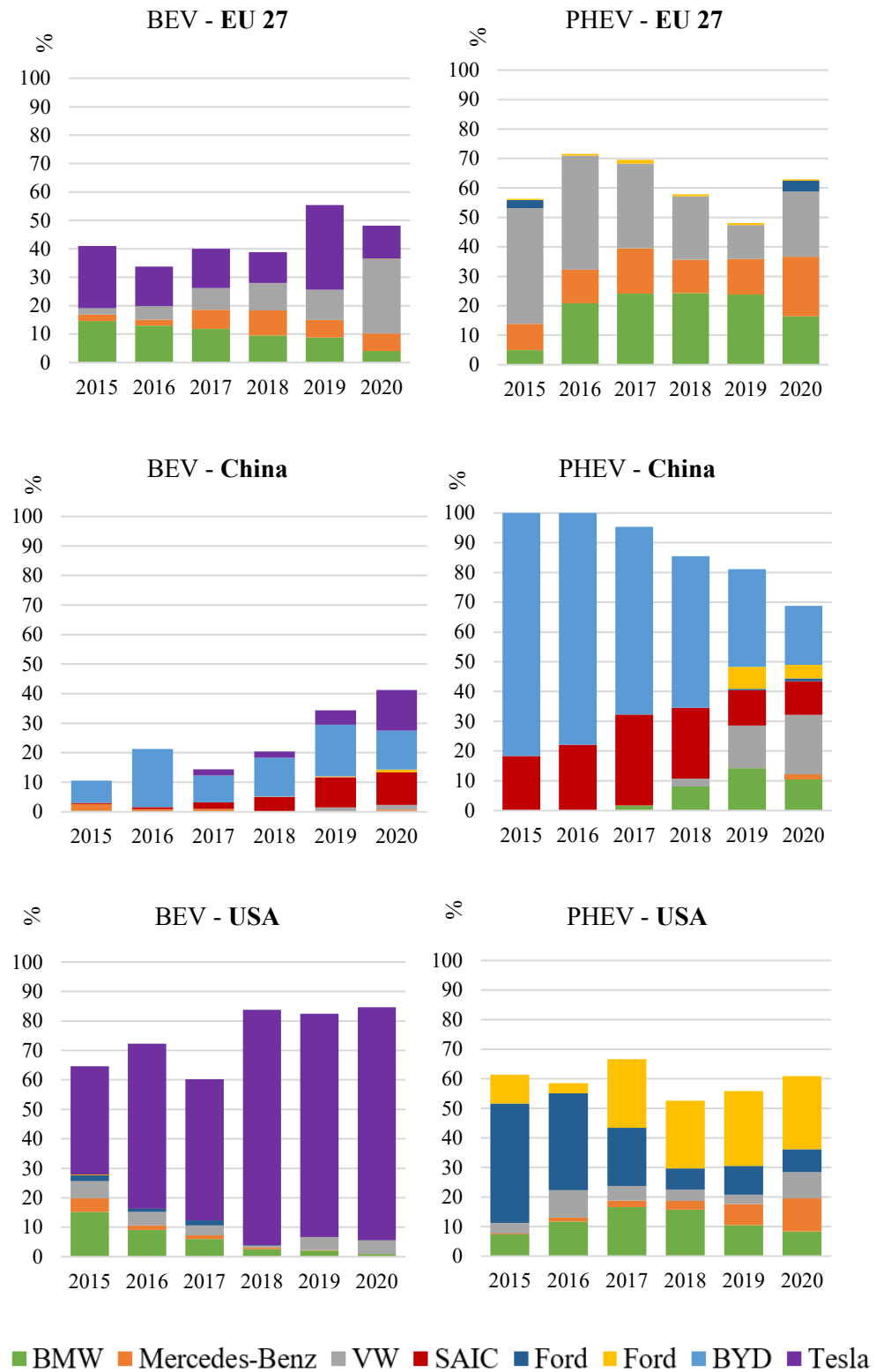
Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass die betrachteten OEMs in ihren jeweiligen Heimatländern meist die größten Anteile am BEV- und PHEV-Absatz halten. Extrem ausgeprägt ist dies für den chinesischen Markt für PHEVs, der von den heimischen Marken BYD und SAIC bis mindestens 2018 fast vollständig dominiert wurde. Ähnliches gilt für die Marktanteile von Tesla an BEVs in den USA: Tesla stellte hier etwa 80 Prozent aller BEV-Neuzulassungen in den Jahren 2018 bis 2020. Insbesondere für Ford sowie die chinesischen Marken beschränkt sich der Absatz von BEVs und PHEVs quasi ausschließlich auf die jeweiligen Heimatländer, sie setzen kaum bis gar keine Fahrzeuge in der EU 27 und China (Ford) bzw. in der EU 27 und USA (chinesische Hersteller) ab.

Bei den summierten Anteilen der betrachteten Firmen an den Märkten für BEVs und PHEVs lassen sich kaum kontinuierliche Trends erkennen. Allein für den chinesischen Markt kann man eine kontinuierliche Diversifizierung von ausschließlich BYD und SAIC zu einer zunehmenden Beteiligung auch ausländischer OEMs (BMW, VW, Toyota) beobachten.

Die deutschen Hersteller gewannen im betrachteten Zeitraum deutliche Anteile an den PHEV-Absätzen in China dazu (auf über 30 Prozent), in den USA bewegten sich die summierten Anteile von BMW, VW und Mercedes-Benz seit 2016 zwischen 20 und 30 Prozent, wobei BMW zunehmend Anteile verlor, während VW und Mercedes-Benz Zugewinne Markt in der EU 27 und in den USA verzeichnet werden.

6 Ergebnisse interner Auswertungen der ISI-Datenbank.

Abbildung 4: Anteile an Zulassungen von BEVs/PHEVs ausgewählter OEMs in EU 27, China, USA, 2015–2020



Quelle: ISI-Datenbank

In den EU-27-Staaten hält unter den betrachteten nichteuropäischen OEMs allein Tesla hohe Anteile am Markt für BEVs, Gleiches gilt für den chinesischen Markt und nicht-chinesische Marken.

2.2 Verlagerungsaktivitäten

Die internationalen automobilen Absatzmärkte haben sich im vergangenen Jahrhundert stark verlagert. Die Hersteller sowie ihre Zulieferer haben darauf mit dem Aufbau internationaler Standorte reagiert. Die Entscheidung zur Verlagerung von Produktionsstätten und anderen Unternehmensprozessen kann dabei verschiedene Gründe haben.

Im Folgenden werden zum einen der Aufbau internationaler Produktionsstätten ausgewählter OEMs seit den Ursprüngen der Automobilbranche nachgezeichnet, um die Dynamik und regionale Konzentration besser zu verstehen. Dabei wird neben dem Vergleich deutscher mit ausländischen Herstellern auch ein Fokus auf die jüngsten Entwicklungen in Hinblick auf die Produktion von elektrifizierten Fahrzeugen für die verschiedenen Märkte gelegt. Diese exemplarische Analyse ausgewählter Akteure lässt jedoch noch keine eindeutigen Schlussfolgerungen zu Verlagerungsaktivitäten auf aggregierter Ebene für die gesamte Automobilindustrie zu. Neben den Herstellern sind auch die Zulieferer in der Automobilbranche sowie andere Zulieferfirmen aus dem verarbeitenden Gewerbe relevant.

Um die Verlagerungsaktivitäten deutscher Firmen besser zu verstehen und Aussagen zu den zentralen Gründen für die Unternehmensentscheidungen treffen zu können, werden zum anderen Berichte zu den Ergebnissen aus einer Unternehmensumfrage unter Betrieben des verarbeitenden Gewerbes herangezogen.

Aufbau internationaler Produktionsstätten ausgewählter OEMs

Im Diskurs um Arbeitsplätze in der Automobilindustrie in Deutschland spielen die geografischen Standortentscheidungen von Automobilherstellern eine wichtige Rolle. Während in der jüngeren Vergangenheit die Automobilproduktion deutscher Hersteller im Ausland eine große Rolle gespielt hat (vgl. Abbildung 2), beschränkten sich die Standorte der Hersteller von Beginn des 20. Jahrhunderts bis etwa 1975 noch hauptsächlich auf ihre Heimatländer.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde die Entwicklung der Produktionsstandorte der Hersteller VW, Mercedes-Benz, BMW, Toyota und Ford mit Gründung zwischen 1900 und 2021 untersucht. Neben den großen deutschen Herstellern wurden Toyota und Ford als etablierte Hersteller mit unterschiedlichen regionalen Hintergründen ausgewählt, um fest-

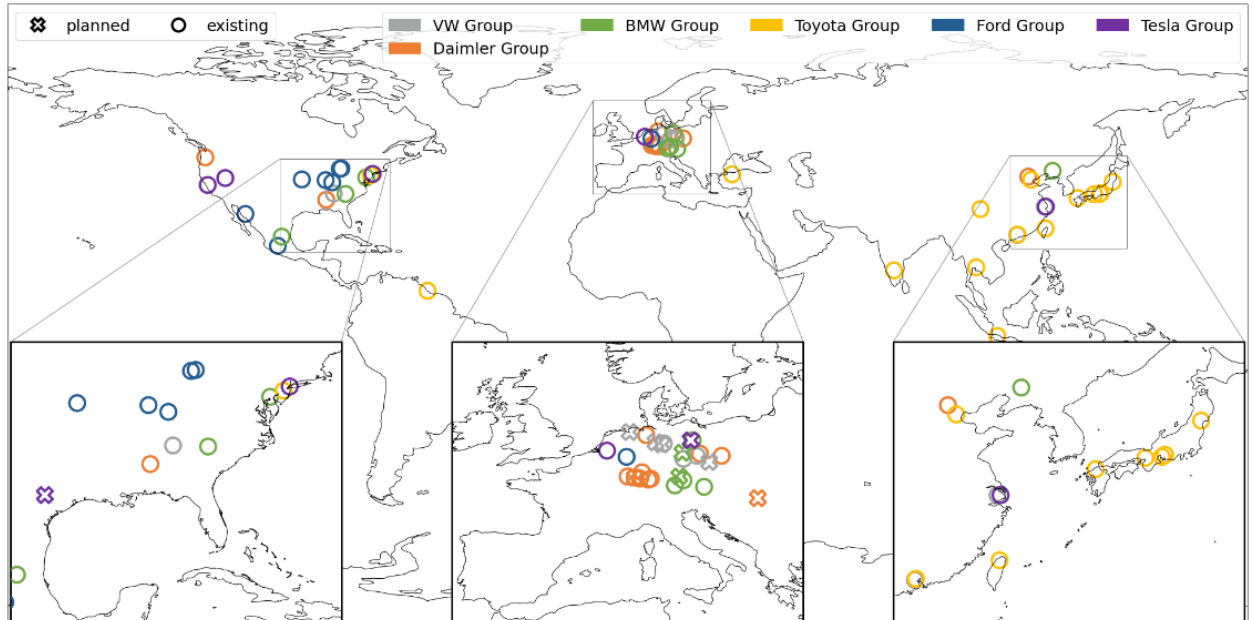
zustellen, ob die Entscheidungen deutscher Hersteller sich von den Entscheidungen internationaler Hersteller unterscheiden.

Es zeigt sich deutlich, dass alle betrachteten Hersteller bis 1950 fast ausschließlich Standorte in ihren Heimatländern oder benachbarten bzw. nah gelegenen Ländern betrieben. Ausnahmen bilden beispielsweise die Grundsteinlegung der Ford-Werke in Köln im Jahr 1930. Der Aufbau von Produktionsstandorten jenseits der kontinentalen Grenzen gewann bei Volkswagen, Ford und Toyota zwischen 1950 und 1975 an Dynamik. Die gewählten Regionen waren Mittel- und Südamerika, Afrika und Südostasien; die Standorte wurden dabei meist in Küstennähe platziert.

Ab 1975 nahmen die Expansionsaktivitäten deutlich zu. Insbesondere Toyota baute zwischen 1975–2000 seine Präsenz in den USA deutlich aus. Aber auch alle deutschen Hersteller eröffneten in dieser Zeit Werke in den USA. Darüber hinaus war insbesondere VW in Südamerika aktiv. In Europa entstanden neue Standorte aller betrachteten etablierten Hersteller, in der Periode 1975–2000 lag der Fokus dabei sehr deutlich auf Zentral- und (Süd-)Westeuropa. Die Expansion nach Asien hatte ebenfalls in dieser Phase ihren Ursprung und wurde in den Jahren 2000–2010 weiter ausgebaut. Der regionale Fokus lag hier auf Südostasien sowie Indien; Japan scheint als Standort für ausländische Hersteller keine Rolle zu spielen.

In der Zeitspanne 2000–2010 gab es kaum Neugründungen in Nord- oder Südamerika sowie Afrika. Innerhalb Europas ist eine deutliche Verschiebung von Neugründungen im Vergleich zu der Zeit vor 2000 zu sehen: es wurden keine neuen Standorte in Westeuropa aufgebaut, die Neugründungen beschränken sich auf den osteuropäischen Raum. Der Aufbau neuer Standorte in den Jahren ab 2010 ist von zwei Entwicklungen geprägt. Zum einen baute Tesla in den USA sowie in Europa und China Präsenz auf, zum anderen eröffnete Ford mehrere Standorte in Asien.

Abbildung 5: Bestehende und geplante Standorte für die Produktion alternativer Antriebe ausgewählter OEMs Mitte des Jahres 2021



Quelle: Recherche Fraunhofer ISI auf Basis von Firmenwebsites

Die Produktionsstandorte alternativer Antriebe sind im Vergleich zu allen Standorten der ausgewählten Hersteller zum aktuellen Zeitpunkt noch stärker regional konzentriert. Abbildung 5 zeigt die aktuell bestehenden (Symbol Kreis) sowie geplanten Standorte (Symbol Kreuz) für die Herstellung alternativ betriebener Fahrzeuge (BEV und PHEV). Die Standorte konzentrieren sich auf die drei Kernmärkte Europa, USA und Asien (Fokus Ostasien), in denen die Umstellung in Richtung Elektromobilität auf der Nachfrageseite, auch mit politischer Förderung, stark in den Fokus gestellt wird.

Mit dem Wandel hin zu Elektromobilität können neue Entscheidungskriterien bei der Standortwahl hinzukommen. In den im Rahmen der Studie geführten Interviews mit Branchenvertretern wurde hier die Nähe zu den wachsenden Märkten sowie die strategische Positionierung in Hinblick auf Rohstoffvorkommen und entsprechende Zulieferer genannt.

In der Parallelität der Entwicklungen im Bereich der Antriebsformen und der Digitalisierung der Produktion scheinen eher moderne Standorte in Richtung Elektromobilität umgestellt zu werden. Das wirkt sich insbesondere mit Blick auf die europäische Verteilung von Produktionsstandorten aus. Die grundlegende Modernisierung bestehender Produktionsstandorte sei laut Aussage der Experten oft aufwändiger und die Flächenverfügbarkeit in gewachsenen Automobilclustern und Ballungszentren teils

beschränkt, sodass der Bau von Greenfield-Werken, die direkt auf die digitale und vernetzte Produktion ausgerichtet sind, Vorteile mit sich bringt. Beispiele hierfür sind die „Factory 56“ von Mercedes-Benz und das Projekt Trinity von Volkswagen, oder auch das Halbleiter-Werk von Bosch bei Dresden.

Verlagerungsaktivitäten aggregiert

Aus der deskriptiven Darstellung der Verlagerungsaktivitäten ausgewählter Hersteller lässt sich nur eingeschränkt auf die darunterliegenden Gründe für die Verlagerungen schließen. Zudem zeigen sich für Zulieferer im Vergleich zu OEMs möglicherweise Unterschiede. Um einen aggregierten Blick auf die Veränderungen im Zeitverlauf zu ermöglichen und die Automobilindustrie über Fallstudien zu Einzelakteuren und Gruppen hinaus zu erfassen, werden Analysen aus der Umfrage „Modernisierung der Produktion“ des Fraunhofer ISI herangezogen⁷.

Die Ergebnisse der Befragungen werden regelmäßig und mit unterschiedlichen Schwerpunkten veröffentlicht. Dabei wurden auch Produktionsverlagerungen sowie die Verlagerung von Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten ins Ausland abgefragt. Nicht alle Auswertungen sind für jedes Jahr auf Ebene der Automobilindustrie (hier „Fahrzeugbau“) verfügbar bzw. aufgrund kleiner Stichprobengrößen möglich.

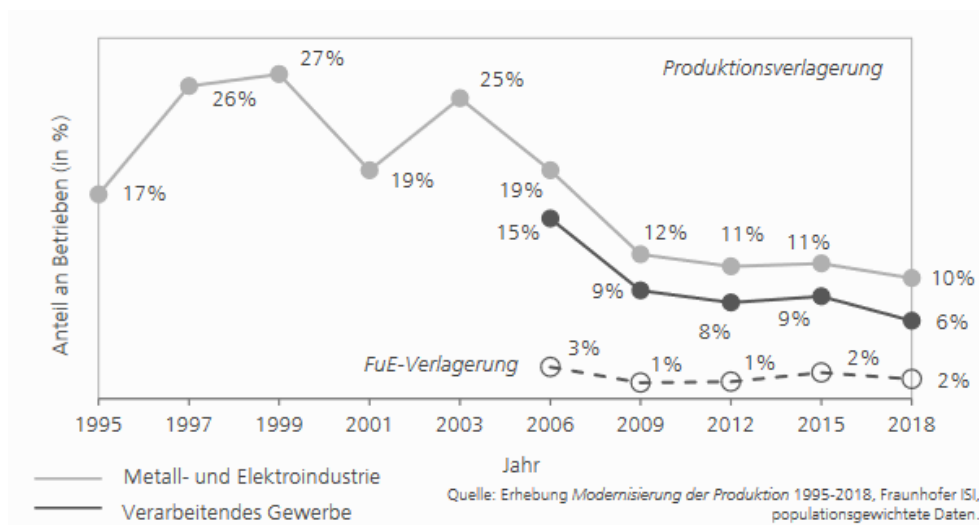
Für das gesamte verarbeitende Gewerbe sowie die Metall- und Elektroindustrie zeigt Abbildung 6 einen abnehmenden Trend der Produktionsverlagerungen (Lerch/Jäger 2021), der mit der Darstellung anderer stagnierender Indikatoren zur Globalisierung im Working Paper zu den Landscape-Entwicklungen zusammenpasst (Pfaff/Grimm/Clausen 2022). Die angezeigten Prozentwerte stehen für den Anteil an Betrieben, die Verlagerungsaktivitäten in den drei Jahren durchgeführt haben, die dem jeweiligen Befragungszeitraum vorangehen. Nach dem letzten Höchstwert von 25 Prozent im Jahr 2003 im Bereich der Metall- und Elektroindustrie ist die Anzahl der Betriebe, die Produktion ins Ausland verlagert haben, stetig zurückgegangen.

Die Verlagerungsaktivitäten des gesamten verarbeitenden Gewerbes liegen um zwei bis vier Prozentpunkte darunter. Durchgehend auf besonders geringem Niveau ist der Anteil der Betriebe, die Forschungs- und Entwicklungsbereiche ins Ausland verlagert haben (Lerch/Jäger 2021).

7 Das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI führt seit 1993 regelmäßig Erhebungen zur Modernisierung der Produktion durch. Die Erhebung erfasst aller drei Jahre eine repräsentative Stichprobe in der Größenordnung von 1.600 Betrieben des gesamten Verarbeitenden Gewerbes. Mit ihrer umfassenden und faktenbasierten Konzeption erlaubt die Umfrage detaillierte Analysen zur Modernität und Leistungskraft der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes (<https://www.isi.fraunhofer.de/de/themen/wertschoepfung/erhebung-modernisierung-produktion.html>).

Die meisten Verlagerungen deutscher Betriebe erfolgen dabei ins europäische Ausland; China und Nordamerika verzeichnen zwischen 2006 und 2012 deutliche Zunahmen (Zanker/Horvat 2015). Zudem kann beobachtet werden, dass Exportaktivitäten und Verlagerungsaktivitäten meist miteinander einher gehen (Lerch/Jäger 2021).

Abbildung 6: Produktions- und FuE-Verlagerungen 1995–2018



Quelle: Lerch/Jäger 2021

Im Vergleich folgen die Verlagerungsaktivitäten des Fahrzeugbaus einem ähnlichen Trend. Jedoch lagen die Anteile von Betrieben im Fahrzeugbau, die Produktion sowie Forschung und Entwicklung ins Ausland verlagert haben, auf einem höheren Niveau. Hinsichtlich der Verlagerung von Produktionsstätten gaben 31 Prozent der befragten Betriebe aus dem Fahrzeugbau an, zwischen 2004 und 2006 Produktionskapazitäten ins Ausland verlagert zu haben (vgl. 19 Prozent verarbeitendes Gewerbe), im Zeitraum 2007 bis 2009 waren es 20 Prozent (Kinkel/Maloca 2009), 2010 bis 2012 dann nur 13 Prozent (Zanker/Kinkel/Maloca 2013).

Neben den Verlagerungen ins Ausland wurde im Rahmen einiger Umfragen auch der Aspekt der Rückverlagerung nach Deutschland abgefragt. Den Verlagerungen ins Ausland stehen Rückverlagerungen von 9 Prozent (2004–2006) bzw. 6 Prozent (2007–2009) (Kinkel/Maloca 2009) und 3 Prozent (2010–2012) (Zanker/Kinkel/Maloca 2013) gegenüber – damit kommen auf drei Verlagerungen etwa eine Rückverlagerung.

Die Gründe für die Verlagerungen sind sowohl 2009 als auch 2012 hauptsächlich Personalkosten, gefolgt von der Nähe zu Schlüsselkunden sowie Markterschließung (Kinkel/Maloca 2009; Zanker/Kinkel/Maloca 2013). In Hinblick auf die Rückverlagerungen geben Betriebe sowohl 2009 als auch 2012 Qualität und Flexibilität als Hauptmotivation, sowie Lieferfähigkeit, Personalkosten und Transport-/Logistik als weitere Gründe an. Interessant für das Jahr 2009 ist, dass Personalkosten für beide Verlagerungsrichtungen unter den Top-3-Motivationen genannt werden. Das zeigt die hohe Relevanz von Lohnkosten in den Entscheidungsstrategien (Kinkel/Maloca 2009). Im Jahr 2012 wurden außerdem mangelnde Kapazitätsauslastung und Transportkosten als wichtige Gründe genannt (Zanker/Kinkel/Maloca 2013).

In Bezug auf die Verlagerung von Forschung und Entwicklung zeichnet sich ein ähnliches Bild für den Fahrzeugbau. Auch hier liegen die Aktivitäten deutlich über denen des gesamten verarbeitenden Gewerbes. Im Jahr 2006 gaben knapp 7 Prozent der befragten Betriebe im Fahrzeugbau an, in den letzten drei Jahren Teile der Forschung und Entwicklung ins Ausland verlagert zu haben. 2009 waren es etwa 4 Prozent, 2012 sank der Anteil auf 1,6 Prozent. Zum Befragungszeitpunkt gaben 22 Prozent der Unternehmen im Fahrzeugbau an, über Forschungs- und Entwicklungsstandorte im Ausland zu verfügen (Zanker/Horvat 2015). Allgemeine Motivation für die Verlagerung von Forschung und Entwicklung waren in erster Linie der Personalmangel bzw. Kapazitätsengpässe im Heimatland und Lohnkosten.

Von Bedeutung ist außerdem die Nähe von Forschungs- und Entwicklungsstandorten zu bestehenden Produktionsstandorten im Ausland, die Kundennähe, sowie der Wissensgewinn durch die Ansiedlung in Kompetenzregionen wie dem Silicon Valley oder die Markterschließung im Ausland (Zanker/Horvat 2015). Die Relevanz von unterschiedlichen Kundenbedürfnissen in den Weltregionen wurde auch in den im Rahmen der Studie durchgeführten Interviews mehrfach genannt. Insbesondere in Hinblick auf die zunehmende Digitalisierung von Fahrzeugen spielen die Unterschiede auf der Nachfrageseite eine zunehmend große Rolle, weshalb sich die Produktportfolios von Herstellern und dementsprechend auch Zulieferern weiter ausdifferenzieren.

2.3 Neue Akteure in der automobilen Wertschöpfung

Durch die technologischen und prozessualen Innovationen in und um die Fahrzeuge verändern sich benötigte Komponenten und erfolgsversprechende Geschäftsmodelle. Ein prominentes Beispiel ist die Substitution des verbrennungsmotorischen Antriebstrangs durch einen elektrischen Antriebstrang. Diese und andere Veränderungen zwingen nicht nur etablierte Hersteller und Zulieferer ihre Produkte anzupassen, sie führen auch zu einer Öffnung des Automobilmarktes für neue Akteure aus anderen Branchen.

Beispiele neuer Akteure und ihrer Aktivitäten

Die Veränderung der Akteurslandschaft in der Automobil- bzw. Mobilitätsindustrie lässt sich besonders anschaulich entlang der Entwicklung der Teilnehmer und präsentierten Technologien auf der Consumer Electronics Show (CES) in Las Vegas, USA, illustrieren. Während Technologien wie der Videokassettenrekorder 1970, das Satellitenradio 2000 und Tablets 2010 die bahnbrechenden vorgestellten Innovationen waren, nehmen, angefangen mit Fords Electric Focus im Jahr 2011, die Präsentationen von Fahrzeuginnovationen immer größeren Raum ein (Consumer Technology Association 2022a).

Mittlerweile sind Kategorien wie „Automotive“, „In-Vehicle Entertainment & Safety“ oder „Vehicle Intelligence & Transportation“ Standard in der Berichterstattung über die Top-Innovationen der CES (z. B. Consumer Technology Association 2022b, digitaltrends 2022). Der Blick auf die Präsentationen von etablierten sowie neuen Akteuren im Mobilitätsmarkt liefert zudem ein umfangreiches Bild zum Stand der Technik, technologischen Schwerpunkten sowie Kooperationen.

Der US-amerikanische Halbleiterhersteller Qualcomm präsentierte auf der CES 2022 beispielsweise sein Snapdragon Digital Chassis, das elektronische Komponenten für verschiedene Funktionen (automatisiertes Fahren, 5G-Konnektivität, Infotainment etc.) bündelt. OEMs wie Volvo, Honda, Renault und General Motors sehen dieses bereits für zukünftige Serien vor (Bellan/Korosec/Coldewey 2022).

Die zugelieferten System-on-a-Chip-Lösungen (SoC) für Automobilkunden, die Funktionen von unterschiedlichen integrierten Schaltkreisen auf einem Chip vereinen, können dabei als Paket oder einzeln erworben werden. Neben Anwendungsbereichen wie Smartphones oder Tablets umfassen die vorgestellten Prozessoren Lösungen wie eine Plattform für autonomes und automatisiertes Fahren, Konnektivitätsplattformen für die „cellular vehicle-to-everything communication“ oder ein neues digitales Fahrzeugcockpit und Infotainmentsystem. Auch die Intel-Tochter Mobil-

eye präsentierte ein neues SoC-Angebot, zugeschnitten auf die Anforderungen des autonomen Fahrens.

Die Zusagen von OEMs, nicht nur die Komplettlösung, sondern auch Bestandteile zu erwerben, zeigt die Flexibilität der komponentenweisen Konfiguration auch für den Softwarebereich. Das Ausmaß der Möglichkeiten in der Aufteilung der Bereitstellung der System-Komponenten scheint für etablierte und eher Hardware-erfahrene Zulieferer teilweise noch nicht ganz greifbar zu sein (Ergebnis aus einem Experteninterview).

Google und Amazon präsentierten ihr erweitertes Spektrum um integrierte Lösungen, die den Kunden mehr und mehr „Home“ auch in die Fahrzeuge bringen und verknüpfen, sowie neue Partner (Bellan/Korosec/Coldewey 2022). Google und Volvo kündigten eine Einbettung des Google-Home-Ecosystems an, sodass Befehle über das entsprechende Google-Assistant-Endgerät an das Fahrzeug übertragen werden können (beispielsweise Vorheizen).

Amazons Fire TV wird zukünftig in einer größeren und markenübergreifenden Palette an Fahrzeugen verfügbar und dabei mit der Alexa Sprachsteuerung verbunden sein. Darüber hinaus kündigten Amazon und Stellantis eine tiefgreifende Kooperation an, im Rahmen derer die Integration von Amazon-Lösungen in ihre Fahrzeuge vorangetrieben und weitere Amazon-Technologien genutzt werden. Darüber hinaus sollen die Amazon Web Services (AWS) für Fahrzeugplattformen genutzt und Lerninhalte für Softwareingenieure über AWS bereitgestellt werden.

Der Elektronikkonzern Sony stellte auf der CES 2022 sein erstes Konzeptfahrzeug und damit seine Vision für die automobilen Zukunft der Mobilität vor. Die Technologien in den Feldern Sicherheit (Sensoren, darunter Light Detection and Ranging (LiDAR)-Technologie, Assistenzsysteme, In-Cabin Monitoring), Anpassungsfähigkeit bzw. Adaptability (Integration mit Smartphone und anderen Devices, 5G Netzwerkfunktionen für Entertainmentangebot, nachhaltige Materialien beispielsweise für Fußmatten) und Entertainment (Soundanlage, Panoramabildschirm) umfassen eine breite Palette an eigens entwickelten Lösungen und gehen dabei über die klassischen und bekannten Kernkompetenzen von Sony hinaus (Sony 2022).

Klassifizierung neuer Akteure

Die Beispiele zeigen die Vielfalt an neuen Akteuren mit unterschiedlichen Hintergründen und originären Geschäftsfeldern, die sowohl Lösungen für elektrifizierte als auch digitalisierte Fahrzeuge entwickeln und bereitstellen. Boes/Ziegler (2021) nutzen den Begriff der „Informatisierung“, die laut der Autoren über die klassische Definition der Digitalisierung hinaus geht, und definieren in diesem Bereich fünf Gruppen neuer Akteure in der Automobilindustrie.

Erstens definieren sie die „Autobauer im neuen Paradigma“ (Bsp. Tesla oder zukünftig womöglich Sony). Diese Hersteller bauen auf Kompetenzen im Bereich Elektromobilität oder IKT und beauftragen, entsprechend angestammter Prozesse im Bereich elektronischer Konsumgüter, teils Kontraktfertiger für die Produktion von Komponenten und Fahrzeugen.

Die zweite Gruppe sind Betreiber von „Plattformen für Mobilität“, die sich in drei Gruppen aufteilen lassen. Zum einen sind das Akteure, die über Plattformen autonome Mobilitätsdienstleistungen anbieten (Bsp. Waymo), des Weiteren sind es Akteure, die nach Prinzipien der Sharing Economy schon jetzt agieren und zukünftig womöglich autonome Fahrten anbieten können (Bsp. Uber), und letztlich Betreiber von Plattformen, die Informationen und Angebote für die intermodale Nutzung von Fahrangeboten liefern.

„Datenverwerter an der Infotainment-Schnittstelle“ bilden die dritte Gruppe, die nicht zwangsläufig selbst in automobilen Technologien einsteigen, sondern vielmehr das Fahrzeug als zusätzliches Endgerät und damit Kundenschnittstelle identifizieren. Die Lösungen können etablierte Angebote enthalten, die schon jetzt über das Smartphone oder Smart Home Geräte nutzbar sind und zukünftig neue, noch stärker auf die Nutzung im Fahrzeug abgestimmte, Felder umfassen (Bsp. Google).

Viertens werden „Anbieter von Internet-Infrastrukturen und –Technologien“ sowohl für die Firmen und ihre internen Prozesse selbst als auch für die Vernetzung von Fahrzeugen zunehmend relevant. Die wichtigen Bereiche umfassen unter anderem die Herstellung von Halbleitern, SoC, Cloud-Lösungen und den Aufbau der Hardware-Infrastruktur (Bps. AWS, Qualcomm).

Fünftens kann, entsprechend der eingespielten Struktur im Bereich elektronischer Konsumgüter, die Organisation der Wertschöpfung über Kontraktfertiger erfolgen und damit einem neuen Typ von Produktionsfirma die Türen zum Automobilmarkt öffnen.

Neben den Eintrittstüren, die durch die Digitalisierung oder Informatisierung geschaffen werden, treten bzw. traten auch durch die Veränderungen im Kontext der Klima- und Umweltpolitik neue Chancen im Automobilmarkt auf. Die Elektrifizierung brachte neue Automobilhersteller auf den Markt (teilweise schon oben miteinbezogen). Darüber hinaus gewinnt ein neues Set an Zulieferern an Relevanz, die in den Bereichen der Technologien für den elektrischen Antriebsstrang aktiv sind oder die Komponenten für die Ladeinfrastruktur bereitstellen.

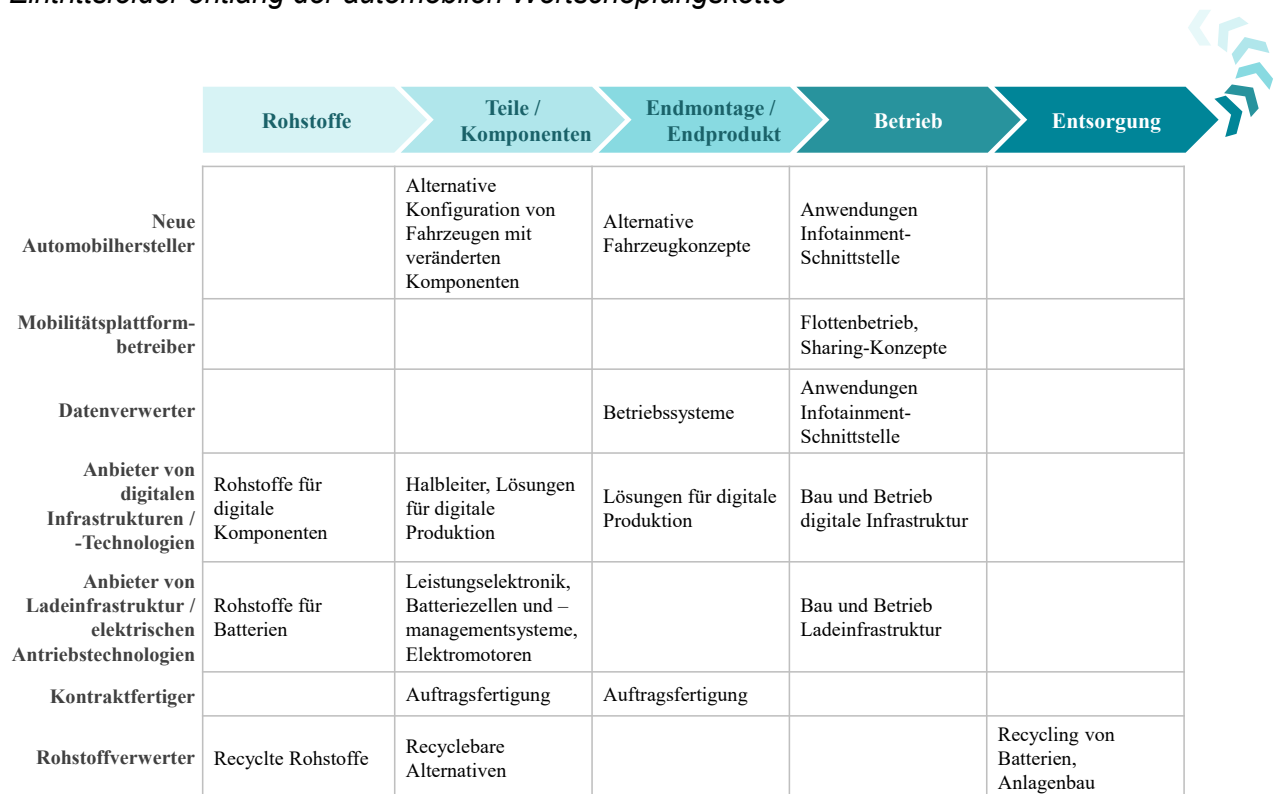
Neben der Dekarbonisierung des Verkehrs rücken, insbesondere in der Diskussion rund um die Umweltfreundlichkeit von Fahrzeugbatterien, das Recycling, die Wiederverwertung und letztendlich Lösungen für eine Circular Economy in den Fokus. Ein Teil dieser Anstrengungen kann in

die eigenen Prozesse von Zulieferern und Herstellern eingebunden werden, trotzdem können auch in diesem Bereich der Rohstoffverwertung oder -organisation neue Akteure in den Mobilitätsmarkt eintreten.

Einordnung entlang der automobilen Wertschöpfungskette

Nimmt man die Bereiche der Digitalisierung der Mobilität und Umweltfreundlichkeit der Fahrzeuge zusammen, ergeben sich sieben verschiedene Typen von Akteuren (teils von Boes/Ziegler (2021) übernommen), die die etablierten Wertschöpfungsstufen eines Automobils beeinflussen können. Sie bringen sowohl einfachere Substitutionen als auch tiefgreifende Strukturänderungen hervor. Abbildung 7 liefert einen Überblick über die Akteurstypen, ordnet ihre Aktivitäten den Schritten der Wertschöpfung in der klassischen Automobilindustrie zu und nennt exemplarisch mögliche Veränderungen, die durch das neue Set an beteiligten Firmen entstehen können. Die neuen Akteure beeinflussen von den benötigten Rohstoffen, über die Herstellung von Teilen bzw. Komponenten, die Endmontage bzw. das Endprodukt, den Betrieb bis hin zu Entsorgung die gesamte automobilen Wertschöpfungskette.

Abbildung 7: Typen neuer Akteure im Mobilitätsmarkt und mögliche Eintrittsfelder entlang der automobilen Wertschöpfungskette



Quelle: eigene Darstellung

Neue Automobilhersteller, meist auf batterieelektrische Fahrzeuge fokussierend, können das Fahrzeug und seine Konfiguration neu denken und produzieren teils mit alternativen Prozessen – vergleiche etwa den Einsatz von Druckguss-Maschinen bei Tesla (Bork 2021). Sie sind weniger in etablierten Produktionsparadigmen verankert. Solche Veränderungen wirken sich wiederum auf die benötigten Teile und Komponenten vorgelegter Produktionsstufen aus.

Mobilitätsplattformbetreiber und Datenverwerter bewirken insbesondere Veränderungen im Betrieb von Fahrzeugen, beispielsweise eine geteilte Nutzung von Fahrzeugen über Sharing-Konzepte oder digitale Anwendungen. Im Fall von Betriebssystemen für Fahrzeuge, können die Lösungen auch schon in das Endprodukt einziehen.

Anbieter von digitalen oder elektrischen Technologien und Infrastrukturen beschränken sich meist auf Komponenten für Fahrzeuge oder für deren Betrieb. Erster Fokus bewirkt hauptsächlich ein neues oder verändertes Set an Komponenten, die in Fahrzeuge eingebaut werden. Klassische Beispiele sind Halbleiter, Leistungselektronik oder Batterietechnologien. Die Herstellung der neuen Komponenten benötigt wiederum für die klassische Automobilindustrie in der Vergangenheit weniger relevante Teile und Rohstoffe. Der Bau und Betrieb digitaler oder Ladeinfrastruktur bedarf ebenfalls des Aufbaus bzw. der Nutzung von Wertschöpfungsketten außerhalb des klassischen automobilen Produktionssystems.

Während für Hersteller verbrennungsmotorischer Fahrzeuge insbesondere der Antriebsstrang zentral und erfolgsentscheidend war, können batterieelektrische Fahrzeuge leichter zusammengesetzt werden. Kontraktfertiger, bislang für die Fertigung von Produkten in der Elektronik- und IKT-Industrie bekannt, positionieren sich nun auch im Automobilmarkt, etwa der Kontraktfertiger Foxconn (Foxconn 2022).

Schließlich gewinnen Rohstoffverwerter an Relevanz. Diese sind nicht unbedingt vollkommen neue Akteure im automobilen Ökosystem, nehmen aber mit zunehmendem Fokus auf Ressourcenschonung eine größer werdende Rolle ein. Neben dem klassischen Recycling in der Entsorgung von Fahrzeugen entstehen mit zukünftigen Batterieaufkommen neue Geschäftsfelder. Auch wird die Forschung an Recyclingmaterialien in den Blick genommen, worüber sich Rohstoff und die Teileherstellung verändern oder grundlegende Konstruktionsweisen überdacht werden können.

Einige der aufgeführten potenziellen Veränderungen durch neue Akteure können selbstverständlich auch durch etablierte Akteure angestoßen werden. So findet man Ideen zu alternativen Fahrzeugkonzepten auch bei traditionellen Systemzulieferern oder den Herstellern. Bereiche wie neue Materialien oder „design for recycling“ werden bei den meisten, sowohl neuen als auch traditionellen Akteuren zunehmend relevant.

3 Produkte und Geschäftsmodelle

3.1 Alternative Antriebsformen

Der Verkehrssektor trägt mit ca. 20 Prozent einen beträchtlichen Teil der Emissionen Deutschlands an Treibhausgasen (THG) bei und ist zudem der einzige Sektor, der seine Emissionen im Vergleich zu 1990 nicht senken konnte (Umweltbundesamt 2021). Rund zwei Drittel der Emissionen aus dem Verkehr stammen von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen (Agora Verkehrswende 2018). Vor diesem Hintergrund sind u. a. im Bundes-Klimaschutzgesetz ambitionierte Ziele gesetzt. So sollen die Emissionen im Verkehr bis 2030 auf 85 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente sinken, was in etwa einer Halbierung bezogen auf ihr Niveau im Jahr 2019 entspricht (Bundesregierung 2019; Umweltbundesamt 2021).

Auf europäischer Ebene sind Ziele in einer ähnlichen Größenordnung, jedoch bezogen auf spezifische Emissionen der Fahrzeugklassen, formuliert. So sieht die Verordnung EU 2019/631 ab 2030 eine Emissionsreduktion bei Pkw von 38 Prozent und bei leichten Nutzfahrzeugen von 31 Prozent gegenüber den Flottenwerten in 2021, die früheren Emissionszielen unterliegen, vor (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union 2019).

Zur Erreichung dieser Ziele verfolgt die Politik unterschiedliche Strategien, die von Verlagerungen zwischen Verkehrsträgern bis zur Reduktion der spezifischen Emissionen einzelner Verkehrsträger reichen. Zur Reduktion der Emissionen von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen hat sich die Elektrifizierung des Antriebsstrangs als dominante Strategie herausgestellt, da sie ökologisch und ökonomisch für diese Fahrzeugtypen die sinnvollste ist (Pfaff/Grimm/Clausen 2022). Der Koalitionsvertrag der neuen Bundesregierung sieht u. a. das ambitionierte Ziel von 15 Millionen vollelektrischen Pkw im Fahrzeugbestand bis 2030 vor (SPD/Bündnis 90/Die Grünen/FDP 2021).

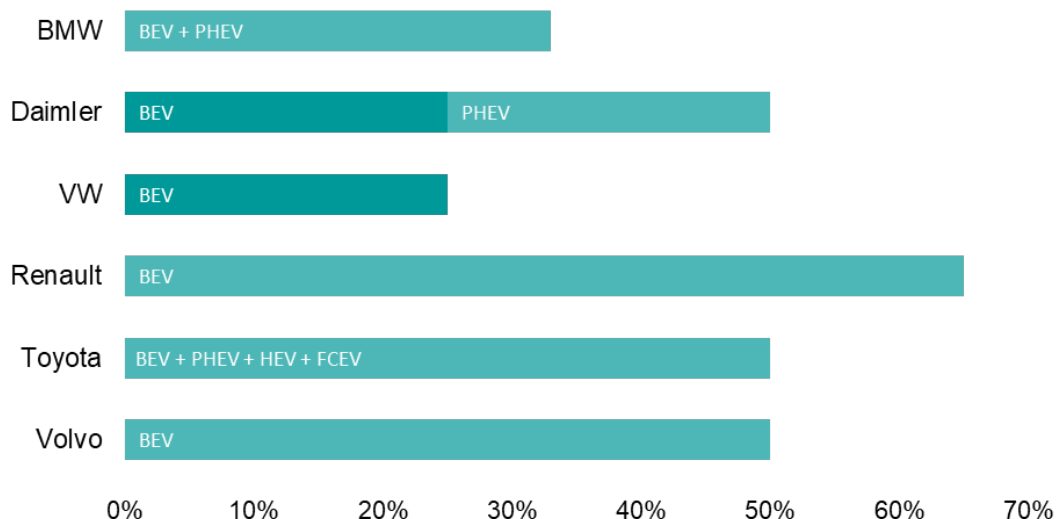
Hinzu kommen bereits laufende flankierende Maßnahmen, insbesondere Anreize zum Kauf von E-Fahrzeugen in Form des Umweltbonus und der Innovationsprämie, die seit Mitte 2020 zu einem deutlichen Anstieg der Zulassungszahlen von E-Fahrzeugen geführt haben. Im Dezember 2021 betrug demnach der Anteil vollelektrischer Fahrzeuge 21 Prozent und der von Plug-in-Hybriden 14 Prozent der Neuzulassungen (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz 2021). Einen weiteren Anreiz dürfte die Erweiterung des Zertifikatehandels im Kontext der THG-Minderungsquote auf private E-Fahrzeugbesitzer bilden (vgl. Umweltbundesamt 2022).

Die Hersteller haben sich selbst unterschiedliche Ziele in diesem Bereich gesetzt, die jedoch nicht immer eindeutig quantitativ definiert sind.

So sprechen einige Hersteller von einer Elektrifizierung des Portfolios, was jedoch nicht bedeutet, dass Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren gleichsam aus dem Portfolio entfernt werden. Beispielsweise strebt Mercedes-Benz bis 2022 die Elektrifizierung des gesamten Portfolios an, sodass in jedem Segment elektrifizierte Alternativen angeboten werden. Gleichzeitig soll der Absatz batterieelektrischer Fahrzeuge bis 2025 auf 15 bis 25 Prozent des Gesamtabsatzes steigen (Mercedes-Benz Group 2022b).

BMW spricht hingegen von einer Elektrifizierung von 90 Prozent seines Portfolios bis 2023 und einem „signifikanten Beitrag zum Absatzvolumen“ einer auf elektrische Antriebe ausgerichteten neuen Klasse ab 2025 (BMW Group 2021). Volkswagen verfolgt das Ziel, im Jahr 2025 weltweit mehr als eine Million E-Fahrzeuge zu verkaufen und plant bis 2030 die Entwicklung von 70 reinen E-Modellen im Gesamtkonzern (Volkswagen AG 2022a). Bis 2026 will das Unternehmen mit batterieelektrischen Fahrzeugen weltweit einen Absatzanteil von 25 Prozent erreichen (Volkswagen AG 2021a). In Europa soll der Absatzanteil batterieelektrischer Fahrzeuge im Jahr 2030 bereits 70 Prozent betragen (Volkswagen AG 2021b). Die Ziele der größten deutschen Hersteller sind im Vergleich zu denen einiger ausländischer Hersteller in Abbildung 8 dargestellt.

Abbildung 8: Geplanter Anteil von Fahrzeugen mit (teil)elektrischem Antrieb an globalem Absatz im Jahr 2025



Quelle: eigene Darstellung basierend auf Janson (2021), Mercedes-Benz Group (2022b) und Volkswagen AG (2021a)

3.2 Autonomes und automatisiertes Fahren

Neben den alternativen Antrieben steht der Bereich des autonomen und automatisierten Fahrens im Zentrum der Forschung und Entwicklung in der Automobilindustrie und angrenzender Industrien. In Pfaff/Grimm/Clausen (2022) findet sich eine kurze Einführung zu den Automatisierungsstufen sowie zum aktuellen Stand der Umsetzung in Deutschland.

Tabelle 1 zeigt eine Übersicht relevanter Technologien für das autonome Fahren. Die Technologien sind in die Bereiche Hardware (on-board sowie off-board) und Software unterteilt, die rechte Spalte liefert eine kurze Beschreibung der Rolle der jeweiligen Technologie. Durch den zunehmenden Bedarf beispielsweise in den Bereichen der Sensorik, der Bildverarbeitung oder der Kommunikation treten vermehrt auch neue Akteure aus der Elektronik oder IKT-Industrie in den Mobilitätsmarkt ein (siehe auch Kapitel 2.3 Neue Akteure in der automobilen Wertschöpfung).

Tabelle 1: Übersicht relevante Technologien für das autonome Fahren

| | | | | |
|-------------------------------|--------------------|---|--|--|
| Autonomes Fahren | Hardware | on-board hardware | Kamerasysteme | Erfassung optischer Bilder, die von KI und Analytik interpretiert werden |
| | | | Radarsysteme | Bestimmung von Geschwindigkeit und Entfernung eines Objekts mit Hilfe elektromagnetischer Wellen |
| | | | Ultraschall-Sensor-Systeme | Objekterkennung auf kurze Distanz (z. B. beim Einparken) |
| | | | Odometrie-Sensor-Systeme | Messung der Radgeschwindigkeit zur Vorhersage der Fahrzeugbewegung und zur Ergänzung der Lokalisierung |
| | | | System on a Chip (SOC) | energieeffiziente Hochleistungs-Computerhardware |
| | | | V2X-Kommunikations-Systeme | Kommunikation mit Fahrzeugen und Infrastrukturen über kurze Entfernungen |
| | | | Aktoren | Übersetzung von elektronischen Signalen in mechanische Aktionen |
| | | | GPS | Lokalisierung eines Fahrzeugs mittels Satelliten-Triangulation |
| | | | LiDAR-Systeme | hochauflösender Sensor mit Lichtstrahlen zur Abschätzung der Entfernung von Hindernissen |
| | off-board hardware | Daten-Center | Speicherung und Verarbeitung von Fahrzeugdaten | |
| | off-board hardware | Cloud-Operationen | Lernen, Anpassen und Aktualisieren von HD-Karten und -Algorithmen | |
| | Software | hochauflösende On-Board-Karten | präzise Lokalisierungsinformationen über Straßen, Infrastruktur und Umgebung | |
| | | Lokalisierung und Kartierung | Datenfusion für Fahrzeuglokalisierung und Umgebungsanalyse | |
| | | Wahrnehmung und Objektanalyse – Algorithmen | Erkennung und Klassifizierung von Objekten und Hindernissen | |
| Vorhersage | | vorausschauendes Erkennen von Bewegungen und Aktionen von Fahrzeugen, Fußgängern und anderen beweglichen Objekten | | |
| Entscheidungsfindung | | Planung von Fahrzeugrouten, Manövern, Beschleunigung, Lenkung und Bremsen | | |
| Fahrzeug-Betriebssystem | | Betriebssystem, das Algorithmen in Echtzeit ausführt | | |
| Plattform für die Überwachung | | Analytik zur Überwachung des Betriebs, Erkennung und Behebung von Fehlern | | |

Quelle: eigene Darstellung

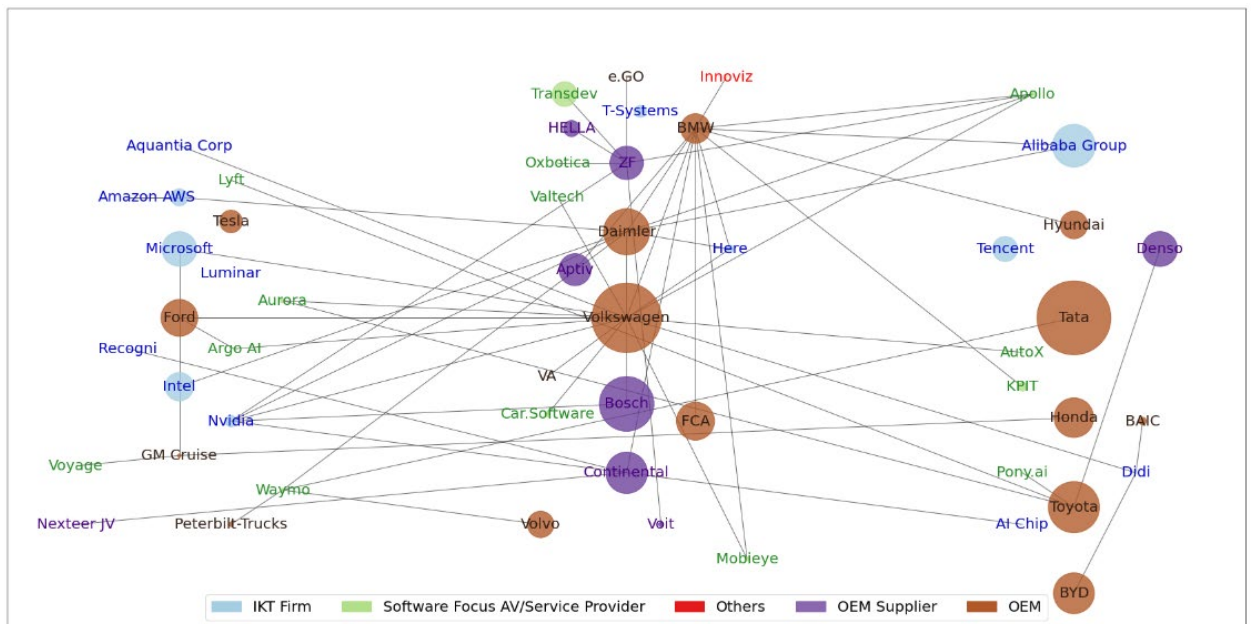
Im Rahmen von Patentanalysen lassen sich die Aktivitäten verschiedener Länder und Akteure im Zeitverlauf nachzeichnen. Für den Bereich des autonomen Fahrens zeigt sich in der jüngeren Vergangenheit eine Verschiebung hinsichtlich des Anteils einzelner Akteure (Sievers/Grimm 2022). Auswertungen von Patentanmeldungen, die Technologien für das assistierte und auch das Gesamtkonzept des autonomen Fahrens enthalten, zeigen neben etablierten Automobilherstellern und -zulieferern auch zunehmend Aktivität von Firmen wie Samsung, LG oder BAIDU.

Die entsprechenden Entwicklungen sind dabei teils komplementär zu den Technologien, an denen die Akteure der etablierten Automobilindustrie arbeiten. Die Entwicklung des autonomen Fahrens und seiner Komponenten ist mit hohen Investitionsbedarfen verbunden und kann nur im Zu-

sammenspiel verschiedener Technologien realisiert werden. Daher lassen sich zunehmend viele Kooperationen beobachten.

Abbildung 9 zeigt eine Auswahl an aktuellen oder in den vergangenen drei Jahren angekündigten Kooperationen rund um zentrale Akteure in der Automobilindustrie. Die Größe der Kreise zeigt die Anzahl der Mitarbeiter, die Einfärbung die Zuordnung des jeweiligen Akteurs in die Gruppe der IKT-Unternehmen, Software-Anbieter mit konkretem Fokus auf autonomen Fahrzeugen sowie Dienstleister, Fahrzeughersteller, Zulieferer und andere, wie etwa Sensorhersteller. Die Übersicht zeigt, dass die Kooperationen branchenübergreifend gebildet werden. Außerdem gehen sowohl OEMs als auch ihre Zulieferer Kooperationen ein.

Abbildung 9: Ausgewählte Kooperationen im Bereich des autonomen Fahrens (beteiligte Akteure)



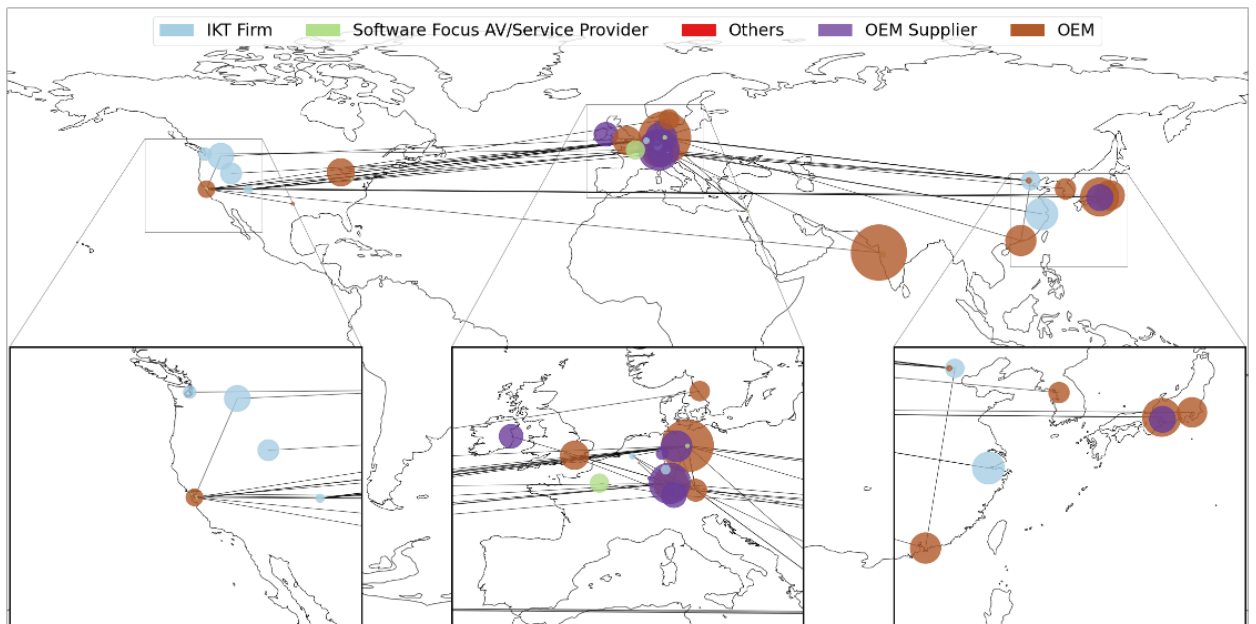
Quelle: Internetrecherche, eigene Darstellung

Abbildung 10 zeigt dieselben Kooperationen und zeichnet die Unternehmen auf der Weltkarte entsprechend ihren Firmensitze ein. Die Übersicht zeigt, dass Kooperationen intensiv auch grenzübergreifend gebildet werden. Die Weltregionen, in denen besonders viel Aktivität zu beobachten ist, decken sich mit den Hauptabsatzmärkten und -produktionsstandorten (siehe Kapitel 2.1 und 2.2).

Beispielsweise arbeiten Volkswagen und seine Konzernmarken mit Microsoft hinsichtlich Cloud-Plattformen, mit AutoX in China in einem De-

monstrationsprojekt für autonomes Fahren, gemeinsam mit Mercedes-Benz und BMW an Kartentechnologien und beteiligen sich am Netzwerk der Autonomous Vehicle Alliance, in dem auch Bosch oder Continental aktiv sind. Mercedes-Benz kooperiert mit Nvidia in der Hardware-Entwicklung, mit Bosch in Projekten zum autonomen Fahren, eine Kooperation mit BMW ruht aktuell wieder. Die Kooperationen sind dabei nicht immer beständig und es erfolgen viele Ankündigungen, wodurch sich ein sehr dynamisches Bild ergibt, das ständig aktualisiert werden muss.

Abbildung 10: Ausgewählte Kooperationen im Bereich des autonomen Fahrens (regionale Verteilung beteiligter Akteure)



Quelle: Internetrecherche, eigene Darstellung

Ankündigungen zu Innovationen, Vorhaben und Kooperationen rund um das autonome Fahren erscheinen fast täglich in Fach- oder Tageszeitungen. Unter anderem der Bericht über die Kooperation zwischen Mercedes-Benz und Luminar im Bereich der LiDAR-Technologie zeigt, dass durchaus noch unterschiedliche Ansätze zur Realisierung des autonomen Fahrens existieren (Seyerlein 2022).

Während dort die Wichtigkeit von LiDAR Systemen für die Sicherheit der Fahrmanöver betont wird, setzt Tesla nun exklusiv auf Kameras und entsprechende Bildverarbeitung (Ehren 2022). Die finale Technologiekonfiguration, die das autonome Fahren zukünftig im Realbetrieb ermöglichen soll, steht noch nicht fest, auch wenn im hier genannten Beispiel

die Mehrheit den Einsatz von LiDAR-Sensoren zumindest mittelfristig als nötig erachtet. Es bleibt jedoch unklar, ob es nur eine technologische Lösung oder parallel existierende Technologien geben wird.

3.3 Produkt- und Serviceangebote

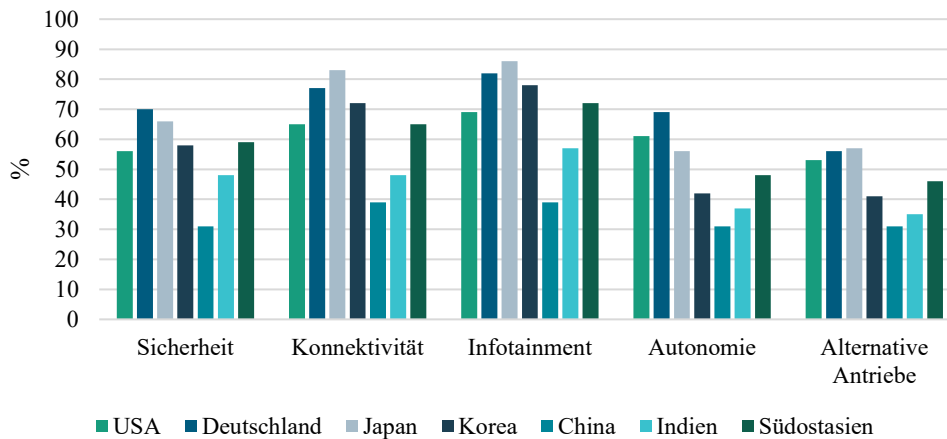
Durch die Weiterentwicklung und neue Möglichkeiten der Informations- und Kommunikationstechnologie sowie die zunehmende Integration in die Automobilindustrie verändern sich Geschäftsmodelle rund um Fahrzeuge (vgl. Pfaff/Grimm/Clausen 2022). Die Dimensionen und die zukünftige Rollenverteilung in der Verlagerung von Produkt- hin zu Serviceangeboten sind dabei noch nicht festgelegt. Neue (digitale) Serviceangebote können prinzipiell entlang der gesamten Wertschöpfungskette entstehen. Besonders in der Diskussion stehen aktuell die Bereiche, die den Endkundenkontakt umfassen: Zum einen digitale Geschäftsmodelle, die sich des Fahrzeugs als Schnittstelle bedienen und zum anderen Mobilitätsdienstleistungen.

Zusatzkosten durch verschiedene neue Technologien und Leistungen werden von potenziellen Kunden unterschiedlich eingeschätzt. Die Befragten aus verschiedenen Weltregionen in der Global Automotive Consumer Study 2022 (Deloitte 2022a) äußern sich zu ihrer maximalen Zahlungsbereitschaft für verschiedene Technologie- und Themenbereiche. Abbildung 11 zeigt die Ergebnisse in Form der Anteile an Konsumenten, die nicht bereit sind, mehr als 400 Euro zusätzlich für ein Fahrzeug auszugeben, das die jeweilige Technologie enthält.

In den Bereichen Autonomie und alternativer Antriebe, die eher den Produktinnovationen zugeordnet werden können, sind vergleichsweise wenige Konsumenten nicht bereit, mehr als 400 Euro zusätzlich zu zahlen. Für die Bereiche Infotainment und Konnektivität zeigt sich die geringste Zahlungsbereitschaft. Über alle Bereiche und Regionen hinweg sind meist mehr als 50 Prozent der Befragten nicht bereit, mehr als 400 Euro für die einzelnen Zusatztechnologien auszugeben.

Innerhalb der Bereiche zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den Antworten von Befragten aus verschiedenen Regionen. Befragte in China waren über alle Bereiche hinweg am ehesten bereit, Zusatzkosten zu tragen. Befragte aus den USA, Deutschland und Japan gaben am häufigsten an, nicht mehr als 400 Euro ausgeben zu wollen.

Abbildung 11: Anteil der Konsumenten, die nicht bereit sind, mehr als 400 Euro (500 Dollar bzw. nationale Währung) für fortgeschrittene Technologien auszugeben



Quelle: eigene Darstellung auf Basis von Daten aus Deloitte (2022a)

Auch wenn die Konnektivität und Infotainment an sich nicht direkt auf eine hohe Zahlungsbereitschaft stoßen, werden den Bereichen trotzdem oft hohe Potenziale zugeordnet, deren wirtschaftlicher Erfolg eher indirekt entsteht. Entsprechende digitale Geschäftsmodelle, die über die Schnittstelle Fahrzeug angeboten werden, können zum einen etablierte Angebote sein, für die das Fahrzeug sozusagen als neues Endgerät fungiert. Zum anderen wird in Zukunft auch mit auf das Fahrzeug abgestimmten Lösungen zu rechnen sein.

Das Bereitstellen von Content im Fahrzeug wird unabhängig von verschiedenen Besitzmodellen an Relevanz gewinnen. Die Funktionalität des autonomen Fahrens bietet das Potenzial, dass das digitale Angebot von allen Insassen intensiver genutzt werden kann. Digitale Lösungen und die Informatisierung der Branche verändern die Anforderungen an zukünftig erfolgreiche Geschäftsmodelle grundlegend und damit auch für die etablierten Automobilhersteller und -zulieferer (Boes/Ziegler 2021). Dabei liegt es nahe, die Wertschöpfung vermehrt aus Perspektive der Informationsbereitstellung zu konzipieren.

Neben den Geschäftsmodellen, die auf die Schnittstelle Fahrzeug abzielen, werden seit langem die Potenziale von Mobilitätsdienstleistungen diskutiert. Im Kontext des Umweltschutzes und staufreier Innenstädte steht dabei die Verringerung des Fahrzeugbestandes durch eine bessere Auslastung eines jeden Fahrzeugs in den Tages- und Nachtzeiten im Vordergrund. Der gewünschte Effekt kann erreicht werden, wenn im Privatbesitz befindliche Fahrzeuge abgeschafft und stattdessen Mobilitäts-

dienstleistungen für die individuelle Mobilität genutzt werden. Zum aktuellen Zeitpunkt sind dabei die positiven Auswirkungen auf Umwelt und Verkehrsfluss noch nicht messbar (Pfaff/Grimm/Clausen 2022).

Die disruptive Veränderung des Mobilitätssystems durch die Abkehr vom Fahrzeugbesitz und eine substituierende Nutzung von Mobilitätsdienstleistungen findet damit noch eher in wissenschaftlichen und abstrakten Diskursen statt. Das gilt insbesondere auch für die Potenziale von autonomen Mobilitätsdienstleistungen und die Wahrscheinlichkeit ihrer Umsetzung. Vereinzelt sind jedoch verschiedene Pilotprojekte zu Robotaxis oder autonomen Shuttles umgesetzt und Unternehmen kündigen ihr Engagement im Feld der autonomen Mobilitätsdienstleistungen an.

In Verbindung mit autonomen Fahrfunktionen verschmelzen die Konzepte des Carsharing und Ridehailing.⁸ Ein autonomes Fahrzeug der Zukunft kommt ohne Fahrer aus und kann nach den individuellen Bedürfnissen gebucht werden. Unterschieden werden dabei die alleinige Nutzung und die geteilte Nutzung desselben Fahrzeugs zur selben Zeit (Narayanan/Chaniotakis/Antoniou 2020). Im Folgenden wird auf autonome Mobilitätsdienstleistungen (AMD) fokussiert.

Sowohl Fahrzeughersteller, Zulieferer als auch Firmen aus der Elektronik- und IKT-Industrie sind im Bereich der autonomen Mobilitätsdienstleistungen aktiv oder kündigen Engagement an. Tabelle 2 liefert einen Überblick über eine Auswahl an aktuellen Aktivitäten und Ankündigungen verschiedener Unternehmen. Für manche Anbieter sind die AMD eine Weiterentwicklung von bestehenden Mobilitätsangeboten (Bsp. Mercedes-Benz, Uber, VW), die sich der Technologie des autonomen Fahrens bedienen. Teilweise werden die Services erst in Kombination mit autonomen Fahrfunktionen aufgesetzt (Bsp. Waymo, ZF).

8 Ridehailing bezeichnet das „Herbeirufen“ von Fahrzeugen, typischerweise per Smartphone-App, um von einem Ort zu einem anderen gefahren zu werden (aktuell noch von menschlichen Fahrer:innen).

Tabelle 2: Überblick Aktivitäten im Bereich (autonomer) Mobilitätsdienstleistungen ausgewählter Hersteller, Zulieferer und anderer Unternehmen

| Unternehmen | Aktivitäten/Ankündigungen im Bereich (autonomer) Mobilitätsdienstleistungen |
|---------------------------------------|--|
| Amazon (USA) | Übernahme Robotaxi-Entwickler Zoox mit Testbetrieb US-Westküste; Automatisierung der eigenen Flotte mit Plus/Iveco |
| Aptiv (Irland) | Joint Venture „Motional“ mit Hyundai Motor Group PLANT Robotaxi Service in Kooperation mit Lyft |
| Baidu (China) | Robotaxi-Service „Apollo“, bereits in 5 chines. Städten gestartet |
| Continental (Deutschland) | CUE (Continental Urban mobility Experience) Plattform für Robotaxis, welche außerhalb der Spitzenzeiten als Lieferroboter eingesetzt werden |
| Ford (USA) | Pilotprojekt autonomer Ridehailing Dienst in Kooperation mit Argo AI und Lyft ab 2022; Testprojekt autonomer Lieferdienst in Kooperation mit DP World London Gateway |
| LG (Südkorea) | AVFMS (Fleet Management System for Autonomous Vehicle) Plattform erweiterbar für Sharingservices von autonomen Fahrzeugen |
| Mercedes-Benz (Deutschland) | Mercedes-Benz Mobility AG für Finanz- und Mobilitätslösungen (Miet-, Leasing- und Finanzierungsangebote, Fuhrparkdienste, Versicherungen, ePayment-Plattformen, Carsharing, Mobility-as-a-Service (MaaS), Ride-Hailing); Kooperation mit Bosch für Robotaxis eingestellt |
| Toyota (Japan) | Aufbau von MaaS Plattform für geschäftliche Zwecke: „e-Palette“ Entwicklungskooperation mit anderen externen Partnern; Robotaxis in Kooperation mit Aurora und Denso |
| Uber (USA) | Verkauf Sparte autonomes Fahren an Aurora, gleichzeitig Erwerb von Firmenanteilen Aurora |
| VW (Deutschland) | MOIA Ridehailing; autonomen Mobilitätsdienste ab 2025 geplant; VW-Nutzfahrzeuge: ID Buzz als Roboter-Taxi ab 2025 |
| Waymo (USA) | laufende Pilotprojekte mit Robotaxis in San Francisco und Betrieb von Robotaxis in Phoenix |
| ZF (Deutschland) | autonome Transportsysteme für ÖPNV |

Quelle: eigene Darstellung auf Basis von Becker (2021), Continental (2019), Ford (2021a), Ford (2021b), Kharpal (2021), Krafcik (2020), Kunkel (2021), LG CNS (2022), Mercedes-Benz Mobility (2022), Metz/Conger (2020), Motional (2020), Ohnsman (2021), tagesschau.de (2021), Toyota (2020), Volkswagen AG (2022b), ZF (2022)

Die anvisierten Daten des Markteintritts liegen nur noch wenige Jahre in der Zukunft und bereits jetzt gibt es erfolgreiche Beispiele in einzelnen Projekten, wie die von Waymo seit 2007 durchgeführten Fahrten. Jedoch waren auch in der Vergangenheit schon Markteintritte für die frühen 2020er Jahre angekündigt, die letztendlich doch nicht stattfanden (Werner/Albert 2020). Beispielsweise wurde im vergangenen Jahr die Kooperation von Mercedes-Benz und Bosch für Robotaxis wieder eingestellt, auch wenn beide Unternehmen weiterhin an Technologien für autonome Fahrzeuge arbeiten wollen.

Im allgemeinen Verständnis beruhen Konzepte von Robotaxis auf Level 5 der automatisierten Fahrfunktionen, also dem fahrerlosen Fahren in allen Umgebungen (Pfaff/Grimm/Clausen 2022). Lösungen auf Basis von Level-4-Fahrfunktionen können in bestimmten Umgebungen schon früher eingesetzt werden und als Brückentechnologie fungieren. So kündigt Toyota zunächst den Einsatz von Level-4-Fahrzeugen für Mobilitätsdienstleistungen an. Dabei werde die Dienstleistungen als Enabler für autonome Fahrfunktionen verstanden. Die Level-4-Fahrzeuge können auf festgelegten Strecken ähnlich wie Robotaxis Fahrdienste erbringen und dabei kontinuierlich Daten sammeln, die wiederum die Entwicklung autonomer Fahrzeuge unterstützen.

In der wissenschaftlichen Literatur werden die positiven Effekte durch AMD betont. Narayanan/Chaniotakis/Antoniou (2020) zeigen in ihrer umfangreichen Literaturrecherche, dass allgemein von einer Zunahme an gefahrenen Kilometern pro Fahrzeug ausgegangen wird (auch durch Leerfahrten), deren Klimawirkung aber über die weitgehende Elektrifizierung der Antriebe ausgeglichen werden kann. Für die Endkunden wird dadurch die Mobilität eher günstiger, während für den Automobilmarkt mit negativen Effekten in Folge von sinkenden Absatzzahlen zu rechnen ist, da autonome, geteilte Fahrzeuge ersetzen können. Die abgeschätzten Potenziale variieren dabei deutlich: je nach Studie kann ein geteiltes, autonomes Fahrzeug zwischen 1,17 bis 11 Fahrzeuge im Privatbesitz ersetzen. Für digitale Tech-Konzerne werden vorwiegend positive Effekte erwartet.

Die tatsächliche Umsetzung von AMD in der Breite hängt neben der technologischen Reife der Fahrzeuge und einer funktionierenden Organisation insbesondere von der Einstellung der Endkunden ab. Ein Vergleich der Ergebnisse verschiedener internationaler Studien aus den Jahren 2016 bis 2020 zeigt, dass Personen auch zukünftig eher eine Minderheit ihrer Fahrten in geteilten autonomen Fahrzeugen zurücklegen würden. 13 von 15 Studien kommen zu dem Ergebnis, dass für verschiedene Zeitpunkte bis 2040 der Anteil prognostizierter Fahrten in geteilten autonomen Fahrzeugen unter 50 Prozent liegt (Narayanan/Chaniotakis/Antoniou 2020).

Interessant ist dabei, dass einzelne Studien sogar zu dem Ergebnis kommen, dass selbst bei einem vollkommen kostenlosen Angebot von geteilter autonomer Mobilität nicht 100 Prozent der Strecken mit den entsprechenden Services zurückgelegt würden (Haboucha/Ishaq/Shifan 2017). Eine Umfrage von Menon et al. (2018) ergibt, dass mehr als 53 Prozent der Befragten es als (sehr) unwahrscheinlich einschätzen, dass sie auf ein privates Fahrzeug verzichten würden, wenn geteilte autonome Fahrzeuge verfügbar wären. Nur knapp 19 Prozent schätzen es als wahrscheinlich, etwa 7 Prozent als sehr wahrscheinlich ein. Grush/Niles (2018) zeigen, dass auch mit autonomen Fahrfunktionen der private Fahrzeugbesitz weiterhin dominiert.

Diese Erkenntnisse decken sich mit Kaltenhäuser et al. (2020), die auf den deutschen Markt fokussieren. In dieser Studie werden die Ergebnisse einer eigenen Umfrage zur Akzeptanz autonomer Fahrzeuge und entsprechender Dienste in Deutschland mit weiteren Parametern aus der Literatur kombiniert, um die mögliche Durchdringung autonomer Fahrzeuge bis 2040 abzuschätzen. Unter den 1000 Befragten zeigen die mit Geburtsjahr zwischen 1965 und 1980 das höchste Vertrauen in die Technologie. Ältere sowie jüngere Befragte zeigen etwas weniger Vertrauen.

Die grundsätzliche Bereitschaft, Fahrten zu teilen, ist bei allen Befragten sehr hoch und nimmt mit höherem Alter nur leicht ab. Die 20- bis 30-Jährigen geben zu 93 Prozent an, dass sie Fahrten teilen würden, die ältesten Befragten mit über 75 Jahren sind zu 82 Prozent zu geteilten Fahrten bereit. Die Bereitschaft, autonome Taxis zu nutzen oder das eigene Auto aufzugeben, liegt deutlich darunter und variiert je nach Altersgruppe zwischen 20 und 38 Prozent (autonome Taxis) bzw. zwischen 17 und 30 Prozent (Aufgabe Fahrzeug). In beiden Bereichen sind die 20- bis 40-Jährigen am offensten (Kaltenhäuser et al. 2020).

Wird die Sicherheit von autonomen Fahrzeugen von einer unabhängigen Seite bzw. staatlichen Kontrollinstanz bestätigt, sind über 50 Prozent bereit, autonome Fahrzeuge grundsätzlich zu nutzen. Nur 16 Prozent können sich die Nutzung überhaupt nicht vorstellen, der Rest möchte die Sicherheit erst über Jahre im Betrieb bestätigt sehen (Kaltenhäuser et al. 2020). Die geteilte Nutzung autonomer Taxis auf dem Arbeitsweg stößt oft erst dann auf Zustimmung, wenn die Fahrt günstiger und keine erheblich Fahrzeitverlängerung verursacht wird. Dann können sich etwa zwei Drittel der Befragten eine geteilte Nutzung mit unbekanntem Mitfahrern vorstellen.

Auf Basis dieser (und weiterer Erkenntnisse) ergeben die prospektiven Modellrechnungen ein Maximum von 20 Millionen Nutzer:innen autonomer Taxis in Deutschland bis 2040, die mit bis zu 2,5 Millionen autonomen Taxis unterwegs sind. Die Anzahl der in Privatbesitz befindlichen auto-

men Fahrzeuge liegt deutlich über der Anzahl geteilter autonomer Fahrzeuge und erreicht knapp 40 Millionen.

Gleichzeitig zeigt sich für geteilte autonome Fahrzeuge eine deutlich höhere durchschnittliche Laufleistung pro Fahrzeug. Private autonome Fahrzeuge werden zudem öfter mit der Option ausgestattet, das Fahren bei entsprechender Präferenz selbst zu übernehmen. Bei geteilten Fahrzeugen hat die Ausstattung mit einem Lenkrad und einem wandelbar „klassischen“ Innenraum eine deutlich geringere Relevanz. Damit können Unterschiede im Fahrzeugdesign und damit eine höhere Ausdifferenzierung der Produktpalette einhergehen. Insgesamt ergibt die prospektive Modellierung eine Reduktion des Fahrzeugbestands um etwa 10 Prozent bis 2040, gleichzeitig erhöhen sich die jährlich zurückgelegten Kilometer insgesamt um 20 Prozent (Kaltenhäuser et al. 2020). Die Potenziale autonomer Fahrzeuge und -systeme, den Umweltschutz voranzubringen, scheine sich damit in näherer Zukunft noch in Grenzen zu halten.

Eine Umfrage des Fraunhofer IAO (Werner/Albert 2020) zeigt ebenfalls eine teils eingeschränkte Akzeptanz. Insbesondere jüngere Befragte sind der Nutzung automatisierter Fahrzeuge gegenüber aufgeschlossener, ältere Befragte haben hingegen noch Zweifel. Die Berichterstattung zu positiven Beispielen und Pilotprojekten ändert diese Einstellung aktuell nicht. Es zeigt sich sogar, dass die Befragten die beschriebenen Erwartungen an autonome Fahrzeuge als zu groß einordnen. Die Autoren verbinden die Ergebnisse mit dem Trend, dass Unternehmen in der Kommunikation zur Umsetzung autonomer Fahrsysteme zunehmend zurückhaltender auftreten.

Vernetzte Mobilitätsdienste erfahren in der Befragung durch Werner/Albert (2020) Zustimmung: die deutliche Mehrheit der Befragten sieht einen Nutzen in entsprechenden Leistungen. In Deutschland zeigt sich, trotz eines vergleichsweise hohen Angebots, noch eine eher hohe Skepsis. Obwohl sich weltweit bereits eine Palette an Angeboten und Anbietern etabliert haben, betonen die Autoren die Unsicherheit über die Frage, wann und ob die Dienstleistungen einen Durchbruch erleben. Eine explizite Abfrage zu autonomen Mobilitätsdiensten fand im Rahmen der Arbeiten von Werner/Albert (2020) nicht statt.

Es zeigt sich weiterhin noch kein klarer Entwicklungspfad für Mobilitätsdienstleistungen. Durch eine Zunahme an Befragungen von Konsumenten in Hinblick auf die Akzeptanz neuer Dienstleistungen und die möglichen Wirkungen auf das Mobilitätsverhalten, ergeben sich mehr und mehr Erkenntnisse für den Status Quo und damit eine Basis für Simulationsmodelle. Dennoch bleibt die geteilte autonome Mobilität für die Zukunft schwer abzubilden. Insbesondere Validierungsmechanismen, beispielsweise mit historischen Daten, fehlen, solange die Technologie noch nicht in den Markt eingetreten ist. Dazu kommt, dass die Einstellungen

von Befragten im Zeitverlauf nicht unbedingt stabil sind (Narayanan/Chaniotakis/Antoniou 2020).

Mobilitätsdienstleistungen werden aktuell oft in Verbindung mit der Verbreitung autonomer Fahrfunktionen diskutiert und die wechselseitigen Vorteile der Integration autonomer Mobilitätsdienstleistungen in den Vordergrund gestellt. Die Geschwindigkeit der Umsetzung, sowie die erwarteten Wirkungen auf Größen wie den Fahrzeugbestand sind begrenzt. Aktuelle Entwicklungen wie die Elektrifizierung des Antriebsstrangs und die damit verbundene (vermeintliche) emissionsfreie Mobilität sowie ein stärkeres Bedürfnis für Privatheit durch die Covid-19-Pandemie sind Beispiele für Faktoren, die das weitere Bestehen des eher individualistisch ausgelegten Mobilitätssystems begünstigen.

4 Produktion

4.1 Internationale Wertschöpfungsstrukturen

Im Kontext aktueller Diskussionen um die mangelnde Verfügbarkeit insbesondere von Halbleitern aber auch von anderen Rohstoffen werden die internationalen Verflechtungen und insbesondere die Abhängigkeiten der deutschen Automobilindustrie vom Ausland kritisch reflektiert. Dabei rückt nicht nur der Status quo, sondern auch die vielseitigen Veränderungen in den Komponenten eines Fahrzeugs, die die erforderlichen Inputs in der Zukunft beeinflussen, in den Fokus. Im Rahmen der zunehmenden Elektrifizierung und Digitalisierung werden beispielsweise Vorleistungen aus der Elektronik oder dem IKT-Bereich eine immer wichtigere Rolle spielen.

Zur Analyse der Struktur der globalen Wertschöpfungsketten der deutschen Automobilbranche werden Multiregionale Input-Output-Tabellen (MRIOT) herangezogen. Diese ermöglichen die Analyse von direkten wie auch indirekten Wertschöpfungsbeziehungen differenziert nach Sektoren und Ländern. Im Fokus der Analyse steht dabei die Veränderung im Zeitverlauf. Ziel ist das Nachzeichnen der Veränderung von Inputs (Input-Mix) in die deutsche Automobilindustrie und ein Vergleich mit den wichtigen Automobilnationen USA und China. Dabei liegt der Fokus auf den als besonders relevant eingestuften Bereichen Elektronik und IKT.

Die gewählte Vorgehensweise erfasst sowohl die Veränderung der sektoralen Struktur der Inputs als auch der geografischen Herkunft und ermöglicht so Aussagen über die Veränderungen in den Handelsbeziehungen mit spezifischen Ländern und in der Abhängigkeit von Importen bzw. der Rolle inländischer Produktion.

Wichtig zu beachten ist, dass einige der großen aktuellen Trends in den Daten noch schwer zu greifen sind, da sie sich beispielsweise noch im Entwicklungsstadium befinden und die Handelsströme hauptsächlich die Leistungen abbilden, die auch wirklich in den abgesetzten Produkten verbaut werden. Im Rahmen der vorliegenden Analyse wurde die World Input-Output Database verwendet (WIOD) (Timmer et al. 2015). Aufgrund der hohen Komplexität und des Aufwands in der Erstellung der Multiregionalen Input-Output-Tabellen werden diese nur mit einer hohen Zeitverzögerung bereitgestellt. Die Analyse bezieht sich entsprechend der Verfügbarkeit der Datenbasis auf den Zeitraum 2000 bis 2014.

Die Inputs in die Automobilindustrie in der Input-Output-Logik beziehen sich nicht unbedingt nur auf die physischen Inputs, die in Fahrzeugen verbaut werden, sondern auch auf die Infrastruktur der Firmen, die benötigt wird, um die Produkte herzustellen, also auch organisatorische und administrative Prozesse. Die WIOD ermöglicht die Differenzierung nach 43 Länder(gruppen) und 56 Sektoren. Für die Analyse wurden relevante

Sektoren ausgewählt, die Aussagen über die Trends Elektrifizierung und Recycling (als Reaktion auf den Klimawandel) und Digitalisierung ermöglichen.⁹ Dabei werden sowohl Produktions- als auch Dienstleistungssektoren berücksichtigt. Für die WIOD sind das:

1. **Kraftfahrzeuge, Teile und Aufbauten** (manufacture of motor vehicles, trailers and semi-trailers): Gleichsetzung mit der Kern-Automobilindustrie, Verwendung als Zielsektor, in den die Inputs in die Automobilindustrie fließen. Die Automobilindustrie liefert aber auch Vorleistungen an sich selbst, hier können eingeschränkt Aussagen zu Veränderung der Zusammensetzung ermöglicht werden.
2. **Computer oder Datenverarbeitungsgeräte, elektronische und optische Erzeugnisse** (manufacture of computer, electronic and optical products): Sowohl für Elektrifizierung als auch für Digitalisierung relevant, in der Produktion und im Produkt.
3. **elektrische Ausrüstung** (manufacture of electrical equipment): Sowohl für Elektrifizierung als auch für Digitalisierung relevant, in der Produktion und im Produkt.
4. **sonstige Maschinen und Anlagen** (manufacture of machinery and equipment): Insbesondere für die Produktion relevant.
5. **Entsorgungsleistungen** (sewerage; waste collection, treatment and disposal activities; materials recovery; remediation activities and other waste management services): Als Indikator für Umgang mit Umweltaspekten in Form von Recyclingaktivitäten relevant.
6. **Telekommunikation** (telecommunications): Die Vernetzung von Fahrzeugen und Übermittlung von Daten nimmt eine zunehmend große Rolle für die Konzeption und Funktionalität von Fahrzeugen ein.
7. **Software-Entwicklung und Beratung** (computer programming, consultancy and related activities; information service activities): Enthält Dienstleistungen rund um Software, Informationsmanagement und Digitales.

Die verschiedenen Inputs werden für die Analyse in drei Typen gruppiert. Zunächst werden die industriellen Inputs betrachtet, dann die Inputs, die aus der Automobilbranche selbst bezogen werden und schließlich die Dienstleistungsinputs.

⁹ Insbesondere für die Digitalisierung ist eine klare Abgrenzung in der wirtschaftlichen Klassifikationslogiken schwierig. Der Bereich IKT wurde in Orientierung an OECD (2011) abgegrenzt, die das Vorgehen in der quantitativen Analyse von IKT-Aktivitäten in offiziellen Statistiken adressieren und die relevanten Sektoren beschreiben. Der beschriebene Detailgrad ist dabei jedoch für eine direkte Übertragung zu hoch, die Sektoren bzw. Produkte der Multiregionalen Input-Output-Tabellen unterscheiden sich. Für die Auswahl relevanter Sektoren in der Multiregionalen Input-Output-Tabelle wurde entsprechend jeweils der nächste aggregierte Sektor gewählt.

Die sektoralen Inputs an die Automobilindustrie werden prozentual als Anteil an allen Inputs in die Automobilindustrie des jeweiligen Landes angegeben. Dabei werden die heimischen und internationalen Anteile separat ausgewiesen. Ein Balken in den folgenden Stapeldiagrammen gibt immer den Anteil der gesamten Inputs des jeweiligen Sektors an die betrachtete Automobilindustrie an. Der helle Teil steht für den Teil, der aus heimischen Sektoren zugeliefert wird, der dunkle Teil für die Importe der Automobilindustrie aus dem Ausland.

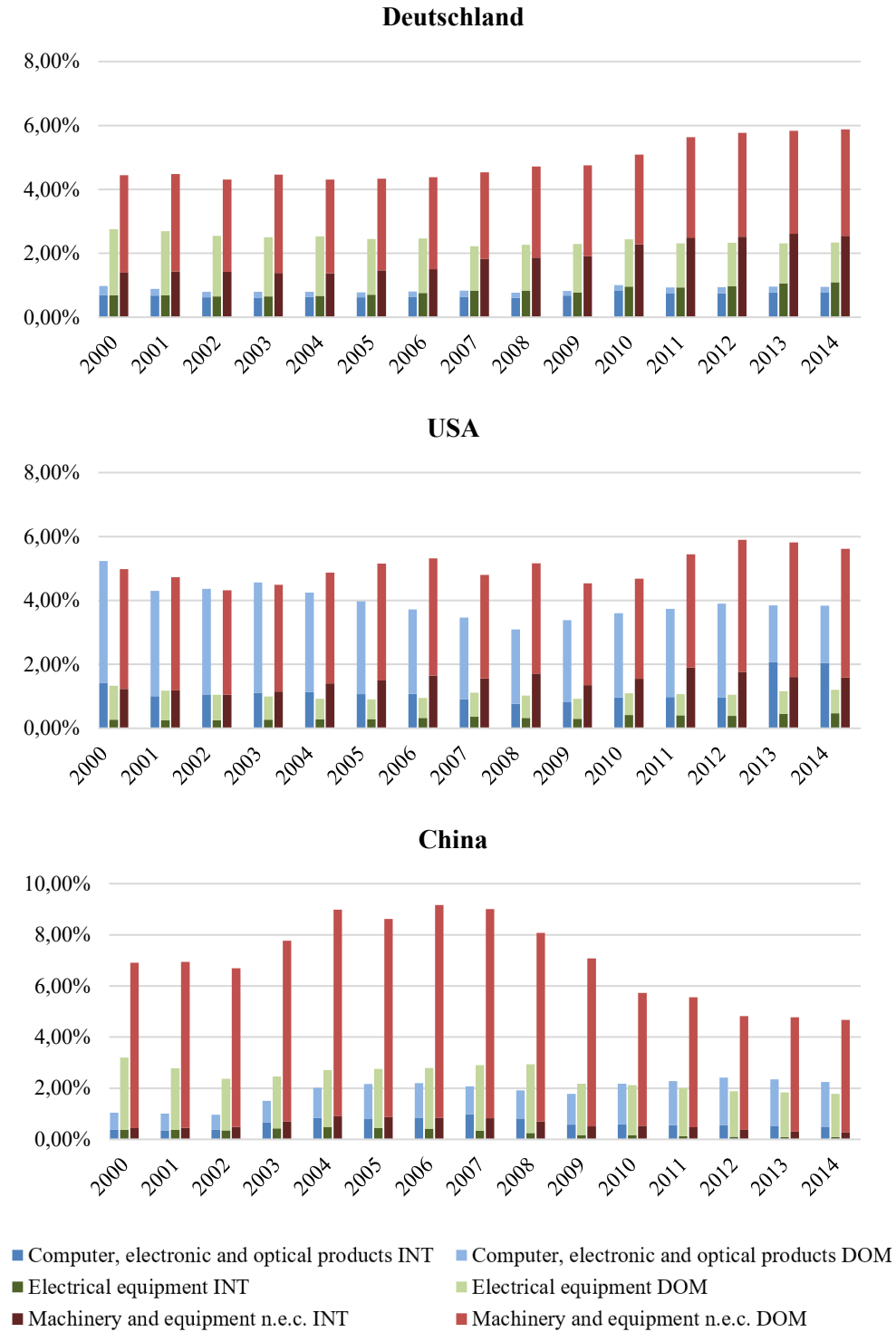
Es werden jeweils die direkten Vorleistungen an die Automobilindustrie angegeben, also nur die erste Stufe von sektoralen Inputs, die direkt an die Automobilindustrie geliefert werden. So werden tendenziell eher die größeren Zulieferer aus anderen Sektoren erfasst und nicht die Teilezulieferer, die in vorgelagerten Wertschöpfungsstufen agieren. In Abschnitt 4.1.5 werden die aggregierten Ergebnisse mit den Werten für die gesamten Vorleistungen über alle Wertschöpfungsstufen verglichen.

4.1.1 Industrielle Inputs

Die industriellen Inputs umfassen Computer oder Datenverarbeitungsgeräte, elektronische und optische Erzeugnisse, elektrische Ausrüstung und Maschinen und Anlagen. Abbildung 12 zeigt die Anteile der industriellen Inputs an allen Inputs in die Automobilindustrien Deutschlands, der USA und China im Zeitraum von 2000–2014. In allen betrachteten Input-Sektoren beziehen die nationalen Automobilindustrien die Mehrheit der Inputs aus der nationalen Zulieferindustrie (Ausnahme: Deutschland aus dem Bereich Computer, Elektronik, optische Produkte). Deutschlands Automobilindustrie bezieht anteilig die meisten Vorleistungen aus dem Ausland. Chinas Automobilindustrie ist hingegen kaum von Inputs aus dem Ausland abhängig. Für alle betrachteten Regionen ist der Maschinen- und Anlagenbau wichtigster Zulieferer von sektorfremden und verarbeiteten Inputprodukten (nach Rohstoffinputs, hier nicht abgebildet).

Die Automobilindustrie der USA bezieht im Vergleich zu Deutschland und China anteilig deutlich mehr Inputs aus dem Bereich Computer/Elektronik. Die Analyse lässt keine direkten Rückschlüsse auf den Ursprung des Unterschieds zu. Eine Möglichkeit ist, dass in Deutschland und China mehr Computer/Elektronik von Firmen produziert wird, die einem anderen Sektor zugeordnet sind (beispielsweise der Automobilindustrie selbst). Eine andere Möglichkeit ist, dass in der US-Produktion mehr Computer/Elektronik benötigt werden oder die in den USA hergestellten Produkte der Automobilindustrie sich in ihrer Zusammensetzung bereits im Zeitraum von 2000 bis 2014 von denen aus China und Deutschland unterscheiden.

Abbildung 12: Direkte industrielle Inputs (heimisch und international) in die Automobilindustrien Deutschland, USA, China, 2000–2014



Quelle: eigene Berechnung auf Basis Timmer et al. 2019

Die Dynamiken hinsichtlich der Veränderung der Anteile der betrachteten Inputs unterscheiden sich zwischen den Ländern. Für die deutsche Automobilindustrie nahm der Anteil an Vorleistungen aus dem Maschinenbau im Zeitverlauf zu elektrisches Equipment und Computer/Elektronik verblieben auf eher konstantem Niveau. Für die USA waren deutliche Schwankungen für alle Produktgruppen zu beobachten, ein kein klarer Trend ist nicht abzulesen. Der Maschinenbau nahm tendenziell leicht zu, Computer/Elektronik nahmen eher leicht ab. Die Maschinenbauinputs in die chinesische Automobilindustrie nahmen bis etwa 2006 zu und sanken anschließend wieder deutlich ab. Die Inputs aus den Bereichen elektrisches Equipment sowie Computer/Elektronik bewegten sich zu Beginn der 2000er Jahre auf ähnlichem Niveau wie die Inputs in die deutsche Automobilindustrie. Im weiteren Zeitverlauf nahmen die Inputs elektrischen Equipments ab, während sich der Anteil elektronischer Komponenten erhöhte und den Anteil elektrischer Inputs ab 2010 sogar überschritt.

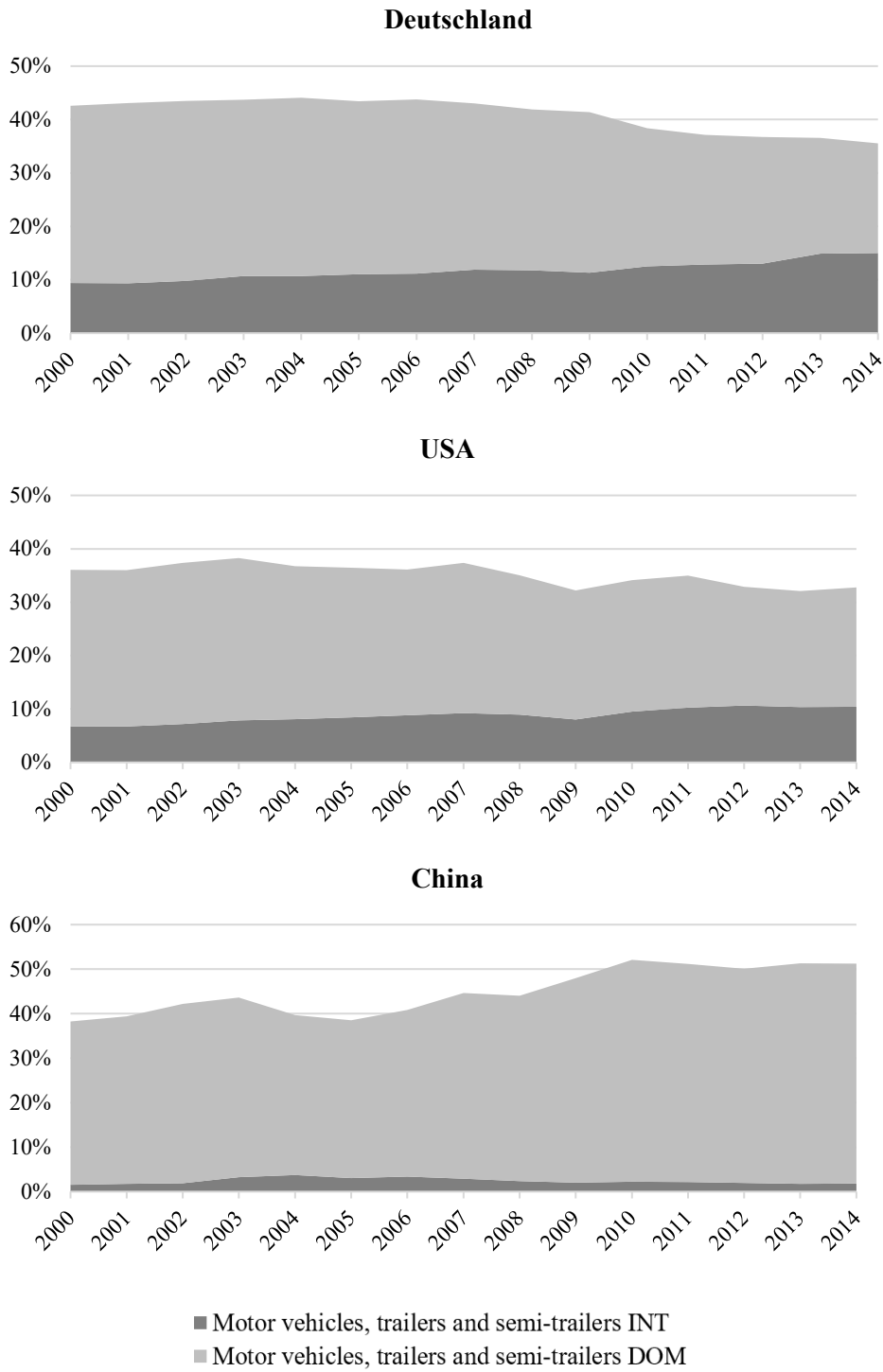
4.1.2 Brancheninterne Inputs

Abbildung 13 zeigt die Veränderung des Anteils der Inputs aus der Automobilindustrie in die Automobilindustrie für die drei Länder Deutschland, USA und China. Dies umfasst zu großen Teilen die Zuliefererbeziehungen der Hersteller mit den großen, klassischen Automobilzulieferern. Die Veränderung der brancheninternen Inputs unterscheidet sich absolut und im Trend zwischen den betrachteten Ländern. Für Deutschland nahm der Anteil von über 40 Prozent (2000–2009) auf etwa 35 Prozent ab. Für die USA schwankte der Anteil um die 35 Prozent, für China nahm der Anteil von 2000 (knapp unter 40 Prozent) bis 2014 (50 Prozent) deutlich zu.

Deutschland weist mit 15 Prozent (2014), gemessen an allen Inputs, den höchsten Anteil von Inputs ausländischer Automobilindustrien auf. Der Anteil stieg von 10 Prozent im Jahr 2000 kontinuierlich an, während der Anteil von Inputs aus der heimischer Automobilindustrie sank. Damit weist Deutschland mit 20 Prozent inländischen und 15 Prozent ausländischen Inputs aus der Automobilindustrie die höchste Abhängigkeit von Lieferungen aus dem Ausland auf.

In den USA nahmen die Inputs aus der ausländischen Automobilindustrie ebenfalls zu. Bei fast gleichbleibendem Gesamtanteil von Inputs aus der Automobilindustrie an allen Inputs nahmen die ausländischen Inputs aus der Automobilindustrie auch im Verhältnis zu den inländischen Inputs zu. In China blieb der Anteil ausländischer Inputs aus der Automobilindustrie dauerhaft auf einem sehr niedrigen Niveau von unter 5 Prozent, während der Anteil der Inputs aus heimischer Automobilindustrie zwischen 2000 und 2014 um 10 Prozent stieg.

Abbildung 13: Direkte Inputs aus der Automobilindustrie (heimisch und international) in die Automobilindustrien Deutschland, USA, China, 2000–2014



Quelle: eigene Berechnung auf Basis Timmer et al. 2019

4.1.3 Dienstleistungsinputs

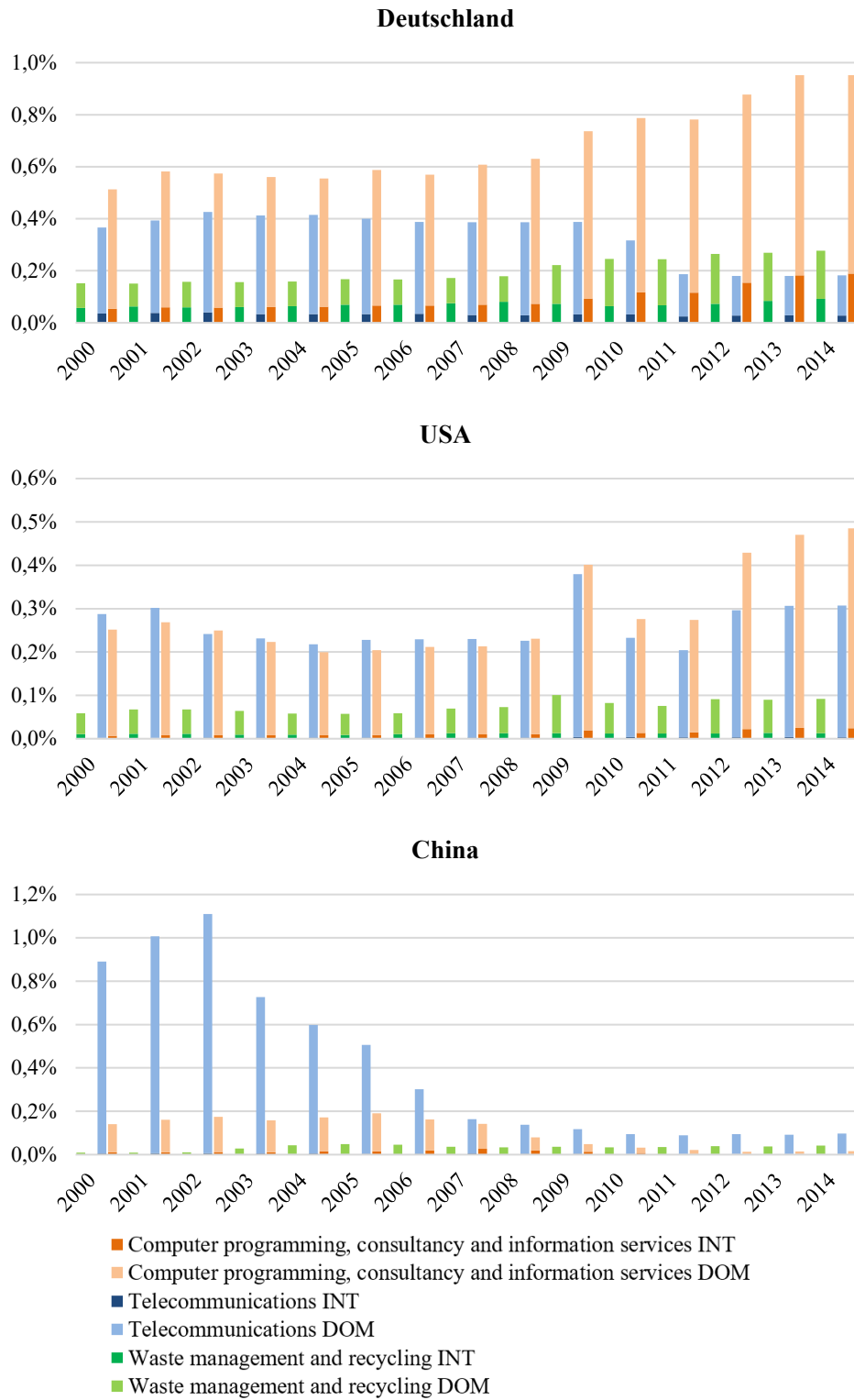
Die betrachteten Dienstleistungsinputs in die Automobilindustrie umfassen Softwareentwicklung/Beratung, Entsorgungsleistungen sowie Telekommunikation und werden ebenfalls für Deutschland, die USA und China ausgewertet (siehe Abbildung 14). Die Dienstleistungen für die Automobilindustrie aller drei Länder sind stärker durch heimische Inputs geprägt als die oben beschriebenen industriellen Inputs. Deutschland weist dabei vergleichsweise wieder den höchsten Anteil internationaler Inputs auf.

Grundsätzlich werden Dienstleistungen in einer Volkswirtschaft meist deutlich stärker heimisch zur Verfügung gestellt. Im Gegensatz zu Leistungen wie beispielsweise im Gesundheitssektor, die nur vor Ort erbracht werden können, ist für Softwareentwicklung oder andere Beratungsleistungen die Präsenz vor Ort nicht unbedingt notwendig. Die Ergebnisse zeigen, dass sich der Import von Dienstleistungen in diesem Bereich trotzdem auf einem sehr geringen Niveau bewegt.

Leistungen, die dem Bereich Telekommunikation zugeordnet werden, beziehen sich im Beobachtungszeitraum vermutlich eher auf die benötigten Leistungen für Prozesse und Unternehmenskommunikation. Diese Rolle könnte sich in Hinblick auf eine Zunahme von automatisierten Fahrfunktionen ggf. ändern. Deutschland weist im Vergleich zu den USA und China einen sehr hohen Anteil von Entsorgungsleistungen auf.

Die Entwicklungen im Zeitverlauf zeigen eine leichte Zunahme des Anteils der Dienstleistungsinputs Softwareentwicklung/Beratung sowie Entsorgungsleistungen in die deutsche und US-Automobilindustrie. Telekommunikationsleistungen für die deutsche Automobilindustrie nehmen anteilmäßig ab, für die US-Automobilindustrie schwanken diese. Für China ergibt sich ein deutlich abweichendes Bild. Der Anteil an Entsorgungsleistungen nimmt leicht zu und stagniert auf einem sehr niedrigen Niveau von unter 0,1 Prozent aller Inputs. Softwareentwicklung/Beratung sowie Telekommunikation nehmen ab, für letztere ist der Trend besonders deutlich.

Abbildung 14: Direkte Dienstleistungsinputs (heimisch und international) in die Automobilindustrien Deutschland, USA, China, 2000–2014



Quelle: eigene Berechnung auf Basis von Timmer et al. 2019

4.1.4 Abhängigkeit von Importen im gesamtwirtschaftlichen Vergleich

Im Folgenden werden die Importabhängigkeiten der Automobilindustrien von Deutschland, USA und China in das Verhältnis zur jeweiligen Gesamtwirtschaft gesetzt. Die betrachteten Zulieferersektoren bleiben dabei gleich. Die Importabhängigkeit wird als Quotient berechnet aus dem Anteil importierter zum Anteil heimischer Inputs:

$$\text{Abhängigkeit} = \frac{\text{Anteil importierter Inputs}}{\text{Anteil heimischer Inputs}}$$

Eine Importabhängigkeit = 1 bedeutet, dass der Anteil Importe gleich dem Anteil heimischer Inputs ist. Eine Importabhängigkeit > 1 zeigt, dass der Anteil der Importe von Inputs aus einem bestimmten Sektor die Inputs aus heimischer Produktion dieses Sektors übersteigt. Eine Importabhängigkeit < 1 zeigt den umgekehrten Fall, in dem der Anteil heimischer Inputs aus einem Sektor den Anteil importierte Inputs aus diesem Sektor übersteigt.

Zur besseren Einordnung der Ergebnisse für die Automobilindustrie im jeweiligen nationalen Kontext wurde der Quotient auch für die Gesamtwirtschaft gebildet. Es wurde äquivalent zu den Analysen für die Automobilindustrie berechnet, wie hoch die Anteile heimischer und importierter Inputs aus den sieben betrachteten Sektoren an der jeweiligen gesamten Wirtschaft Deutschlands, der USA und Chinas waren. Die Ergebnisse zu den Importabhängigkeiten für die beiden Jahre 2000 und 2014 sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Abhängigkeit der Automobilindustrien von Importen ausgewählter Sektoren im Vergleich zur Gesamtwirtschaft

| 2000 | Deutschland | | USA | | China | |
|--|----------------|---------|----------------|---------|----------------|---------|
| | Motor vehicles | Economy | Motor vehicles | Economy | Motor vehicles | Economy |
| Computer, electronic and optical products | 2,41 | 3,52 | 0,37 | 0,34 | 0,57 | 0,60 |
| Electrical equipment | 0,33 | 0,31 | 0,26 | 0,28 | 0,13 | 0,15 |
| Machinery and equipment (not elsewhere classified) | 0,46 | 0,47 | 0,33 | 0,32 | 0,07 | 0,08 |
| Motor vehicles, trailers and semi-trailers | 0,28 | 0,28 | 0,23 | 0,22 | 0,04 | 0,05 |
| Telecommunications | 0,11 | 0,08 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,01 |
| Computer programming, consultancy... | 0,12 | 0,11 | 0,03 | 0,03 | 0,08 | 0,07 |
| Waste management and recycling | 0,60 | 0,38 | 0,23 | 0,18 | 0,15 | 0,00 |
| 2014 | Deutschland | | USA | | China | |
| | Motor vehicles | Economy | Motor vehicles | Economy | Motor vehicles | Economy |
| Computer, electronic and optical products | 4,14 | 7,08 | 1,14 | 0,92 | 0,26 | 0,29 |
| Electrical equipment | 0,88 | 0,84 | 0,65 | 0,65 | 0,05 | 0,05 |
| Machinery and equipment (not elsewhere classified) | 0,76 | 0,71 | 0,39 | 0,49 | 0,06 | 0,06 |
| Motor vehicles, trailers and semi-trailers | 0,73 | 0,68 | 0,47 | 0,46 | 0,04 | 0,04 |
| Telecommunications | 0,18 | 0,09 | 0,01 | 0,00 | 0,02 | 0,01 |
| Computer programming, consultancy... | 0,25 | 0,22 | 0,05 | 0,06 | 0,19 | 0,08 |
| Waste management and recycling | 0,50 | 0,43 | 0,16 | 0,14 | 0,06 | 0,07 |

Quelle: eigene Berechnung auf Basis Timmer et al. 2019

Der Vergleich zeigt, dass sich die Automobilindustrien in den meisten Fällen sehr ähnlich zur jeweiligen Gesamtwirtschaft verhalten. Für Deutschland ist die Abhängigkeit der Automobilindustrie von Importen tendenziell etwas höher als die der Gesamtwirtschaft. Eine Ausnahme bildet der Bereich Computer und elektronische Produkte, in dem die Abhängigkeit in der Automobilindustrie deutlich kleiner ist als die der Gesamtwirtschaft.

Deutlich wird, dass trotz einer hochgradig globalisierten Wirtschaft der Großteil direkter Vorleistungen aus der heimischen Produktion entstammt (Werte meist unter 1). Die Ausnahmen sind in der Tabelle dunkler eingefärbt. Besonders hoch sind die Abhängigkeiten von Importen für alle betrachteten Länder im Bereich von Computern und elektronischen Produkten. Deutschland, als verhältnismäßig kleines Land neben den USA und China, ist im Ländervergleich am stärksten von Importen abhängig. Das gilt sowohl für die Automobilindustrie als auch für die Gesamtwirtschaft.

Vergleicht man die verschiedenen Typen von Inputs, fällt auf, dass eher Produkte als Dienstleistungen importiert werden, das gilt sowohl für die Automobilindustrien als auch für die Gesamtwirtschaften. Im Vergleich der Jahre 2000 und 2014 zeigt sich eine Zunahme der Abhängigkeiten von importierten Inputs für Deutschland und USA. China hingegen baut Abhängigkeiten ab, mit Ausnahme des Bereichs Softwareentwicklung und Beratung.

4.1.5 Abhängigkeit von Importen für die gesamte Wertschöpfungskette

Die Verwendung von Input-Output-Tabellen erlaubt neben der Betrachtung der direkten Vorleistungen auch die Ermittlung aller für die Produktion einer Einheit Endprodukt benötigten Inputs (vgl. Miller/Blair 2009). Diese beinhalten dann also nicht nur die direkten Lieferungen an die Automobilindustrie, sondern auch die Vorleistungen, die die Zulieferer der Automobilindustrie beziehen, sowie die Vorleistungen dafür usw. So können beispielsweise die kumulierten Inputs aus dem Wirtschaftszweig elektrische Ausrüstung in die Herstellung von Kraftfahrzeugen entlang der gesamten Wertschöpfungskette bestimmt werden.

Entsprechend der Analysen für die direkten Vorleistungen wurde auch für die Anteile der kumulierten Vorleistungen zwischen der Herkunft in heimisch und international unterschieden und der Quotient aus dem Anteil importierter und dem Anteil heimischer Inputs gebildet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 dargestellt. Die obere, fett gedruckte Zeile in jeder Zelle gibt jeweils den Wert für die kumulierten Inputs an, die untere Zeile mit magerer Schrift die Werte für die direkten Vorleistungen aus Tabelle 3 zum Vergleich.

Tabelle 4: Abhängigkeit der Automobilindustrien von Importen ausgewählter Sektoren im Vergleich zur Gesamtwirtschaft: kumulierte Gesamtinputs (fett) und direkte Vorleistungen zum Vergleich (mager, Übernahme aus Tabelle 3)

| 2000 | Deutschland | | USA | | China | |
|--|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | Motor vehicles | Economy | Motor vehicles | Economy | Motor vehicles | Economy |
| Computer, electronic and optical products | 4,56 2,41 | 4,85 3,52 | 0,57 0,37 | 0,51 0,34 | 1,02 0,57 | 0,95 0,60 |
| Electrical equipment | 0,57 0,33 | 0,53 0,31 | 0,63 0,26 | 0,51 0,28 | 0,23 0,13 | 0,26 0,15 |
| Machinery and equipment (not elsewhere classified) | 0,72 0,46 | 0,73 0,47 | 0,46 0,33 | 0,50 0,32 | 0,12 0,07 | 0,14 0,08 |
| Motor vehicles, trailers and semi-trailers | 0,35 0,28 | 0,44 0,28 | 0,31 0,23 | 0,35 0,22 | 0,07 0,04 | 0,12 0,05 |
| Telecommunications | 0,60 0,11 | 0,25 0,08 | 0,19 0,01 | 0,04 0,00 | 0,13 0,01 | 0,14 0,01 |
| Computer programming, consultancy and information services | 0,46 0,12 | 0,25 0,11 | 0,26 0,03 | 0,10 0,03 | 0,42 0,08 | 0,30 0,07 |
| Waste management and recycling | 1,43 0,60 | 0,65 0,38 | 0,38 0,23 | 0,26 0,18 | 0,46 0,15 | 0,12 0,00 |
| 2014 | Deutschland | | USA | | China | |
| | Motor vehicles | Economy | Motor vehicles | Economy | Motor vehicles | Economy |
| Computer, electronic and optical products | 8,77 4,14 | 11,18 7,08 | 2,11 1,14 | 1,77 0,92 | 0,45 0,26 | 0,44 0,29 |
| Electrical equipment | 1,44 0,88 | 1,34 0,84 | 1,58 0,65 | 1,26 0,65 | 0,13 0,05 | 0,12 0,05 |
| Machinery and equipment (not elsewhere classified) | 1,13 0,76 | 1,12 0,71 | 0,71 0,39 | 0,91 0,49 | 0,14 0,06 | 0,17 0,06 |
| Motor vehicles, trailers and semi-trailers | 0,91 0,73 | 0,96 0,68 | 0,66 0,47 | 0,77 0,46 | 0,06 0,04 | 0,09 0,04 |
| Telecommunications | 0,95 0,18 | 0,28 0,09 | 0,25 0,01 | 0,07 0,00 | 0,22 0,02 | 0,08 0,01 |
| Computer programming, consultancy and information services | 0,61 0,25 | 0,38 0,22 | 0,26 0,05 | 0,14 0,06 | 1,30 0,19 | 0,49 0,08 |
| Waste management and recycling | 1,57 0,50 | 0,74 0,43 | 0,58 0,16 | 0,26 0,14 | 0,64 0,06 | 0,21 0,07 |

Quelle: eigene Berechnung auf Basis Timmer et al. 2019

Für die betrachteten drei Länder sind in allen Fällen die Abhängigkeiten vom Ausland bei Betrachtung der gesamten Wertschöpfungskette höher. Die Abhängigkeiten Deutschlands und der USA nehmen im Zeitverlauf zwischen 2000 und 2014 zu. Chinas Abhängigkeiten verringern sich für manche Vorleistungsbereiche. Besonders deutlich ist das bei Inputs aus dem Bereich Computer und Elektronik zu sehen. Während Chinas Automobilindustrie im Jahr 2000 noch etwas mehr Leistungen aus dem Ausland bezog, war der Anteil importierter Computer und Elektronik für die Automobilindustrie nur noch etwa halb so groß wie der Anteil heimisch hergestellter Vorleistungen.

Im Gegensatz dazu steigt die Abhängigkeit Deutschlands und der USA, sowohl in Bezug auf die Automobilindustrie als auch auf die Gesamtwirtschaft, im Bereich Computer und Elektronik sowie für elektrische Ausrüstungen deutlich. Auf die gesamte Wertschöpfungskette bezogen fließen im Bereich elektrischer Ausrüstung im Jahr 2014 mehr importierte als heimische Inputs in die Automobilindustrien und Gesamtwirtschaften der beiden Länder, während bei den direkten Vorleistungen die heimischen Inputs überwiegen.

Die Unterschiede zeigen, dass eine ausschließliche Betrachtung der direkten Verflechtungen zu kurz greift. An Automobilstandorten wie Deutschland oder den USA werden vorrangig Fahrzeuge und komplexe Komponenten hergestellt. Die Herstellung einfacherer Bauteile und insbesondere die Rohstoffgewinnung sowie deren erste Verarbeitung erfolgt dagegen oft in anderen Ländern. Beziehen Hersteller heimische Vorleistungen von ihren Zulieferern, sind in diesen meist auch wiederum importierte Vorleistungen enthalten. Setzt sich also beispielsweise ein deutscher Hersteller zum Ziel, vermehrt heimische direkte Vorleistungen zu beziehen, beispielsweise um Lieferengpässe vorzubeugen, verschiebt sich die Problematik zunächst nur um eine Wertschöpfungsstufe.

Die Nachverfolgung von Fahrzeugkomponenten über die gesamte automobilen Wertschöpfungskette gewinnt mit zunehmenden ökologischen und sozialen Standards an Bedeutung. Gleichzeitig ermöglichen Entwicklungen in der Digitalisierung von Prozessen zumindest technisch die Nachverfolgung in komplexen Produktionsnetzwerken. Kapitel 4.2 und 4.3 gehen auf diesen Aspekt näher ein.

4.1.6 Zentrale Erkenntnisse zu Wertschöpfungsstrukturen

Trotz der teilweise eingeschränkten Aussagekraft hinsichtlich aktueller Entwicklungen durch den hohen Zeitversatz der Analysen, werden strukturelle Charakteristika der etablierten Automobilregimes im Länderver-

gleich deutlich. Die Ergebnisse zeigen, dass Deutschland eine sehr starke Abhängigkeit vom Ausland aufweist. Die direkten Vorleistungsverflechtungen im Zeitverlauf waren für die etablierten Automobilindustrien Deutschland und USA zwischen 2000 und 2014 eher moderat, während die Inputstruktur von Chinas Automobilindustrie eine starke Dynamik aufweist. Die klassische Annahme, dass sich eingespielten Regimen eher langsam und inkrementell verändern, kann hier in Bezug auf die Strukturen der direkten Inputs in die Automobilindustrien bestätigt werden.

Für China zeigt sich ein zunehmender Anteil von direkten Inputs aus der Automobilindustrie selbst (hauptsächlich heimisch) und gleichzeitig eine Abnahme der anderen betrachteten Inputs. Eine mögliche Erklärung wäre eine Verschiebung von einer eher heterogen geprägten Zuliefererstruktur zu reinen Automobilzulieferern, die in der Statistik der Automobilindustrie zugeordnet werden. Im Gegensatz dazu zeigt sich ein umgekehrtes Bild für Deutschland und die USA: tendenziell abnehmende Inputs aus der Automobilindustrie und steigende Inputs aus anderen Sektoren. Eine mögliche Erklärung könnte ein zunehmender Bedarf sehr spezifischer Komponenten für den eher höherklassigen Automobilbau sein.

Als kleines Land im Vergleich zu den USA und China weist Deutschland eine deutlich höhere Abhängigkeit von Importen direkter Vorleistungen auf. Das kann zum einen an den internationalen Netzwerken der deutschen Automobilindustrie liegen, ist aber für ein mittelgroßes Land, das in einem regionalen (hier europäischen) Binnenmarkt eingebettet ist, typisch. Betrachtet man die regionale Herkunft der Inputs in die deutsche Automobilindustrie, zeigt sich, dass viele Vorleistungen aus dem europäischen Ausland kommen. Im Bereich Computer und Elektronik ist die Abhängigkeit Deutschlands von außereuropäischen Handelspartnern besonders hoch, hier werden beispielsweise über zehn Prozent der direkten Inputs aus China importiert.

Die Abhängigkeit verstärkt sich bei Betrachtung der regionalen Herkunft der Vorleistungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Chinas Anteil an den gesamten Vorleistungen aus dem Bereich Computer und Elektronik, die in die deutsche Automobilindustrie fließen ist hier von nur 3 Prozent im Jahr 2000 auf 25 Prozent im Jahr 2014 gestiegen.

Die multiregionale Input-Output-Analyse für den Zeitraum 2000 bis 2014 bildet noch die Phase einer wachsenden Globalisierung ab, während in der Zwischenzeit ein Plateau erreicht zu sein scheint (vgl. Pfaff/Grimm/Clausen 2022). Deutschland als Ganzes aber auch die deutsche Automobilindustrie sind dem Trend gefolgt, immer mehr Wertschöpfungsschritte auszulagern. Die aktuelle Situation der Automobilindustrie mit den Lieferengpässen beispielsweise bei Halbleitern („Chipkrise“) zeigt sehr deutlich die möglichen negativen Auswirkungen der Abhängigkeit von Zulieferern und Importen von Kernkomponenten. Bisher ist die geo-

grafische Abhängigkeit stetig gestiegen, jedoch verdeutlichen konkrete aktuelle Entwicklungen die Risiken und bringen die Thematik zunehmend in den politischen und öffentlichen Diskurs (Bsp. Edler et al. 2020).

4.2 Digitalisierung der Produktion

Die Digitalisierung der Produktion nimmt auch in der Automobilindustrie an Fahrt auf. Der Grad der Umsetzung in den Produktionsstätten von Herstellern und Zulieferern ist weltweit aber auch innerhalb Deutschlands heterogen. Insbesondere Berichte von neuen, hochgradig automatisierten und vollvernetzten Produktionshallen von großen Herstellern oder Zulieferern finden den Weg in die Berichterstattung, z. B. die Tesla Giga Factory in Brandenburg (Frankfurter Allgemeine Zeitung 2022) und das Bosch Halbleiterwerk in Dresden (Ingenieur.de 2021). Eine allgemeine Beschreibung aktueller technologischer Trends in der digitalen Produktion sowie einen Überblick über den Status quo der Umsetzung bietet das im Rahmen dieses Projektes veröffentlichte Arbeitspapier zu Landscape-Veränderungen (Pfaff/Grimm/Clausen 2022).

Die Digitalisierung der Produktion wirkt sich zunehmend auf die relativen Verkaufspreise von Elektroautos aus und kann damit als „indirekter Treiber der Diffusion“ elektrisch betriebener Fahrzeuge verstanden werden (Clausen 2021, 30 ff.). Der sinkende Verkaufspreis wird dabei neben der Digitalisierung durch eine generell einfachere Konstruktion von Elektrofahrzeugen mit deutlich weniger Bauteilen sowie durch Skaleneffekte erklärt. Die gegenwärtig wachsenden Stückzahlen ermöglichen größere Losgrößen und führen so zu sinkenden Preisen. Letztlich offen bleibt aber die Frage, welchen Anteil an den Preissenkungen die Digitalisierung alleine hat.

In allen Fällen ist die Digitalisierung der Produktion mit hohen Investitionen verbunden. Das stellt insbesondere (kleinere) Zulieferer vor starke Herausforderungen. Dabei werden oft der Sinn und das Ziel der Digitalisierung in der Produktion von Betrieben nicht vollständig erkannt (Ergebnis aus einem Experteninterview). Das schlägt sich auch in einem weit verbreiteten Mangel an klar formulierten Zielen nieder (Deloitte 2022b). Die Konsequenz aus mangelnder Digitalisierung ist hingegen ein zukünftiger Wettbewerbsnachteil.

Monetär messbare positive Effekte durch die Digitalisierung der Produktion werden insbesondere für die Themenbereiche Entwicklungszeit, Herstellungskosten, Beschäftigungsbedarf, Qualität und Energiebedarf erwartet. Tabelle 5 zeigt eine Auswahl analysierter Studien und die explizite Nennung der Themen, sowie eine Auswahl konkreter Vorteile durch Umsetzung von Digitalisierungs- und Automatisierungskonzepten.

Tabelle 5: Positive Effekte durch Digitalisierung der Produktion, Nennung konkreter in der Literatur

| Quelle | Entwicklungszeit | Herstellungskosten | Beschäftigungsbe- | Qualität | Flexibilisierung | Energiebedarf | Themenauswahl |
|--|------------------|--------------------|-------------------|----------|------------------|---------------|---|
| Smarte Fabrik – Digitalisierung und Automatisierung (Fraunhofer IWU 2021) | | | | X | X | X | Automatisierte Qualitätskontrollen, Analyse von Energiesparmaßnahmen, gestiegene Liefersicherheit, verbesserte Ergonomie |
| Digitalization of the System of Data Analysis and Collection in an Automotive Company (Pop 2020) | | X | | X | | | Durchschnittlich 25 Prozent Prozesskostenreduktion, Grad der Kundenzufriedenheit und Traceability steigen |
| Automobile Wertschöpfung 2030 /2050 (Hartmann et al. 2019) | | | X | X | X | | Flexibilität von Produktionsprozessen, Effizienzsteigerung, Senkung der Lagerhaltung |
| Digitalisierung in der Automobilproduktion (Fraunhofer IFF 2018) | | | X | X | | | Sichtkontrolle durch Mitarbeiter entfällt, Transparenz in der Produktion (bspw. durch RFID-Tags) wird erhöht |
| The Digitalisation of the UK Automotive Industry (KPMG 2017) | X | X | | X | X | | Predictive Analytics, Digital Twins zur Produktionsflussoptimierung, reduzierte „Time-to-Market“ |
| Automobilproduktion im Zeitalter der Digitalisierung (Dunckern 2017) | | X | | X | | | Kosten- und Zeitersparnisse in der Planung, robustere Prozesse, Monitoring durch Smart Devices |
| Manufacturing 4.0 (Deloitte 2016) | | X | | X | X | X | Entfall Hardwarekosten im Anlaufmanagement, intelligentes Energiemanagement, Flexibilität durch Montageanweisungen über Smart Watches |
| Wie die Autoindustrie die Chancen der Digitalisierung richtig nutzt (Accenture 2016) | | X | | X | | | Verbesserte Bedarfsplanung, Transparente Lieferketten, frühzeitige Identifikation von Risiken |

Quelle: eigene Darstellung

Die Digitalisierung der Produktion wird in den Unternehmen der Automobilindustrie teils noch eher kleinteilig und mit direktem Bezug zu einzelnen Einsparpotenzialen gedacht. Innerhalb der Umsetzung eines Gesamtkonzeptes einer vernetzten Produktion können sich auch zusätzliche Verbesserungspotenziale im Zusammenspiel verschiedener Maßnahmen ergeben, beispielsweise wenn Maschinen untereinander kommunizieren und ihre Arbeitsschritte aufeinander abstimmen. Dabei ist heute noch nicht vollständig abzusehen, was zukünftige Entwicklungen ermöglichen. Deutlich wird aber, dass das Ausschöpfen von Optimierungspotenzialen in der Produktion in Zukunft wohl noch umfangreicher auf einer digitalen Produktion fußen wird (Ergebnis aus Experteninterviews).

Die Flexibilisierung der Produktion steht aktuell im Vordergrund der strategischen Überlegungen betroffener Unternehmen, um sich für die unsichere Zukunft der automobilen Produktion zu wappnen. Während im Bereich der Hersteller, insbesondere im Volumenmarkt, auf Standardisierung und modulare Baukasten gesetzt werden kann, ist im Bereich der Zulieferer die kurzfristige Umstellung der Produktion und das flexible Handling von unterschiedlichen Losgrößen zunehmend wichtig. Die teils schon in der Vergangenheit weit fortgeschrittene Automatisierung der Produktion baute dabei meist auf planbaren Aufträgen und konstant großen Losgrößen auf. Dieses Paradigma ändert sich nun deutlich und ein hoher Grad an Automatisierung bleibt nur dann sinnvoll, wenn diese auch flexibel gesteuert und angepasst werden kann (Ergebnis aus Experteninterviews).

Der Neubau von Produktionshallen, die von vornherein auf die Vernetzung ausgerichtet sind, kann die Umsetzung erleichtern. Dagegen stellen bestehende Produktionsstätten mit ihren individuellen örtlichen Begebenheiten produzierende Unternehmen oft vor Herausforderungen (Ergebnisse aus Experteninterviews). Etablierte bauliche Strukturen sowie die mögliche Störung der laufenden Produktion am Standort erschweren die Modernisierung im Bestand. Der Neubau von Produktionsstätten statt der Modernisierung bestehender Produktionsstätten gewinnt damit an Attraktivität. Gleichzeitig sind Firmen, insbesondere in Deutschland, oft in gewachsene Industriestrukturen und damit besiedelte Gebiete eingebettet, die nicht immer Platz für neue Produktionsstätten bieten.

Wie bereits in Abschnitt 2.2 zu Verlagerungsaktivitäten von Herstellern angesprochen, nimmt die Zahl von Herstellungsstandorten in Osteuropa in den letzten Jahren zu. Zum einen bieten die Standorte eine gute Infrastruktur sowie den erforderlichen Platz, zum anderen werden industrielle Vorhaben oftmals auch finanziell durch europäische Strukturprogramme gefördert, sodass die hohen Investitionen in ein Greenfield-Werk auf dem aktuellsten Stand der Technik besonders attraktiv werden, insbesondere

im Vergleich zu Modernisierungsmaßnahmen in bestehenden Standorten (Ergebnis aus Experteninterviews).

Trotzdem gibt es auch gegensätzliche Beispiele. So hat der Bau der „Factory 56“ von Mercedes-Benz mit Grundsteinlegung 2018 in Sindelfingen (nahe Stuttgart) begonnen. Die neue Produktionshalle, in der „flächendeckend auf innovative Technologien und Prozesse“ gesetzt wird, soll der Inbegriff der modernen Produktion bei Mercedes-Benz werden und gleichzeitig als Blaupause für neue und bestehende Produktionsstätten dienen. Die Zielsetzung liegt dabei auf höherer Flexibilität und Effizienz in der Fahrzeugmontage (Daimler AG 2022).

Auch Volkswagen plant die Transformation des Standorts Wolfsburg, unter anderem durch den Aufbau einer neuen, zukunftsfähigen Produktionsstätte außerhalb des bestehenden Werksgeländes. Die Vision für 2030, auch bekannt unter dem Projektnamen „Trinity“, sieht vor, dass zwei E-Fertigungen und ein modernes Forschungs- und Entwicklungszentrum am Standort entstehen sollen (Volkswagen AG 2021a).

Das Monitoring von Emissionen und anderen Kennzahlen wie dem Ressourcenverbrauch in der Produktion gewinnt in Hinblick auf den Umweltschutz in der Automobilproduktion an Bedeutung. Das Erheben der benötigten Daten entlang der Wertschöpfungskette setzt dabei einen gewissen Grad an Digitalisierung in der Produktion der beteiligten Unternehmen voraus. Oftmals ist selbst dieser Grad an Digitalisierung, der noch deutlich unter einer vollvernetzten und damit flexibel steuerbaren Produktion liegt, nicht vorhanden. Das gilt insbesondere für kleinere Zulieferer, die die entsprechenden Berichtspflichten zum aktuellen Zeitpunkt nur teilweise einhalten können (Ergebnis aus Experteninterviews). Hier besteht die Gefahr, perspektivisch aus der Wertschöpfungskette ausgegliedert zu werden.

Mit der zunehmenden Digitalisierung der Produktion aber auch der unternehmensinternen Prozesse sowie der Fahrzeuge selbst wird der angemessene Schutz der Systeme essenziell. Eine Sicherheitslücke bringt hohe Risiken mit sich und kann zu massiven finanziellen Einbußen und Imageschäden führen. Die Cybersicherheit und die entsprechenden Stellen in den Unternehmen nehmen damit eine neue Stellung ein. Auch in diesem Teilbereich zeigen sich deutliche Unterschiede im Entwicklungs- und Umsetzungsstadium zwischen den Unternehmen in der Automobilindustrie (McGinnis et al. 2020).

Die Cybersicherheit ist dabei nicht nur für jedes einzelne Unternehmen relevant. Risiken und Schwachstellen in einem Unternehmen können sich über das zunehmend integrierte und vernetzte automobiler Ökosystem auf andere Beteiligte auswirken. Insbesondere große Unternehmen mit umfangreicheren Ressourcen sollten daher eine proaktive Rolle in der Industrie einnehmen und Informationen und Lösungen an andere, weniger

ausgestattete Unternehmen weitergeben, so Jeff Massimilla (Cyber Security GM) im Interview mit Deloitte (McGinnis et al. 2020).

Der 2014 gegründeten Plattform Auto-ISAC (Automotive Information Sharing and Analysis Center) sind bereits eine Vielzahl namhafter Automobilhersteller wie BMW, Ford, GM, Mercedes-Benz, Volkswagen, sowie Zulieferer wie Bosch, Continental aber auch Qualcomm und Intel beigetreten (Auto-ISAC 2022). Auto-ISAC ist dazu konzipiert, genau die angesprochene Weitergabe von Informationen zu begünstigen, Best Practices zu veröffentlichen und in akuten Fällen von Angriffen oder Ausfällen den Austausch zu ermöglichen. Die Weiterentwicklung der gesamten Branche und die Cybersicherheit in allen Stufen der automobilen Wertschöpfung stehen dabei im Fokus und werden zunehmend auch über Unternehmensgrenzen hinweg konzipiert.

4.3 Umweltschutz in der Automobilproduktion

Umweltschutz im Automobilbereich wird in vielen Diskursen auf wenige Umweltkategorien (allen voran THG-Emissionen und ggf. zusätzlich Stickoxide und Feinstaub) und die Nutzungsphase von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren (ICEV) beschränkt. Dies überrascht nicht, da einerseits der Klimawandel eines der drängendsten Umweltprobleme auf globaler Ebene darstellt, und andererseits ca. drei Viertel der THG-Emissionen über den Fahrzeuglebenszyklus eines ICEV auf die Nutzungsphase entfallen (Gensch et al. 2021). Anstrengungen zur Reduktion der negativen Umweltwirkungen, insbesondere THG- und Schadstoffemissionen, von Pkws haben sich daher bisher hauptsächlich auf die Nutzungsphase konzentriert.

Dabei ist die Automobilproduktion ebenfalls von beträchtlichen negativen Umweltwirkungen begleitet. So ergaben unsere Berechnungen mit der multiregionalen Input-Output-Datenbank EXIOBASE v.3.8.2 (vgl. Stadler et al. 2018), dass die kumulierten THG-Emissionen¹⁰ der Automobilproduktion inklusive aller Vorketten im Jahr 2015¹¹ einen Anteil von ca.

10 GWP100-Werte wurden dem fünften Sachstandsbericht des IPCC entnommen: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf; Gewichtungsfaktoren für HFCs und PFCs wurden basierend auf folgender Quelle bestimmt: <https://www.epa.gov/ghgreporting/fluorinated-greenhouse-gas-emissions-and-supplies-reported-ghgrp#production>.

11 Aufgrund der aufwändigen Zusammenstellung und anschließender Harmonisierung multiregionaler Input-Output-Datenbanken beziehen sie sich häufig auf länger zurückliegende Basisjahre. Die ursprüngliche Exiobase-3-Datenreihe endet 2011, aber neuere Tabellen wurden mit Hilfe von makroökonomischen und anderen aggregierten Daten geschätzt. Dabei beinhalten die Tabellen nach 2015 wenig neue physische Rah-

6 Prozent an den Gesamtemissionen Deutschlands hatten. Einen ähnlichen Anteil an der deutschen Gesamtmenge hat die Rohstoffinanspruchnahme¹² der Automobilindustrie. Bei der Humantoxizität und den Feinstaubemissionen sind es hingegen deutlich höhere Werte von ca. 18 Prozent bzw. ca. 13 Prozent.

In allen Umweltkategorien entstehen über 90 Prozent der Wirkungen in Vorketten, die beispielsweise die Bereitstellung von Strom und der verbauten Metalle umfassen. Auch wenn die Automobilindustrie somit keinen direkten Einfluss auf die so entstehenden Umweltwirkungen hat, kann sie über ihre Lieferketten Einfluss darauf nehmen. Die deutschen Hersteller sind in diesem Bereich bereits aktiv (BMW Group 2022; Mercedes-Benz Group 2022a; Volkswagen AG 2022c).

Ein Blick auf produktionsbasierte Umweltwirkungen wird mit der zunehmender Diffusion batterieelektrischer Fahrzeuge (BEV) insbesondere hinsichtlich der THG-Emissionen wichtiger, da diese im Falle von BEVs einen größeren Anteil (aktuell etwa die Hälfte¹³) der Emissionen über den Fahrzeuglebenszyklus ausmachen (vgl. Glöser-Chahoud et al. 2021). Absolut gesehen weisen Fahrzeuge mit batterieelektrischem Antrieb auch im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor deutlich höhere produktionsbasierte Emissionen auf.

In Abbildung 15 sind die produktionsbasierten Emissionen der beiden Fahrzeugtypen (ohne Betrachtung der Nutzungsphase und Entsorgung, also „cradle to gate“) exemplarisch für vergleichbare Fahrzeuge der Kompaktklasse dargestellt. Wie in Abbildung 15 zu sehen ist, entfällt ein Großteil der produktionsbasierten THG-Emissionen von batterieelektrischen Fahrzeugen auf die Herstellung der Antriebsbatterien.

Die hierfür verwendeten Daten stammen aus einer Studie von Agora Verkehrswende (2019) und entsprechen daher nicht unbedingt aktuellen Werten. So wird von Treibhausgasemissionen bei der Herstellung der Batterien (cradle to gate) von ca. 145 kg CO₂-Äquivalente pro kWh Batteriekapazität und bei einem Wagen der Kompaktklasse von einer Batteriekapazität von 35 kWh ausgegangen. Jüngere Studien gehen jedoch von produktionsbedingten Emissionen aus, die eher im Bereich von 120 kg CO₂-Äquivalente pro kWh Batteriekapazität oder, je nach Produktionsstandort, sogar darunter liegen (z. B. Aichberger/Jungmeier 2020; Trans-

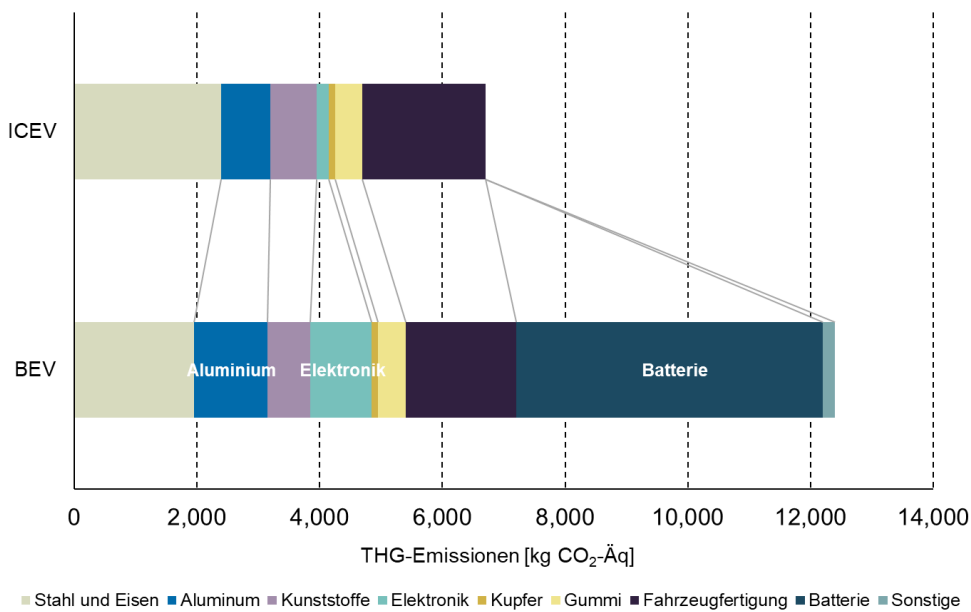
mendaten, weswegen die Tabelle von 2015 für die Berechnung gewählt wurde. Nähere Informationen unter <https://zenodo.org/record/3583071>.

12 Die übrigen Umweltkategorien entsprechen den in der Better Regulation Toolbox #66 der Europäischen Kommission definierten, sind aber jeweils in ungewichteten Masseneinheiten gemessen: https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/br_toolbox_-_nov_2021_-_chapter_8.pdf.

13 Die genaue Höhe und Verteilung der Emissionen hängt von einigen Parametern und Annahmen ab, die nicht in allen Studien transparent dargestellt werden, wie beispielsweise die Kapazität und der Produktionsort der Batterie, ihre Zellchemie, der Ort der Nutzung des Fahrzeugs und der entsprechende Strommix.

port & Environment 2020). Wenn aber gleichzeitig von einer größeren Batteriekapazität (40 bis 50 kWh) selbst bei Fahrzeugen der Kompaktklasse ausgegangen wird, so erscheinen die ca. 5000 kg CO₂-Äquivalente pro Batterie als plausibler Wert für den Vergleich.

Abbildung 15: THG-Emissionen der Fahrzeugherstellung von ICEVs und BEVs am Beispiel von Fahrzeugen der Kompaktklasse



Quelle: eigene Darstellung auf Basis von Agora Verkehrswende (2019)

Die relative Höhe und Art der spezifischen Emissionen der Batterieherstellung sind maßgeblich von ihrer Zellchemie und den Herkunftsorten ihrer Rohstoffe bzw. Komponenten abhängig. Letztere sind teils sehr heterogen hinsichtlich der spezifischen Umweltprofile ihrer Produktionsstätten, hauptsächlich aufgrund des jeweils unterschiedlichen Energiemixes (vgl. Degen/Schütte 2022). Die Umweltbilanz der Antriebsbatterien wird zudem davon beeinflusst, ob ein Recycling am Ende ihrer Lebensdauer vorgesehen ist und entsprechend in die Umweltbewertung einfließt.

Für batterieelektrische Fahrzeuge werden aktuell Lithium-Ionen-Batterien mit allen gängigen Chemien (Lithium-Nickel-Mangan-Kobalt-Oxide – NMC, Lithium-Nickel-Kobalt-Aluminium-Oxide – NCA, Lithium-Eisenphosphat – LFP und Lithium-Manganoxid – LMO) verwendet (Thielmann et al. 2020). In den vergangenen Jahren hat sich der Marktanteil von Batterien

des NMC-Typs, deren Kathode aus Lithium-Nickel-Mangan-Kobalt-Oxiden in unterschiedlichen Zusammensetzungen besteht, vergrößert.

Aufgrund der relativ hohen Energiedichte dieses Batterietyps wird sich dieser Trend wahrscheinlich mittelfristig fortsetzen. Da aber gleichzeitig ein steiler Anstieg des Kobaltpreises zu beobachten ist und im Hauptabbau land Kongo Menschenrechtsverletzungen weit verbreitet sind, werden zunehmend kobaltärmere Zusammensetzungen verwendet (Transport & Environment 2020; Vekic 2020).

So hatte der ursprünglich am weitesten verbreitete Typ NMC111¹⁴ im Jahr 2020 nur noch einen Marktanteil von etwa 25 Prozent, während die neueren chemischen Zusammensetzungen mit einem höheren Nickelanteil (NMC622, NMC433 und NMC532) zusammen etwa 45 Prozent und der Typ mit dem aktuell höchsten Nickelanteil (NMC811) etwa 10 Prozent des Marktes bedienten. Zudem wird für die kommenden Jahre ein deutlich steigender Anteil des NMC811-Typs und später auch dessen Weiterentwicklung NMC9.5.5 prognostiziert (Statista 2021b).

Dabei ist von einer Reduktion der produktionsbedingten Umweltwirkungen auszugehen. Beispielsweise schätzen Emilsson/Dahlöf (2019) den spezifischen Ausstoß von THG bei der Produktion des NMC622-Typs um 11 Prozent geringer als beim NMC111-Typ ein. Der NMC811-Typ weist im Vergleich zu NMC111 14 Prozent geringere produktionsbedingte THG-Emissionen auf.

Die weitere Entwicklung der verwendeten Zelltypen und die damit verbundenen Umweltwirkungen sind schwer abzusehen. Beispielsweise überraschte Tesla 2021 mit der Ankündigung, in seinen Basismodellen und stationären Energiespeichern künftig LFP-Batterien zu verwenden (Kopp 2021). Diese Zelltypen enthalten kein Kobalt und Mangan, wenig bis kein Nickel, und sind dadurch günstiger und stabiler. Allerdings erreichen sie bisher nicht die Energiedichten von NMC- oder NCA-Typen (Vekic 2020). Hinsichtlich der Umweltwirkungen schneiden LFP-Batterien jedoch tendenziell besser als NMC-Typen ab (Dunn et al. 2015).

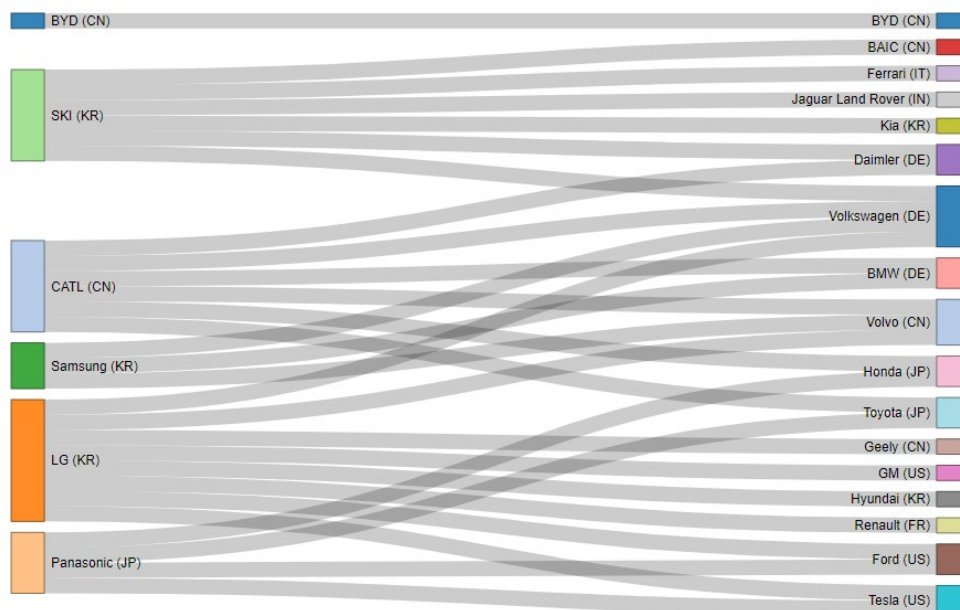
Künftige Entwicklungen, darunter auch der Einsatz von Hochsilizium-Anoden und Festkörperelektrolyte, könnten also neben technischen oder monetären Verbesserungen auch zu Verbesserungen in der Umweltbilanz der Batterien führen.

Neben der Zellchemie kann auch der Produktionsstandort der Batteriezellen einen großen Einfluss auf ihre produktionsbasierten THG-Emissionen haben. Je nach lokalem Energiemix variieren die Emissionen für die Batterieproduktion deutlich. Werden Batterien im aktuellen europäischen Energiemix gefertigt (bei unveränderten Rohstoffquellen), so sind

14 Die Ziffern benennen das Massenverhältnis aus Nickel (hier abgekürzt mit N), Mangan (M) und Kobalt (C). Im Fall von NMC111 ist es 1:1:1, d.h. es werden gleiche Mengen an Nickel, Mangan und Kobalt verwendet.

die produktionsbedingten Emissionen um ca. einem Drittel niedriger als bei einer Fertigung im aktuellen chinesischen Energiemix (Transport & Environment 2020). Auch im Vergleich zu den Herstellerländern Japan und Korea ist eine europäische Batterieproduktion theoretisch emissionsärmer, da die Stromerzeugungssektoren der beiden Länder aktuell höhere THG-Intensitäten aufweisen als der Durchschnitt der EU (IEA 2020a, 2020b; Statista 2021a).

Abbildung 16: Beziehungen zwischen Batterielieferanten und OEM im Jahr 2019



Quelle: eigene Darstellung auf Basis von Yang/Jin (2019)

Wie eine Übersicht über die Lieferbeziehungen der größten Batterieproduzenten und OEMs aus dem Jahr 2019 zeigt, hatten die meisten von deutschen Herstellern verbauten Batterien zu diesem Zeitpunkt ihren Ursprung in China oder Südkorea (siehe Abbildung 16). Die deutschen Hersteller setzen jedoch zunehmend auf nähere Bezugsquellen, entweder aus europäischen Werken asiatischer Hersteller oder von europäischen Produzenten, die die OEMs akquiriert haben, mit denen sie in Kooperationen getreten sind, Joint Ventures gegründet haben oder an welchen sie anderweitig beteiligt sind. So planen die deutschen Hersteller europäische oder sogar deutsche Produktionskapazitäten von mehreren hundert Gigawattstunden pro Jahr (Beutnagel 03.12.2021). Ein solcher Ausbau

wird wahrscheinlich mit einer Reduktion der produktionsbasierten THG-Emissionen und anderer Umweltwirkungen einhergehen.

Hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang insbesondere der schwedische Batteriehersteller Northvolt, in den u. a. die Volkswagen AG eine beträchtliche Summe investiert hat (Volkswagen AG 2021c). Northvolt stellt seine Batterien mit 100 Prozent erneuerbarem Strom her und arbeitet zudem an der energetischen und stofflichen Optimierung seiner Produktionsprozesse, sowie an Recyclingkonzepten für ausgediente Batterien (Schmitz-Normann 2021). Mit solchen Produktions- und Recyclingkonzepten werden produktionsbasierte Emissionen von 60 kg CO₂-Äquivalente/kWh und darunter erwartet (Transport & Environment 2020), womit mehr als eine Halbierung der produktionsbedingten Emissionen der Batterieherstellung gegenüber dem Status Quo möglich wäre.

Über die Betrachtung der Batterieproduktion hinausgehend kommen Gensch et al. (2021) zu dem Ergebnis, dass die folgenden drei Strategien zentral für THG-Emissionsminderungen in der Automobilindustrie sind:

1. Steigerung der Energie- und Materialeffizienz zur Reduktion der Nachfrage nach emissionsintensiven Basismaterialien (Stahl, Nichteisen-Metalle, Kunststoffe);
2. Beteiligung an der Entwicklung von klimaneutralen Technologien zur Herstellung von Basismaterialien;
3. Intensivierung des Recyclings auch im globalen Maßstab, da die Sekundärrohstoffbereitstellung deutlich geringere THG-Intensitäten als die Primärroute aufweist.

Zusätzlich zu dem darin enthaltenen THG-Emissionsminderungspotenzial sind über die drei Strategien auch Reduktionen von anderen Umweltwirkungen möglich, insbesondere, wenn die Nachfrage nach Primärrohstoffen gesenkt wird.

5 Fazit

Die Trends Digitalisierung, Globalisierung und Klimaschutz beeinflussen die Automobilindustrie in allen Wertschöpfungsstufen. Dabei setzen sich nicht mehr nur Nischen-Akteure mit den daraus resultierenden Herausforderungen und Chancen sowie der entsprechenden Technologie-Entwicklung auseinander, sondern auch das Regime der Automobilindustrie.

Die Digitalisierung der Produktion schreitet voran; auf die Erarbeitung automobiler Geschäftsmodelle durch Tech-Firmen reagieren die traditionellen Automobilhersteller und -zulieferer beispielsweise mit eigenen IT-Abteilungen und Kooperationen. Regime-Akteure sind Teil von über Jahrzehnten gewachsenen globalisierten Produktionsnetzwerken und internationalen Absatzmärkten, in welche Nischen-Akteure verschiedener Herkunft zunehmend eintreten. Die direkte Elektrifizierung des Antriebsstrangs von Pkw als zentrale Klimaschutzstrategie prägt mittlerweile die Produktankündiger der etablierten Akteure im Regime.

Die Betrachtung der genannten großen Trends in den drei Themengebieten Märkte und Akteure, Produkte und Geschäftsmodelle und Produktion im Rahmen des vorliegenden Berichts zeigt die starke Überlappung der Entwicklungen auf. Zugleich lassen sich auch die drei Themengebiete nicht immer klar trennen. Die in Pfaff/Grimm/Clausen (2022) skizzierten Wechselbeziehungen zwischen der Digitalisierung, Globalisierung und dem Klimaschutz sind vielfältig und gelten gleichermaßen für Nischen- und Regime-Akteure.

Märkte und Akteure

Die Analyse der für das deutsche Automobilregime relevanten Märkte und Akteure, aber auch der Vorleistungsketten in der Produktion zeigt insbesondere die hohe Abhängigkeit der deutschen Automobilindustrie vom Ausland auf. Diese gilt sowohl für den Pkw-Absatz als auch für die Ansiedlung von Produktionsstätten und Importen von Zulieferprodukten und anderen Vorleistungen. Insbesondere das Risiko internationaler Lieferketten wird aktuell durch vielfältige Lieferschwierigkeiten, beispielsweise bei Halbleitern, offensichtlich.

Der für die deutschen Akteure profitable stetige Aufwärtstrend der Globalisierung der vergangenen Dekaden scheint sich dabei nicht unbedingt fortzusetzen. Die aggregierten Kennzahlen zum Außenhandel (Pfaff/Grimm/Clausen 2022) sowie die internationalen Absatzzahlen stagnieren und die Dynamik der Verlagerung von Produktionsstätten verändert sich.

Die Anteile elektrisch betriebener Pkw am Gesamtfahrzeugabsatz nehmen deutlich zu. Hier überholten die EU27 Staaten inklusive Deutschland China hinsichtlich des Anteils von Hybriden (HEV), Plug-in-Hybriden (PHEV) und batterieelektrischen Fahrzeugen (BEV) am Gesamtfahrzeug-

absatz im Jahr 2020; die USA bleiben hingegen zurück. Für Deutschland scheinen die Instrumente der finanziellen Förderung für alternative Antriebe anzuschlagen, genauso wie die vorgegebenen Emissionsziele, die sich zunehmend, wenn auch zwischen den Hersteller ungleich, in der von den deutschen Fahrzeugherstellern angebotenen und angekündigten Produktpalette widerspiegeln.

Die deutschen Hersteller weisen 2020 auf dem europäischen Markt hohe Anteile am BEV-Absatz auf, in China und den USA können sie mit unter 10 Prozent am Absatz bislang keine besondere Marktmacht demonstrieren. Höhere Anteile zeigen sie hinsichtlich des PHEV-Absatzes auf allen Märkten, wenngleich PHEVs eher als Übergangstechnologie und nicht als Produkt für eine langfristige Elektrifizierungsstrategie einzuordnen sind. Tesla, als ehemaliger Nischen-Akteur, zeigt im Vergleich einzelner Hersteller auf allen Märkten die vergleichsweise höchste Präsenz im BEV-Segment.

Produkte und Geschäftsmodelle

Neben dem Eintritt neuer Fahrzeughersteller in den Automobilmarkt positionieren sich zunehmend Nischen- sowie etablierte Akteure aus dem Bereich Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) und Elektronikindustrie entlang der automobilen Wertschöpfungskette. Veränderungen des etablierten automobilen Ökosystems sind dabei auf allen Stufen möglich und teilweise bereits sichtbar. Vorteile bei der Erschließung neuer automobiler Umsatzpools über begleitende Services und Infotainment werden dabei aktuell eher den IKT-Akteuren zugeschrieben.

Insbesondere in Hinblick auf die Verlagerung von reinen Produkt- zu Serviceangeboten, eng verknüpft mit der zunehmenden Automatisierung der Fahrfunktionen, ist die mittel- bis langfristige Entwicklung von hoher Unsicherheit geprägt. Die genaue Technologiekonfiguration sowie der Zeitpunkt des breiten Markteintritts autonomer Fahrzeuge sind aktuell unklar. Etablierte Hersteller und Zulieferer, Regime-Akteure aus der IKT-Industrie und Newcomer arbeiten in sektor- und grenzübergreifenden Kooperationen zusammen, sowohl um autonome Fahrfunktionen zu entwickeln als auch um autonome Mobilitätsdienstleistungen zu testen.

Während hier insbesondere die technologischen Lösungen im Fokus stehen, zeigen verschiedene Studien mögliche zukünftige Hemmnisse durch die mangelnde Akzeptanz der Fahrzeuge und Angebote vonseiten der Konsumenten. Prospektive Modellierungen deuten auf eine weiterhin hohe Relevanz von Pkw im Privatbesitz hin. Die Potenziale autonomer Mobilitätssysteme für den Umweltschutz werden eher gering eingeschätzt: ein möglicher leichter Rückgang des Fahrzeugbestands durch die bessere Auslastung von Fahrzeugen steht steigender Fahrleistung

gegenüber. Komfort, sowie die vermeintliche Umweltfreundlichkeit elektrifizierter autonomer Mobilität könnten Gründe hierfür sein.

Produktion

Der lokalen Emissionsfreiheit elektrifizierter Fahrzeuge stehen bekanntermaßen hohe Emissionen in der Produktion gegenüber. Alternative Batterietechnologien werden zur Eindämmung negativer ökologischer und sozialer Wirkungen und zur Senkung der Produktionskosten entwickelt. Der Aufbau von Batteriefertigungen an Standorten mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien am Strommix, beispielsweise Schweden, verbessert die Klimabilanz des batterieelektrischen Antriebsstrangs. Die negativen Umweltauswirkungen sind dabei oft in den frühen Stufen der Wertschöpfungskette zu verorten und damit für die OEMs nur indirekt steuerbar. Die Komplexität globaler, automobiler Produktionsnetzwerke sowie die mangelnde Digitalisierung vieler Akteure erschwert das Monitoring.

Auch innerhalb Deutschlands sind deutliche Unterschiede im Grad der Umsetzung digitaler und vernetzter Produktionskonzepte zu sehen. Die OEMs sind eher weiter fortgeschritten, während insbesondere kleinere Zulieferer zurückliegen. Auch aufgrund der vorgeschriebenen Berichtspflichten kann die mangelnde Digitalisierung negative Folgen haben. Daneben stehen die kostenwirksamen Vorteile der digitalen Produktion, die durch verkürzte Entwicklungszeiten, geringere Herstellungskosten, geringeren Beschäftigungsbedarf, höhere Qualität, niedrigeren Energiebedarf und insbesondere höhere Flexibilität realisiert werden.

Die Gründung und der Bau neuer Greenfield-Werke erleichtert die Umsetzung der Konzepte der digitalen und vernetzten Produktion. Die Modernisierung bestehender Produktionsstätten kann hingegen als schwieriger erachtet werden.

Entwicklungspfade

Sowohl die Digitalisierung, die Globalisierung als auch der Umweltschutz üben simultan einen hohen Veränderungsdruck auf die Automobilindustrie aus. Neben der Nische, die die Potenziale für einen Markteintritt längst erkannt und sich mit verschiedenen Konzepten etabliert hat, zeigt sich die unvermeidliche Auseinandersetzung auch in den Aktivitäten der Regime-Akteure.

Dabei sind die Elektrifizierung des Antriebsstrangs und die zunehmende Beachtung von sozialen und ökologischen Aspekten in den Lieferketten auch in der Umsetzung angekommen. Die Diffusion und Weiterentwicklung erfordert weiterhin ein hohes Engagement, der grobe Entwicklungspfad ist jedoch abgesteckt.

Die Globalisierung, oft als unterliegende Entwicklung und kontinuierlicher Wachstumsmotor verstanden, bewegte sich in den letzten Jahren eher auf ein Plateau zu, was eine simple Trendfortschreibung erschwert.

Die zukünftigen Dynamiken im globalen Automobilproduktions- und Absatzmarkt sind deshalb schwer abzusehen.

Im Bereich der Digitalisierung müssen drei grundsätzliche Berührungspunkte mit der Automobilindustrie unterschieden werden. Die Digitalisierung und Vernetzung der Produktion stellt zwar Herausforderungen in der Umsetzung dar, die entsprechenden Konzepte und Technologien bestehen jedoch bereits. Die Automatisierung der Fahrfunktionen schreitet technologisch voran, die zukünftige Ausgestaltung eines sicheren und umweltfreundlichen Mobilitätssystems sowie die gesellschaftliche Akzeptanz sind aber noch nicht abzusehen.

Im Bereich der Digitalisierung der Geschäftsmodelle wird letztendlich viel diskutiert und Konzepte werden entwickelt. Hinsichtlich des Ausmaßes der Beteiligung neuer Akteure, der Verschiebung der internationalen Innovations- und Beschäftigungsstandorte sowie der Rolle bzw. des Zusammenspiels mit der etablierten Automobilindustrie ist die mögliche Konfiguration einer neuen automobilen Wertschöpfungskette weiterhin nicht vorauszusagen.

Literatur

Accenture (2016): Wie die Autoindustrie die Chancen der Digitalisierung richtig nutzt.

http://www.garagenvision2025.ch/download/automobilwoche_wie_die_autoindustrie_chancen_der_digitalisierung_richtig_nutzt.pdf (Abruf am 13.1.2022).

Agora Verkehrswende (2018): Die Fortschreibung der Pkw-CO₂-Regulierung und ihre Bedeutung für das Erreichen der

Klimaschutzziele im Verkehr. [https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2017/Klimaschutzszenarien/Agora_Verkehrswende_Pkw-CO₂-Regulierung_web.pdf](https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2017/Klimaschutzszenarien/Agora_Verkehrswende_Pkw-CO2-Regulierung_web.pdf) (Abruf am 13.1.2022).

Agora Verkehrswende (2019): Klimabilanz von Elektroautos.

Einflussfaktoren und Verbesserungspotenzial. https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2018/Klimabilanz_von_Elektroautos/Agora-Verkehrswende_22_Klimabilanz-von-Elektroautos_WEB.pdf (Abruf am 13.1.2022).

Aichberger, Christian / Jungmeier, Gerfried (2020): Environmental Life Cycle Impacts of Automotive Batteries Based on a Literature Review. In: Energies 13, H. 23, S. 6345.

Auto-ISAC (2022): Automotive information sharing and analysis center. <https://automotiveisac.com/> (Abruf am 27.1.2022).

Becker, Joachim (2021): Chauffeur für alle. In: Süddeutsche Zeitung, 22.3.2021.

Bellan, Rebecca / Korosec, Kirsten / Coldewey, Devin (2022): The best (and weirdest) future car tech at CES 2022.

<https://techcrunch.com/2022/01/07/ces-2022-best-weirdest-car-tech/> (Abruf am 24.1.2022).

Beutnagel, Werner (2021): Zulieferernetzwerke für Stromspeicher. Woher die deutschen Hersteller Batteriezellen beziehen. In: Automobil Produktion, 3.12.2021.

BMW Group (2021): Geliefert wie versprochen: BMW Group liefert einmillionstes elektrifiziertes Fahrzeug aus und erreicht nächsten Meilenstein der Transformation. Pressemeldung.

<https://www.press.bmwgroup.com/deutschland/article/detail/T0362353DE/geliefert-wie-versprochen:-bmw-group-liefert-einmillionstes-elektrifiziertes-fahrzeug-aus-und-erreicht-naechsten-meilenstein-der-transformation> (Abruf am 26.1.2022).

BMW Group (2022): Umwelt- und Sozialstandards.

<https://www.bmwgroup.com/de/verantwortung/unser-fokus/umwelt-und-sozialstandards.html> (Abruf am 31.1.2022).

- Boes, Andreas / Ziegler, Alexander (2021): Umbruch in der Automobilindustrie. Analyse der Strategien von Schlüsselunternehmen an der Schwelle zur Informationsökonomie. Forschungsreport. München: ISF. <https://www.isf-muenchen.de/wp-content/uploads/2021/06/Forschungsreport-Umbruch-in-der-Automobilindustrie.pdf> (Abruf am 23.5.2022).
- Bork, Henrik (2021): Teslas Konstruktionsmethode verbreitet sich in China. In: Konstruktionspraxis, 16.12.2021. <https://www.konstruktionspraxis.vogel.de/teslas-konstruktionsmethode-verbreitet-sich-in-china-a-1081294/> (Abruf am 23.5.2022).
- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2021): Eröffnungsbilanz Klimaschutz. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/220111_eroeffnungsbilanz_klimaschutz.pdf?__blob=publicationFile&v=22 (Abruf am 31.1.2022).
- Bundesregierung (2019): Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG). <https://www.gesetze-im-internet.de/ksg/BJNR251310019.html> (Abruf am 23.5.2022).
- Clausen, Jens (2021): Digitalisierung der Produktion. Elektroautos und serielles Sanieren. CliDiTrans Werkstattbericht. Berlin: Borderstep-Institut. <https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2021/06/AP3-4Digitalisierung-der-Produktion2021-06-10final.pdf> (Abruf am 23.5.2022).
- Clausen, Jens / Olteanu, Yasmin (2020): Tesla als Start-up in der Automobilbranche. Vom Pleitekandidat zum Gamechanger. Working Paper Forschungsförderung 199. Düsseldorf: Hans-Böckler-Stiftung. https://www.boeckler.de/fpdf/HBS-007901/p_fofoe_WP_199_2020.pdf (Abruf am 23.5.2022).
- Clausen, Jens / Olteanu, Yasmin (2021): Neue Akteure in der Automobilbranche. Waymo, Build Your Dreams und Sono Motors. Working Paper Forschungsförderung 204. Düsseldorf: Hans-Böckler-Stiftung. https://www.boeckler.de/fpdf/HBS-007945/p_fofoe_WP_204_2021.pdf (Abruf am 23.5.2022).
- Consumer Technology Association (2022a): About CES (Consumer Electronics Show). <https://www.ces.tech/About-CES.aspx> (Abruf am 21.1.2022).
- Consumer Technology Association (2022b): CES 2022 Innovation Awards Program Categories. <https://www.ces.tech/Innovation-Awards/Categories.aspx> (Abruf am 24.1.2022).

- Continental (2019): Continentals Vision: Nahtlose Mobilität kombiniert autonome Shuttles mit Lieferrobotern.
<https://www.continental.com/de/presse/pressemitteilungen/20190108-ces2019/> (Abruf am 1.2.2022).
- Daimler AG (2022): Factory 56. Mercedes-Benz Cars steigert Flexibilität und Effizienz in der Produktion.
<https://www.daimler.com/innovation/produktion/factory-56.html> (Abruf am 26.1.2022).
- Degen, Florian / Schütte, Marius (2022): Life cycle assessment of the energy consumption and GHG emissions of state-of-the-art automotive battery cell production. In: Journal of Cleaner Production 330, Artikel 129798.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621039731> (Abruf am 23.5.2022).
- Deloitte (2016): Manufacturing 4.0: Meilenstein, Must-Have oder Millionengrab?
https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/operations/DELO-2267_Manufacturing-4.0-Studie_s.pdf (Abruf am 13.1.2022).
- Deloitte (2022a): 2022 Global Automotive Consumer Study. Key findings: Global focus countries. https://www.deloitte-mail.de/custloads/141631293/md_1924990.pdf (Abruf am 27.1.2022).
- Deloitte (2022b): Smart Factory Index: Die deutsche Industrie auf dem Weg zur intelligenten Fabrik.
<https://www2.deloitte.com/de/de/pages/operations/articles/smart-factory-index-deutsche-industrie.html> (Abruf am 26.1.2022).
- digitaltrends (2022): Digital Trends' Top Tech of CES 2022 Awards.
<https://www.digitaltrends.com/features/top-tech-of-ces-2022-awards/> (Abruf am 24.1.2022).
- Dunckern, Christian (2017): Automobilproduktion im Zeitalter der Digitalisierung. In: Hildebrandt, Alexandra / Landhäußer, Werner (Hrsg.): CSR und Digitalisierung. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler, S. 101–113.
- Dunn, J. B. / Gaines, L. / Kelly, J. C. / James, C. / Gallagher, K. G. (2015): The significance of Li-ion batteries in electric vehicle life-cycle energy and emissions and recycling's role in its reduction. In: Energy & Environmental Science 8, H. 1, S. 158–168.

- Edler, Jakob / Blind, Knut / Frietsch, Rainer / Kimpeler, Simone / Kroll, Henning / Lerch, Christian / Reiss, Thomas / Roth, Florian / Schubert, Torben / Schuler, Johanna / Walz, Rainer (2020):
Technologiesouveränität. Von der Forderung zum Konzept.
Perspektiven – Policy Brief 2. Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
<https://www.econstor.eu/bitstream/10419/233463/1/policy-brief-02-2020-de.pdf> (Abruf am 23.5.2022).
- Ehren, Mark (2022): Was Mercedes anders macht als Tesla.
<https://www.tagesschau.de/wirtschaft/technologie/mercedes-tesla-autonomes-fahren-robo-auto-101.html> (Abruf am 1.2.2022).
- Emilsson, Erik / Dahllöf, Lisbeth (2019): Lithium-Ion Vehicle Battery Production. Status 2019 on Energy Use, CO2 Emissions, Use of Metals, Products Environmental Footprint, and Recycling. IVL.
<https://www.ivl.se/download/18.14d7b12e16e3c5c36271070/1574923989017/C444.pdf> (Abruf am 10.3.2022).
- Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union (2019):
Verordnung (EU) 2019/631 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. April 2019 zur Festsetzung von CO2-Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen und für neue leichte Nutzfahrzeuge und zur Aufhebung der Verordnungen (EG) Nr. 443/2009 und (EU) Nr. 510/2011.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex:32019R0631> (Abruf am 23.5.2022).
- Ford (2021a): Argo AI and Ford to launch self-driving vehicles on Lyft Network by End of 2021.
<https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/news/2021/07/21/argo-ai-ford-lyft-network.html#:~:text=End%20of%202021-,Argo%20AI%20and%20Ford%20to%20Launch%20Self-Driving%20Vehicles%20on,%2C%202021%20%7C%20DEARBORN> (Abruf am 9.5.2022).
- Ford (2021b): Ford conducts autonomous vehicle research with DP World.
<https://media.ford.com/content/fordmedia/feu/en/news/2021/12/02/ford-operates-autonomous-vehicle-research-with-dp-world.html> (Abruf am 1.2.2022).
- Foxconn (2022): Smart Open Electric Vehicle Platform.
<https://www.foxconn.com/en-us/products-and-services/event-highlights/strategy-blueprint/electric-vehicle-platform> (Abruf am 15.2.2022).
- Frankfurter Allgemeine Zeitung (2022): Tesla-Fabrik in Brandenburg.
<https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/thema/tesla-fabrik-brandenburg> (Abruf am 26.1.2022).

- Fraunhofer IFF (2018): Digitalisierung in der Automobilproduktion. <https://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2018/Januar/digitalisierung-in-der-automobilproduktion.html> (Abruf am 9.5.2022).
- Fraunhofer IWU (2021): Smarte Fabrik – Digitalisierung und Automatisierung. <https://www.iwu.fraunhofer.de/content/dam/iwu/de/documents/Broschueren/IWU-KB-Smarte-Fabrik.pdf> (Abruf am 26.1.2022).
- Gandenberger, Carsten / Clausen, Jens / Grimm, Anna (2020): Theoretische Grundlagen für die Analyse von Transformationsprozessen auf Branchenebene und Anwendung auf die Automobilbranche.
- Geels, Frank W. (2002): Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. In: Research Policy 31, 8–9, S. 1257–1274.
- Gensch, Carl-Otto / Stuber-Rouselle, Kevin / Hovmand, Sofie / Griebshammer, Rainer (2021): Klimafreundliche Produktion in der Automobilindustrie. Kurzstudie im Auftrag der Bundestagsfraktion Bündnis 90/Die Grünen. Öko-Institut. https://www.gruene-bundestag.de/fileadmin/media/gruenebundestag.de/themen_az/mobilitaet/pdf/Kurzstudie_Klimaschutzstrategien_Automobilindustrie_Endfassung.pdf (Abruf am 9.5.2022).
- Glöser-Chahoud, Simon / Huster, Sandra / Rosenberg, Sonja / Schultmann, Frank (2021): Rücklaufmengen und Verwertungswege von Altbatterien aus Elektromobilen in Deutschland. In: Chemie Ingenieur Technik 93, H. 11, S. 1805–1819.
- Grush, Bern / Niles, John (2018): The End of Driving. Transportation Systems and Public Policy Planning for Autonomous Vehicles. Elsevier.
- Haboucha, Chana J. / Ishaq, Robert / Shiftan, Yoram (2017): User preferences regarding autonomous vehicles. In: Transportation Research Part C: Emerging Technologies 78, S. 37–49.
- Hartmann, Sandra / Hagedorn, Marcus / Harter, Christian / Olschewski, Ingo / Eckstein, Lutz / Baum, Markus / Henzelmann, Torsten / Schlick, Thomas (2019): Automobile Wertschöpfung 2030/2050. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Endbericht. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/automobile-wertschoepfung-2030-2050.pdf?__blob=publicationFile&v=16 (Abruf am 13.1.2022).

- IEA (2020a): Electricity Market Report 2020.
https://iea.blob.core.windows.net/assets/a695ae98-cec1-43ce-9cab-c37bb0143a05/Electricity_Market_Report_December_2020.pdf
(Abruf am 10.3.2022).
- IEA (2020b): Japan, Key Energy Statistics, 2020.
<https://www.iea.org/countries/japan> (Abruf am 10.3.2022).
- Ingenieur.de (2021): Bosch eröffnet eine der modernsten Chipfabriken der Welt.
<https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/industrie40/bosch-eroeffnet-eine-der-modernsten-chipfabriken-der-welt/> (Abruf am 26.1.2022).
- Janson, Matthias (2021): Die E-Ziele der Autobauer.
<https://de.statista.com/infografik/25392/geplanter-anteil-von-elektroautos-an-den-weltweit-verkauften-fahrzeugen-nach-hersteller/>
(Abruf am 26.1.2022).
- Kaltenhäuser, Bernd / Werdich, Karl / Dandl, Florian / Bogenberger, Klaus (2020): Market development of autonomous driving in Germany. In: Transportation Research Part A: Policy and Practice 132, S. 882–910.
- Kharpal, Arjun (2021): China's Baidu wants to launch its driverless robotaxi service in 100 cities by 2030.
<https://www.cnbc.com/2021/11/18/chinas-baidu-wants-to-launch-robotaxi-service-in-100-cities-by-2030.html> (Abruf am 1.2.2022).
- Kinkel, Steffen / Maloca, Spomenka (2009): Produktionsverlagerung und Rückverlagerung in Zeiten der Krise. Fraunhofer ISI, Karlsruhe.
- Kopp, Moritz (2021): Tesla stellt Model 3 SR+ auf LFP-Batterie um – Zellproduktion in den USA geplant.
<https://insidetesla.de/tesla-model-3-standard-range-lfp-batterie/> (Abruf am 31.1.2022).
- KPMG (2017): The Digitalisation of the UK Automotive Industry.
<https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/uk/pdf/2017/04/The-digitalisation-of-the-UK-automotive-industry.pdf> (Abruf am 13.1.2022).
- Krafcik, John (2020): Waymo is opening its fully driverless service to the general public in Phoenix.
<https://blog.waymo.com/2020/10/waymo-is-opening-its-fully-driverless.html> (Abruf am 1.2.2022).
- Kunkel, Christina (2021): Daimler und Bosch bauen doch keine Robotaxis. In: Süddeutsche Zeitung, 10.8.2021.
- Lerch, Christian / Jäger, Angela (2021): Export und Globalisierung in Zeiten des digitalen Wandels. Wie Produkthersteller beim Exportgeschäft von der Digitalisierung profitieren können. Fraunhofer ISI, Karlsruhe.

- LG CNS (2022): LG CNS's AVFMS.
<https://www.lgcns.com/en/Solution/AVFMS> (Abruf am 1.2.2022).
- Lichtenstein, Falk (2019): Gute Nachrichten aus China für deutsche Auto-bauer. CMS. <https://www.cmshs-bloggt.de/rechtsthemen/automotive/automobilbranche-china/> (Abruf am 10.3.2022).
- McGinnis, Tom / Haberman, Tom / Schmith, Steve / Robinson, Ryan (2020): Cyber everywhere: Preparing for automotive safety in the face of cyber threats. An executive interview with GM's Jeff Massimilla. In: Deloitte In-sights, Industry 4.0 in automotive. Digitizing the end-to-end automotive value chain.
- Menon, Nikhil / Barbour, Natalia / Zhang, Yu / Pinjari, Abdul Ra-woof / Mannering, Fred (2018): Shared autonomous vehicles and their potential impacts on household vehicle ownership: An exploratory empirical assessment. In: International Journal of Sustainable Transportation, S. 111–122.
- Mercedes-Benz Group (2022a): Lieferkettenmanagement bei Mercedes-Benz. <https://group.mercedes-benz.com/nachhaltigkeit/menschenrechte/lieferkette/management.html?r=dai> (Abruf am 31.1.2022).
- Mercedes-Benz Group (2022b): Zehn Fakten zu EQ.
<https://group.mercedes-benz.com/innovation/case/electric/10-fakten-eq.html?r=dai> (Abruf am 26.1.2022).
- Mercedes-Benz Mobility (2022): Was wir tun. Unser Portfolio bei Mercedes-Benz Mobility. <https://www.mercedes-benz-mobility.com/de/was-wir-tun/> (Abruf am 1.2.2022).
- Metz, Cade / Conger, Kate (2020): Uber, After Years of Trying, Is Handing Off Its Self-Driving Car Project. In: The New York Times, 7.12.2020.
- Miller, Ronald E. / Blair, Peter D. (2009): Input-output analysis. Foundations and extensions. Cambridge University Press, Cambridge (England), New York.
- Motional (2020): Motional and Lyft Announce Landmark Agreement to Deploy a Fully-driverless Multimarket Rideshare Service.
<https://motional.com/news/motional-and-lyft-announce-landmark-agreement-to-deploy-a-fully-driverless-multimarket-rideshare-service> (Abruf am 9.5.2022).
- Narayanan, Santhanakrishnan / Chaniotakis, Emmanouil / Antoniou, Constantinos (2020): Shared autonomous vehicle services: A comprehensive review. In: Transportation Research Part C: Emerging Technologies 111, S. 255–293.
- OECD (2011): OECD guide to measuring the information society 2011. OECD Publishing, Paris.

- Ohnsman, Alan (2021): Aurora Plots Robotaxi Service With High-Tech Toyota Minivans.
<https://www.forbes.com/sites/alanohnsman/2021/09/20/aurora-plots-robotaxi-service-with-high-tech-toyota-minivans/?sh=55a97a177e54>
(Abruf am 1.2.2022).
- Pfaff, Matthias / Grimm, Anna / Clausen, Jens (2022): Wie beeinflussen Land-scape-Veränderungen die Automobilbranche? Eine Analyse der Auswirkungen von Digitalisierung, Globalisierung sowie Klima- und Umweltschutz. https://www.boeckler.de/de/faust-detail.htm?sync_id=HBS-008234 (Abruf am 1.2.2022).
- Pop, Liviu Dorin (2020): Digitalization of the System of Data Analysis and Collection in an Automotive Company. In: *Procedia Manufacturing* 46, S. 238–243.
- Schaal, Sebastian / Deuber, Lea (2018): Warum deutsche Autobauer in China auf freie Fahrt verzichten. Automesse Peking. In: *Wirtschaftswoche*, 26.4.2018.
- Schmitz-Normann, Rüdiger (2021): Innovation: „The greenest battery in the world“. KfW. <https://www.kfw.de/stories/northvolt-2.html> (Abruf am 21.2.2022).
- Seyerlein, Christoph (20.1.2022): Kooperation mit Luminar: Mercedes setzt auf Lidar-Sensoren. In: *Automobil Industrie*.
- Sievers, Luisa / Grimm, Anna (2022): Innovationstätigkeit des Automobilssektors – Analyse mit Fokus auf nachhaltige Antriebstechnologie und Digitalisierung. *Studien zum deutschen Innovationssystem*, Berlin.
- Sony (2022): VISION-S. <https://www.sony.com/en/SonyInfo/vision-s/> (Abruf am 24.1.2022).
- SPD/Bündnis 90/Die Grünen/FDP (2021): Mehr Fortschritt wagen. Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit. https://www.spd.de/fileadmin/Dokumente/Koalitionsvertrag/Koalitionsvertrag_2021-2025.pdf (Abruf am 26.1.2022).
- Stadler, Konstantin / Wood, Richard / Bulavskaya, Tatyana / Södersten, Carl-Johan / Simas, Moana / Schmidt, Sarah / Usubiaga, Arkaitz / Acosta-Fernández, José / Kuenen, Jeroen / Bruckner, Martin / Giljum, Stefan / Lutter, Stephan / Merciai, Stefano / Schmidt, Jannick H. / Theurl, Michaela C. / Plutzer, Christoph / Kastner, Thomas / Eisenmenger, Nina / Erb, Karl-Heinz / Koning, Arjan de / Tukker, Arnold (2018): EXIOBASE 3. Developing a Time Series of Detailed Environmentally Extended Multi-Regional Input-Output Tables. In: *Journal of Industrial Ecology* 45, H. 3, S. 539.

- Statista (2021a): Carbon dioxide emissions in the electric power industry in Japan from 2010 to 2019.
<https://www.statista.com/statistics/1231147/japan-electric-power-industry-co2-emissions/> (Abruf am 26.1.2022).
- Statista (2021b): Market share of different types of electric vehicle (EV) cathode chemistries in 2020 with a forecast for 2025 through 2050.
<https://www.statista.com/statistics/1248519/distribution-of-different-electric-vehicle-batteries-on-the-global-market/> (Abruf am 26.1.2022).
- tagesschau.de (2021): Amazon investiert ins autonome Fahren.
<https://www.tagesschau.de/wirtschaft/unternehmen/amazon-autonomes-fahren-101.html> (Abruf am 1.2.2022).
- Thielmann, Axel / Wietschel, Martin / Funke, Simon / Grimm, Anna / Hettesheimer, Tim / Langkau, Sabine / Loibl, Antonia / Moll, Cornelius / Neef, Christoph / Plötz, Patrick / Sievers, Luisa / Tercero Espinoza, Luis / Edler, Jakob (2020): Batterien für Elektroautos: Faktencheck und Handlungsbedarf. Karlsruhe.
<https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cct/2020/Faktencheck-Batterien-fuer-E-Autos.pdf> (Abruf am 24.1.2022).
- 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. In: Review of International Economics 23, H. 3, S. 575–605.
- Toyota (2020): Toyota automated driving.
<https://automatedtoyota.com/docs/10/1a0b46b2c789165fdf296ad6d74e796f2b57837f9/ATwhitepaper.pdf> (Abruf am 1.2.2022).
- Transport & Environment (2020): How clean are electric cars? T & E's analysis of electric car lifecycle CO₂ emissions.
<https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2020/04/TEs-EV-life-cycle-analysis-LCA.pdf> (Abruf am 10.3.2022).
- Umweltbundesamt (2021): Klimaschutz im Verkehr.
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/klimaschutz-im-verkehr#rolle> (Abruf am 26.1.2022).
- Umweltbundesamt (2022): Vollzug 38. BImSchV: Anrechnung von Strom für Elektrofahrzeuge.
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/kraft-betriebsstoffe/vollzug-38-bimschv-anrechnung-von-strom-fuer> (Abruf am 21.2.2022).

- Vekic, Nicola (2020): Lithium-Ionen-Batterien für die Elektromobilität: Status, Zukunftsperspektiven, Recycling. Thinktank Industrielle Ressourcenstrategien.
<https://egg.agw.kit.edu/img/Lithium-Ionen-Batterien%20f%C3%BCr%20die%20Elektrom.pdf> (Abruf am 12.1.2022).
- Verband der Automobilindustrie (2018): Jahresbericht 2018.
<https://www.vda.de/vda/de/aktuelles/publikationen/publication/jahresbericht-2018> (Abruf am 10.3.2022).
- Verband der Automobilindustrie (2020): Jahresbericht 2020.
<https://www.vda.de/vda/de/aktuelles/publikationen/publication/jahresbericht-2020> (Abruf am 10.3.2022).
- Verband der Automobilindustrie (2021a): Automobilproduktion.
<https://www.vda.de/de/aktuelles/zahlen-und-daten/jahreszahlen/automobilproduktion> (Abruf am 9.5.2022).
- Verband der Automobilindustrie (2021b): Export.
<https://www.vda.de/de/aktuelles/zahlen-und-daten/jahreszahlen/export> (Abruf am 9.5.2022).
- Volkswagen AG (2021a): Planungsrunde 70: Volkswagen treibt Elektrifizierung seiner europäischen Standorte voran und stellt Transformationsplan für Wolfsburg vor. Volkswagen Newsroom.
<https://www.volkswagen-newsroom.com/de/pressemitteilungen/planungsrunde-70-volkswagen-treibt-elektrifizierung-seiner-europaeischen-standorte-voran-und-stellt-transformationsplan-fuer-wolfsburg-vor-7687> (Abruf am 21.2.2022).
- Volkswagen AG (2021b): Strategie-Update bei Volkswagen: „Die Transformation zur Elektromobilität war nur der Anfang“. Volkswagen Newsroom.
<https://www.volkswagen-newsroom.com/de/storys/strategie-update-bei-volkswagen-die-transformation-zur-elektromobilitaet-war-nur-der-anfang-6875> (Abruf am 26.1.2022).
- Volkswagen AG (2021c): Volkswagen investiert weitere 500 Millionen Euro in nachhaltige Batterieaktivitäten mit Northvolt AB. Volkswagen Newsroom.
<https://www.volkswagen-newsroom.com/de/pressemitteilungen/volkswagen-investiert-weitere-500-millionen-euro-in-nachhaltige-batterieaktivitaeten-mit-northvolt-ab-7246> (Abruf am 21.2.2022).
- Volkswagen AG (2022a): E-Mobilität. Volkswagen Newsroom.
<https://www.volkswagen-newsroom.com/de/e-mobilitaet-3921> (Abruf am 28.1.2022).

- Volkswagen AG (2022b): Mobility Solutions – autonomes Fahren wird ein Gamechanger.
<https://www.volkswagenag.com/de/group/strategy/mobility-solutions.html#> (Abruf am 1.2.2022).
- Volkswagen AG (2022c): Nachhaltigkeit in der Lieferkette.
<https://www.volkswagenag.com/de/sustainability/supply-chain/sustainability-in-the-supply-chain.html#> (Abruf am 9.5.2022).
- Werner, Maximilian / Albert, Florian (2020): Akzeptanzstudie „Mobility Trends“. Internationaler Vergleich der Nutzerakzeptanz hinsichtlich neuer Mobilitätstrends. Stuttgart: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO.
<https://publica-rest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/c03d5327-4cd2-46de-9661-b0cc5eda61eb/content> (Abruf am 23.5.2022).
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (2011): Welt im Wandel: Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation. Hauptgutachten. Berlin.
- Yang, Heekyong / Jin, Hyunjoo (2019): Factbox: The world's biggest electric vehicle battery makers. Reuters.
<https://www.reuters.com/article/us-autos-batteries-factbox-idUSKBN1Y02JG> (Abruf am 26.1.2022).
- Zanker, Christoph / Horvat, Djerdj (2015): Globale FuE-Aktivitäten deutscher Unternehmen. Modernisierung der Produktion – Mitteilungen aus der ISI-Erhebung 68. Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI.
<https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/modernisierung-produktion/erhebung2012/pi68.pdf> (Abruf am 23.5.2022).
- Zanker, Christoph / Kinkel, Steffen / Maloca, Spomenka (2013): Globale Produktion von einer starken Heimatbasis aus. Modernisierung der Produktion – Mitteilungen aus der ISI-Erhebung 63. Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI.
<https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/modernisierung-produktion/erhebung2012/pi63.pdf> (Abruf am 23.5.2022).
- ZF (2022): Autonome Transportsysteme von ZF.
<https://www.zf.com/site/ats/de/ats.html> (Abruf am 1.2.2022).

Autor:innen

Anna Grimm studierte Wirtschaftsmathematik (B. Sc.) an der Universität Mannheim mit einem Fokus auf mathematischer Modellierung. Anschließend studierte sie Volkswirtschaftslehre (M. Sc.) mit Fokus Umweltökonomie und einer Masterarbeit im Bereich der Analyse von Trends in der Emission von Luftschadstoffen durch das produzierende Gewerbe. Seit September 2018 ist sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI im Geschäftsfeld Mobilität tätig. Ihre Forschungsschwerpunkte liegen auf der ökonomischen Bewertung von Trends in der Mobilitätslandschaft, insbesondere den Auswirkungen der zunehmenden Digitalisierung von Fahrzeugen und Verkehr.

Dr. Matthias Pfaff ist seit 2013 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer ISI im Competence Center Nachhaltigkeit und Infrastruktursysteme tätig. Von 2006 bis 2010 studierte er Economics and International Relations an der University of St. Andrews in Schottland. Von 2011 bis 2012 Masterstudium an der Columbia University in New York City im Fach Umweltwissenschaften mit Konzentration auf die gegenseitige Abhängigkeit von Klima und Gesellschaft. 2019 wurde er mit einer Arbeit über Materialflüsse im industriellen System am Karlsruher Institut für Technologie promoviert. Seine Arbeitsschwerpunkte am Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI umfassen die gesamtwirtschaftliche Analyse von Umweltstrategien mit einem Fokus auf globale Wertschöpfungsketten, gesamtwirtschaftliche Materialflussrechnungen und Bewertung umweltpolitischer Instrumente, insbesondere im Kontext der Kreislaufwirtschaft.

ISSN 2509-2359