ECONSTOR
Make Your Publications Visible.

A Service of

ZBW Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft
Leibniz Information Centre for Economics

Pfaff, Matthias; Grimm, Anna; Clausen, Jens

Working Paper

Wie beeinflussen Landscape-Veränderungen die Automobilbranche? Eine Analyse der Auswirkungen von Digitalisierung, Globalisierung sowie Klima- und Umweltschutz

Working Paper Forschungsförderung, No. 236

Provided in Cooperation with:
The Hans Böckler Foundation

Suggested Citation: Pfaff, Matthias; Grimm, Anna; Clausen, Jens (2022) : Wie beeinflussen Landscape-Veränderungen die Automobilbranche? Eine Analyse der Auswirkungen von Digitalisierung, Globalisierung sowie Klima- und Umweltschutz, Working Paper Forschungsförderung, No. 236, Hans-Böckler-Stiftung, Düsseldorf

This Version is available at:
https://hdl.handle.net/10419/250883

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

WWW.ECONSTOR.EU

Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft

Hans Böckler Stiftung
Mitbestimmung · Forschung · Stipendien

WORKING PAPER
FORSCHUNGSFÖRDERUNG

Nummer 236, Januar 2022

Wie beeinflussen Landscape-Veränderungen die Automobilbranche?

Eine Analyse der Auswirkungen von Digitalisierung, Globalisierung sowie Klima- und Umweltschutz

Matthias Pfaff, Anna Grimm und Jens Clausen

Auf einen Blick
Die Automobilbranche durchläuft aktuell einen fundamentalen Wandel. Etablierte Akteure haben globale Wertschöpfungsnetzwerke rund um die Technologie des Verbrennungsmotors aufgebaut. Diese geraten aufgrund immer ambitionierterer Klimaziele jedoch zunehmend unter Druck. Gleichzeitig schreitet die Digitalisierung mit hoher Geschwindigkeit voran und bietet neue Möglichkeiten hinsichtlich der Gestaltung von Fahrzeugen und Produktionsprozessen. In diesem Bericht werden zuerst die Landscape-Veränderungen im Allgemeinen und dann im Hinblick auf ihre Auswirkungen auf die Automobilindustrie beschrieben und Schlussfolgerungen für künftige Entwicklungspfade der Industrie gezogen.

FORSCHUNGS-
FÖRDERUNG

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

„Wie beeinflussen Landscape-Veränderungen die Automobilbranche?“ von Matthias Pfaff, Anna Grimm und Jens Clausen 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

Inhalt 3

Zusammenfassung 5

1. Einleitung 11

2. Analyse wesentlicher Veränderungstreiber 13

2.1 Digitalisierung 13

2.2 Globalisierung 29

2.3 Klima- und Umweltschutz 40

3. Wechselwirkungen zwischen den Veränderungstreibern und Auswirkungen auf Regime und Nische 54

3.1 Wechselwirkungen zwischen den Veränderungstreibern 55

3.2 Auswirkungen auf Regime und Nische 60

4. Fazit 63

Literaturverzeichnis 65

Autorinnen und Autoren 77

Abbildungen

Abbildung 1: Umsatzvergleich Plattform-Unternehmen 2012–2020 15

Abbildung 2: Stufen des automatisierten Fahrens 21

Abbildung 3: Marktentwicklung Carsharing in Deutschland 1999–2020 24

Abbildung 4: Fraunhofer ISI I4.0-Readiness Index für ausgewählte Branchen 2015 und 2018 26

Abbildung 5: Globales Güterimportvolumen, Wachstumsrate der Güterimporte mit gleitendem Mittelwert 31

Abbildung 6: Globale ausländische Direktinvestitionen (FDI), absolute Zuflüsse, Wachstumsrate der Zuflüsse mit gleitendem Mittelwert 32

Abbildung 7: Globale Bruttoproduktion ausländischer Einheiten in Gastgeberländern, Anteil der Bruttoproduktion ausländischer Einheiten an Gesamt-Bruttoproduktion der Gastgeberländer 33

Abbildung 8: Anteil von FuE-Ausgaben ausländisch kontrollierter Gesellschaften an gesamten privaten FuE-Ausgaben für ausgewählte Länder 34

Abbildung 9: Inlandsproduktion deutscher Automobilhersteller für den heimischen Markt und für Exporte, Exportquote deutscher Hersteller 36

Abbildung 10: Wertschöpfungsanteil an Gesamtproduktion der deutschen Automobilindustrie, Anteil der importierten Vorleistungen an Gesamtvorleistungen der deutschen Automobilindustrie 37

Abbildung 11: Weltweite und deutsche Exporte von Fahrzeugen und Wachstumsrate globaler Exporte 38

Abbildung 12: Globale Bruttoproduktion von Fahrzeugen ausländischer Einheiten in Gastgeberländern, Anteil der Bruttoproduktion ausländischer Einheiten an Gesamt-Bruttoproduktion der Gastgeberländer 39

Abbildung 13: CO_2-Restbudget nach IPCC und Ziele der Bundesregierung 41

Abbildung 14: Handlungsbedarf beim Klimaschutz in Deutschland 46

Abbildung 15: Ziele europäischer Regierungen zum Verkaufsstop von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor 53

Abbildung 16: Schematische Darstellung der Trends und Schnittmengen 56

Tabellen

Tabelle 1: Charakterisierung von Umweltveränderungen 54

Tabelle 2: Übersicht der Wechselwirkungen zwischen den Trends 57

Zusammenfassung

Die Automobilbranche durchläuft aktuell einen fundamentalen Wandel. Etablierte Akteure haben globale Wertschöpfungsnetzwerke rund um die Technologie des Verbrennungsmotors aufgebaut. Diese geraten aufgrund immer ambitionierterer Klimaziele jedoch zunehmend unter Druck. Gleichzeitig schreitet die Digitalisierung mit hoher Geschwindigkeit voran und bietet neue Möglichkeiten hinsichtlich der Gestaltung von Fahrzeugen und Produktionsprozessen. Diese Entwicklungen – Globalisierung, Digitalisierung und Klima- bzw. Umweltschutz – findet auf Landscape-Ebene statt, wodurch Druck auf das bestehende „Regime“ der Automobilindustrie ausgeübt wird.

Die damit einhergehende Destabilisierung des Regimes öffnet „windows of opportunity“, die es Nischenakteuren erlauben, in das Regime vorzudringen bzw. das Regime umzuformen. In diesem Bericht werden die Landscape-Veränderungen erst allgemein und dann im Hinblick auf ihre Auswirkungen auf die Automobilindustrie beschrieben. Schließlich werden Schlussfolgerungen aus diesen Entwicklungen für zukünftige Entwicklungspfade der Automobilindustrie gezogen.

Die Auswirkungen der **Digitalisierung** auf die Automobilbranche werden innerhalb dreier Bereiche analysiert, wovon sich zwei auf die Digitalisierung von Fahrzeugen beziehen und einer auf die Digitalisierung der Produktion. Zur Digitalisierung von Fahrzeugen gehört auf der einen Seite die Automatisierung von Fahrfunktionen und die Nutzung digitaler Anwendungen im Fahrzeug. Auf der anderen Seite findet die Digitalisierung von Fahrzeugen auch über die Vernetzung von Kunden und Fahrzeugen bzw. Fahrdienstleistern statt. Die Digitalisierung der Produktion betrifft den Einsatz neuer digitaler Technologien, die Produktionsprozesse optimieren und damit relevant für die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit der Automobilbranche sind.

Die Automatisierung des Fahrens stellt eine technologische Herausforderung dar, die über die Kernkompetenzen des klassischen Fahrzeugbaus hinausgehen. Daher gehen deutsche Hersteller vermehrt Kooperationen für Entwicklungsarbeiten in diesem Bereich ein. Aufgrund der technologischen Herausforderung sowie regulatorischer Hürden wird für die Entwicklung der nächsten Stufen des automatisierten Fahrens und deren Umsetzung in Serienfahrzeugen auch außerhalb der Premiumklasse noch einige Zeit benötigt.

Im Bereich der Vernetzung investieren deutsche Automobilkonzerne schon seit Jahren in das Angebot von Mobilitätsdienstleistungen. Neben Carsharing-Angeboten bündeln die Automobilhersteller hier auch ihre üb-

rigen Mobilitätsdienstleistungen wie Taxileistungen oder eigene Mobilitäts-Apps. Trotz hoher Wachstumsraten dieser Dienstleistungen ist die Anzahl der Nutzer:innen im Vergleich zur Gesamtbevölkerung jedoch noch verhältnismäßig klein. Zu einem merklichen Rückgang der Fahrzeugverkäufe oder des -bestands hat die „Plattformisierung“ der Mobilität dementsprechend bislang nicht geführt.

In Zukunft könnten die Grenzen zwischen autonomen und geteilten Mobilitätsdienstleistungen verschwimmen, wenn Fahrzeuge vollautonom werden. In diesem Zuge treten vermehrt auch Akteure aus anderen Branchen wie der Informations- und Kommunikationstechnologie oder der (Unterhaltungs-)Elektronik in den Mobilitätsmarkt ein, die insbesondere auch Mobilitätsdienstleistung und digitale Geschäftsmodelle in den Fokus setzen. Die automobilen Wertschöpfungsketten könnten vor einer deutlichen Veränderung stehen, sollten sich Tech-Konzerne den Endkundenkontakt und damit neue Umsatzpools erschließen.

Im Bereich der Digitalisierung der Produktion variieren geeignete bzw. notwendige Technologien zwischen Unternehmen der Automobilindustrie deutlich, da diese sehr heterogen hinsichtlich Größe, Produktionsprozessen und Produktportfolio sind. Insbesondere in der Nutzung digitaler Zwillinge und der additiven Fertigung sowie ihrer Kombination werden große Potenziale vor allem in den Bereichen der Produktionsplanung und -steuerung, der Wartung, des Produktdesigns und des Bau- und Ersatzteilmanagements gesehen. Neben der Nutzung digitaler Technologien zur Steuerung der Produktion könnten diese Technologien auch für die Erfüllung ökologischer Ziele eingesetzt werden, indem die Produktion ressourcen- und energieeffizienter wird und das Monitoring von Umweltwirkungen entlang der Wertschöpfungskette ermöglicht wird.

Grundlegend für den Einsatz additiver Fertigung sowie digitaler Zwillinge sind die durchgängige Digitalisierung von Prozessen und funktionierende Schnittstellen. Der verlässliche Informations- bzw. Datenfluss muss dabei nicht nur in der Produktion, sondern auch darüber hinaus in den vor- sowie nachgelagerten Aktivitäten entlang der Wertschöpfungskette sichergestellt sein. Die Vielzahl beteiligter Firmen in globalen Wertschöpfungsketten erhöht die Komplexität jedoch deutlich. Es ist zudem unklar, ob und wie eine Digitalisierte Produktion Standortentscheidungen und die damit verbundene Beschäftigung beeinflussen wird.

Der Einfluss der **Globalisierung** auf die deutsche Automobilindustrie wird hinsichtlich der heimischen Produktion und ihrer globalen Verflechtung, sowie hinsichtlich globaler Märkte als Treiber zukünftiger Produktionstrends analysiert.

Die deutsche Automobilproduktion ist stark globalisiert. Heimisch produzierte Fahrzeuge werden zu 80 Prozent exportiert. Die Hälfte dieser

Exporte geht in das außereuropäische Ausland. Vor dem Hintergrund einer seit den frühen 2000er Jahren deutlich rückläufigen Inlandsproduktion deutet dies auf eine starke Exportabhängigkeit der deutschen Automobilindustrie hin. Neben der rückläufigen Inlandsproduktion hat sich die Wachstumsrate der Exporte in den vergangenen Jahren jedoch ebenfalls verlangsamt. Dahingegen gewinnen ausländische Standorte deutscher Hersteller vermehrt an Bedeutung, insbesondere, um die regionale Nachfrage vor Ort bedienen zu können. An diesen wurden zuletzt mehr als doppelt so viele Fahrzeuge wie im Inland produziert.

Die Globalisierung der deutschen Automobilproduktion schlägt sich auch in einer bis ca. 2009 anhaltenden Abnahme des Wertschöpfungsanteils am Produktionswert der Automobilbranche und einer gleichzeitigen Zunahme ausländischer Vorleistungen nieder. Dies deutet auf eine zumindest teilweise Verlagerung der Wertschöpfung deutscher Hersteller in Richtung ausländischer Zulieferer hin. Auf der anderen Seite verzeichnet die deutsche Zuliefererindustrie seit Jahren stärkere Zuwächse im Auslandsgeschäft im Vergleich zum inländischen Absatz.

Die jährlichen Pkw-Verkäufe beliefen sich global zuletzt auf knapp 80 Millionen Fahrzeuge, wovon mehr als ein Viertel in China abgesetzt wurde. Das monetäre Handelsvolumen von Fahrzeugen hatte 2017 seinen Höhepunkt mit über 1,4 Billionen US-Dollar. Deutsche Hersteller hatten daran seit 1990 einen Anteil, der um 20 Prozent geschwankt ist. Seit 2003 weist der deutsche Anteil am globalen Fahrzeughandel jedoch eine leichte Abwärtstendenz auf und lag im Jahr 2019 bei 16 Prozent.

Die Globalisierung der weltweiten Automobilindustrie wird mit hoher Wahrscheinlichkeit weiter maßgeblich von der Entwicklung des chinesischen Marktes und der dort vorherrschenden Rahmenbedingungen beeinflusst. Die wichtigsten internationalen Automobilhersteller erzielen in China mittlerweile zwischen 20 Prozent und 40 Prozent ihres Gesamtabsatzes.

Auch die Verteilung von Produktionsstätten sowie die internationale Verflechtung von Fahrzeugherstellern und Zulieferern haben sich in den vergangenen Jahren dynamisch entwickelt. Zuletzt belief sich der Anteil der Bruttoproduktion ausländischer Hersteller an der Gesamt-Bruttoproduktion der Automobilindustrie der jeweiligen Gastgeberländer auf ca. 45 Prozent. Dies bedeutet, dass fast die Hälfte des globalen Produktionswerts der Automobilbranche von ausländischen Dependancen der Hersteller erwirtschaftet wird. Allerdings ist auch hier ein Abflachen dieses Trends zu verzeichnen.

Im Zentrum des **Klima- bzw. Umweltschutzes** im Kontext der deutschen Automobilindustrie stehen Anstrengungen zur Senkung der Treibhausgasemissionen der Flotten. Hierbei hat sich die Elektrifizierung des

Antriebsstrangs als dominante Strategie herausgestellt. In mehreren Studien wurden die Kostenvorteile von batterieelektrischen Fahrzeugen sowohl hinsichtlich der Gesamtkosten für Fahrzeugbesitzer als auch hinsichtlich der Systemkosten, inkl. der für die Diffusion notwendigen Investitionen, dargestellt. Der Grund für die vergleichsweise niedrigen Investitionen und variablen Kosten der Elektroautos liegt im hohen Wirkungsgrad des Elektroantriebs im Vergleich zu anderen alternativen Antriebskonzepten, die auf Wasserstoff oder synthetischen Kraftstoffen beruhen.

Die deutsche Automobilindustrie ist auf vielfältige Art und Weise von dieser Entwicklung betroffen. Direkte Effekte entstehen durch das Wegfallen des Verbrennungsmotors und dazugehöriger Komponenten und das Hinzukommen des elektrischen Antriebsstrangs, der neben Elektromotoren auch Steuerung, Ladesysteme und Batterien beinhaltet. Unterschiedliche Studien kommen zu unterschiedlichen Ergebnissen hinsichtlich der aktuellen wettbewerblichen Positionierung der deutschen Automobilindustrie bei den Komponenten des elektrischen Antriebsstrangs.

Tendenziell wird von einem Netto-Rückgang an Arbeitsplätzen in der Automobilbranche ausgegangen, da neben einer Verschiebung der Marktanteile bei den Komponenten auch die Montage des elektrischen Antriebsstrangs simpler ist und daher weniger Arbeitskraft benötigt. Hinzu kommt eine niedrigere Wartungsintensität von E-Fahrzeugen, in deren Zuge mit einem weiteren Rückgang von Arbeitsplätzen zu rechnen ist. Auf der anderen Seite ist mit einer zunehmenden Diffusion von E-Fahrzeugen damit zu rechnen, dass die Automobilbranche stärker mit dem Stromerzeugungssektor, der zugleich weiter einer Dekarbonisierung unterläuft, kooperieren oder sogar zusammenwachsen wird.

Der Wegfall von Jobs in der traditionellen Automobilbranche könnte zumindest teilweise durch die neuen Chancen im Energiesystem abgefangen werden. Verschiebungen könnten auch in andere Bereiche, wie beispielweise der IKT, stattfinden. Dies würde eher einem Strukturwandel als einer reinen Reduktion der Arbeitsnachfrage entsprechen.

Die Trends Digitalisierung, Globalisierung und Klimawandel beeinflussen die Gesellschaft im Allgemeinen und die Automobilindustrie im Speziellen nicht unabhängig voneinander. Viele aktuelle und zukünftige Entwicklungen stellen vielmehr eine **Verflechtung der Trends** dar.

In der Schnittmenge zwischen Klimaschutz und Digitalisierung ergeben sich durch die Konstruktion des Antriebsstrangs von E-Fahrzeugen neue Möglichkeiten hinsichtlich der Konzeption und Konstruktion von Fahrzeugen. Zudem kann die Umstellung von Produktionslinien auf die Herstellung von Komponenten für den elektrifizierten Antriebsstrang parallel zur Umstellung auf vernetze Anlagen und eine entsprechende Pro-

duktionsplanung verlaufen. Digitale Angebote zur Vernetzung und geteilten Nutzung von Fahrzeugen versprechen zudem positive Effekte hinsichtlich der Klimabilanz des Verkehrssektors.

In der Schnittmenge zwischen Digitalisierung und Globalisierung spielen die sichere und verlässliche Datenspeicherung und -verarbeitung u.a. hinsichtlich der Standorte von Servern eine wichtige Rolle. IKT-Akteure mit digitalen Technologien treten zunehmend in den Mobilitätsmarkt ein und verändern die eingespielten globalen Handelsketten und regionalen Cluster. Hinzu kommt eine zunehmende Abhängigkeit der Automobilproduktion von der Halbleiterfertigung. Schließlich kann die Digitalisierung der Produktion erhebliche Auswirkungen auf die Standortentscheidungen für Produktionsstätten haben.

In der Schnittmenge zwischen Globalisierung und Klimawandel ist die steigende Relevanz Chinas als Produzent von insbesondere elektrisch angetriebenen Fahrzeugen zu beobachten. Bislang werden die Fahrzeuge chinesischer Hersteller noch vorrangig auf dem heimischen Markt vertrieben; Exporte in anderen Weltregionen könnten für die etablierten Hersteller jedoch schon in naher Zukunft eine zusätzliche Konkurrenz darstellen. Eine weitere Beobachtung bezieht sich auf die Umweltwirkungen der Produktion von Fahrzeugen und Komponenten, die stark von den örtlichen Gegebenheiten wie der Effizienz der Anlagen und Prozesse aber auch des jeweiligen Strommixes abhängt. Mit strenger werdenden Anforderungen an die Nachhaltigkeit internationaler Lieferketten auf europäischer Ebene können besonders umweltschädliche Produktionsschritte nicht mehr so einfach in Länder mit weniger strikten Umweltstandards ausgelagert werden. Möglich sind daher Rückverlagerungen solcher Produktionsschritte.

Die Nachhaltigkeit internationaler Lieferketten ist an der Schnittstelle aller drei Trends anzusiedeln. Sie kann nur dann sichergestellt werden, wenn Informationen zu Umweltauswirkungen erfasst und übermittelt werden. Dafür ist wiederum die Digitalisierung ein zentraler Baustein. In der Schnittmenge aus Klima, Digitalisierung und Globalisierung können außerdem Entwicklungen internationaler Akteure im Bereich elektrifizierter und vernetzter bzw. autonomer Fahrzeuge erfasst werden, die dem globalen Pkw-Markt zusätzliche Dynamik verleihen können.

Nischen-Akteure konnten die sich aus dem Klimawandel und der Digitalisierung ergebenden windows of opportunity effektiv nutzen. Zum einen ist der elektrifizierte Antriebsstrang technisch simpler als der von Verbrennungsmotoren. So konnten Nischen-Akteure die Elektrifizierung für den Eintritt in einen Markt mit bis dato hohen Eintrittsbarrieren nutzen bzw. sich über die Elektrifizierung neu im Markt positionieren.

Der Wissensvorsprung der Innovationsführer des Regimes wurde teilweise obsolet, wobei hier in jüngster Vergangenheit ein gewisses Aufholen der **Regime-Akteure** zu verzeichnen ist. Zum anderen bietet die Digitalisierung von Fahrzeugen, Produktion und Mobilitätsservices nicht nur Nischen-Akteuren, sondern auch branchenfremden Firmen die Möglichkeit, in den Automobil- bzw. Mobilitätsmarkt einzutreten. Akteure aus der IKT-Branche weisen im Bereich digitaler Lösungen und Konzepte ein größeres Vorwissen im Vergleich zur Automobilindustrie auf und können somit das Regime unter Druck setzen.

So waren es Nischen-Akteure, die neue Entwicklungen der Rechnerarchitektur in Fahrzeugen und Konzepte wie „Over-the-Air-Updates“ in den letzten Jahren zur Serienreife brachten. Diese Entwicklungen werden erst seit kurzem auch von Regime-Akteuren eingesetzt. In Hinblick auf die Entstehung von Start-Ups bzw. kleineren Nischen-Akteuren sind im Feld der Digitalisierung die Einstiegshürden in den Mobilitätsmarkt zudem weitaus geringer als im Bereich von Komponenten für die klassische Automobilindustrie.

Die Landscape-Veränderungen stellen die deutsche Automobilindustrie vor noch nie dagewesene Herausforderungen, bieten aber auch Chancen, die eine ähnlich fundamentale Transformation der Branche einläuten könnten. Der Ausgang dieser Entwicklung ist schwierig abzuschätzen; die deutsche Automobilbranche scheint jedoch besser für diese Herausforderungen gewappnet zu sein als dies noch vor wenigen Jahren der Fall zu sein schien.

1. Einleitung

Die Automobilbranche kann als ein soziotechnisches System aufgefasst werden, das sowohl von sozioökonomischen Strukturen, Institutionen und Akteuren als auch von spezifischen Technologien, die das System entwickelt, nutzt und produziert, geprägt wird (Leblebici et al. 1991). Bedingt durch die Charakteristika der in einem Sektor vorherrschenden Technologien entstehen spezifische Muster der industriellen Organisation, des Konsums und des Wettbewerbs (Dolata 2009). Im Zeitverlauf mündet die enge Abstimmung zwischen technologischen Erfordernissen auf der einen Seite und sozioökonomischen und institutionellen Systemelementen auf der anderen Seite in einem Gleichgewicht, das zu einer hohen Effizienz, aber auch zu einer starken Pfadabhängigkeit des Gesamtsystems führt.

Dieses Gleichgewicht kann durch die Entstehung radikaler technologischer Neuerungen, aber auch durch die Änderung von Rahmenbedingungen, gestört werden, die eine weitreichende Transformation der sozioökonomischen und institutionellen Strukturen erforderlich machen. Wesentliche Treiber für Veränderungen von Rahmenbedingungen sind Globalisierung, Digitalisierung sowie Umwelt- und Klimaschutz.

Ein Ansatz der Transformationsforschung zur Analyse des Übergangs von einem soziotechnischen Systemzustand zu einem anderen ist die Multi-Level-Perspective (MLP) (Geels 2002; Geels/Schot 2007). In ihrem Zentrum steht ein Mehrebenen-Modell, das die drei Ebenen Landscape (Landschaft), Regime und Nische enthält. Auf der Ebene der Landscape vollziehen sich makroökonomische, politische und kulturelle Veränderungen, die jenseits des Einflussbereichs der Akteure im Regime oder der Nische liegen.

Das Regime beschreibt das etablierte Zusammenspiel von Akteuren, Technologien und Institutionen in einer Branche, während in der Nische radikale Neuerungen hervorgebracht und erprobt werden (Geels 2002). Wenn ein Regime fortlaufend externem Druck aus Gesellschaft, Politik und Wirtschaft ausgesetzt ist, muss es sich anpassen. Einem solchen Wandel stehen vielfältige Pfadabhängigkeiten entgegen, die das System stabilisieren und effizient machen, aber gleichzeitig seine Wandlungsfähigkeit einschränken (Clausen 2017; Clausen/Fichter 2017; Penna/Geels 2012; Unruh 2000).

Im vorliegenden Bericht werden die für die Automobilbranche relevanten Landscape-Veränderungen durch eine systematische Analyse aktueller Studien und Datenbanken zu den Auswirkungen der Digitalisierung, der Globalisierung und des Klima- und Umweltschutzes erfasst, sowie

ihre potenziellen Auswirkungen auf die Zukunft der deutschen Automobilindustrie abgeschätzt. Durch einen tiefgreifenden Wandel der Landschaft können sich die Umfeldbedingungen für die Akteure des Regimes und der Nische verändern und Transformationsprozesse ausgelöst werden.

Die Digitalisierung wirkt sich auf mehrere Teile der Wertschöpfungskette der Automobilindustrie aus: Erstens prägt die zunehmende Automatisierung sowohl die Produktionsprozesse als auch die Verwaltungsabläufe der Unternehmen. Zweitens beinhalten die Fahrzeuge selbst einen steigenden Automatisierungsgrad hinsichtlich des Fahrens und der begleitenden Dienstleistungen. Und schließlich bauen neue Geschäftsmodelle im After-Sales-Market von Fahrzeugen auf der Digitalisierung auf. Im Bereich des Individualverkehrs ermöglichten die Verfügbarkeit von Informationen über den Standort von Fahrzeugen und die die einfache Abwicklung von Buchungsprozessen über Smartphones, die Entwicklung alternativer Mobilitätskonzepte und entsprechender Geschäftsmodelle – über den bloßen Besitz eines Autos hinaus.

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

Nach jahrzehntelangen Auseinandersetzungen um Abgas- und Verbrauchswertewerte stellt der Klimaschutz die Automobilbranche vor die Herausforderung, das Antriebskonzept von der Verbrennung fossiler Energien auf neue Energieformen wie z. B. Strom umzustellen. Orientiert man sich am Budgetkonzepten des IPCC (Rahmstorf 2019) scheint es erforderlich, ab spätestens 2030 keine Neuwagen mit Antrieb durch Verbrennungsmotor mehr zu verkaufen und ab 2040 auch keine mehr zu betreiben.

Der Bericht ist folgendermaßen aufgebaut: In Kapitel 2 werden die drei Megatrends Digitalisierung, Globalisierung und Klima- und Umweltschutz als wesentliche Veränderungstreiber im Allgemeinen und hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Automobilindustrie beschrieben. Kapitel 3 widmet sich den Wechselwirkungen zwischen den Veränderungstreibern und den damit verbundenen Auswirkungen auf Regime und Nische der Automobilbranche. In Kapitel 4 wird schließlich ein Fazit aus den vorangegangenen Analysen gezogen.

2. Analyse wesentlicher Veränderungstreiber

2.1 Digitalisierung

Für die Beschreibung der Entwicklungen im Themenkomplex der Digitalisierung verschwimmen die Begriffe Digitalisierung, Automatisierung und Digitale Transformation oftmals. Digitalisierung kann im engeren Sinn die reine Übersetzung von analogen Informationen in das binäre System, also die Abbildung von Dokumenten bzw. Informationen in ihre digitalen Pendants bedeuten. Gleichzeitig wird der Begriff auch als Beschreibung der allgemeinen, computergestützten Integration von digitalen Hilfsmitteln und abgebildeten Abläufen in Prozesse genutzt. Damit dient er auch als Sammelbegriff für die zunehmende Verbreitung von allem „Digitalen“ in das Wirtschaftssystem. Automatisierung, wie wir sie heute kennen, baut in weiten Teilen auf Digitalisierung, und kann unter anderem die komplette Übertragung von menschlicher Arbeit, bis hin zu Denkprozessen, auf technische Systeme beschreiben (Krzywdzinski 2020).

Digitalisierung verändert zunehmend auch die Wertschöpfung von Industrien, in denen Wert ausschließlich durch physische Produkte erzeugt wird (Yoo/Henfridsson/Lyytinen 2010). Diese, auf Digitalisierung aufbauende Veränderung, wird oft als digitale Transformation bezeichnet, wobei verschiedene Definitionen von digitaler Transformation existieren.

Wir nutzen die Definition von Schallmo/Williams/Boardman (2017): „Die digitale Transformation umfasst die Vernetzung von Akteuren wie Unternehmen und Kunden über alle Segmente der Wertschöpfungskette und die Anwendung neuer Technologien. Als solches erfordert die digitale Transformation Fähigkeiten, die die Extraktion und den Austausch von Daten sowie die Analyse und Umwandlung dieser Daten in verwertbare Informationen beinhalten. Diese Informationen sollen genutzt werden, um Optionen zu berechnen und zu bewerten, um Entscheidungen zu ermöglichen und/oder Aktivitäten zu initiieren. Die digitale Transformation durchdringt Unternehmen, Geschäftsmodelle, Prozesse, Beziehungen, Produkte etc., mit dem Ziel, die Leistung und Reichweite eines Unternehmens zu steigern“ (aus dem Englischen übersetzt).

Die Entwicklungen im Kontext der Digitalisierung werden im Folgenden zunächst im Zeitverlauf kurz skizziert und anschließend einzelne Bereiche wie digitale Geschäftsmodelle, Cloud-Nutzung oder Industrie 4.0 beschrieben. Auf die allgemeine Beschreibung verschiedener Aspekte der Digitalisierung folgt die Darstellung ausgewählter Themenbereiche, die

speziell auf die Automobilindustrie wirken. Dabei werden drei Themen fokussiert: das automatisierte und autonome Fahren, Mobilitätsdienstleistungen sowie spezifische Technologien für die digitale Produktion in der Automobilindustrie.

2.1.1 Allgemeine Entwicklung

Ursprung

Die Anfänge der Digitalisierung können grob auf die Erfindung des ersten Computers in der späten ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts zurückgeführt werden (Wirtschaftsförderung Bremen 2020b), mit denen durch Übersetzung von Informationen in das Binärsystem Rechnungen durchgeführt werden konnten. Anschließend schritt die Digitalisierung zunehmend schnell voran: Nachdem sich die Entwicklung zunächst auf Computer im ursprünglichen Sinn, also als elektronische, frei programmierbare Rechenmaschinen beispielsweise für die Wissenschaft, fokussierte, hielt die Digitalisierung mit computergesteuerten Maschinen etwa ab den 1970er Jahren großflächig in der industriellen Anwendung Einzug.

Ab den 1980er Jahren rückten dann Computer für den privaten Gebrauch auf den Markt und bildeten den Anfang eines neuen Konsumgütersektors. Die physische Größe von Computern und den integrierten Komponenten wie beispielsweise Speicher- oder Recheneinheiten schrumpfte seit deren Erfindung und die Leistungsfähigkeit stieg an. Eine Vielzahl an Funktionen konnten kombiniert und zunehmend auch in andere Produkte integriert werden. So drangen Computer oder Steuerungselemente in fast alle Sektoren vor.

Internet

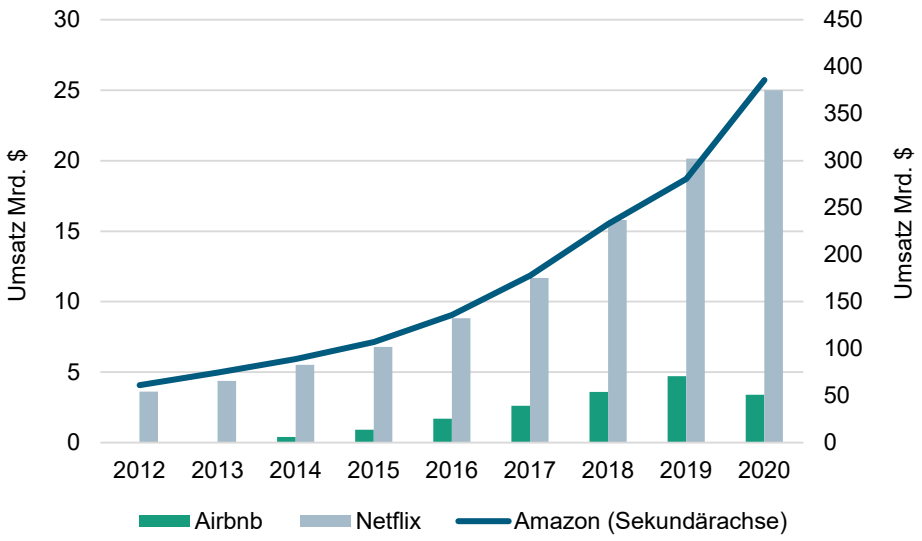
Neben der fortschreitenden Entwicklung der Software und Hardware an sich, ist das Potenzial der Einsatzmöglichkeiten der Digitalisierung durch die Vernetzung der Systeme und Anwender noch um ein Vielfaches gewachsen. Nachdem es sich in den Anfängen des Internets in den 1960er Jahren um die Vernetzung einzelner Computer zunächst im militärischen und später auch im wissenschaftlichen Kontext handelte, wurden sukzessive mehr Computer und Nutzer miteinander verknüpft (Landesmedienzentrum Baden-Württemberg 2020). Im Jahr 1991 veröffentlichte ein Mitarbeiter des Kernforschungszentrums in Genf die WWW-Software (WWW: World Wide Web) im Internet und die Nutzung von HTML (Hypertext Markup Language) etabliert sich zur Programmierung von Internetseiten. Heute ist das Internet allgegenwärtig und bietet die Grundlage für eine Vielzahl von Geschäftsmodellen.

Digitale Geschäftsmodelle

Die Suchmaschine Google sowie der Online-Versandhändler Amazon wurden Ende der 1990er Jahre, Facebook Anfang der 2000er gegründet und zeigen den Erfolg digitaler Geschäftsmodelle, die kontinuierlich erweitert und in kürzester Zeit zu international bekannten Konzernen wurden. Die Möglichkeiten der Allokation von Ressourcen, Informationen, Gütern oder Leistungen zwischen Anbietern und Abnehmern werden immer diverser. Das Angebot digitaler Plattformen umfasst dabei neben klassischen Kauf- bzw. Verkaufs- und Mietmöglichkeiten beispielsweise auch Geschäftsmodelle zum (meist) bezahlten Teilen bzw. der geteilten Nutzung von Gütern oder Leistungen.

Beispielsweise können über die Plattform Airbnb Privatpersonen ihre Wohnungen oder einzelne Zimmer vermieten, Netflix erlaubt registrierten Nutzern das unbegrenzte Streaming der angebotenen Filme und Serien. Die oftmals vergleichsweise jungen Firmen zeigen dabei enorme Umsatzsteigerungen in den vergangenen Jahren (vgl. Abbildung 1), die das Wachstum „klassischer" Industrien übersteigen.

Abbildung 1: Umsatzvergleich Plattform-Unternehmen 2012–2020



Quelle: Fraunhofer ISI mit Daten von Statista 2022a, Statista 2022b, Business of Apps 2022

Wachsende Produkt- und Leistungsportfolien sowie Forschungsaktivitäten über Sektorgrenzen hinweg bis hin zu Monopolstellungen prägen dabei die Entwicklung der IT- und Plattformunternehmen. Im Vergleich zu Produktherstellern setzen die IT- und Plattformunternehmen nicht einfach

Produkte nur ab, sondern generieren zum einen Umsatz über Werbeeinnahmen oder Datenanalysen statt über Nutzer. Zum anderen verstärken sie ihre Machtkonzentration, indem sie oftmals selbst die Märkte stellen, wie z. B. Apple mit dem Apple Store, wodurch Kunden nur durch den einen Marktzugang partizipieren können (Staab 2019, S. 27–33). Der Erfolg immer neuer Geschäftsmodelle wird teilweise erst durch diese starke Machtkonzentration ermöglicht.

Als Beispiel kann die Entwicklung von Amazon skizziert werden. Ursprünglich reiner online Buchhändler, bietet Amazon mittlerweile neben dem aktuellen Kerngeschäft E-Commerce auch verschiedenste weitere Leistungen, unter anderem Video- und Musik-Streaming sowie Cloud Hosting Services und eigene Produkte wie den Sprachassistent Alexa oder der eReader Kindle an (Amazon 2020).

Das Internet als Vernetzungsmöglichkeit zwischen Nutzern und die Entwicklung der entsprechenden Hard- und Software für den Betrieb der Netze sowie für die Endgeräte ermöglicht digitale Geschäftsmodelle. Zum einen wurden Abwicklungen, die bislang physisch stattgefunden haben (bspw. Konsumgüterkauf im Einzelhandel vs. online, Papier-Überweisung vs. Online-Banking) in die digitale Welt verlagert, zum anderen wurden neue Geschäftsmodelle entwickelt, die es in der analogen Welt noch gar nicht gab (bspw. On-Demand-Dienste).

Digitale Anwendungen und Datennutzung

Mit der fortschreitenden Entwicklung des „Internet of Things“ (IoT) können diese digitalen Geschäftsmodelle nun auch wieder auf physische Objekte übertragen werden und Vernetzung funktioniert zunehmend auch zwischen digitalisierten Objekten (hybride Produkte) wie in einem Smart Home oder einer Smart Factory (Oswald/Krcmar 2018).

Die Verarbeitung der Datenmengen erfolgt dabei oft automatisiert. Informationen, beispielswiese über physikalische Größen, können von einem Sensor erfasst, und an einen Aktor übermittelt werden, der wiederum die physikalische Größe beeinflusst (einfaches Beispiel: Temperatursteuerung über Temperaturfühler und Heizung).

Wenn es bei der Steuerung über vorher festgelegte Zusammenhänge (Information „Temperatur zu niedrig“ löst Heizvorgang aus) hinausgeht, kann mittlerweile Künstliche Intelligenz (KI) das Eingreifen von Menschen (teilweise) ersetzen. KI identifiziert Muster in großen Datenmengen und löst auf deren Basis Vorgänge aus. „Das ist es auch, was KI von programmierter Computertechnologie unterscheidet; die intelligente Maschine bewertet, lernt und bessert ihr Vorgehen selbstständig aus“ (Bremken 2019b).

Die wachsende Anwendung digitaler Lösungen und die einhergehenden Mengen erzeugter Daten und deren Verarbeitung benötigen dabei

zunehmende Speicher- und Rechenkapazitäten und entsprechende IT-Infrastrukturen. Die individuellen Bedarfe von privaten und gewerblichen Nutzern können mithilfe eigener Rechenzentren oder mittlerweile sehr flexibel über Cloud-Anbieter ausgelagert werden (Bremken 2019a). Die externen Firmen stellen dabei neben reinen Speicherkapazitäten auch andere Ressourcen oder Daten online zur Verfügung und ermöglichen jederzeit den Zugriff.

Die Auslagerung bietet die klassischen Vorteile des Outsourcings: Leistungen können nach Bedarf (in diesem Fall insbesondere hinsichtlich der benötigten Kapazität) bezogen werden und ersparen die teils hohen Investitionen in eigene physische und digitale Infrastrukturen. Der Blick in die Industrie zeigt, dass aktuell meist hybride Konzepte etabliert sind, also eine Kombination von eigenen Rechenkapazitäten (bspw. sensible Daten) und Cloud-Lösungen von Betrieben genutzt werden (Winkelhake 2018).

Während die großen Cloud-Anbieter in den USA oder in steigender Zahl in China ansässig sind, fehlt es aktuell noch an deutschen oder europäischen Pendants. Das kann dahingehend kritisch sein, dass die Anbieter nicht den europäischen, sondern ihren jeweils heimischen Standards hinsichtlich Datenschutzes und -nutzung unterliegen.

Das europäische Projekt Gaia-X soll zur Steigerung der Unabhängigkeit vom Ausland den Aufbau einer europäischen digitalen Infrastruktur vorantreiben und begleiten. Dazu wird eine Austauschplattform geschaffen und Lösungen und Services entwickelt, die auf die Schaffung einheitlicher, geregelter, leistungsfähiger Datenräume abzielen und die europäische Unternehmen bei der Implementierung und Umsetzung datenbasierte Geschäftsmodelle unterstützen sollen. Das Projekt wird jedoch auch hinsichtlich der Beteiligung außereuropäische Partner wie Huawei oder Amazon und wegen seiner schleppenden Entwicklung kritisiert (Röhl/Bolwin/Hüttl 2021).

Die Nutzung von Cloud-Diensten und erweiterten Angeboten kann Firmen den Zugang zur Digitalisierung erleichtern. Gleichzeitig ruhen in Cloud-Diensten noch hohe Potentiale in Hinblick auf Effizienz, im Sinne des Ausschöpfens von existierenden Rechenkapazitäten. Diese Effizienzpotentiale gehen teilweise einher mit Potentialen der Energieeffizienz. Die Bereitstellung und der Betrieb von Rechenkapazitäten sind mit einem hohen und mit der Zunahme verarbeiteter Datenmengen wachsendem Energiebedarf verbunden. Größere Rechenzentren können gewisse Vorteile bieten, so benötigen sie beispielsweise nur 75 Prozent der Energie eines mittleren Rechenzentrums zur Bereitstellung der gleichen Kapazität

(Winkelhake 2018). Ähnlich wie bei anderen Beispielen digitaler Plattformunternehmen bieten große Anbieter Vorteile, stellen aber auch Risiken durch ihre hohe Marktmacht dar.

Die genannten Entwicklungen und Anwendungen gehen mit einer Steigerung der Menge der verarbeiteten Daten einher. Wie im Zusammenhang mit der Bereitstellung von Cloud-Kapazitäten bereits angesprochen, wächst die Relevanz von Sicherheitsaspekten und der Schutz vor Cyber-Angriffen (Winkelhake 2018).

Laut der jährlich durchgeführten Umfrage des Bundesamtes für Sicherheit in der Informationstechnik wurden im Jahr 2018 insbesondere große Unternehmen Opfer von Cyber-Sicherheits-Vorfällen (43 Prozent der befragten großen Unternehmen, 26 Prozent der kleinen und mittelständischen Unternehmen), wobei etwa die Hälfte erfolgreich war (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik 2019). Die Betroffenen gaben an, dass es insbesondere zu Betriebsstörungen oder – ausfällen kam und zusätzlich Kosten für Aufklärung und Widerherstellung der Systeme entstanden. Die Sicherheit von IT-Systemen als sehr relevante Komponente in der Digitalisierungsstrategie von Unternehmen scheint erkannt: knapp 90 Prozent der befragten Institutionen rechnen mit höheren Cyber-Risiken durch zunehmende Digitalisierung.

Digitalisierung der Produktion

Ein intensiv diskutiertes Anwendungsfeld der Digitalisierung ist die Produktion des verarbeitenden Gewerbes. Unter dem Schlagwort Industrie 4.0 werden verschiedene digitale Technologien verstanden, die der Optimierung von Industrieprozessen dienen. Die relevanten Technologien lassen sich in drei Bereiche gliedern (Lerch/Jäger 2020):

1. Digitale Managementsysteme (Produktionsplanung und -steuerung)
2. Drahtlose Mensch-Maschine-Kommunikation (Visualisierung, Endgeräte)
3. Cyber-Physische Produktionssysteme- (CPS-)nahe Prozesse (Produktionsleitsystem, Automatisierung, Supply Chain)

Die vollständige Vernetzung von Produktionsabläufen und vor- sowie nachgelagerten Prozessen, wie beispielsweise Entwicklungsarbeiten oder Instandhaltungsleistungen, mit ständiger Verfügbarkeit und Einbezug relevanter Daten in Echtzeit, besteht als Konzept für die Zukunft der Produktion. Die Umsetzung erfordert hohe Investitionen, die gezielte und abgestimmte Umstellung verschiedener Prozesse, die Integration neuer Sensortechnik und Anlagen in der Produktion, sowie deren Vernetzung und die gleichzeitige Entwicklung teils neuer Geschäftsmodelle, um die Potenziale der Digitalisierung über die reine Optimierung bestehender Ab-

läufe hinaus zu nutzen. Die Verbreitung der Anwendungen in der verarbeitenden Industrie in Deutschland ist dabei noch lückenhaft und es treten Unterschiede zwischen Branchen, der Komplexität der Produktionsgüter und Unternehmensgrößen auf (Lerch/Jäger 2020).

Der Vergleich der Ergebnisse der Jahre 2015 und 2018 der Umfrage unter Betrieben im Rahmen der „Modernisierung der Produktion“ des Fraunhofer Instituts für System- und Innovationsforschung (ISI) zeigt die Dynamik und Status-Quo der Entwicklungen (Lerch/Jäger 2020). Allein die Systeme zur Produktionsplanung und -steuerung werden im Jahr 2018 von mehr als der Hälfte der befragten Betriebe genutzt (72 %). Das ist ein Zuwachs von fünf Prozent im Vergleich zur Befragung 2015. Digitale Visualisierung sowie das Supply Chain Management folgen mit einer Nutzung in etwa 40 Prozent der Betriebe, wobei die Anteile um sieben Prozent bzw. neun Prozent gestiegen sind. Schlusslicht bilden Product-Lifecycle Management-Systeme, die in nur 14 Prozent der befragten Betriebe 2018 genutzt werden. Mobile Endgeräte in der Produktion verzeichnen mit plus zehn Prozent den höchsten Zuwachs unter den betrachteten Technologien (2018: 29 %).

Die Betriebe setzen über alle Technologien hinweg eher weniger komplexe Basisanwendungen um, was das sehr junge Stadium der Entwicklungen im Kontext der digitalen Transformation der Produktion unterstreicht und weiterhin hohe Handlungsbedarfe aufzeigt. Große Betriebe mit mehr als 249 Beschäftigten sind in Hinblick auf die Umsetzung am weitesten, wie die Auswertung des I4.0-Readiness-Index zeigt. Während im Jahr 2015 der Unterschied zwischen großen und kleinen Betrieben noch sehr groß war, haben kleine Betriebe zwischen 2015 und 2018 enorme Wachstumsraten vorzuweisen und holen auf. Das Wachstum bei mittelständischen und großen Betrieben bleibt eher moderat.

Neben der Größe der Betriebe spielen auch die Seriengröße und die Komplexität der Produktionsgüter eine Rolle. Digitale Technologien finden über den Betrachtungszeitraum hinweg eher bei großen Losgrößen und komplexen Produkten Anwendung, jedoch sind die höchsten Wachstumsraten zwischen 2015 und 2018 im Zusammenhang mit Einzelfertigung und simplen Produkten zu verzeichnen (Lerch/Jäger 2020).

Die Entwicklung von Informationstechnologien folgt dabei quasi in allen Feldern und für verschiedene Indikatoren einem exponentiellen Wachstum (Winkelhake 2018). Die dynamische Entwicklung der vergangenen Jahrzehnte wird sich demnach weiterziehen und die Geschwindigkeit auch auf die Digitalisierung von Unternehmen übertragbar sein. Dabei verschwimmen Sektor-Grenzen zunehmend und IKT-Technologien werden zu allgegenwärtigen Querschnittstechnologien.

2.1.2 Auswirkungen der Digitalisierung auf die Automobilbranche

Die Auswirkungen der Digitalisierung auf die Automobilbranche werden im Folgenden in drei Abschnitte gegliedert: Erstens ermöglicht die Digitalisierung die Automatisierung von Fahrfunktionen sowie die Nutzung digitaler Anwendungen im Fahrzeug. Zweitens haben durch die Vernetzung von Kunden und Fahrzeugen bzw. Fahrdienstleistern Mobilitätsdienstleistungen an Bedeutung gewonnen, die das Modell „Fahrzeugbesitz“ verändern können. Drittens beeinflusst die Digitalisierung von Produktionsprozessen auch die Automobilbranche als bedeutende Industrie.

Automatisiertes Fahren

Automatisiertes Fahren kann in verschiedene Stufen unterteilt werden, in denen der Fahrer zunehmend viele Aufgaben und Verantwortung an das Fahrzeug abgibt. Abbildung 2 zeigt die viel verwendete Einteilung in sechs Stufen, von 0 (keine Automatisierung) bis 5 (fahrerloses Fahren).

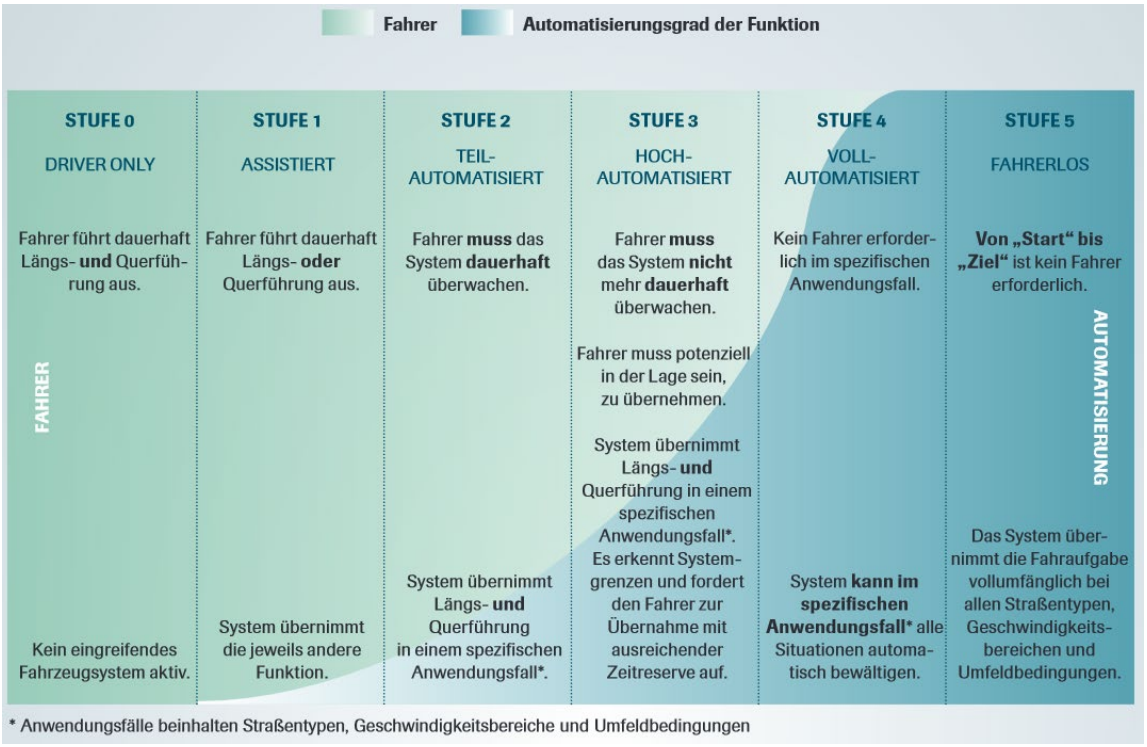
Assistenzfunktionen (Stufe 1), wie beispielsweise der Totwinkel-Assistent, sind zum aktuellen Zeitpunkt in Deutschland in einem Großteil der Fahrzeuge verfügbar. Weitere verbaute Systeme, wie Notbrems- oder Spurhalteassistenten, können bereits zu Funktionen des teilautomatisierten Fahrens gezählt werden (Stufe 2) (Roos/Siegmann 2020). Der Einsatz von Automatisierungsfunktionen ist dabei noch stark abhängig vom jeweiligen Anwendungsfall und dem einhergehenden Level an Komplexität der Fahrsituation (s. auch Abbildung 2). Die Verfügbarkeit des hochautomatisierten Fahrens (Stufe 3) steht den Analysen von Roos/Siegmann (2020) nach kurz bevor.

Die S-Klasse von Daimler bspw. soll in Kürze mit der Sonderausstattung „Drive Pilot“ angeboten werden, die hochautomatisiertes Fahren (Stufe 3) erlaubt (Daimler 2021a). Der spezifische Anwendungsfall, in dem das Fahrzeug eigenständig fährt, ist begrenzt auf Situation von unter 60 km/h. Wenn die Situation zu komplex oder Fahrbahnmarkierungen schlecht sichtbar sind, fordert der Drive Pilot den Fahrer auf, innerhalb von zehn Sekunden die Steuerung zu übernehmen, ansonsten wird ein kontrollierter Notstop eingeleitet. Für die Umsetzung ist bereits ein komplexes System von Hardware und Software nötig, dennoch zeigt das Beispiel die recht enge Begrenzung der aktuellen Anwendungsmöglichkeiten.

Für die Entwicklung der nächsten Stufen des automatisierten Fahrens und deren Umsetzung in Serienfahrzeugen sowie eine Diffusion aus der Premiumklasse in den Massenmarkt wird noch einige Zeit benötigt. Aktu-

elle Studien und Experten gehen von einer Umsetzung vollautomatisierten Fahrens (Level 4) ab etwa 2045 und fahrerlosen Fahrens (Level 5) ab etwa 2050 aus (Roos/Siegmann 2020).

Abbildung 2: Stufen des automatisierten Fahrens



Quelle: Verband der Automobilindustrie 2015

Um automatisiertes oder autonomes Fahren auf die Straße zu bringen, ist die Verknüpfung einer Vielzahl von Technologien und Entwicklungsfeldern nötig, die über die klassischen Kernkompetenzen des Fahrzeugbaus hinausgehen. Neben verschiedenen Sensortechniken wie Light Detection And Ranging (LiDAR) oder Radar, Kameratechnik wie Hardware zur GPS-Ortung werden CPU-Einheiten sowie verschiedene Softwaresysteme für die Umsetzung automatisierter Fahrmanöver benötigt. Durch die zunehmende Relevanz insbesondere von Softwarekomponenten treten vermehrt neue, auch branchenfremde Player in den Mobilitätsmarkt ein und bringen ihre spezifischen Kenntnisse ein.

Die Technologie-Unternehmen wie Mobileye, Waymo oder Baidu streben dabei teils in Kooperation oder auch selbstständig das Angebot von autonomen Robo-Taxi-Services an, wollen also auch als Mobilitätsdienstleister agieren (Tiedemann 2021). OEMs kündigen ebenfalls die Erprobung und Umsetzung im Rahmen ihrer Mobilitätsdienste an, wie bspw.

VW für Moia, gleichzeitig wird der Fokus hier voraussichtlich auch immer noch auf dem Fahrzeugabsatz selbst liegen.

Bei Betrachtung der Entwicklungsarbeiten verschiedener Akteure im Bereich des autonomen Fahrens fällt, wie auch in den anderen aktuellen Entwicklungsbereichen Elektrifizierung und Mobilitätsdienstleistungen, vermehrt die Bildung von Kooperationen auf (Hofstätter et al. 2020). Als Grund wird oft der Vorteil aus der Bündelung von Ressourcen zur schnellen Weiterentwicklung genannt. Entwicklungskooperationen werden dabei oft zwischen Firmen mit komplementären Kompetenzen geschlossen und reichen von langjähriger Zusammenarbeit bis hin zu kurzen gemeinsamen Einzelprojekten.

Das vollautomatisierte und autonome Fahren bewegt sich aktuell im Entwicklungsstadium, wobei insbesondere die Erprobung in Testfeldern und auch der Einsatz im beschränkten Realbetrieb relevant ist. Die Sicherheit der Systeme muss auf Millionen von gefahrenen Kilometern und unter den verschiedensten Umweltbedingungen verbessert und verifiziert werden. Hierbei entstehen Barrieren nicht nur im Rahmen technologischer Herausforderungen, sondern oftmals auch im organisatorischen und rechtlichen Rahmen.

Die Erprobung autonomer Fahrzeuge im Straßenverkehr ist in aktuellen Straßenverkehrsordnungen oft noch nicht geregelt. Deutschland hat einen Schritt mit der Verabschiedung des Gesetzes zum autonomen Fahren im Juli 2021 gemacht, der das vollautomatisierte Fahren (Stufe 4) in örtlich begrenzten Bereich im Regelbetrieb ermöglicht (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2021). Das bedeutet, dass rein rechtlich für definierte Einsatzbereiche wie Shuttle-Verkehre oder Automated Valet Parking im öffentlichen Verkehr kein Fahrer im Fahrzeug sein muss. Damit können Anbieter Lösungen für den (im örtlich begrenzten Anwendungsfall) vollautomatisierten Personen- und Gütertransport auf die Straße bringen.

Für Individuen mit eigenen Fahrzeugen hat das Gesetz damit zunächst beschränkte Wirkung. Dazu kommt Kritik an verschiedenen Details, unter anderem an den technischen Voraussetzungen für eine Betriebserlaubnis, die durch das KBA ausgestellt werden muss. Teilweise ungeklärt bleibt auch weiterhin die Haftungsfrage im Fall eines Unfalls (Pertschy 2021). Dennoch kann das Gesetz, als erstes seiner Art, den deutschen Verkehrsraum zum attraktiven Testfeld auch für internationale Akteure im Mobilitätsmarkt machen. Die zukünftigen Anforderungen anderer Staaten an den Betrieb vollautomatisierter Fahrzeuge können dennoch davon abweichen.

Mobilitätsdienstleistungen

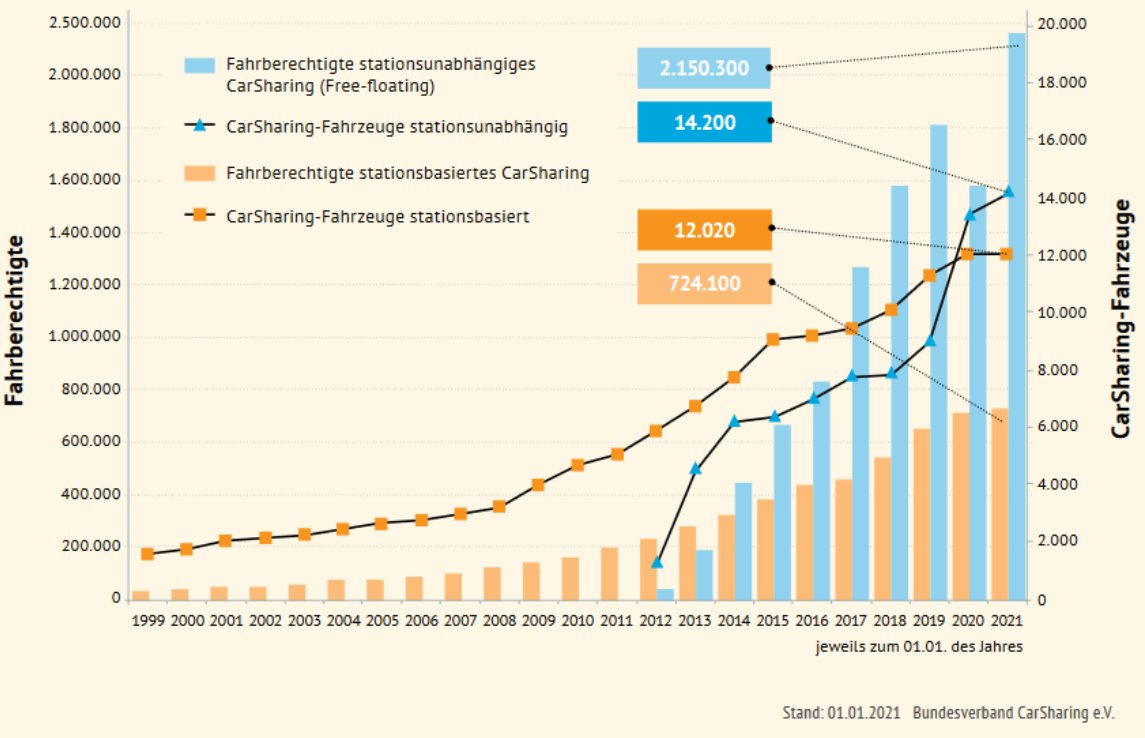
Im Zusammenhang mit der Entwicklung und Verbreitung von Smartphones (2014 waren mehr als die Hälfte aller Deutschen mit Smartphones ausgestattet (Wirtschaftsförderung Bremen 2020a)) wurde das Internet noch mobiler und der Zugang zu allen Plattformen ist zu jeder Zeit von (fast) jedem Ort möglich. Im Kontext der Transformation der Mobilität kann diese Verfügbarkeit als ein Grundstein sich verbreitender Mobilitätsplattformen und -Dienstleistungen betrachtet werden. Rube et al. (2020, S. 5) schreiben dazu: „Die Möglichkeit, den Standort einer Mobilitätsdienstleistung in Echtzeit zu sehen und direkt buchen zu können, ermöglicht die Nutzung für stationslose Sharing-Angebote. Lernende Algorithmen, die auf über Smartphones erfassten Mobilitätsdaten der Nutzenden basieren, sind die Grundlage für Rideselling/Ridehailing und Ridepooling-Angebote."

Unter Carsharing-Angeboten versteht man die gemeinsame Nutzung von Fahrzeugen mit anderen Teilnehmern bzw. Kunden der jeweiligen Sharing-Plattform, also dem Flottenbetreiber (Rube et al. 2020). Rideselling/Ridehailing-Angebote sind Konzepte, die eher an Taxidienstleistungen erinnern oder bei denen Mitfahrten bei Privatpersonen vom gleichen Start- bzw. zum gleichen Zielpunkt verkauft werden. Ridepooling beschreibt darüber hinaus das Konzept, dass Fahrer nicht nur die gleichen Fahrzeuge nutzen, sondern dieselben Fahrzeuge auch simultan nutzen.

Wie die in Abbildung 1 gezeigten Umsatzentwicklungen verschiedener Plattform-Unternehmen, zeigen auch die Nutzerzahlen von Carsharing in Deutschlang auf niedrigem Niveau einen langsamen Aufwärtstrend (Abbildung 3). So haben sich zwar die Nutzer:innen (Fahrberechtigte) von stationsunabhängigen Carsharing-Fahrzeugen zwischen 2016 und 2021 etwa verdreifacht[1]. Der Zuwachs von Nutzer:innen des ökologisch effektiven stationsbasierten Carsharing-Fahrzeugen hat sich im gleichen Zeitraum aber deutlich weniger positiv entwickelt. Die Flexibilität von stationsunabhängigen Fahrzeugen scheint attraktiv. Trotz der hohen Wachstumsraten bleibt festzuhalten, dass die Anzahl der Nutzer:innen im Vergleich zur Gesamtbevölkerung verhältnismäßig klein ist. 2,5 Millionen Fahrberechtigte stehen 42,8 Millionen Personen mit Fahrerlaubnis (Führerschein) in Deutschland gegenüber.

1 Die Nutzerzahlen beschreiben alle registrierten Carsharing-Nutzer auf allen verfügbaren Plattformen. Nutzer, die auf mehreren Plattformen registriert sind, sind damit mehrfach gezählt.

Abbildung 3: Marktentwicklung Carsharing in Deutschland 1999–2020



Quelle: Bundesverband CarSharing 2021

Eine weit verbreitete und effiziente geteilte Nutzung von stationsbasierten Fahrzeugen könnte den Fahrzeugbestand reduzieren, wodurch Carsharing auch als Möglichkeit gewertet wird, zur Reduktion der Ressourcennutzung beizutragen (Umweltbundesamt 2020a). Für einen merklichen Rückgang der Fahrzeugverkäufe oder des -bestands hat die „Plattformisierung" der Mobilität bislang nicht geführt (Kraftfahrbundesamt 2020), wodurch die Automobilindustrie auch noch nicht um ihre Absätze bangen musste. Dennoch investieren Automobilkonzerne in Deutschland schon seit Jahren in das Angebot von Mobilitätsdienstleistungen.

Im Jahr 2019 legte Daimler mit car2go ihr Sharing-Angebot mit DriveNow, Tochter von BMW, zusammen und die beiden Firmen gründeten ShareNow, um einen größeren Kundenstamm gemeinsam zu bedienen (moovel Group 2020). Neben den Carsharing-Angeboten bündeln die Automobilhersteller hier auch ihre übrigen Mobilitätsdienstleistungen wie Taxileistungen oder die eigene Mobilitäts-App.

Die aktuellen Entwicklungen, Fortschritte und Konzepte im Bereich von automatisierten Fahrzeugen und Mobilitätsdienstleistungen werden noch teilweise getrennt voneinander diskutiert. Mit vollkommen autonom fah-

renden Fahrzeugen können die Grenzen zwischen autonomen und geteilten Mobilitätsdienstleistungen jedoch zunehmend verschwimmen. Schon jetzt wird diskutiert, wie sich die verschiedenen Konzepte in ein Mobilitätssystem der Zukunft integrieren lassen (s. Zahraei/Kurniawan/Cheah 2019; Deloitte 2019; Oehry et al. 2020).

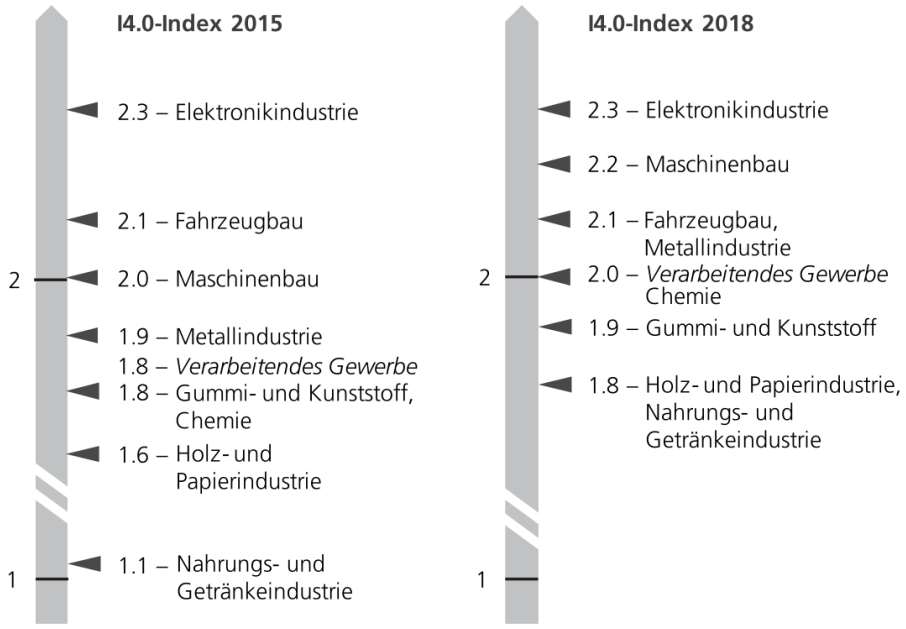
Neben den klassischen Automobilherstellern treten in Verbindung mit autonomem Fahren und Mobilitätsdienstleistungen vermehrt auch Akteure aus anderen Branchen wie der Informations- und Kommunikationstechnologie oder der (Unterhaltungs-)Elektronik in den Mobilitätsmarkt ein, die insbesondere auch Mobilitätsdienstleistung und digitale Geschäftsmodelle in den Fokus setzen. Die automobilen Wertschöpfungsketten könnten vor einer deutlichen Veränderung stehen, sollten sich Tech-Konzerne den Endkundenkontakt und damit neue Umsatzpools erschließen (Gandenberger/Clausen/Grimm 2020).

Automobilproduktion

Das Kerngeschäft der klassischen Automobilindustrie ist die Produktion von Fahrzeugen in einem komplexen Produktionsnetzwerk von OEM und Zulieferern. Die Wertschöpfungskette weist dabei hinsichtlich der Branchenzugehörigkeiten, Unternehmensgrößen und Produktionsprozessen eine hohe Diversität von Firmen-Charakteristika auf. Während OEM eher in Großserien produzieren und komplexe Produkte und Komponenten herstellen, sind kleine und mittelständische Zulieferer von verschiedenen Losgrößen und Produkten unterschiedlicher Komplexität geprägt. Die passenden Optionen und Technologien für die digitale Transformation der Produktion sowie die aktuelle Verbreitung können damit zwischen den Unternehmen der Automobilindustrie deutlich variieren.

Im Mittel gehört der Fahrzeugbau zu den stärker digitalisierten Industrien im Vergleich zu anderen Branchen, wie der I4.0-Readiness Index des Fraunhofer ISI zeigt (s. Abbildung 4) (Lerch/Jäger 2020). Die Auswertung der Befragungen von Betrieben im Rahmen der „Modernisierung der Produktion“ für die Jahre 2015 und 2018 deutet darauf hin, dass die Automobilindustrie ihre Anstrengungen im Zeitverlauf aufrechterhält, gleichzeitig aber weniger hohe Wachstumsraten zeigt als Sektoren, die zuvor noch eher wenige digitale Technologien einsetzten.

Abbildung 4: Fraunhofer ISI I4.0-Readiness Index für ausgewählte Branchen 2015 und 2018



Quelle: Lerch/Jäger 2020, S. 10

Es existiert eine Vielzahl an Umsetzungsbeispielen für den Einsatz digitaler Technologien in der Automobilproduktion. Neben den allgemein relevanten Industrie-4.0-Anwendungen, wie in Kapitel 2.1.1 und insbesondere im Abschnitt zur Digitalisierung der Produktion beschrieben, können exemplarisch zwei konkrete Prinzipien genannt werden, die besondere Anwendung in der Automobilproduktion finden.

Zum einen werden zunehmend digitale Zwillinge auf verschiedenen Ebenen genutzt. So hat VW Brasilien ein Fahrzeug ohne physischen Prototypen, rein auf Basis virtueller Verfahren, entwickelt (Prawitz 2021). Der Vorstandsvorsitzende der BMW Group, Oliver Zipse, spricht auf der Hauptversammlung von der Entwicklung eines virtuellen Abbilds des gesamten Produktionsnetzwerks von BMW (BMW Group 2021b). Digitale Zwillinge ermöglichen die virtuelle Entwicklung, Optimierung und Überwachung von Produkten und Produktionsprozessen.

Die Nutzung von digitalen Zwillingen wird durch die steigende Rechenleistung und Verbreitung von Sensoren und Aktoren etc. ermöglicht. Produktionsanlagen können in Echtzeit überwacht werden, sodass auch dezentrale Produktionsstrukturen attraktiver werden. Zudem können regelmäßige Instandhaltungs- und Wartungstermine durch zustandsbasierte

Wartungen auf Basis der übermittelten Betriebsparameter ersetzt werden. Im Bereich der Produkte ergibt sich die Möglichkeit, Daten aus der Betriebsphase der Produkte beim Kunden zur kontinuierlichen Optimierung von Produkten und Produktionsprozessen einzuspeisen. Die Potenziale der Nutzung digitaler Zwillinge sind dabei noch nicht ausgeschöpft und insbesondere auch im Zusammenspiel mit anderen Technologien, wie beispielsweise der additiven Fertigung (3D-Druck) zu sehen.

Die additive Fertigung als zweites konkretes Prinzip spielt in der Automobilproduktion eine wachsende Rolle. Klassische Anwendungen liegen im Bereich des Prototyping, gehen aber zunehmend auch darüber hinaus. Daimler nutzt den 3D-Druck unter anderem zur Herstellung von Werkzeugen (Daimler AG 2021b), BMW produziert in seinem „Additive Manufacturing Campus“ Serienbauteile mithilfe additiver Fertigungsverfahren und forscht an neuen Technologien (BMW Group 2021a) und auch VW setzt ein neues 3D-Druck-Verfahren (Binder-Jetting) für die Teileproduktion in Wolfsburg ein (Stroh 2021).

Die Kombination von digitalen Zwillingen mit additiver Fertigung (3D-Druck) ermöglicht ein Umdenken und Effizienzgewinne beispielsweise im Bereich des im Automobilmarkt sehr relevanten Ersatzteilgeschäfts (Vollmer/Wunner/Käfer 2020). So müssten bestimmte Ersatzteile für verschiedene Baureihen nicht länger vorgehalten und gelagert werden, sondern könnten als digitale Zwillinge der Bauteile und Komponenten digital gespeichert und bei Bedarf per additivem Manufacturing produziert werden. Während das additive Fertigen bei bestimmten Teilen (bspw. besonders große Komponenten) auch seine Grenzen erreicht, eröffnen sich gleichzeitig auch neue Möglichkeiten für komplexe Produktarchitekturen sowie die Integration verschiedener Bauteile in einem, die so bislang nicht produzierbar waren.

Ein zunehmender Einsatz additiver Fertigungsmethoden kann dabei den Bedarf an Anlagen- und Werkzeugmaschinen verändern. Die Flexibilität des 3D-Drucks öffnet zudem die Türen für eine noch stärker individualisierte Produktion für die Kunden sowie die wirtschaftliche Produktion kleiner Serien. In Verbindung mit der zunehmenden Elektromobilität, die eher simplere Teile erfordert, könnte die additive Fertigung an Einsatzpotential gewinnen (Winkelhake 2018).

Auch die Thematik von Lieferengpässen könnte 3D-Druck-Technologien einen weiteren Schub geben, da sie die flexible Produktion von fehlenden Bauteilen ermöglichen könnte (Beutnagel 2021). Die zunehmende Fokussierung der Automobilindustrie auf die additive Fertigung von Bauteilen auch für die Serienproduktion legt unter anderem das Zitat von Christian Vollmer, Vorstand für Produktion und Logistik der Marke Volkswagen Pkw, der Zeitschrift Automobil Produktion, nahe:

„Mit unseren Partnern wollen wir den 3D-Druck in den kommenden Jahren noch effizienter und reif für den Einsatz in der Serienfertigung machen." (Stroh 2021).

Grundlegend für den Einsatz additiver Fertigung sowie digitaler Zwillinge sind die durchgängige Digitalisierung von Prozessen und funktionierende Schnittstellen. Der verlässliche Informations- bzw. Datenfluss muss dabei nicht nur in der Produktion, sondern auch darüber hinaus in den vor- sowie nachgelagerte Aktivitäten entlang der Wertschöpfungskette sichergestellt sein. Die Vielzahl beteiligter Firmen in globalen Wertschöpfungsketten erhöht die Komplexität.

Die Digitalisierung der Produktion hat voraussichtlich keinen direkten Einfluss auf grundlegende Größen des Automobil- oder Mobilitätsmarkts, wie beispielsweise den Fahrzeugabsatz. Auf Komponentenbasis sind verschiedene Veränderungen denkbar, beispielsweise neue Konstruktionen von Bauteilen oder die leichtere Umsetzung individualisierter Produkte. Unklar sind die Bruttoeffekte durch eine zunehmende Automatisierung der Produktion.

Hinsichtlich der Beschäftigung zeichnen sich beispielsweise zwei mögliche gegenläufige Entwicklungen ab: Zum einen können durch Automatisierung und KI-Anwendungen Arbeitskräfte ersetzt werden, was einen sinkenden Arbeitskräftebedarf zur Folge hätte. Zum anderen könnten sich durch eine Abnahme des Kostenfaktors menschliche Arbeitskraft Standortfaktoren für die Wahl der Ansiedlung von Produktionsstätten verändern. Für die deutsche Automobilindustrie könnte eine Rückverlagerung von Produktionsteilen, auch im Kontext der durch die Covid-19 Pandemie angeregten Diskussion um Technologiesouveränität und um die Abhängigkeit von Lieferungen aus dem Ausland, wieder attraktiver werden.

Selbst eine stärkere regionale Streuung heimischer Produktion in kleinere Produktionsstätten statt großen Standorten wäre durch die zunehmende Flexibilität zumindest denkbar. Neben der Nutzung digitaler Technologien zur Steuerung und Optimierung der Produktion wird der Datenaustausch auch im Hinblick auf die Erfüllung ökologischer Ziele an Bedeutung gewinnen. Zum einen ist durch den Einsatz der beschriebenen Technologien das Ausschöpfen von Effizienzpotentialen in der Produktion selbst möglich (bspw. höhere Energieeffizienz, weniger Ausschuss). Zum anderen nimmt das Monitoring und insbesondere auch das Reporting von Emissionen und anderen Parametern entlang der Wertschöpfungskette eine größer werdende Rolle ein, die zudem durch die Verabschiedung des Lieferkettengesetzes in Deutschland rechtlich verankert wurde.

2.2 Globalisierung

Die Globalisierung ist ein allgegenwärtiges, aber schwer zu fassendes Phänomen. Definitionen reichen von Kurzformen wie „Supraterritorialität“ (Scholte 2005) bis hin zu ausführlicheren Beschreibungen. Giddens (1990, S. 64) spricht beispielsweise von einer „intensification of worldwide social relations which link distant localities in such a way that local happenings are shaped by events occurring many miles away and vice versa.“ Die Globalisierung beschreibt also eine sich intensivierende globale Verflechtung von Gesellschaften, die dazu führt, dass lokale Geschehnisse vermehrt von weit entfernten Ereignissen beeinflusst werden und lokale Entscheidungen globale Konsequenzen haben können.

Neben einem vermehrten generellen Austausch von Ideen manifestiert sich diese Intensivierung der globalen Verflechtung besonders spürbar in einer zunehmenden Mobilität von Personen, Gütern, Kapital und Technologien. Letztere Erscheinungen werden häufig unter dem Begriff der ökonomischen Globalisierung zusammengefasst. Für die Analyse der Entwicklung der Wertschöpfung in der Automobilindustrie ist vor allem die ökonomische Globalisierung von Interesse und wird im Folgenden näher beleuchtet.

2.2.1 Allgemeine Entwicklung

Die Geschichte der ökonomischen Globalisierung ist im weitesten Sinne eine Geschichte der Ausdehnung und Intensivierung. Die Grundsteine dafür wurden wahrscheinlich bereits in der Folge der Neolithischen Revolution von Händlern gelegt, die neue Märkte außerhalb ihrer Territorien erschließen wollten und Nutzen von neuen Kommunikations- und Transportmitteln machen konnten.

In späteren Epochen fanden unterschiedliche Beschleunigungen statt, die mit der Industriellen Revolution Anfang des 19. Jahrhunderts ihren ersten Höhepunkt fanden. Nach Unterbrechungen durch zwei Weltkriege schritt die ökonomische Globalisierung seit Mitte des 20. Jahrhunderts exponentiell voran (Huwart/Verdier 2013), bevor seit der Erholung von der globalen Finanzkrise in den Jahren 2008/2009 eine Verlangsamung begann, die sich an verschiedenen Indikatoren festmachen lässt (s. unten). Der Begriff der Globalisierung entstand im Verlauf des 20. Jahrhunderts. Seine heutige Bedeutung erhielt er im Zuge des Zusammenbruchs des Bretton-Woods-Systems Anfang der 1970er Jahre (Lang 2006).

Die ökonomische Globalisierung lässt sich auf unterschiedliche Weise empirisch beschreiben. Die OECD (2005) unterscheidet hierzu zwischen vier zentralen Treibern der Globalisierung:

1. Internationaler Handel
2. Kapitalbewegung und ausländische Direktinvestitionen
3. Die wirtschaftliche Aktivität multinationaler Firmen (Multinational Enterprises, MNEs)
4. Die Internationalisierung von Technologie

Diese Treiber lassen sich mithilfe unterschiedlicher Indikatoren beschreiben. Hier wird exemplarisch auf die Entwicklung der Hauptindikatoren der vier Bereiche eingegangen.

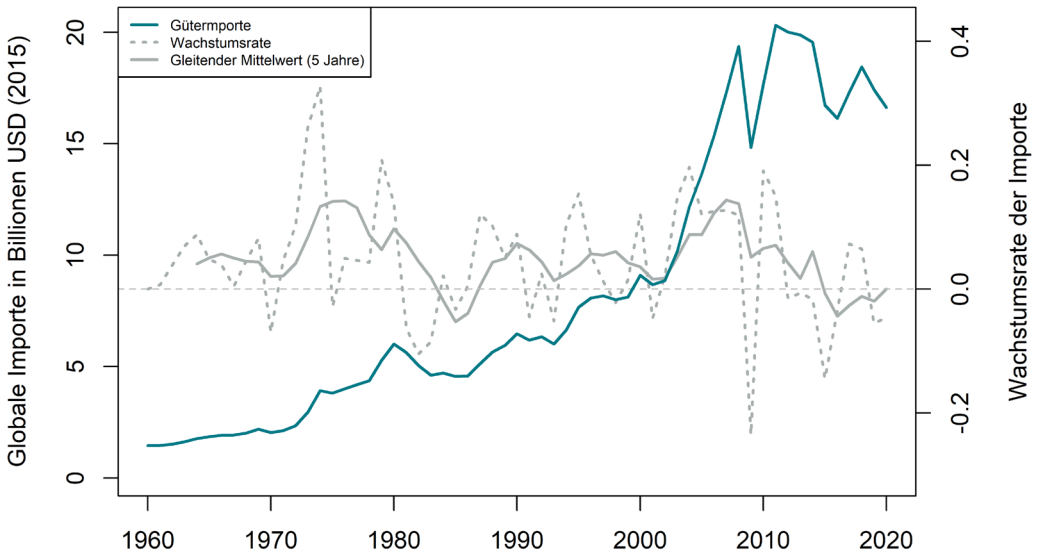
Internationaler Handel

Das Volumen des internationalen Handels, gemessen an Güterimporten (die auf globaler Ebene in etwa den Güterexporten gleichen), ist in den vergangenen 50 Jahren inflationsbereinigt um mehr als das Achtfache angestiegen und betrug zuletzt knapp 17 Billionen US-Dollar (UNCTADstat 2021; World Bank 2021b). Die verfügbaren Zeitreihen des globalen Handels mit Dienstleistungen reichen nur bis zum Jahr 2005 zurück. Rechnet man diese hinzu, betrug das globale Handelsvolumen 21 Billionen US-Dollar im Jahr 2020.

Wie in Abbildung 5 zu sehen ist, zeichnet sich jedoch in den letzten Jahren eine Verlangsamung bzw. Stagnation des Wachstums ab; die durchschnittliche Wachstumsrate der Importe weist einen abnehmenden Trend auf, der insbesondere seit 2008 recht deutlich ist. Der relativ große Rückgang der globalen Güterimporte in den Jahren 2015 und 2016 ist im Gegensatz zur Finanzkrise im Jahr 2008 auf unterschiedliche Faktoren zurückzuführen, wozu neben einem temporären Rückgang der chinesischen Wirtschaftsleistung fallende Rohstoffpreise und insbesondere fallende Wechselkurse anderer Währungen gegenüber dem US-Dollar gehören (World Trade Organization 2016).

Für den Handel mit Dienstleistungen ist dieser Trend bisher nicht zu beobachten. Deren globale Importe sind zwischen 2005 und 2020 mit nur wenigen Einschnitten deutlicher als die Güterimporte gewachsen und beliefen sich im Jahr 2020 auf ca. vier Billionen US-Dollar, was einem Zuwachs von ca. 30 Prozent gegenüber 2005 entspricht.

Abbildung 5: Globales Güterimportvolumen (linke Achse), Wachstumsrate der Güterimporte mit gleitendem Mittelwert, fünf Jahre (rechte Achse)



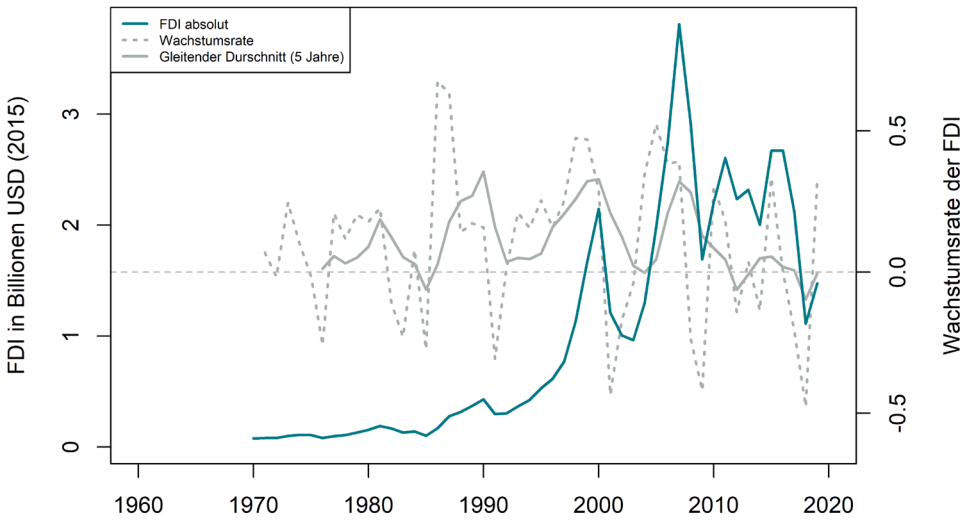
Quelle: eigene Darstellung basierend auf UNCTADstat 2021 und World Bank 2021b

Kapitalbewegung

Eine ähnliche Entwicklung wie beim Güterhandel lässt sich hinsichtlich der weltweiten Kapitalbewegung, gemessen an ausländischen Direktinvestitionen, beobachten. Letztere beliefen sich im Jahr 1970 inflationsbereinigt auf ca. 76 Milliarden US-Dollar weltweit. Bis zum Jahr 2007 sind sie um fast das 20-fache auf 3,8 Billionen US-Dollar angestiegen. Seither hat sich ihr Volumen jedoch tendenziell reduziert und war zuletzt bei 1,5 Billionen US-Dollar im Jahr 2019 (World Bank 2021a).

Diese Entwicklung lässt sich auch anhand der durchschnittlichen Wachstumsrate nachvollziehen, die seit mehreren Jahren einen klaren Abwärtstrend aufweist. Es ist jedoch anzumerken, dass die Entwicklung der ausländischen Direktinvestitionen seit Anfang des Jahrtausends von relativ großer Volatilität geprägt ist und Wachstumsraten von über 50 Prozent und annähernd –50 Prozent verzeichnet (s. Abbildung 6). Es ist daher in diesem Fall schwieriger, Prognosen basierend auf jüngsten Entwicklungen zu machen.

Abbildung 6: Globale ausländische Direktinvestitionen (FDI), absolute Zuflüsse (linke Achse), Wachstumsrate der Zuflüsse mit gleitendem Mittelwert, fünf Jahre (rechte Achse)



Quelle: eigene Darstellung basierend auf World Bank 2021a

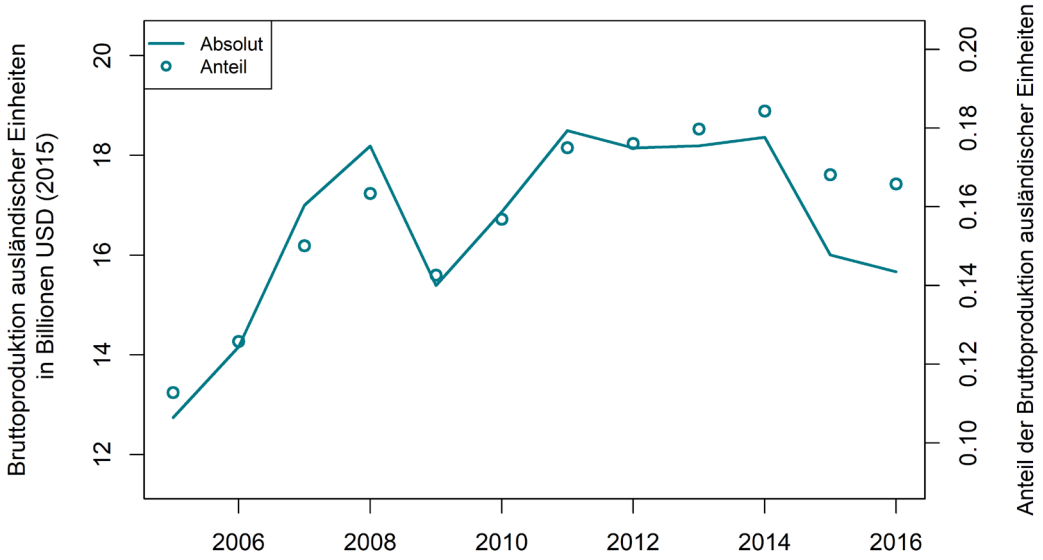
Die wirtschaftliche Aktivität multinationaler Firmen

Die wirtschaftliche Aktivität multinationaler Firmen ist ein weiterer Treiber der Globalisierung. Während diese zwar weitläufig diskutiert wird, gab es bisher wenige verlässliche Indikatoren für ihre empirische Beschreibung (OECD 2018). Dies hat sich mit der Entwicklung der Analytical Activities of Multinational Enterprises (AMNE) Database der OECD geändert (Cadestin et al. 2018). Diese stellt eine Reihe von Statistiken zur Aktivität multinationaler Firmen bereit. Ein darin enthaltener Indikator ist die Bruttoproduktion multinationaler Firmen in Gastgeberländern.

Da die AMNE-Datenbank verhältnismäßig neu ist, enthält sie keine langen Zeitreihen. Es kann dennoch die Entwicklung der Bruttoproduktion ausländischer Einheiten multinationaler Firmen seit 2005 nachgezeichnet werden. Wie in Abbildung 7 dargestellt, ist diese inflationsbereinigt von knapp 13 Billionen US-Dollar im Jahr 2005 auf ca. 18 Billionen US-Dollar im Jahr 2014 angestiegen. Dabei hat sich der Anteil der Bruttoproduktion ausländischer Einheiten an der gesamten Bruttoproduktion des Gastgeberlandes von elf Prozent im Jahr 2005 auf über 18 Prozent im Jahr 2014 gesteigert. Allerdings ist auch hier eine Reduktion der Wachstumsrate und in den letzten Jahren sogar der absoluten sowie der anteiligen Bruttoproduktion von multinationalen Firmen in Gastgeberländern zu ver-

zeichnen. Im Jahr 2016 betrug die Bruttoproduktion ausländischer Einheiten insgesamt nur noch 16 Billionen US-Dollar und hatte einen Anteil von knapp 17 Prozent.

Abbildung 7: Globale Bruttoproduktion ausländischer Einheiten in Gastgeberländern (linke Achse), Anteil der Bruttoproduktion ausländischer Einheiten an Gesamt-Bruttoproduktion der Gastgeberländer (rechte Achse)

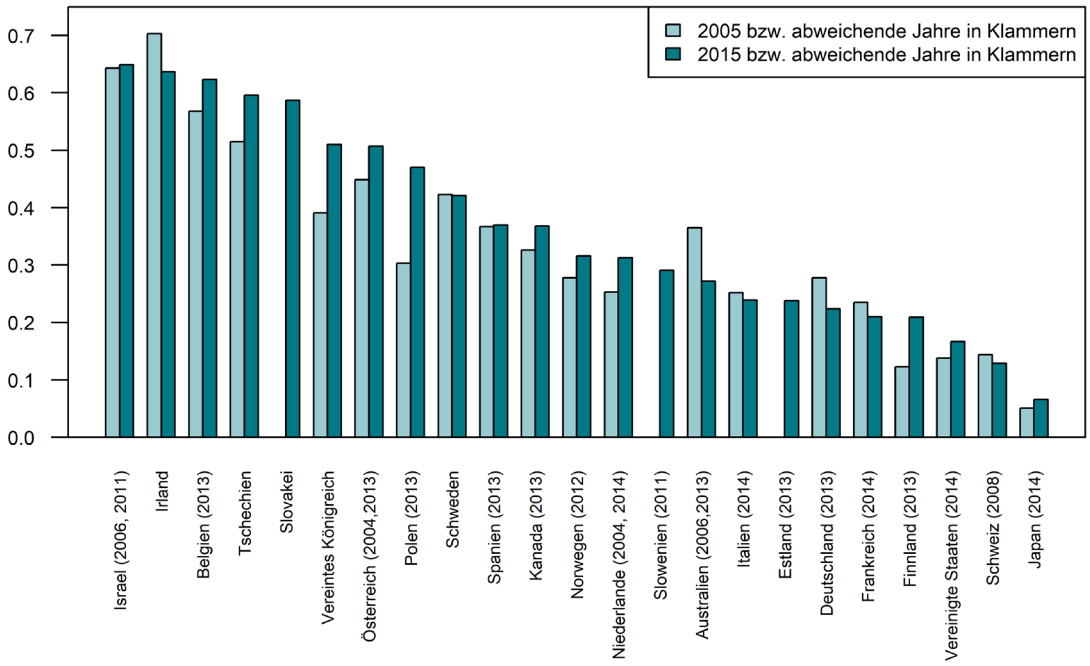


Quelle: eigene Darstellung basierend auf der OECD Analytical AMNE Database (vgl. Cadestin et al. 2018)

Die Internationalisierung von Technologie

Die Internationalisierung von Technologie kann u. a. anhand des Anteils von privaten (d. h. nicht staatlichen) Ausgaben für Forschung und Entwicklung (FuE) ausländisch kontrollierter Gesellschaften an den gesamten privaten FuE-Ausgaben eines Landes beziffert werden (s. Abbildung 8). In einigen Ländern haben diese einen Anteil von über 50 Prozent. In diesen Ländern stammen also mehr als die Hälfte der privaten FuE-Ausgaben von ausländischen Firmen. In den meisten Fällen ist zudem ein Zuwachs dieser Ausgaben im Zeitraum zwischen 2005 und 2015 zu beobachten. In Deutschland ist der Anteil hingegen von 28 Prozent im Jahr 2005 auf 22 Prozent im Jahr 2013 gesunken. Aufgrund der verhältnismäßig wenigen Datenpunkte lassen sich jedoch keine belastbaren Prognosen zur zukünftigen Entwicklung dieses Indikators machen.

Abbildung 8: Anteil von FuE-Ausgaben ausländisch kontrollierter Gesellschaften an gesamten privaten FuE-Ausgaben für ausgewählte Länder (Jahreszahlen in Klammern weisen auf abweichende Erhebungsjahre für einzelne Länder hin)



Quelle: eigene Darstellung basierend auf OECD 2017

Diese Beobachtungen zu den vier Globalisierungstreibern (Internationaler Handel, Kapitalbewegung, wirtschaftliche Aktivität multinationaler Firmen und Internationalisierung von Technologie) veranschaulichen zum einen das rasante Voranschreiten der Globalisierung, insbesondere in der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts. Zum anderen weisen sie auf eine gewisse Verlangsamung bzw. Stagnation hin, die sich spätestens seit der zweiten Dekade des aktuellen Jahrhunderts einzustellen scheint.

Die vermuteten Ursachen hierfür sind vielfältig und reichen im Falle des sich verlangsamenden internationalen Handels von Veränderungen in Lieferketten über aufkommendem Protektionismus hin zu den nun spürbar werdenden Effekten der Covid-19-Pandemie. Die globale Kapitalbewegung hat sich hingegen hauptsächlich infolge der globalen Finanzkrise der Jahre 2007/2008 verlangsamt (Titievskaia et al. 2020). Auch die Wechselwirkungen mit den anderen Megatrends (Digitalisierung und Klimawandel) spielen bei der jüngsten Entwicklung möglicherweise eine Rolle. Auf diese Wechselwirkungen wird in Kapitel 4 näher eingegangen.

2.2.2 Auswirkungen der Globalisierung auf die Automobilbranche

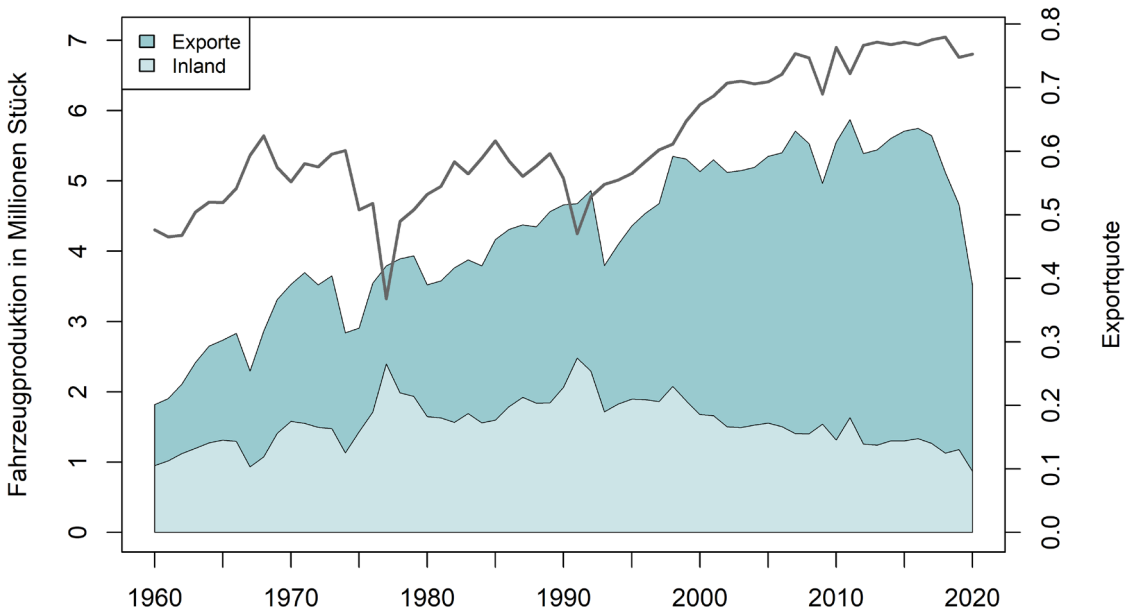
Heimische Produktion

Seit der Mitte des vergangenen Jahrhunderts hat sich die deutsche Inlandsproduktion von Automobilen mehr als verdoppelt. Von den im Jahr 1960 produzierten 1,8 Millionen Fahrzeugen wurden ca. 865.000 exportiert, was einer Exportquote von fast 50 Prozent entspricht. Wie in Abbildung 9 zu sehen ist, stieg die Inlandsproduktion seitdem auf ca. 5,1 Millionen Pkw im Jahr 2018 an, wovon fast vier Millionen Fahrzeuge exportiert wurden. Dies entspricht einer Exportquote von fast 80 Prozent und bedeutet, dass die deutsche Automobilindustrie wesentlich von Exporten abhängt. Die exportierten Fahrzeuge gingen zu 62 Prozent in das europäische Ausland und zu 38 Prozent in den Rest der Welt.

Zusätzlich zur starken Exportausrichtung der inländischen Automobilindustrie gewinnen auch ausländische Standorte deutscher Hersteller vermehrt an Bedeutung, insbesondere, um die regionale Nachfrage vor Ort bedienen zu können. An diesen wurden 2018 mit 11,2 Millionen Pkw mehr als doppelt so viele Fahrzeuge als in Deutschland produziert (s. folgenden Abschnitt).

Die Inlandsproduktion ist mit Unterbrechungen seit 2008 leicht und seit 2017 stark rückläufig – eine Entwicklung, die durch die stark gesunkene Pkw-Nachfrage im Zuge der Covid-19-Pandemie im Jahr 2020 nochmals dramatisch verstärkt wurde. In diesem Jahr brach die Inlandsproduktion um fast ein Viertel ein (Verband der Automobilindustrie 2021a). Die Produktion deutscher Hersteller an Standorten im Ausland stieg hingegen noch bis 2019 an und verzeichnete im Jahr 2020 einen geringeren Rückgang mit ca. 14 Prozent.

Abbildung 9: Inlandsproduktion deutscher Automobilhersteller für den heimischen Markt und für Exporte (linke Achse), Exportquote deutscher Hersteller (rechte Achse)



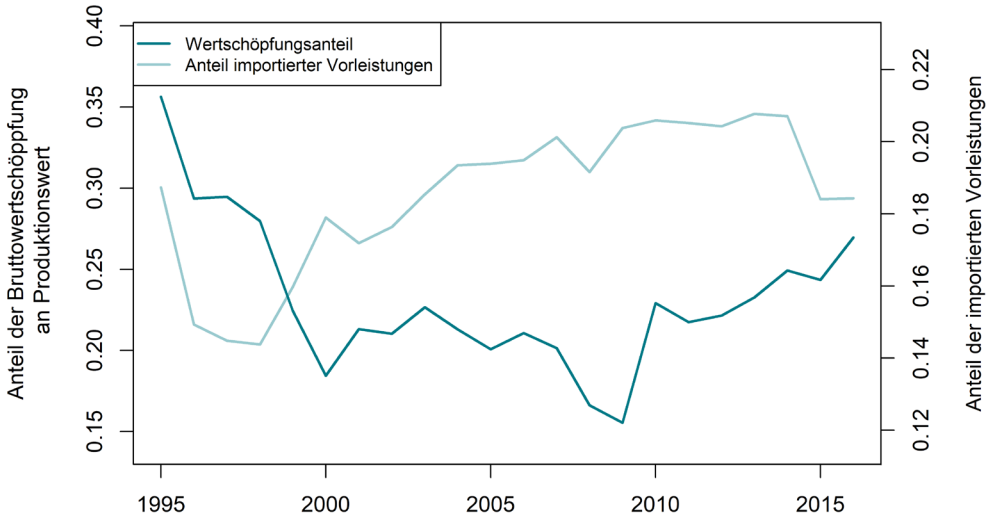
Quelle: eigene Darstellung basierend auf Verband der Automobilindustrie 2021b, 2021c

Wie Abbildung 9 zeigt, hatte die Nachfrage nach inländisch produzierten Pkw von deutschen Herstellern im Jahr 1990 ihren Höhepunkt und ist seitdem kontinuierlich gesunken. Im Jahr 2019 erreichte sie schließlich als zwischenzeitlichen Tiefpunkt[2] den Wert von 1963. Die 1990er und frühen 2000er Jahre waren zugleich von einer stetigen Abnahme des Wertschöpfungsanteils deutscher Automobilhersteller am Produktionswert begleitet. Während die deutschen Hersteller im Jahr 1995 noch über 35 Prozent Wertschöpfung generierten, fiel dieser Wert auf 16 Prozent im Jahr 2009 (s. Abbildung 10). Seit 2009 konnten die deutschen Hersteller den Anteil wieder auf knapp 27 Prozent steigern. In diesem Zeitraum stieg der Anteil importierter Vorleistungen an den gesamten Vorleistungen der deutschen Automobilindustrie auf fast 21 Prozent im Jahr 2014 an, fiel aber zuletzt wieder auf ca. 18 Prozent ab.

2 Der zusätzliche Einbruch der Nachfrage im Jahr 2020 ist hauptsächlich auf die Covid-19-Pandemie zurückzuführen und ist nicht repräsentativ für die langfristige Entwicklung.

Auch wenn die Entwicklung des ausländischen Anteils an Vorleistungen von größerer Volatilität geprägt ist, deutet die tendenziell positive Entwicklung auf eine zumindest teilweise Verlagerung der Wertschöpfung deutscher Hersteller in Richtung ausländischer Zulieferer hin. Die Anteile an der Wertschöpfung deutscher Fahrzeuge der sonstigen Länder der EU sind in der Tat deutlich gestiegen, mit einem stärkeren Zuwachs in osteuropäischen Ländern. Die Anteile außerhalb der EU sind ebenfalls gewachsen (Timmer et al. 2015). Diese Entwicklung wurde im Zuge zunehmender Innovationsdynamik und externem Kostendruck auch in anderen Industrien beobachtet (Bundesverband der Deutschen Industrie 2016).

Abbildung 10: Wertschöpfungsanteil an Gesamtproduktion der deutschen Automobilindustrie (linke Achse), Anteil der importierten Vorleistungen an Gesamtvorleistungen der deutschen Automobilindustrie (rechte Achse)



Quelle: eigene Darstellung basierend auf Destatis 2021

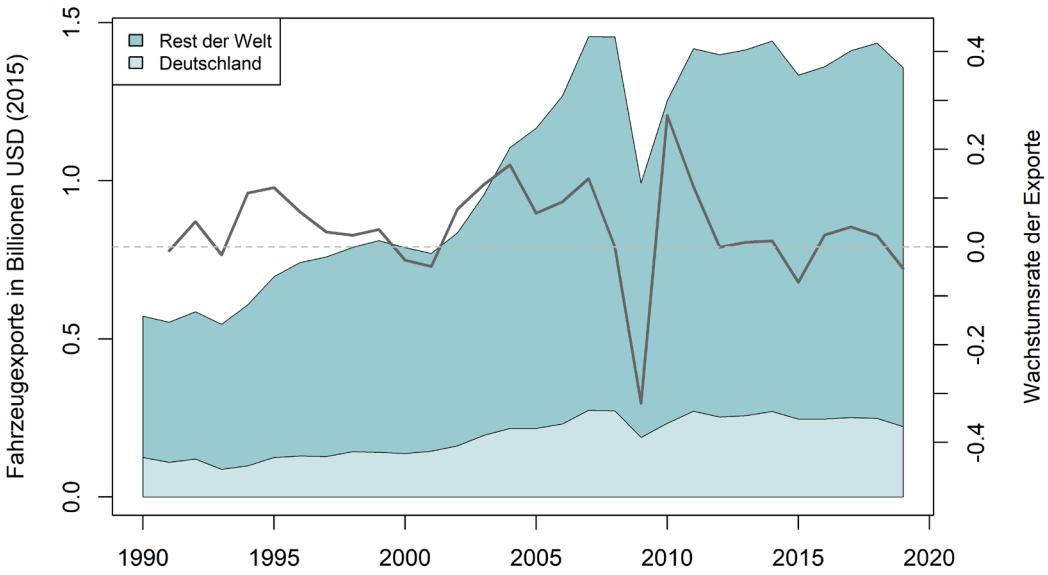
Auf der anderen Seite verzeichnet die deutsche Zuliefererindustrie seit Jahren stärkere Zuwächse im Auslandsgeschäft im Vergleich zum inländischen Absatz. So wurden im Jahr 2019 ca. 42 Prozent der Umsätze im Auslandsgeschäft generiert (Verband der Automobilindustrie 2020). Neben einer zunehmenden Internationalisierung der Wertschöpfungsketten der deutschen Fahrzeughersteller findet auch die Zuliefererindustrie zunehmend Abnehmer im Ausland.

Globale Märkte

Der globale Automobilmarkt weist eine kontinuierliche Zunahme des jährlichen Fahrzeugabsatzes auf, der sich erst in den letzten Jahren abgeschwächt hat. Allein im Zeitraum von 2005 bis 2019 sind die jährlichen Pkw-Verkäufe von etwa 50 Millionen Fahrzeugen auf knapp 80 Millionen angestiegen. Der Anteil Chinas am weltweiten Pkw-Absatz ist seitdem auf über 25 Prozent gestiegen (Verband der Automobilindustrie 2021). In diesem Zeitraum hat sich auch der globale Handel mit Fahrzeugen ähnlich dynamisch entwickelt, zeigt aber ebenfalls eine deutliche Verlangsamung seit dem Höhepunkt in 2017 mit einem inflationsbereinigten Handelsvolumen von über 1,4 Billionen US-Dollar (s. Abbildung 11).

Deutsche Hersteller hatten daran seit 1990 einen Anteil, der um 20 Prozent geschwankt ist. Seit 2003 weist der deutsche Anteil am globalen Fahrzeughandel jedoch eine leichte Abwärtstendenz auf und lag im Jahr 2019 bei 16 Prozent (World Bank 2021b; World Trade Organization 2021).

Abbildung 11: Weltweite und deutsche Exporte von Fahrzeugen (linke Achse) und Wachstumsrate globaler Exporte (rechte Achse)



Quelle: eigene Darstellung basierend auf World Trade Organization 2021 und World Bank 2021b

Die Globalisierung der weltweiten Automobilindustrie wird mit hoher Wahrscheinlichkeit weiter maßgeblich von der Entwicklung des chinesischen Marktes und der dort vorherrschenden Rahmenbedingungen beeinflusst. Die wichtigsten internationalen Automobilhersteller erzielen in

China mittlerweile zwischen 20 Prozent und 40 Prozent ihres Gesamtabsatzes (PwC 2018). Dabei verändert sich die Art und Weise, wie Fahrzeuge internationaler Hersteller in China abgesetzt werden. Insbesondere Fahrzeuge aus dem Premiumsegment werden bisher noch hauptsächlich importiert. Ein Großteil der restlichen in China abgesetzten Fahrzeuge wird jedoch mittlerweile über Unternehmensbeteiligungen (Joint Ventures) in chinesischen Produktionsstätten hergestellt.

Hauptgründe hierfür sind hohe Importzölle sowie staatliche Vorgaben zur Beteiligung chinesischer Partner an der Fahrzeugproduktion ausländischer Hersteller in China. So entfallen ca. zwei Drittel des Gesamtfahrzeugabsatzes in China auf Joint Ventures, ein Viertel auf die Produktion heimischer chinesischer Unternehmen und weniger als zehn Prozent auf importierte Fahrzeuge (Gao et al. 2015). In der Kategorie der Elektro-Pkw haben lokal produzierte Fahrzeuge von chinesischen Herstellern einen Anteil von 99 Prozent, was die hohe Relevanz dieses Markts und der dort ansässigen Unternehmen für die zukünftige Entwicklung des Produktionssystems von Elektro-Pkw unterstreicht (PwC 2018).

Abbildung 12: Globale Bruttoproduktion von Fahrzeugen ausländischer Einheiten in Gastgeberländern (linke Achse), Anteil der Bruttoproduktion ausländischer Einheiten an Gesamt-Bruttoproduktion der Gastgeberländer (rechte Achse)

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf der OECD Analytical AMNE Database (vgl. Cadestin et al. 2018)

Auch die Verteilung von Produktionsstätten sowie die internationale Verflechtung von Fahrzeugherstellern und Zulieferern haben sich in den vergangenen Jahren dynamisch entwickelt. Zwischen 2005 und 2016 ist die Bruttoproduktion ausländischer Automobilhersteller in Gastgeberländern inflationsbereinigt von knapp 800 Milliarden US-Dollar auf ca. 1,4 Billionen US-Dollar angestiegen. Dabei hat sich der Anteil der Bruttoproduktion ausländischer Hersteller an der Gesamt-Bruttoproduktion der Automobilindustrie der jeweiligen Gastgeberländer von knapp einem Drittel auf 45 Prozent gesteigert (s. Abbildung 12). Dies bedeutet, dass fast die Hälfte des globalen Produktionswerts der Automobilbranche von ausländischen Dependancen der Hersteller erwirtschaftet wird. Allerdings ist auch hier ein Abflachen des Trends zu verzeichnen.

2.3 Klima- und Umweltschutz

2.3.1 Allgemeine Entwicklung

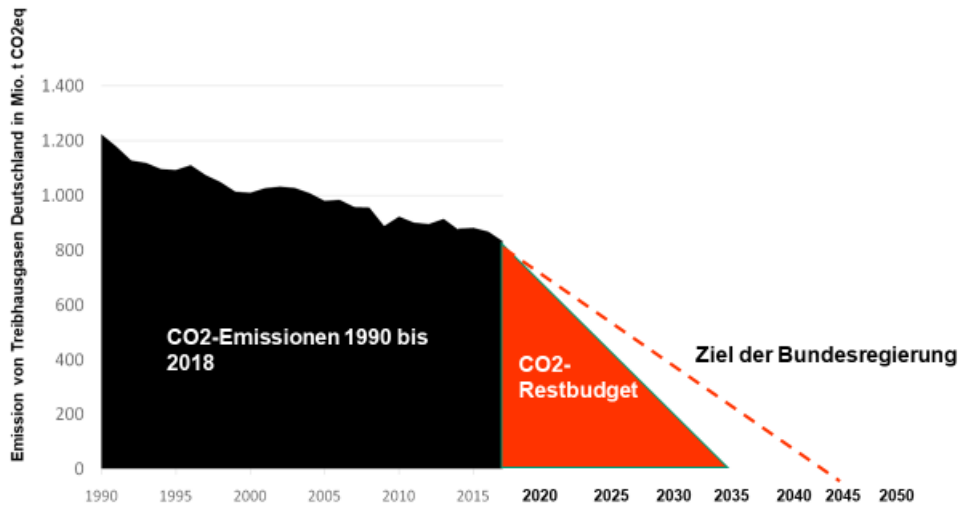
Der Klimawandel

Im Pariser Klimaabkommen von 2015 (UN FCCC 2015) haben die beteiligten Staaten sich verpflichtet, alle erforderlichen Maßnahmen zu ergreifen, um die Erhöhung der mittleren globalen Oberflächentemperatur der Erde möglichst nicht über 1,5 °C gegenüber der vorindustriellen Zeit ansteigen zu lassen.

Grundlage der deutschen Klimaschutzstrategie war lange Zeit das Ziel der Bundesregierung von 2010, die Treibhausgasemissionen bis 2050 um 80 bis 95 Prozent zu senken. Seither sind die weltweiten Emissionen jedoch weiter angestiegen, auch wenn in Deutschland die Emissionen in manchen Sektoren ganz leicht gesunken sind. Mit den veralteten Zielen steuert die Welt nun aber auf 3 °C Temperaturerhöhung oder mehr zu.

Jedes Jahr, in dem wir den Zielpfad zur Emissionssenkung nicht einhalten, verringert das Restbudget übermäßig, und wir müssen dies durch umso ambitioniertere Maßnahmen in den Folgejahren kompensieren. Wenn die Zielpfade jetzt nicht eingehalten werden, besteht die Gefahr, dass sich noch schärfere Maßnahmen später erst recht nicht mehr realisieren lassen. Das Restbudget verlangt nach einer linearen Reduktion der Emissionen um ca. sieben Prozent p.a., um zwischen 2035 und 2040 die sogenannte Klimaneutralität zu erreichen.

Abbildung 13: CO_2-Restbudget nach IPCC und Ziele der Bundesregierung



Quelle: Rahmstorf 2019

Ein Erreichen von Klimaneutralität im Jahr 2050 schützt uns nach dem aktuellen Stand der Klimawissenschaft nicht vor dem Überschreiten von Kipppunkten im Klimasystem. Diese können bei unterschiedlichen Temperaturen „aktiviert" werden. Sind sie einmal aktiviert, lässt sich der alte Zustand nicht wiederherstellen. Die Existenz der Kipppunkte und die mit ihnen verbundenen Unsicherheiten sind ein wichtiger Grund, die Veränderung des Klimas eher mit viel Vorsicht anzugehen.

Für den Verkehrssektor bedeutet all dies, dass aus klimapolitischer Sicht ein schnelles Umsteuern erforderlich ist. Der Sachverständigenrat für Umweltfragen stellt dazu Folgendes fest:

„Es müssen Entscheidungen getroffen werden, die einen zügigen Umstieg auf erneuerbare Energien ermöglichen und dazu führen, dass fossile Kraftstoffe durch alternative Antriebe ersetzt werden. Dabei sind die nachhaltige Nutzung erneuerbarer Energien und die Rohstoffverfügbarkeit zu berücksichtigen. Maßnahmen, die der SRU hier für sinnvoll hält, sind z. B. eine Zulassungsquote für Elektrofahrzeuge, ambitionierte CO_2-und Effizienz-Grenzwerte, eine streckenabhängige Pkw-Maut sowie ein allgemeines Tempolimit. Diese Maßnahmen müssen begleitet werden von einer konsequenten Kreislaufwirtschaftspolitik, die eine langfristige und nachhaltige Rohstoffverfügbarkeit sicherstellt. Die Ausweitung des Anbaus von Biosprit-Pflanzen bzw. deren verstärkten Import halten wir aus Gründen des Biodiversitäts- und Ökosystemschutzes nicht für sinnvoll." (Sachverständigenrat für Umweltfragen 2019)

Es sei an dieser Stelle in Erinnerung gerufen, dass ein klimaneutrales Wirtschaftssystem 2045, so wie es die Bundesregierung heute plant, bedeutet, dass das letzte Fahrzeug mit Verbrennungsmotor oder Hybridantrieb 2045 außer Dienst gestellt ist. Orientiert man sich am IPCC und dem Budgetansatz, bei dem die jährlichen Netto-CO_2-Emissionen schon 2040 auf null gesenkt werden müssen, dann ist dies bereits 2040 der Fall.

Das deutsche Klimaschutzgesetz sieht für den Zeitraum bis 2030 eine Reduktion der Emissionen aus dem Verkehr um 37 Prozent auf 95 Millionen Tonnen CO_2 vor (Deutscher Bundestag 2019). Da die CO_2-Emissionen aus dem Verkehr fast ausschließlich auf den Straßenverkehr mit Pkw und Nutzfahrzeugen zurückgehen, lässt sich schlussfolgern, dass dies nur eingehalten werden kann, wenn um das Jahr 2030 etwas mehr als ein Drittel des Fahrzeugbestandes über einen Elektroantrieb verfügt.

Luftverschmutzung durch Schadstoffemissionen

Luftschadstoffe, die durch Pkw und Lkw freigesetzt werden, sind Methan, Lachgas, Schwefeldioxid, Stickoxide, Kohlenmonoxid, flüchtige organische Verbindungen und Feinstaub (Umweltbundesamt 2020b). Von 1990 bis 1999 stiegen die Emissionen aufgrund eines steigenden Kraftstoffverbrauchs an (Umweltbundesamt 2020b). Die in der Statistik zur nationalen Nachhaltigkeitsstrategie erfassten Schadstoffemissionen aus dem Verkehr Schwefeldioxid (SO_2), Stickstoffoxid (NO_x) und Feinstaub ($PM_{2.5}$) sanken in den Jahren von 2005 bis 2016 fast durchgängig und erreichten alle 2016 ihren niedrigsten Wert (Statistisches Bundesamt 2018).

Der Anteil der Bevölkerung mit erhöhter PM_{10}-Feinstaubexposition sank von 50,1 Millionen Personen in 2007 auf 4,3 Millionen Personen in 2015 (Statistisches Bundesamt 2018). Mit Blick auf die seit der Dieselkrise in 2015 erhöhten Anstrengungen der Automobilbranche zur weiteren Reduktion von Schadstoffen ist zu erwarten, dass sich diese Zahlen seither noch weiter verbessert haben. Da sich die anstehende Markteinführung lokal emissionsfreier Fahrzeuge mit Elektroantrieb in den nächsten Jahren ebenfalls günstig auf die Entwicklung der Schadstoffemissionen auswirken wird, dürften sich die Zahlen auch in den 2020er Jahren weiter verbessern.

Ein zunehmender Druck zur weiteren Verbesserung der Schadstoffemissionen aus der „Landschaft“ im Automobilbau ist daher kaum zu erwarten. Vielmehr ist zu erwarten, dass weiteres Sinken der Schadstoffemissionen quasi als „Windfall-Profit“ in Folge des Übergangs zum Elektroantrieb eintreten wird.

Ressourcen

Ressourcenschonung oder gar eine Reduzierung des absoluten Verbrauchs von insbesondere metallischen oder mineralischen Ressourcen

werden bei den Vereinten Nationen im Kontext der SDGs kaum als Problem oder politische Priorität sichtbar (United Nations 2020). Zwar wird erwähnt, dass ein erhöhter Verbrauch mineralischer Ressourcen zu einem erhöhten materiellen Wohlstand führt, Ziele werden aber nur auf sehr genereller Ebene gesetzt und nicht quantifiziert (United Nations 2020). Ähnlich ist es auch in der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie, die die sparsame und effiziente Nutzung von Ressourcen mit dem Indikator Gesamtrohstoffproduktivität misst:

„Der Indikator Gesamtrohstoffproduktivität setzt den Wert aller an die letzte Verwendung abgegebenen Güter (in Euro, preisbereinigt) in Relation zur Masse der für ihre Produktion im In- und Ausland eingesetzten Rohstoffe (in Tonnen). Die letzte Verwendung umfasst dabei sowohl inländischen Konsum und inländische Investitionen als auch den Export." (Die Bundesregierung 2017, S. 127)

Durch die Festlegung eines Indikators, der die verbrauchte Menge an Ressourcen am Produktionswert misst, war es seit Beginn der Erhebung im Jahr 2000 möglich den Indikator um 26 Prozent zu verbessern, dabei aber den Rohstoffverbrauch um vier Prozent zu steigern (Statistisches Bundesamt 2018, S. 43). Der Rohstoffeinsatz für Konsum, Investitionen und Exporte ist in 13 der 15 aufgeführten Kategorien gestiegen und nur der Verbrauch an Salz ging um ca. ein Drittel zurück (Statistisches Bundesamt 2018, S. 44).

Das fehlende Problembewusstsein wie auch der nicht vorhandene politische Druck spiegeln sich u. a. auch in der kontinuierlichen Gewichtszunahme neuer Pkw. Helmers (2015, S. 4) dokumentiert die Gewichtszunahme am Beispiel des Volkswagen Golf, der 1978 etwa 700 kg in der Benzinvariante und 800 kg als Diesel wog. 2015 waren es ca. 1.300 kg als Benziner und ca. 1.400 kg als Diesel. Helmers (2015, S. 7) resümiert:

„Das kontinuierliche Gewichts- und Leistungswachstum von Pkw spiegelt einen seit Jahrzehnten weitgehend unregulierten Markt wider, in dem Ressourceneffizienz nachrangig ist."

Ein Druck hinsichtlich der Ressourceneffizienz im Automobilbau aus der „Landschaft" ist nicht zu erkennen. Es ist aber denkbar, dass gerade in Folge der Materialknappheiten in Folge der Corona-bedingten Verwerfungen in den Lieferketten der Druck auf die Ressourceneffizienz im Automobilbau zunimmt. Eine erhöhte Ressourceneffizienz lässt sich über verschiedene Wege darstellen:

- weniger Autos: Würde Deutschland mit deutlich weniger Autos auskommen, wäre auch der Ressourcenverbrauch des Automobilsektors deutlich geringer.

- kleinere Autos: Unnötig große und schwere Automobile zum Transport nur eines oder weniger Menschen verbrauchen unnötig viele Ressourcen.

Die Wahrscheinlichkeit, dass die Politik solche mit Blick auf die Ressourceneffizienz sehr sinnvollen Ziele durch wirksame z. B. ökonomische oder ordnungsrechtliche Maßnahmen untersetzt, erscheint gering.

Verdrängung der Handlungsnotwendigkeiten

Die bedrohlichen Erkenntnisse der Klimaforschung lassen eigentlich darauf schließen, dass die Produktion weiterer Verbrennungsmaschinen kurzfristig eingestellt werden sollte. Dies ist jedoch keineswegs die politische Beschlusslage. Grund dafür ist, dass die wissenschaftlichen Erkenntnisse aufgrund verschiedener Aktivitäten und Dynamiken nicht in die politische Entscheidungsfindung durchschlagen. Hier spielen zwei Strategien eine wichtige Rolle: die Infragestellung des Problems durch „diagnostisches Framing“, z. B. durch die Leugnung des Klimawandels, und die Vernebelung der Zielklarheit durch „prognostisches Framing“ (Geels 2014, S. 21–40). Aber auch die persönliche Freiheit wird als Argument gegen die Bekämpfung des Klimawandels genutzt.

Dieser Abschnitt wirft daher mit dem Fokus auf den Klimawandel einen Blick auf Aktivitäten des Regimes, Probleme zu relativieren oder ihre Lösung hinauszuzögern. Geels (2014, S. 21–40 und S. 273–274) zeigt ergänzend die 75-jährige Geschichte des Widerstandes der Automobilindustrie gegen die Produktion abgasarmer Motoren auf. Clausen und Fichter (2019, S. 40–41) zeichnen diesen Prozess für Deutschland von 1982 bis in die Gegenwart nach. Auch hier lassen sich die Leugnung des Problems wie auch das prognostische Framing deutlich zeigen.

Diagnostisches Framing: Klimawandelleugnung

Nach wie vor gibt es Akteure, die den Klimawandel bezweifeln. Björnberg et al. (2017, S. 229–241 und S. 235f) portraitieren Gruppen von Klimawandelskeptiker und Klimawandelleugnern, die oft nicht in etablierten wissenschaftlichen Einrichtungen beschäftigt sind, sondern in unabhängigen Think-Tanks. Viele dieser Personen sind keine Klimawissenschaftler, sondern kommen aus anderen wissenschaftlichen Disziplinen. Auch bieten Regierungen wie die Trump-Administration Einfallstore für klimaskeptische Interessengruppen in Regierung und Verwaltung (Björnberg et al. 2017, S. 229–241 und S. 236).

Wichtig sind auch klimaskeptische politische Organisationen und ihre Think Tanks, Stiftungen und Institute, die z. B. von Unternehmen der Öl- und Gasbranche, aber auch der Automobil- und Stahlindustrie finanziert werden. Der Bericht „Big Oil’s real Agenda on Climate Change“ (Influence

Map 2019) schätzt eine seit 2015 durch Exxon, Shell, Chevron, BP und Total für PR gegen die Klimaschutzpolitik aufgewendete Summe von ca. einer Milliarde US-Dollar, die u. a. im Rahmen von verschiedenen Kommunikationsstrategien eingesetzt wurde.

In Deutschland ist das Europäische Institut für Klima und Energie (EIKE) eine wichtige klimawandelskeptische Organisation. Hier bestehen Verbindungen zu US-amerikanischen Denkfabriken wie dem Heartland Institute, die als konservativ und letztlich pseudowissenschaftlich eingeschätzt werden. Auch Mitglieder der AfD gehören zu den Mitgliedern von EIKE (Lobbypedia 2018).

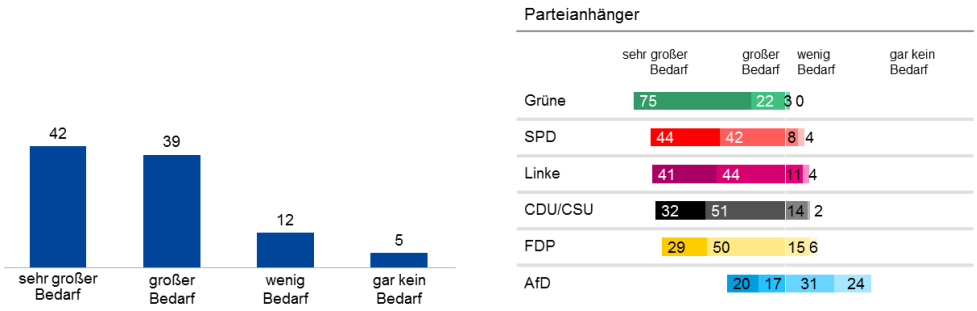
In einem Experiment von Aklin und Urpelainen (2014, S. 173–177) wird die Bedeutung von Klimawandelskepsis in Wissenschaft und Medien deutlich. Hier wurde zwei Vergleichsgruppen von einem Umweltproblem berichtet. Einer Gruppe wurde jedoch gesagt, dass es einige, wenn auch unbedeutende Meinungsverschiedenheiten unter den Wissenschaftlern über das Umweltproblem gäbe. Die Überzeugung dieser Gruppe, dass es das Umweltproblem wirklich gäbe, wie auch ihre Unterstützung einer möglichen Regulierung nahmen deutlich ab (Aklin/Urpelainen 2014, S. 173–177).

Die Unterstützung der breiten Öffentlichkeit für eine wissenschaftsbasierte Umweltpolitik wird also offenbar durch die Verbreitung von Zweifeln wirksam verringert. Dies macht die Existenz von Klimawandelskepsis im öffentlichen Dialog so bedenklich. Denn die ständige Wiederholung klimaskeptischer Positionen in den sozialen Medien wie auch in der etablierten Presse, die aus falsch verstandener journalistischer Redlichkeit „beiden Seiten“ Gehör verschaffen will, hat zur Folge, dass ein nicht zu vernachlässigender Anteil der Bevölkerung am Klimawandel zweifelt. Die Presse verwechselt hier immer wieder Fakten und Meinungen. Denn während bei Meinungen in der Tat „beide Seiten“ gehört werden sollten, ist dies bei Fakten und falschen Fakten nicht der Fall.

Eine repräsentative Umfrage in Deutschland zeigt zwar eine nur geringe Verbreitung von Skepsis gegenüber dem Klimawandel, findet aber überdurchschnittliche Klimaskepsis unter Männern und Bewohnern von Ostdeutschland (Engels et al. 2013, S. 1018–1027). Die Position korreliert positiv mit einer Ablehnung erneuerbarer Energiequellen und negativ mit politischer Partizipation.

Im ARD-Deutschlandtrend wurde im Mai 2019 der Zusammenhang des Handlungsbedarfs zum Klimaschutz und der Parteipräferenzen erfragt:

Abbildung 14: Handlungsbedarf beim Klimaschutz in Deutschland



Quelle: ARD-Deutschlandtrend (infratest dimap 2019). Frage: Derzeit wird ja viel über den Klimaschutz diskutiert. Sehen Sie beim Klimaschutz sehr großen, großen, wenig oder gar keinen Handlungsbedarf in Deutschland?

Es scheint so, dass in Deutschland der von Björnberg (2017 S. 229–241) dokumentierte Zusammenhang zwischen Klimawandelskepsis und konservativen Werthaltungen nur bedingt zu erkennen ist. Deutliche Klimawandelskepsis ist nur bei den Anhängern der AfD zu erkennen, einzelne klimawandelskeptische Aussagen finden sich aber auch in Aussagen der FDP (FDP-Bundesparteitag 2019, S. 2).

Prognostisches Framing: Unklare Zielpfade

Während die Leugnung des Klimawandels grundsätzlich dazu führt, dass eine Bekämpfung des Klimawandels als unnötig oder unangemessen erscheint, weist Geels (2014, S. 21–40) zusätzlich auf die Strategie des prognostisches Framings hin, mit dem die Auswahl von Problemlösungen beeinflusst werden soll.

Konkurrierende Problemlösungen im Feld der Pkw-Antriebe sind neben den lokal emissionsfreien batterieelektrischen Autos und Brennstoffzellenautos verschiedene Formen des Hybridantriebs, und auch Erdgasautos werden manchmal als relativ klimafreundlich platziert. Insbesondere für die am Bau von Verbrennungsmotoren beteiligte Wertschöpfungskette ist die Frage, welche Optionen für eine klimafreundliche Automobilität sich im politischen Raum durchsetzen von überlebenswichtiger Bedeutung. In den letzten Jahren hat sich daher ein umfangreicher Bestand an Literatur zum ökobilanziellen Vergleich von Elektroautos und Autos mit Verbrennungsmotor entwickelt und besonders die ökologische Bewertung der sich ggf. durch schnelle Innovationen rasch verändernden Batterien wird analysiert.

Peters et al. (2017, S. 491–506 und S. 497) zeigen dabei auf, dass einer eher kleinen Zahl von Primäruntersuchungen eine vergleichsweise große Zahl Sekundäranalysen folgt. Zudem unterscheiden sich die Studien hinsichtlich der Ergebnisse. So zeigen Buchal/Karl/Sinn (2019, S. 3–17), *„dass der CO_2-Ausstoß des Elektromotors im günstigen Fall um etwa ein Zehntel und im ungünstigen Fall um ein gutes Viertel über dem Ausstoß des Dieselmotors liegt“*, wurden aber von anderen Autoren deutlich wegen mangelnder wissenschaftlicher Grundlage kritisiert (Hajek 2019; Schwierz 2019).

Der ADAC meldet im Herbst 2019, dass beim gegenwärtigen Strommix die klimafreundlichste Lösung das Erdgasauto sei, sieht aber erhebliche Vorteile bei Elektroautos im Zukunftsszenario mit grünem Strom (ADAC 2019).

Das Umweltbundesamt (2016, S. 19) dokumentiert Treibhausgasemissionen bei Pkw mit Antrieb durch Benzinmotor 2016 von ca. 250 g CO_2/km (2030 ca. 200 g CO_2/km), durch Dieselmotor von 2016 ca. 200 g CO_2/km (2030 ca. 170 g CO_2/km), durch Plug-In-Hybrid von ca. 120 g CO_2/km (angetrieben anteilig durch erneuerbaren Strom) und durch Batterieelektrischen Antrieb von ca. 65 g CO_2/km (angetrieben durch erneuerbaren Strom).

Die vorliegenden ökobilanziellen Untersuchungen sind sich einig, dass die Art der Strombereitstellung von hohem Einfluss auf die Treibhausgasemissionen von BEV pro km Laufleistung ist. Messagie (2017, S. 11) dokumentiert die niedrigsten Emissionen mit 4 g CO_2/km für den schwedischen Strommix. Aber auch mit dem polnischen Kohle-Strommix schneidet bei ihm das Elektroauto besser ab als der Verbrenner.

Immer wieder tauchen nun Studien auf, die versuchen, den Elektroantrieb schlecht zu rechnen. Unter dem Titel „Elektromobilität und Klimaschutz: Die große Fehlkalkulation“ veröffentliche das renommierte Kieler Institut für Weltwirtschaft jüngst eine methodisch problembehaftete und tendenziöse Studie (Schmidt 2020), deren Kernergebnisse vom Fraunhofer ISI systematisch als fehlerhaft widerlegt wurde (Wietschel 2020).

Exkurs: Ein verzerrter Freiheitsbegriff

Das Grundgesetz verpflichtet den Staat auf den Schutz des Rechtes auf freie Entfaltung der Persönlichkeit, setzt aber dieser freien Entfaltung auch Grenzen. In Artikel 20a heißt es:

„Der Staat schützt auch in Verantwortung für die künftigen Generationen, die natürlichen Lebensgrundlagen und die Tiere im Rahmen der verfassungsmäßigen Ordnung durch die Gesetzgebung und nach Maßgabe von Gesetz und Recht durch die vollziehende Gewalt und die Rechtsprechung.“

Das Freiheitsverständnis des Grundgesetztes ist daher komplex. Die Garantie der individuellen „Freiheit zu etwas“ muss immer gegen die kollektive „Freiheit von etwas“ abgewogen werden. Verknüpft man die Debatte um Freiheitsrechte mit der Klimafrage heißt das, dass die individuelle „freie Wahl des Energieträgers“ gegen die Freiheit zu einem „Leben ohne wesentliche negative Folgen des Klimawandels“ abgewogen werden muss.

Eine über die individuelle, anthropozentrische Interpretation des Freiheitsbegriffs hinausgehende Position wird auch in der „Enzyklika Laudato Si“ von Papst Franziskus deutlich: „Man vergisst, dass der Mensch […] nicht nur sich selbst machende Freiheit [ist]. Der Mensch macht sich nicht selbst. Er ist Geist und Wille, aber er ist auch Natur“ (Papst Franziskus 2015, S. 7) und weiter: „Es wird unerlässlich, ein Rechtssystem zu schaffen, das unüberwindliche Grenzen enthält und den Schutz der Ökosysteme gewährleistet, bevor die neuen Formen der Macht, die sich von dem techno-ökonomischen Paradigma herleiten, schließlich nicht nur die Politik zerstören, sondern sogar die Freiheit und die Gerechtigkeit“ (Papst Franziskus 2015, S. 49).

Für Bernd Ulrich (2019, S. 155ff) wird mit fortschreitendem Klimawandel eine „naive Interpretation der Freiheit“, deren Fokus auf den Rechten des Individuums gegenüber dem Staat liegt, zur Farce. Bei knapper werdendem CO_2-Budget (Rahmstorf 2019) und Verschärfung der Folgen des Klimawandels, z. B. durch Überschreiten von Kipppunkten, wird der Handlungsdruck immer größer und *Möglichkeiten* zum Klimaschutzes stellen sich plötzlich als unvermeidliche *Notwendigkeiten* dar.

Bei Verschärfung der Umweltprobleme „herrscht auch in den westlichen Demokratien nicht mehr die Freiheit, sondern blanke Panik“ (Ulrich 2019, S. 160). Für den freiheitlichen Staat stellen weniger ideologische Auffassungen als klimapolitische Unterlassungen eine ernsthafte Bedrohung dar. Wenn Teile der Wohlstandsgesellschaft auf „Fliegen und Rasen, mit brummender Beschleunigung“ (Ulrich 2019, S. 162) pochen, dann fordern sie überkommene Privilegien ein. Dies hält Ulrich aber nicht für freiheitlich, sondern für feudal.

In der politischen Debatte muss dennoch der Freiheitsbegriff zur Begründung von Forderungen herhalten: „Mobilität ist Teil der persönlichen Freiheit. […] Zur Freiheit gehört auch, ohne Gängelei selber zu entscheiden, welches Verkehrsmittel man benutzt, und neue Mobilitätskonzepte ausprobieren zu können“ heißt es im Wahlprogramm der FDP von 2017 (FDP 2017, S. 47f). Und an gleicher

Stelle zum Umweltthema: „Der weitverbreiteten Symbol- und Verbotspolitik setzen wir Fortschrittsoptimismus durch Freiheit und Verantwortung entgegen“ (FDP 2017, S. 55). Der Zeit-Redakteur Robert Pausch charakterisiert hier die Haltung von FDP-Chef Christian Lindner so, als wäre für ihn auch der „Verbrennungsmotor liberal“ (Pausch 2020).

In der Bild-Zeitung wird mit dem Freiheitsbegriff gleich zu einem Frontalangriff auf die Klimabewegung angesetzt:

„Wenn es der Klimabewegung nicht gelingt, ihre Anliegen demokratisch zu legitimieren, darf sie nicht mal eben die Demokratie aushöhlen. Nur weil sie sich moralisch im Recht wähnt. Denn das wäre gefährlicher für unsere freie Gesellschaft als der Klimawandel“ (Schmiechen 2019).

Und die FAZ spitzt zu: „Lieber zwei Grad höhere Temperaturen als zwei Grad weniger Freiheit“ (Ulrich 2019, S. 160). Wie haltbar solche Positionen angesichts real höherer Temperaturen und zunehmender Extremwetterereignisse sind, bleibt abzuwarten.

2.3.2 Auswirkungen des Umweltschutzes und des Klimawandels auf die Automobilbranche

Wie oben ausgeführt, gehen wir davon aus, dass der Veränderungsdruck der Faktoren Luftverschmutzung durch Schadstoffemissionen wie auch Ressourceneffizienz in nächster Zeit eher begrenzt bleiben wird. Die Schadstoffemissionen werden aufgrund des Trends zur Elektrifizierung ohnehin an Bedeutung verlieren. Und die politische Durchsetzung ressourceneffizienter Automobile erscheint angesichts der daraus folgenden Veränderungsdynamik hin zu kleinen und weniger profitablen Automobilen gegenwärtig wenig wahrscheinlich.

PricewaterhouseCoopers (2017) untersucht mögliche Veränderungen in der Automobilbranche, die aufgrund des Drucks auf die Regierungen, mehr Klimaschutz durchzusetzen, bis ca. 2030 erwartet werden. Untersucht wurden Technologieszenarien auf Basis von batterieelektrischem Antrieb, von Wasserstoffantrieb und auf Basis synthetischer Treibstoffe für Verbrenner. Die Studie zeigt zwei wesentliche Veränderungen: Bei den variablen Kosten und bei den Investitionskosten.

Durch die Zuordnung der Investitionen für die Kraftstofferzeugung zum Kraftstoffpreis, den Einbezug der zusätzlichen Betriebskosten sowie Margen und Steuern wurde ein zu erwartender Kraftstoffpreis für die Endverbraucher berechnet. Im Vergleich zu den heutigen Kosten für fossile Brennstoffe von 7–12 Euro pro 100 km werden niedrigere Kraftstoffkosten im vollelektrischen Szenario von fünf bis sieben Euro pro 100 km erwartet. Im Wasserstoff-Szenario wird die gleiche Größenordnung von 7–12 Euro pro 100 km wie heute mit Benzin oder Diesel erwartet und im Synfuel-Szenario etwa doppelt so hohe Kraftstoffkosten wie heute, also 14–24 Euro pro 100 km.

Unter Annahme ähnlicher Gesamtfahrleistungen der gesamten Pkw-Flotte wie heute wurde zweitens ein Vergleich der Investitionskosten durchgeführt. Der Vergleich bezieht sich auf die gesamte „Lieferkette“, also von Windkraftanlagen und PV über Elektrolyse, Verteil- und Ladeinfrastruktur. Für den Aufbau einer Versorgungsinfrastruktur für das vollelektrische Szenario wurden Gesamtkosten von 301 Milliarden Euro errechnet, für das Wasserstoff-Szenario Gesamtkosten von 479 Milliarden Euro und für das Synfuel-Szenario Gesamtkosten von 1.371 Milliarden Euro.

Der Grund sowohl für die vergleichsweise niedrigen Investitionen und variablen Kosten der Elektroautos liegt im hohen Wirkungsgrad des Elektroantriebs im Vergleich zum niedrigen Wirkungsgrad der Wasserstoff- bzw. Synfuel-Versorgung. Für die Versorgung mit Wasserstoff ist neben

den Elektrolyseanlagen zusätzlich der Aufbau einer doppelt so hohen Kapazität zur Erzeugung erneuerbaren Stroms erforderlich, für die Synfuel-Versorgung liegt der Faktor bei ca. 6,2. Im Ergebnis lässt die Studie nur den Schluss zu, dass sich im Pkw-Segment der Elektroantrieb durchsetzen wird. Dies wundert nicht, denn sowohl Volkswagen (Volkswagen AG 2020) wie auch Daimler (Engemann 2020) haben sich bereits entschieden, den Wasserstoffantrieb für Pkw nicht weiter zu entwickeln.

Das Kostenargument steht auch im Zentrum einer Analyse der UBS (2017), die Vorteile bei den Total Costs of Ownership (TCO) für Fahrer von Elektroautos in Europa schon 2018 errechnet. Aufgrund der in der Markteintrittsphase noch auftretenden Verluste der Hersteller und der öffentlichen Förderungen werden „wirkliche“ TCO-Vorteile, die den Herstellern eine EBIT-Marge von fünf Prozent ermöglichen, erst 2023 erwartet (UBS 2017, S. 10). Die erheblichen Kostenvorteile werden sich schon 2025 aus Sicht der UBS in einem Marktanteil von Elektroautos in Europa von über 30 Prozent niederschlagen (UBS 2017, S. 12).

Die für eine Flotte von Elektroautomobilen niedrigeren Investitions-, Betriebs- und Wartungskosten wirken sich zwar positiv auf die Kosten für die Nutzerinnen und Nutzer der Automobile aus, spiegeln aber auch den niedrigeren Aufwand für die Produktion von Elektrofahrzeugen wider. Dieser niedrigere Aufwand wiederum schlägt sich voraussichtlich in einer sinkenden Zahl von Arbeitsplätzen in der Autobranche nieder. Die Effekte vorherzusagen ist dabei aus einer Reihe von Gründen nicht einfach. Denn neben einem zu erwartenden Arbeitsplatzabbau in der Herstellung von Produkten für den Antrieb durch Verbrennungsmotor wie Motorblöcke, Zylinder, Ventile oder Auspuffanlagen müssen ja auch zusätzlich Teile für den Elektroantrieb hergestellt werden, also Elektromotoren, die elektrische Steuerung, die Batterien und Ladesysteme.

Das Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB) schätzt für 2035 den Verlust an Arbeitsplätzen auf ca. 114.000 (IAB 2018), bezieht aber die gegenüber reinen Verbrennern aufwendigere Fertigung von Hybridfahrzeugen nicht in die Überlegungen ein. Für die Autobranche in Baden-Württemberg erwartet e-mobil BW (2019) moderate direkte Beschäftigungseffekte, die je nach Szenario zwischen einem Zuwachs von 1,9 Prozent (+8.900) und einem Rückgang von 6,6 Prozent (–30.800) ausfallen können. Durch das ifo-Institut wurden für Bayern ähnliche Größenordnungen ermittelt (Falck/Koenen 2019).

Angesichts der Befürchtungen eines Rückgangs von Arbeitsplätzen in der gutbezahlten Autobranche entwickeln einige Studien Strategien, um die Arbeitsplätze auf dem Rücken von Kunden und Umwelt zu erhalten. So plädiert z. B. die Studie Elab 2.0 (Fraunhofer IAO 2018, S. 13) für die

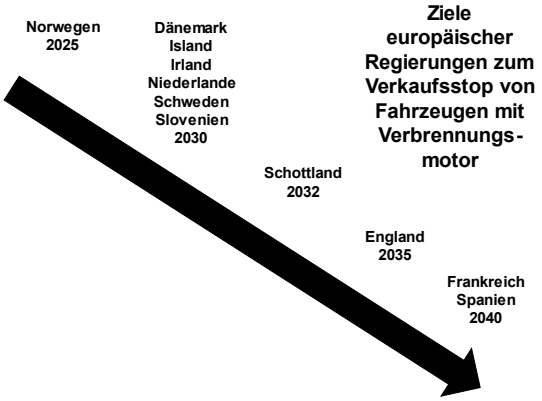
verstärkte Förderung der vergleichsweise teuren und ineffizienten Hybridtechnologie sowie die Förderung der nochmals deutlich ineffizienteren sogenannten alternativen Kraftstoffe (Synfuels):

„Eine sozialgerechte Transformation zur Elektromobilität könnte die Politik dadurch begünstigen, dass sie Hybridfahrzeuge regulatorisch unterstützt. Im Rahmen von ELAB 2.0 wurde deutlich, dass Plug-in-Hybride den Arbeitsplatzabbau spürbar dämpfen können. Das zeigte sich zumindest in gesonderten Sensitivitätsanalysen der Szenarien 1 und 2. Es wäre also wünschenswert, wenn auch auf europäischer Ebene Plugin-Hybride weiterhin auf die CO2-Flottenziele angerechnet würden. Ähnliches sollte im Sinne eines technologieneutralen Weges zur Emissionsminderung auch für alternative Kraftstoffe und optimierte Verbrennungsmotoren gelten."

Unklar bleibt, welche Annahmen die Studien über den Exportanteil treffen. Da die Exportquote, also der Anteil der Exporte an der Gesamtproduktion, in 2017 mit 77,5 Prozent sehr hoch liegt (Verband der Automobilindustrie 2018), steht und fällt jede Langfristprognose zur Entwicklung der Zahl der Arbeitsplätze mit einem dauerhaften Erfolg der Deutschen Hersteller auf dem europäischen und dem Weltmarkt. Dieser Erfolg wird davon abhängig sein, ob es gelingt, dass die Deutschen Hersteller erfolgreich das Premiumsegment der Elektroautos besetzen, wofür ein starker nationaler Leitmarkt notwendig erscheint (Clausen 2018, S. 23; European Climate Foundation 2018, S. 8).

Wichtig für die Beurteilung zukünftiger Exportchancen sind auch die Ziele europäischer Regierungen, in den nächsten Jahren den Verkauf von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor nicht mehr zuzulassen. Das International Council on Clean Transportation hat die Pläne hierzu im Mai 2020 recherchiert (Wappelhorst 2020):

Abbildung 15: Ziele europäischer Regierungen zum Verkaufsstop von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor



Quelle: International Council on Clean Transportation (Wappelhorst 2020)

Auf der COP26 in Glasgow haben sich 38 Nationen und darüber hinaus 46 Städte und Regionen sowie elf Automobilhersteller verpflichtet, über das Jahr 2040 hinaus keine Verbrennerfahrzeuge mehr zuzulassen. In hochentwickelten Märkten gilt sogar das Zeitziel 2035 (COP26 Glasgow 2021).

Die Beschäftigungseffekte der Elektromobilität gehen im Übrigen auch weit über die Fahrzeugproduktion hinaus. Aufgrund einer geringeren Wartungsintensität (UBS 2017) ist mit weniger Arbeitsplätzen in den Werkstätten zu rechnen. Durch die zu erwartende nationale Produktion des notwendigen grünen Stroms entstehen aber auch Arbeitsplätze bei Herstellung und Wartung von Windkraftanlagen, PV-Anlagen, Stromspeichertechnologien und Ladeinfrastrukturen. Letztlich ist eine Verschiebung von Arbeitsplätzen von der Automobilbranche zur Energiebranche zu erwarten, was einen Hinweis auf einen Strukturwandel darstellt. Auch für Spanien erwartet die European Climate Foundation (2018, S. 72) zwar langfristig positive Beschäftigungseffekte, allerdings nicht im Automobilsektor, sondern z. B. in der Energiewirtschaft.

3. Wechselwirkungen zwischen den Veränderungstreibern und Auswirkungen auf Regime und Nische

Bei der Charakterisierung von Veränderungen auf der Landscape-Ebene kann auf vorhandene Typologien zur Beschreibung von Umweltveränderungen zurückgegriffen werden. Eine grundlegende Unterscheidung ist die zwischen kontinuierlichem, evolutionärem und diskontinuierlichem, revolutionärem Wandel (van de Ven/Hargrave 2004). Für eine tiefergehende Charakterisierung von Umweltveränderungen schlagen Suarez und Olivia (2005) die Variablen Frequenz, Amplitude, Geschwindigkeit und Reichweite vor. Je nach Ausprägung und Kombination dieser Variablen können unterschiedliche Typen von Veränderungsprozessen unterschieden werden.

Tabelle 1: Charakterisierung von Umweltveränderungen

Frequency	Amplitude	Speed	Scope	Type of environmental change
low	low	low	low	regular
high	low	high	low	hyperturbulence
low	high	high	low	specific shock
low	high	low	low	disruptive
low	high	high	high	avalanche

Quelle: Suarez/Olivia (2005)

Wie Tabelle 1 zeigt, unterscheiden Suarez und Olivia (2005) folgende fünf Fälle. Beim ersten Typ („regular“) vollzieht sich der Wandel in einem gleichmäßigen, langsamen, auf wenige Umweltdimensionen begrenzten und wenig intensiven Prozess. Beim zweiten Typ („hyperturbulence“) treten Umweltveränderungen häufig auf und vollziehen sich in einer großen Geschwindigkeit. Allerdings ist die Intensität jeder Veränderung eher gering und bleibt auf wenige Umweltdimensionen begrenzt.

Ein weiterer Typ ist der „spezifische Schock“: Hierbei ist die Intensität und die Geschwindigkeit der Veränderungen hoch, aber die Frequenz, mit der die Schocks auftreten, ist gering und ihre Reichweite ist auf wenige Umweltdimensionen beschränkt. Hierunter können beispielsweise Veränderungen der gesetzlichen Rahmenbedingungen verstanden werden, die in den betroffenen Branchen zu erheblichen Anpassungen führen.

Der vierte Typ („disruptive“) hat starke Auswirkungen auf die betroffenen Organisationen und Individuen, tritt aber eher selten auf, entwickelt sich allmählich und betrifft nur wenige Dimensionen der Umwelt. Diese Art von Veränderungen kann für eine gewisse Zeit ignoriert werden, erfordert aber letztlich erhebliche Anstrengungen zur Anpassung an die veränderte Situation. Ein Beispiel sind technologische Umbrüche, wie sie z. B. durch die Erfindung des Verbrennungsmotors eingeleitet wurden. Abschließend gibt es noch einen letzten Veränderungstyp („avalanche“), der zwar selten eintritt, aber dann zu schnellen und radikalen Veränderungsprozessen führt, wie z. B. im Fall von politischen Umwälzungen, Kriegen oder Pandemien.

Die drei Trends auf Landscape Ebene (Digitalisierung, Globalisierung und Klimawandel) lassen sich nicht eindeutig in das oben vorgestellte Charakterisierungsschema einordnen. Alle drei Trends sind größtenteils kontinuierliche Vorgänge, die nicht in Form von Wiederholungen auftreten und weisen so eine niedrige Frequenz auf. Gleichzeitig stellen alle drei Trends fundamentale Veränderungen dar und haben somit eine große Amplitude. Allen Trends ist ebenfalls gemeinsam, dass sie eine enorme Reichweite haben. Somit unterscheiden sich die Trends innerhalb dieses Charakterisierungsschemas nur hinsichtlich ihrer jeweiligen Geschwindigkeiten.

Unter den drei Trends schreitet die Digitalisierung augenscheinlich am schnellsten voran, wenn auch nicht mit der Geschwindigkeit von Kriegen oder Pandemien. Die Digitalisierung kann somit zwischen Disruptive und Avalanche eingeordnet werden. Im Gegensatz dazu weisen Globalisierung und Klimawandel (bzw. Klima- und Umweltschutz) langsamere Geschwindigkeiten auf. Wie oben beschrieben, ist bei der Globalisierung nach einer Phase der Beschleunigung in den letzten Jahren eine Verlangsamung bzw. Stagnation zu beobachten, während davon ausgegangen wird, dass der Klimawandel sich stark beschleunigt, wenn der Klimaschutz nicht massiv ausgebaut wird. Insofern kann der Klimawandel perspektivisch als Avalanche bezeichnet werden. Dahingegen ist unklar, in welcher Form und Geschwindigkeit insbesondere die ökonomische Globalisierung weiter voranschreitet.

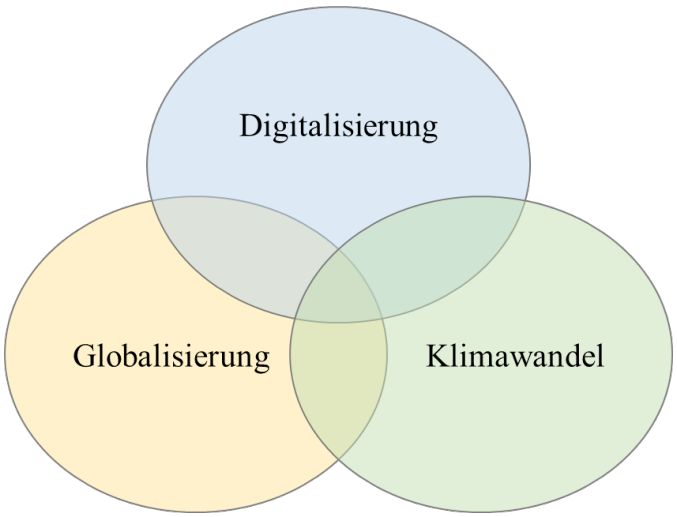
3.1 Wechselwirkungen zwischen den Veränderungstreibern

Die Trends Digitalisierung, Globalisierung und Klimawandel beeinflussen die Gesellschaft, Wirtschaft und Automobilindustrie nicht unabhängig voneinander. Viele aktuelle und zukünftige Entwicklungen stellen vielmehr

eine Verflechtung der Trends dar. Schnittmengen können sowohl zwischen zwei Trends als auch zwischen allen dreien entstehen (s. Abbildung 16). Teilweise wurden erste Verflechtungen schon in den vorangegangenen Kapiteln zu den Einzeltrends erwähnt.

Die explizite Benennung und Untersuchung der entstehenden Interdependenzen zwischen den Trends für die Automobilindustrie ergänzen die Analyse der Einzeltrends. Die teils komplexeren Zusammenhänge geben zum einen Hinweise auf besonders dynamische Entwicklungen und ermöglichen eine umfassendere Abschätzung von Folgewirkungen. Tabelle 2 liefert eine Übersicht zu den identifizierten Wechselwirkungen. Diese sind nach ihrer Verortung in den jeweiligen Schnittmengen (Klima-Digitalisierung, Digitalisierung-Globalisierung, Globalisierung-Klima, Klima-Digitalisierung-Globalisierung) gegliedert. Die genannten Wechselwirkungen können sich hinsichtlich ihrer Relevanz bzw. des Umfangs der möglichen Auswirkungen unterscheiden.

Abbildung 16: Schematische Darstellung der Trends und Schnittmengen



Quelle: eigene Darstellung

In der Schnittmenge zwischen Klimawandel und Digitalisierung scheinen insbesondere die Verknüpfungen zwischen dem Wandel zur E-Mobilität und der zunehmenden Digitalisierung von Produktion und Fahrzeug relevant. Zum einen stellt das parallele Auftreten der Trends große Herausforderungen für Unternehmen dar, gleichzeitig ergeben sich durch die Konstruktion des Antriebsstrangs von E-Fahrzeugen neue Möglichkeiten hinsichtlich der Konzeption und Konstruktion von Fahrzeugen.

Das kann in Verbindung mit Konzepten von autonomen Fahrzeugen, die einen neuen Fokus auf den Innenraum legen, zu großen Veränderungen der traditionellen Fahrzeuge führen. Zudem kann die Umstellung von Produktionslinien auf die Herstellung von Komponenten für den elektrifizierten Antriebsstrang parallel zur Umstellung auf vernetze Anlagen und eine entsprechende Produktionsplanung verlaufen. Effizienzpotenziale in Planung und Umbau von Produktionslinien sowie integrierte technologische Entwicklung von Komponenten und Anlagen scheinen möglich.

Die Digitalisierung von Fahrzeugen und digitale Angebote zur Vernetzung und geteilten Nutzung von Fahrzeugen versprechen zudem positive Effekte hinsichtlich der Klimabilanz des Verkehrssektors, selbst unter Einbezug potenzieller Rebound-Effekte durch höhere Energiebedarfe digitaler Infrastruktur und Verlagerungen vom öffentlichen Verkehr zur automatisierten Individualmobilität (Gyetko/Pichlmaier/Roon 2021; vgl. Krail et al. 2019).

Tabelle 2: Übersicht der Wechselwirkungen zwischen den Trends

Wechselwirkungen zwischen	Wechselwirkungen
Klima und Digitalisierung	• neue Design-Möglichkeiten und Konzepte durch Modulare E-Antriebs-Baukasten (MEB) und automatisiertes Fahren • vernetzte und automatisierte Produktion von MEB • langfristige Möglichkeit von Flotten für geteilte Mobilität • geteilte Mobilität als Ergänzung zum Privat-Pkw für die bedarfsorientierte Nutzung von Fahrzeugen mit unterschiedlichen Antriebstypen • hoher Rechenaufwand für Vernetzung von Fahrzeugen und Produktion und einhergehende Steigerung der Energiebedarfe für Server und Telekommunikationsnetze. • etwaige Rebound-Effekte durch teilweise Verlagerung des öffentlichen Verkehrs in Richtung autonomen Individualverkehrs
Digitalisierung und Globalisierung	• zunehmende Relevanz globaler Datenströme und Standortfrage Server, neue Form von „Handelspolitik“ • IKT-Akteure, bspw. aus dem Silicon Valley, engagieren sich im Automobilsektor.

	• Digitalisierung der Produktion kann sich auf Outsourcing/Offshoring-Strategien auswirken, also auch Rückverlagerung bedeuten. • Nutzung additiver Fertigung und digitaler Zwillinge ermöglicht flexiblere Produktion. • zunehmende Abhängigkeit der Automobilproduktion von der Halbleiterfertigung
Globalisierung und Klima	• Internationale Lieferketten weisen auf ihren Wertschöpfungsstufen unterschiedliche Umweltauswirkungen je nach produzierender Region auf. • China baut Rolle als Hersteller von Fahrzeugen mit neuen Antriebsformen auf.
Klima und Digitalisierung und Globalisierung	• Durchgehendes Monitoring von Umweltauswirkungen entlang globaler Lieferketten erfordert zunehmende Digitalisierung. • politische vs. geographische Faktoren der Verteilung der digitalen Infrastruktur • zunehmende Digitalisierung von Fahrzeugen und Produktion chinesischer E-Fahrzeug-Hersteller

Quelle: eigene Darstellung

In der Schnittmenge zwischen Digitalisierung und Globalisierung wurden ebenfalls verschiedene relevante Aspekte identifiziert. Zum einen werden mit zunehmender Datenverarbeitung in quasi allen Prozessen in der Automobilindustrie, inklusive dem Betrieb vernetzter Fahrzeuge, die sichere und verlässliche Datenspeicherung und -verarbeitung zu Kernthemen. Die Frage der Server-Standorte kann neue Regionen in die Wertschöpfungskette der Automobilindustrie integrieren, das Wachsen von Datenströmen, als digitale Handelsströme, vermehrt in den Fokus der Außenpolitik treten.

Zum anderen treten zunehmend IKT-Akteure mit digitalen Technologien, wie bspw. Künstliche Intelligenz oder Mobilitätsplattformen, in den Mobilitätsmarkt und verändern die eingespielten globalen Handelsketten und regionalen Cluster. Hinzu kommt eine zunehmende Abhängigkeit der Automobilproduktion von der Halbleiterfertigung, die sich im Zuge der seit Anfang 2021 auftretenden Lieferengpässe negativ bemerkbar macht. Schließlich kann die Digitalisierung der Produktion, die womöglich weniger Arbeitskräfte benötigt und einen höheren Grad an Flexibilität bietet, erhebliche Auswirkungen auf die Standortentscheidungen für Produktionsstätten haben.

In der Schnittmenge zwischen Globalisierung und Klimawandel wurden zwei zentrale Interdependenzen identifiziert: zum einen der Zusammenhang zwischen umweltfreundlicheren Technologien und deren internationalen Produzenten und zum anderen zwischen Emissionen und globalen Lieferketten. Erstere Beobachtung bezieht sich insbesondere auf die steigende Relevanz Chinas als Fahrzeugproduzent, der durch die Einführung batterieelektrischer Fahrzeuge seine heimische Produktion stark erhöht hat. Bislang werden die Fahrzeuge chinesischer Hersteller noch vorrangig auf dem heimischen Markt vertrieben; Exporte in anderen Weltregionen könnten für die etablierten Hersteller jedoch schon in naher Zukunft eine zusätzliche Konkurrenz darstellen.

Die zweite Beobachtung bezieht sich auf die Umweltwirkungen der Produktion von Fahrzeugen und Komponenten. Treibhausgasemissionen, beispielsweise, hängen stark von den örtlichen Gegebenheiten wie der Effizienz der Anlagen und Prozesse aber auch des jeweiligen Strommixes ab. So tauchen besonders emissionsreiche Produktionsschritte normalerweise in der deutschen Umwelt-Bilanz nicht auf, wenn sie ins Ausland verlagert wurden. Die Auslagerung umweltintensiver (auch über Emissionen hinausgehender) Produktionsschritte zur Vermeidung strengerer Vorschriften im Heimatland kann als ein Teil-Treiber für Globalisierungsstrategien, insbesondere in der Vergangenheit, betrachtet werden.

Mit zunehmender Relevanz eines ganzheitlich konzipierten Umweltschutzes werden nun jedoch strengere Anforderungen an die Nachhaltigkeit von internationalen Lieferketten gestellt. Eine nachhaltige Produktion mit hohen Umweltstandards kann dabei attraktiv werden und Länder mit entsprechenden Rahmenbedingungen ihre Standortattraktivität erhöhen. Möglich sind daher Rückverlagerungen von Produktionsschritten in die Heimatländer mit strengen Vorschriften, aus denen sie vorher ausgelagert wurden.

Diese Wechselwirkung kann um den Trend der Digitalisierung erweitert werden. Die Nachhaltigkeit internationaler Lieferketten kann sich nur dann feststellen lassen, wenn Informationen zu Emissionen und anderen Umweltauswirkungen erfasst und übermittelt werden. Dafür ist wiederum die Digitalisierung ein zentraler Baustein, da eine Vielzahl von Daten erhoben, verarbeitet und gesammelt über entsprechende Schnittstellen ausgetauscht werden müssen. In der Schnittmenge aus Klima, Digitalisierung und Globalisierung können außerdem Entwicklungen internationaler Akteure nicht nur im Bereich elektrifizierter Fahrzeuge, sondern auch elektrifizierter und vernetzter bzw. autonomer Fahrzeuge erfasst werden, die dem globalen Pkw-Markt zusätzliche Dynamik verleihen können.

3.2 Auswirkungen auf Regime und Nische

Die drei betrachteten Trends der Landschaft beeinflussen die gesamte Automobilindustrie und damit sowohl das Regime als auch die Nische. Dabei wirkt nicht jeder Trend in gleichem Maße auf Regime und Nische. In diesem Abschnitt werden die Unterschiede in den Wirkungen der Trends auf die beiden Ebenen näher beleuchtet.

Eine zentrale Erklärung für technologische Veränderung aus der Multi-Level-Perspektive ist das Auftreten von Gelegenheitsfenstern, sogenannten „windows of opportunity“. Diese Fenster werden als Eintrittsmöglichkeiten von Nischen-Technologien in das Regime verstanden und finden meist statt, wenn das Regime vulnerabel ist. Der Ursprung der windows of opportunity kann vielfältig sein und wird u. a. von Ereignissen in der Landscape beeinflusst.

Im Falle der Automobilindustrie können grob zwei solcher windows of opportunity identifiziert werden. Eines davon ist der verstärkte (politische) Druck auf die Automobilindustrie, die spezifischen Treibhausgasemissionen ihrer Flotten zu senken, um den Klimawandel einzudämmen. Die Automobilindustrie begegnet diesem Druck mehrheitlich mit der Elektrifizierung des Antriebsstrangs. Ein weiteres window of opportunity ergibt sich aus den unterschiedlichen technologischen Möglichkeiten, die die voranschreitende Digitalisierung hinsichtlich der Ausstattung von Fahrzeugen und der Gestaltung von Produktionsprozessen bietet.

Der Globalisierung kommt dabei einerseits eine unterstützende Rolle hinzu, indem sie den Rahmen für den Aufbau einer globalisierten Automobilindustrie bietet. Andererseits zeichnet sich unabhängig von den Entwicklungen in der Automobilbranche eine Verlangsamung ab, deren letztendliches Ausmaß zu diesem Zeitpunkt schwer abzuschätzen ist. Zudem stellen der Klimawandel und die Möglichkeiten der Digitalisierung klassische Modelle der Globalisierung zunehmend in Frage.

Im Rückblick auf die letzten dreißig Jahre scheinen folgende zentrale Veränderungen bzw. Ereignisse von besonderer Bedeutung für die Wechselwirkungen zwischen den Veränderungstreibern und ihren Auswirkungen auf die Automobilbranche:

- Die deutliche Leistungssteigerung und Preisreduktion digitaler Bauteile, die den Einsatz digitaler Steuerungen sowohl in der Produktion als auch im Automobil immer einfacher möglich machte.
- Die mit der Entwicklung von mobilen Rechnern einhergehende Verfügbarkeit bezahlbarer und leistungsfähiger Lithium-Ionen Akkumulatoren, die etwa ab dem Jahr 2003 den Einsatz in Automobilen möglich erscheinen ließ (Paine 2006).

- Die Erkenntnisse über den Klimawandel und die Möglichkeiten erneuerbarer Energien, die seit den 1980er Jahren den Wunsch nach Elektroautos in der Nische der umweltorientierten Konsument:innen wachsen ließ (Lemme 1988, S. 22–29; Figenbaum/Kolbenstvedt 2013).
- Die kontinuierlich steigende Mobilität von Personen, Informationen, Kapital und Gütern, die die Globalisierung vorantrieb, heute aber vermutlich einen schwindenden Einfluss auf die Gestaltung der Automobilproduktion hat.

Grundsätzlich haben Nischen-Akteure den Vorteil, ein bestehendes Produkt oder eine Leistung aus einer neuen Perspektive betrachten zu können. Im Gegensatz dazu sind Regime-Akteure eher pfadabhängig und bewegen sich in ihren etablierten Entwicklungs- und Entscheidungsprozessen, die inkrementelle anstelle von radikalen oder grundlegenden Innovationen hervorbringen (Fichter/Clausen 2013).

Dazu kann unter anderem auch die Finanzierungsstruktur der verschiedenen Akteure beitragen. Etablierte Firmen des Regimes müssen zu jeder Zeit die Renditeerwartungen ihrer Aktionäre erfüllen und investieren meist erst dann umfangreich in den Kapazitätsaufbau für neue Technologien, wenn diese einen gewissen Reifegrad erreicht haben und ein erfolgreicher Absatz absehbar ist. Neuere Firmen können, vorausgesetzt sie sind ausreichend finanziert, hier freier und experimentierfreudiger handeln und haben damit eine andere Ausgangsposition zur Entwicklung radikaler Neuerungen.

Mit Blick auf Nischen-Hersteller blieb ihr Zugang zu Risikokapital, mit wenigen Ausnahmen wie Tesla und einigen chinesischen Elektroauto-Startups, bisher eng begrenzt. Nischen-Akteure scheinen im Innovationsprozess eher die Breite der Optionen zu erweitern und auszutesten, während Regime-Akteure eher nach einer Phase der Selektion erfolgsversprechender Lösungen in den Markt eintreten (Fichter/Clausen 2013).

Einige Nischen-Akteure konnten die sich aus dem Klimawandel und der Digitalisierung ergebenden windows of opportunity effektiv nutzen (Clausen/Olteanu 2020; 2021). Dies wurde zum einen erleichtert, da der elektrifizierte Antriebsstrang technisch einfacher als der von Verbrennungsmotoren ist. So konnten Nischen-Akteure die Elektrifizierung für den Eintritt in einen Markt mit bis dato hohen Eintrittsbarrieren nutzen, was auch seitens der chinesischen Technologiepolitik seit 10 Jahren bewusst als Chance genutzt wird. Gleichzeitig haben sich Nischen-Akteure Wissensvorsprünge beispielsweise hinsichtlich der Effizienz des elektrischen Antriebs erarbeitet, die erst langsam von Regime-Akteuren aufgeholt werden.

Zum anderen bietet die Digitalisierung von Fahrzeugen, Produktion und Mobilitätsservices nicht nur klassischen Nischen-Akteuren, sondern auch branchenfremden Firmen die Möglichkeit, in den Automobil- bzw. Mobilitätsmarkt einzutreten. Akteure aus der IKT-Branche weisen im Bereich digitaler Lösungen und Konzepte ein größeres Vorwissen im Vergleich zur Automobilindustrie auf und können somit das Regime unter Druck setzen. So waren es eng mit der IKT-Branche vernetzte Nischen-Akteure wie Tesla oder einige chinesische Elektroauto Start-ups, die neue Entwicklungen der Rechnerarchitektur in Fahrzeugen und Konzepte wie „Over-the-Air-Updates“ in den letzten Jahren zur Serienreife brachten (Clausen/Olteanu 2020; 2021). Diese Technologien werden erst seit kurzem auch von Regime-Akteuren eingesetzt.

In Hinblick auf die Entstehung von Start-Ups bzw. kleineren Nischen-Akteuren sind im Feld der Digitalisierung die Einstiegshürden in den Mobilitätsmarkt zudem weitaus geringer als im Bereich von Komponenten für die klassische Automobilindustrie, da im Vergleich zur physischen Produktentwicklung oftmals nur um ein Vielfaches geringere Investitionen getätigt werden müssen.

Die Auswirkungen der drei Trends auf Regime und Nische werden in eigenen Berichten, die sich Akteuren des Regimes und der Nische widmen, in größerem Detail analysiert. Eine Studie ist bereits zu Tesla (Clausen/Olteanu 2020) und eine weitere zu den Nischen-Akteuren Waymo, BYD und Sono-Motors (Clausen/Olteanu 2021) erschienen. Im weiteren Projektverlauf wird zudem eine Studie veröffentlicht, die Veränderungen im Regime detailliert beschreibt.

4. Fazit

Die Megatrends Digitalisierung, Globalisierung und die Elektrifizierung des Antriebsstrangs stellen die deutsche Automobilindustrie vor noch nie dagewesene Herausforderungen, bieten aber auch Chancen, die eine fundamentale Transformation der Branche einläuten könnten.

Im Bereich der Digitalisierung der Fahrzeuge finden Interaktionen zwischen der traditionellen Automobilbranche und neuen Akteuren aus dem IKT-Bereich statt, die Fahrzeuge und deren Nutzung nachhaltig verändern können. Autonome, vernetzte Fahrzeuge ermöglichen weitreichende Veränderungen des Mobilitätsverhaltens und könnten unter günstigen Umständen auch zu einer Reduktion der Umweltbelastungen durch Individualmobilität führen. Hierbei stellt sich die Frage, welche Rolle deutsche Hersteller einnehmen werden.

Die Möglichkeiten reichen von einer Konzentration auf das Kerngeschäft des klassischen Fahrzeugbaus ohne nennenswerten Anteil an der Digitalisierung der Fahrzeuge, bis hin zu neuen Geschäftsmodellen, in welchen Mobilitätsdienstleistungen im Mittelpunkt stehen und deutsche Hersteller große Teile der Wertschöpfungskette abdecken. Neben der Digitalisierung der Fahrzeuge selbst ist die Digitalisierung der Produktion von Bedeutung. Während letztere eine Chance zur Beschleunigung und Flexibilisierung der Produktion darstellt, ist sie aufgrund des erheblichen Investitionsbedarfs für viele – insbesondere kleine und mittelständische – Unternehmen der Automobilbranche gleichzeitig eine große Herausforderung. Gelingt die Digitalisierung der Produktion nicht in ausreichendem Maß, ist die Wettbewerbsfähigkeit dieser Unternehmen in Gefahr.

Jede Entwicklung der deutschen Automobilbranche findet im Kontext einer globalisierten Welt statt. Während die deutsche Automobilindustrie von globalen Absatzmärkten profitiert hat, ist ihre Produktion auch abhängig von funktionierenden globalen Lieferketten. Letztere Situation kann sich zuspitzen, wenn eigene Kapazitäten im Bereich der Digitalisierung aber auch im Bereich der Elektrifizierung nicht ausreichend aufgebaut werden.

Gleichzeitig zeichnet sich eine allgemeine Verlangsamung der Globalisierung ab, deren Effekte auf die deutsche Automobilbranche noch schwer abzuschätzen sind. Die momentan noch starke Exportorientierung – auch der Zuliefererindustrie – kann zum Problem werden, wenn nicht auf die zunehmend diversen Bedarfe externer Märkte eingegangen wird, die nicht zwangsläufig den gleichen Trends wie der deutsche Markt unterliegen müssen.

Während sich Technologien im Bereich der Digitalisierung teils noch stärker in der Entwicklungsphase befinden und die kurz- bis mittelfristigen

Entwicklungen mit größerer Unsicherheit behaftet sind, zeichnet sich im Bereich der Elektromobilität ein deutlicher Pfad ab. Die Dekarbonisierung des Straßenverkehrs mithilfe batterieelektrischer Fahrzeuge für den Individualverkehr scheint gesetzt. Die anfänglich als sehr groß empfundene Herausforderung des Wechsels des Antriebssystems wird nun auch von einigen deutschen Herstellern sehr proaktiv angegangen.

Hierbei spielt, wie bei der Digitalisierung der Fahrzeuge, die Interaktion mit branchenfremden Akteuren eine wichtige Rolle und könnte Chancen insbesondere für die Beschäftigung bieten. Gleichzeitig liegt die technologische Vorherrschaft im Bereich zentraler Komponenten batterieelektrischer Fahrzeuge, wie der Batterien und der Steuerelektronik, weiterhin außerhalb Deutschlands. Der Ausgang dieser Entwicklung ist ebenfalls schwer abzuschätzen. Die deutsche Automobilbranche scheint jedoch besser für diese Herausforderungen gewappnet zu sein als dies noch vor wenigen Jahren erwartet wurde.

Literaturverzeichnis

ADAC (2019): Klima-Studie: Elektroautos brauchen die Energiewende, 12.09.2019. https://web.archive.org/web/20191010084947/https://www.adac.de/verkehr/tanken-kraftstoff-antrieb/alternative-antriebe/co2-treibhausgasbilanz-studie/ (Abruf am 31.01.2022).

Aklin, Michaël / Urpelainen, Johannes (2014): Perceptions of scientific dissent undermine public support for environmental policy. In: Environmental Science & Policy 38, S. 173–177.

Amazon (2020): Unsere Geschichte: Was aus einer Garagen-Idee werden kann? https://www.aboutamazon.de/%C3%BCber-amazon/unsere-geschichte-was-aus-einer-garagen-idee-werden-kann (Abruf am 13.01.2022).

BDI – Bundesverband der Deutschen Industrie (2016): Deutschland 2030 – Zukunftsperspektiven der Wertschöpfung. Berlin: BDI – Bundesverband der Deutschen Industrie.

Beutnagel, Werner (2021): 3D-Druck könnte Lieferengpässe überbrücken. https://www.automobil-produktion.de/technik-produktion/produktionstechnik/id-3d-druck-koennte-lieferengpaesse-ueberbruecken-204.html, 12.04.2021.

Björnberg, Karin Edvardsson / Karlsson, Mikael / Gilek, Michael / Hansson, Sven Ove (2017): Climate and environmental science denial: A review of the scientific literature published in 1990–2015. In: Journal of Cleaner Production 167, S. 229–241.

BMW Group (2021a): Digitalisierung in der Produktion. https://www.bmwgroup.com/de/innovation/unternehmen/industrie-4-0.html (Abruf am 13.01.2022).

BMW Group (2021b): Rede und Präsentation von Oliver Zipse. 101. ordentliche Hauptversammlung der BMW AG. https://www.press.bmwgroup.com/deutschland/article/detail/T0332274DE/rede-und-praesentation-von-oliver-zipse-vorsitzender-des-vorstands-der-bmw-ag-101-ordentliche-hauptversammlung-der-bmw-ag-am-12-05-2021-in-muenchen?language=de (Abruf am 13.01.2022).

Böhm, Andrea / Grefe, Christiane / Kohlenberg, Kerstin / Pinzler, Petra / Borsutzki, Doreen (2019): Glühende Landschaften. In: Die Zeit 49, S. 2–3.

Bremken, Kevin (2019a): Cloud Computing: Was kleine und mittlere Unternehmen über die „Wolke“ wissen sollten. https://www.kompetenzzentrum-kommunikation.de/artikel/cloud-computing-was-kleine-und-mittlere-unternehmen-ueber-die-wolke-wissen-sollten-591/ (Abruf am 13.01.2022).

Bremken, Kevin (2019b): Künstliche Intelligenz: So groß ist das Potenzial für KMU. https://www.kompetenzzentrum-kommunikation.de/artikel/kuenstliche-intelligenz-so-gross-ist-das-potenzial-fuer-kmu-448/ (Abruf am 13.01.2022).

Buchal, Christoph / Karl, Hans-Dieter / Sinn, Hans-Werner (2019): Kohlemotoren, Windmotoren und Dieselmotoren: Was zeigt die CO_2-Bilanz? In: ifo Schnelldienst 72, S. 3–17.

Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (2019): Cyber-Sicherheits-Umfrage – Cyber-Risiken & Schutzmaßnahmen in Unternehmen. Betrachtungszeitraum 2018. https://www.allianz-fuer-cybersicherheit.de/SharedDocs/Downloads/Webs/ACS/DE/cyber-sicherheits-umfrage_2018.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (Abruf am 13.01.2022).

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2021): Gesetz zum autonomen Fahren tritt in Kraft. https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/gesetz-zum-autonomen-fahren.html (Abruf am 13.01.2022).

Bundesverband CarSharing (2021): Aktuelle Zahlen und Fakten zum CarSharing in Deutschland. https://carsharing.de/alles-ueber-carsharing/carsharing-zahlen/aktuelle-zahlen-fakten-zum-carsharing-deutschland (Abruf am 20.01.2022).

Business of Apps (2022): Airbnb Revenues and Usage Statistics. https://www.businessofapps.com/data/airbnb-statistics/ (Abruf am 20.01.2022).

Cadestin, Charles / Backer, Koen de / Desnoyers-James, Isabelle / Miroudot, Sébastien / Rigo, Davide / Ye, Ming (2018): Multinational enterprises and global value chains: the OECD analytical AMNE database. OECD Trade Policy Papers Nr. 211.

Clausen, Jens (2017): Pkw-Antriebe. Transformationsfeldanalyse im Rahmen des Projekts Evolution2Green – Transformationspfade zu einer Green Economy. https://evolution2green.de/sites/evolution2green.de/files/documents/2017-01-e2g-pkw_antriebe-borderstep.pdf (Abruf am 13.01.2022).

Clausen, Jens / Fichter, Klaus (2017): Pfadabhängigkeiten. Querschnittsanalyse auf Basis von 15 Transformationsfeldern im Rahmen des Projekts Evolution2Green – Transformationspfade zu einer Green Economy. https://evolution2green.de/sites/evolution2green.de/files/documents/2017-03-e2g-querschnittsanalyse_pfadabhaengigkeiten.pdf (Abruf am 13.01.2022).

Clausen, Jens (2018): Roadmap Elektromobilität Deutschland. Ziele, Chancen, Risiken, notwendige Maßnahmen und politische Initiativen. https://evolution2green.de/sites/evolution2green.de/files/documents/borderstep31-1-18roadmap-e-mobilitaet.pdf (Abruf am 12.01.2022).

Clausen, Jens / Fichter, Klaus (2019): Governance radikaler Umweltinnovationen: Theoretische Grundlagen und Forschungskonzeption. https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2019/07/AP1Theorie-und-Methoden-31-07-2019.pdf (Abruf am 13.01.2022).

Clausen, Jens / Olteanu, Yasmin (2020): Tesla als Start-up in der Automobilbranche. Vom Pleitekandidat zum Gamechanger. Working Paper Nr. 199 der Hans-Böckler-Stiftung. https://www.boeckler.de/de/faust-detail.htm?sync_id=HBS-007901 (Abruf am 13.01.2022).

Clausen, Jens / Olteanu, Yasmin (2021): Neue Akteure in der Automobilbranche. Waymo, Build Your Dreams und Sono Motors. Working Paper Nr. 204 der Hans-Böckler-Stiftung. https://www.boeckler.de/fpdf/HBS-007945/p_fofoe_WP_204_2021.pdf (Abruf am 13.01.2022).

COP26 (2021): COP26 declaration on accelerating the transition to 100 % zero emission cars and vans. https://www.gov.uk/government/publications/cop26-declaration-zero-emission-cars-and-vans/cop26-declaration-on-accelerating-the-transition-to-100-zero-emission-cars-and-vans (Abruf am 13.01.2022).

Daimler (2021a): Bereit für das nächste Level. Einfach Technik: Hochautomatisiertes Fahren mit dem Drive Pilot. https://www.daimler.com/magazin/technologie-innovation/einfach-technik-drive-pilot.html (Abruf am 17.01.2022).

Daimler (2021b): Die Produktion wird smart. Industrie 4.0 und die vernetzte Fabrik. https://www.daimler.com/innovation/case/connectivity/industrie-4-0.html (Abruf am 17.01.2022).

Deloitte (2019): Urbane Mobilität und autonomes Fahren im Jahr 2035. Welche Veränderungen durch Robotaxis auf Automobilhersteller, Städte und Politiker zurollen.

Destatis (2021): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung: Input-Output-Rechnung 1995–2016.

Deutscher Bundestag (2019): Gesetz zur Einführung eines Bundes-Klimaschutzgesetzes und zur Änderung weiterer Vorschriften.

Die Bundesregierung (2017): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie – Neuauflage 2016. https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975292/730844/3d30c6c2875a9a08d364620ab7916af6/deutsche-nachhaltigkeitsstrategie-neuauflage-2016-download-bpa-data.pdf?download=1 (Abruf am 17.01.2022).

Dolata, Ulrich (2009): Technological innovations and sectoral change. In: Research Policy 38, H. 6, S. 1066–1076.

e-mobil BW (2019): Strukturstudie BWe mobil 2019. Transformation durch Elektromobilität und Perspektiven der Digitalisierung.

Engels, Anita / Hüther, Otto / Schäfer, Mike / Held, Hermann (2013): Public climate-change skepticism, energy preferences and political participation. In: Global Environmental Change 23, H. 5, S. 1018–1027.

Engemann, Marco (2020): Daimler und Volvo kooperieren. In: Hannoversche Allgemeine Zeitung, 22.04.2020.

European Climate Foundation (2018): Low-carbon cars in Spain: A socio-economic assessment. https://europeanclimate.org/content/uploads/2019/11/10-06-2018-fuelling-spains-future-full-report-en.pdf (Abruf am 17.01.2022).

Falck, Oliver / Koenen, Johannes (2019): Fahrzeugbau – wie verändert sich die Wertschöpfungskette? https://www.ihk-muenchen.de/ihk/documents/Industrie/BIHK_ifo-Studie_Fahrzeugbau_final.pdf (Abruf am 17.12.2021).

FDP (2017): Denken wir neu. Das Programm der Freien Demokraten zur Bundestagswahl 2017. https://www.fdp.de/sites/default/files/uploads/2017/08/07/20170807-wahlprogramm-wp-2017-v16.pdf (Abruf am 18.01.2022).

FDP-Bundesparteitag (2019): Beschluss des 70. Ord. Bundesparteitages: Liberale Klimapolitik. https://www.fdp.de/beschluss/beschluss-des-70-ord-bundesparteitages-liberale-klimapolitik (Abruf am 18.01.2022).

Fichter, Klaus/Clausen, Jens (2013): Erfolg und Scheitern „grüner“ Innovationen. Marburg: Metropolis.

Figenbaum, Erik / Kolbenstvedt, Marika (2013): Electromobility in Norway – experiences and opportunities with Electric vehicles. https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=33828 (Abruf am 18.01.2022).

Fraunhofer IAO – Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (2018): ELAB 2.0. Wirkungen der Fahrzeugelektrifizierung auf die Beschäftigung am Standort Deutschland. https://publica.fraunhofer.de/eprints/urn_nbn_de_0011-n-5208831.pdf (Abruf am 18.01.2022).

Gandenberger, Carsten / Clausen, Jens / Grimm, Anna (2020): Theoretische Grundlagen für die Analyse von Transformationsprozessen auf Branchenebene und Anwendung auf die Automobilbranche. Working Paper Nr. 192 der Hans-Böckler-Stiftung. https://www.boeckler.de/de/faust-detail.htm?sync_id=HBS-07855 (Abruf am 18.01.2022).

Gao, Paul / Malorny, Christian /Sha, Sha / Mingyu, Guan / Ting, Wu / Luk, Thomas / Yang, Ling / Lin, Danny / Xu; Xiaoqi (2015): Supercharging the Development of Electric Vehicles in China. http://www.mckinseychina.com/wp-content/uploads/2015/04/McKinsey-China_Electric-Vehicle-Report_April-2015-EN.pdf (Abruf am 19.01.2022).

Geels, Frank W. (2002): Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. In: Research Policy 31, Nr. 8–9, S. 1257–1274.

Geels, Frank W. / Schot, Johan (2007): Typology of sociotechnical transition pathways. In: Research Policy 36, H. 3, S. 399–417.

Geels, Frank W. (2014): Regime Resistance against Low-Carbon Transitions: Introducing Politics and Power into the Multi-Level Perspective. In: Theory, Culture & Society 31, H. 5, S. 21–40.

Giddens, Anthony (1990): The Consequences of Modernity. Stanford: Stanford University Press.

Gyetko, Markus / Pichlmaier, Simon /Roon, Serafin von (2021): Energiewirtschaftliche Auswirkungen autonomer Fahrtechnologie auf den Verkehrssektor. https://www.ffe.de/veroeffentlichungen/energiewirtschaftliche-auswirkungen-autonomer-fahrtechnologie-auf-den-verkehrssektor/ (Abruf am 19.01.2022).

Hajek, Stefan (2019): Was Hans-Werner Sinn bei seiner Elektroauto-Studie übersehen hat. https://www.wiwo.de/technologie/mobilitaet/ist-das-e-auto-ein-rueckschritt-was-hans-werner-sinn-bei-seiner-elektroauto-studie-uebersehen-hat/24237236.html (Abruf am 18.01.2022).

Helmers, Eckard (2015): Die Modellentwicklung in der deutschen Autoindustrie: Gewicht contra Effizienz. https://www.vcd.org/fileadmin/user_upload/Redaktion/Publikationsdatenbank/Auto_Umwelt/Gutachten_Modellentwicklung_deutsche_Autoindustrie_2015.pdf (Abruf am 18.01.2022).

Hofstätter, Thomas / Krawina, Melanie / Mühlreiter, Bernhard / Pöhler, Stefan / Tschiesner, Andreas (2020): Reimagining the auto industry's future: It's now or never. https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/reimagining-the-auto-industrys-future-its-now-or-never (Abruf am 19.01.2022).

Huwart, Jean-Yves / Verdier, Loic (2013): Economic Globalisation. Origins and consequences. Paris: OECD Publishing.

Influence Map (2019): Big Oil's Real Agenda on Climate Change. https://influencemap.org/report/How-Big-Oil-Continues-to-Oppose-the-Paris-Agreement-38212275958aa21196dae3b76220bddc (Abruf am 18.01.2022).

infratest dimap (2019): ARD-Deutschlandtrend. https://www.tagesschau.de/inland/deutschlandtrend-1633.pdf (Abruf am 18.01.2022).

Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (2018): Elektromobilität 2035. Effekte auf Wirtschaft und Erwerbstätigkeit durch die Elektrifizierung des Antriebsstrangs von Personenkraftwagen. http://doku.iab.de/forschungsbericht/2018/fb0818.pdf (Abruf am 18.01.2022).

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2018): Special Report: Global Warming of 1.5 °C. https://www.ipcc.ch/sr15/ (Abruf am 18.01.2022).

Kraftfahrt-Bundesamt (2020): Fahrzeuge. https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/fahrzeuge_node.html (Abruf am 18.01.2022).

Krail, Michael / Hellenkes, Jens / Schneider, Uta / Dütschke, Elisabeth / Schellert, Maximilian / Rüdiger, David / Steindl, Alina / Luchmann, Inga / Waßmuth, Volker /Flämig, Heike / Schade, Wolfgang / Mader, Simon (2019): Energie- und Treibhausgaswirkungen des automatisierten und vernetzten Fahrens im Straßenverkehr. https://www.iml.fraunhofer.de/content/dam/iml/de/documents/OE%20320/Energie-und_Treibhausgaswirkungen_des_automatisierten_und_vernetzten_Fahrens_im_Stra%C3%9Fenverkehr.pdf (Abruf am 19.01.2022).

Krzywdzinski, Martin (2020): Automatisierung, Digitalisierung und Wandel der Beschäftigungsstrukturen in der Automobilindustrie: Eine kurze Geschichte vom Anfang der 1990er bis 2018. In: WZB Discussion Paper, Nr. SP III 2020–302.

Landesmedienzentrum Baden-Württemberg (2020): Geschichte des Internets. https://www.lmz-bw.de/medien-und-bildung/medienwissen/informatik-robotik/historisches/geschichte-des-internets/ (Abruf am 18.01.2022).

Lang, Michael (2006): Globalization and Its History. In: The Journal of Modern History 78, H. 4, S. 899–931.

Leblebici, Huseyin / Salancik, Gerald R. / Copay, Anne / King, Tom (1991): Institutional Change and the Transformation of Interorganizational Fields: An Organizational History of the U.S. Radio Broadcasting Industry. In: Administrative Science Quarterly 36, H. 3, S. 333.

Lemme, Helmuth (1988): Tanken an der Steckdose. In: ELO. Die Welt der Elektronik, H. 10, S. 22–29.

Lerch, Christian / Jäger, Angela (2020): Industrie 4.0 quo vadis? Neuere Entwicklungen der vierten industriellen Revolution im Verarbeitenden Gewerbe. https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/modernisierung-produktion/erhebung2018/PI_76_Industrie_4-0_quo_vadis.pdf (Abruf am 19.01.2022).

Lobbypedia (2018): Europäisches Institut für Klima und Energie. https://lobbypedia.de/wiki/Europ%C3%A4isches_Institut_f%C3%BCr_Klima_und_Energie (Abruf am 18.01.2022).

Messagie, Maarten (2017): Life Cycle Analysis of the Climate Impact of Electric Vehicles. Brüssel: Transport & Environment.

OECD (2005): Measerung Globalisation: OECD Economic Globalisation Indicators 2005. Paris: OECD Publishing.

OECD (2017): OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2017 – The digital transformation. Paris: OECD Publishing.

OECD (2018): Multinational enterprises in the global economy. Heavily debated but hardly measured. https://www.oecd.org/industry/ind/MNEs-in-the-global-economy-policy-note.pdf (Abruf am 18.01.2022).

Oehry, Bernhard / Luisoni, Artur / Jermann, Jörg / van Driel, Cornelie / Del Duce, Andrea / Hoppe, Merja / Trachsel, Thomas / Schmelzer, Helene (2020): Verkehr der Zukunft 2060: Neue Angebotsformen – Organisation und Diffusion. https://www.mobilityplatform.ch/fileadmin/mobilityplatform/normenpool/21775_1687_Inhalt.pdf (Abruf am 19.01.2022).

Oswald, Gerhard / Krcmar, Helmut (Hrsg.) (2018): Digitale Transformation. Fallbeispiele und Branchenanalysen. Wiesbaden: Springer Gabler.

Paine, Chris (2006): Who killed the Electric Car? https://vimeo.com/281506059 (Abruf am 18.01.2022).

Papst Franziskus (2015): Enzyklika Laudato Si'. http://w2.vatican.va/content/dam/francesco/pdf/encyclicals/documents/papa-francesco_20150524_enciclica-laudato-si_ge.pdf (Abruf am 18.01.2022).

Pausch, Robert (2020): Heldchen der Arbeit. Seit' an Seit' mit der Normalität: Wie FDP-Chef Christian Lindner seine Partei in eine Heimat für Modernisierungszweifler verwandeln will. In: Die Zeit Nr.3/2020.

Penna, Caetano C.R. / Geels, Frank W. (2012): Multidimensional struggles in the greening of industry: A dialectic issue lifecycle model and case study. In: Technological Forecasting and Social Change 79, H. 6, S. 999–1020.

Pertschy, Fabian (2021): Offene Fragen. Wie ist die Rechtslage beim autonomen Fahren? https://www.automotiveit.eu/technology/autonomes-fahren/wie-ist-die-rechtslage-beim-autonomen-fahren-211.html (Abruf am 18.01.2022).

Peters, Jens F. / Baumann, Manuel / Zimmermann, Benedikt / Braun, Jessica / Weil, Marcel (2017): The environmental impact of Li-Ion batteries and the role of key parameters – A review. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews 67, S. 491–506.

Prawitz, Sven (2021): VW Nivus: Ohne physischen Prototyp entwickelt. https://www.automobil-industrie.vogel.de/vw-nivus-ohne-physischen-prototyp-entwickelt-a-1044991, 04.08.2021.

PwC – PricewaterhouseCoopers (2017): From CO2 neutral fuels to emissionfree driving, Düsseldorf. https://www.pwc.de/de/automobilindustrie/alternative-fuels-powertrains-v3.pdf (Abruf am 19.01.2022).

PwC – PricewaterhouseCoopers (2018): The Opening-up of Chinese Automotive Industry and its Impact. https://www.pwccn.com/en/automotive/chinese-automotive-industry-opening-up-impact.pdf (Abruf am 18.01.2022).

Rahmstorf, Stefan (2019): Emissionsbudget. Darum schweigt die Bundesregierung zur wichtigsten Zahl beim Klimaschutz. https://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/emissionsbudget-zur-wichtigsten-zahl-beim-klimaschutz-schweigt-die-regierung-a-1292033.html (Abruf am 18.01.2022).

Röhl, Klaus-Heiner / Bolwin, Lennart / Hüttl, Paula (2021): Datenwirtschaft in Deutschland. Wo stehen die Unternehmen in der Datennutzung und was sind ihre größten Hemmnisse? https://www.iwkoeln.de/studien/klaus-heiner-roehl-lennart-bolwin-wo-stehen-die-unternehmen-in-der-datennutzung-und-was-sind-ihre-groessten-hemmnisse.html (Abruf am 19.01.2022).

Roos, Michael / Siegmann, Marvin (2020): Technologie-Roadmap für das autonome Autofahren. Eine wettbewerbsorientierte Technik- und Marktstudie für Deutschland. Working Paper Nr. 188 der Hans-Böckler-Stiftung. https://www.boeckler.de/de/faust-detail.htm?sync_id=HBS-007747 (Abruf am 19.01.2022).

Rube, Sonja / Ackermann, Till / Kagerbauer, Martin / Loose, Willi / Nehrke, Gunnar / Wirtz, Matthias / Zappe, Frieder (2020): Multi- und intermodale Mobilitätsdienstleistungen und intermodale Verknüpfungspunkte. https://www.fgsv.de/fileadmin/gremien/ak_128/Teilpapier_3_Multi_und_intermodale_Mobilitaetsdienstleistungen_und_intermodale_Verknuepfungspunkte.pdf (Abruf am 19.01.2022).

Sachverständigenrat für Umweltfragen (2019): Für die Umsetzung ambitionierter Klimapolitik und Klimaschutzmaßnahmen. Offener Brief. https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04_Stellungnahmen/2016_2020/2019_09_Brief_Klimakabinett.pdf;jsessionid=F10BF65EF23ED50A8A6DE8B49E5F31F2.1_cid321?__blob=publicationFile&v=8 (Abruf am 18.01.2022).

Schallmo, Daniel / Williams, Christopher A. / Boardman, Luke (2017): Digital transformation of business models – Best practices, enablers, and roadmap. In: International Journal of Innovation Management 21, H. 8.

Schmidt, Ulrich (2020): Elektromobilität und Klimaschutz: Die große Fehlkalkulation. https://www.ifw-kiel.de/de/publikationen/kiel-policy-briefs/2020/elektromobilitaet-und-klimaschutz-die-grosse-fehlkalkulation-0/ (Abruf am 18.01.2022).

Schmiechen, Frank (2019): Die Klima-Krieger sind antidemokratisch. https://www.bild.de/politik/kolumnen/kolumne/kommentar-zu-extinction-rebellion-die-klima-krieger-sind-antidemokratisch-65196980.bild.html (Abruf am 19.01.2022).

Scholte, Jan Aart (2005): Globalization. A critical introduction. 2. Aufl., Houndmills, Basingstoke, Hampshire, New York: Palgrave Macmillan.

Schwierz, Peter (2019): Experten entlarven Elektroauto-„Studie“ von Hans-Werner Sinn als unwissenschaftliche Meinungsmache. https://www.electrive.net/2019/04/20/experten-entlarven-elektroauto-studie-von-hans-werner-sinn-als-unwissenschaftliche-meinungsmache/ (Abruf am 18.01.2022).

Sharenow (2021): https://www.share-now.com/de/de/ (Abruf am 18.01.2022).

Staab, Philipp (2019): Digitaler Kapitalismus. Markt und Herrschaft in der Ökonomie der Unknappheit, Berlin: Suhrkamp.

Statista (2022a): Umsatz von Amazon weltweit in den Jahren 2004 bis 2020. https://de.statista.com/statistik/daten/studie/75292/umfrage/nettoumsatz-von-amazoncom-seit-2004/ (Abruf am 20.01.2022).

Statista (2022b): Umsatz von Netflix in den Jahren 2002 bis 2020. https://de.statista.com/statistik/daten/studie/183336/umfrage/umsatz-von-netflix-seit-2002/ (Abruf am 20.01.2022).

Statistisches Bundesamt (2018): Nachhaltige Entwicklung in Deutschland: Daten zum Indikatorenbericht 2018.

Stroh, Claas Alexander (2021): Volkswagen setzt verstärkt auf 3D-Druck. https://www.automobil-produktion.de/technik-produktion/produktionstechnik/volkswagen-setzt-verstaerkt-auf-3d-druck-118.html, 21.06.2021.

Suarez, Fernando F. / Oliva, Rogelio (2005): Environmental change and organizational transformation. In: Industrial and Corporate Change 14, H. 6, S. 1017–1041.

Tiedemann, Yannick (2021): Waymo, Mobileye und Co. Diese Tech-Player ziehen beim Robotaxi das Tempo an. https://www.automotiveit.eu/technology/autonomes-fahren/diese-tech-player-ziehen-beim-robotaxi-das-tempo-an-265.html (Abruf am 18.01.2022).

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.

Titievskaia, Jana / Kononenko, Vadim / Navarra, Cecilia / Stamegna, Carla / Zumer, Clemen (2020): Slowing down or changing track? Understanding the dynamics of ‘Slowbalisation’. https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/IDAN/2020/659383/EPRS_IDA(2020)659383_EN.pdf (Abruf am 18.01.2022).

UBS (2017): UBS Evidence Lab Electric Car Teardown – Disruption Ahead? https://neo.ubs.com/shared/d1wkuDlEbYPjF/ (Abruf am 18.01.2022).

Ulrich, Bernd (2019): Alles wird anders: Das Zeitalter der Ökologie. Köln: Kiepenheuer & Witsch.

Umweltbundesamt (Hrsg.) (2016): Weiterentwicklung und vertiefte Analyse der Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen. http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_27_2016_umweltbilanz_von_elektrofahrzeugen.pdf (Abruf am 18.01.2022).

Umweltbundesamt (2020a): Car-Sharing. https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/nachhaltige-mobilitaet/car-sharing (Abruf am 19.01.2022).

Umweltbundesamt (2020b): Emissionsquellen. https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen/emissionsquellen (Abruf am 18.01.2022).

UNCTAD – United Nations Conference on Trade and Development (2021): Merchandise: Total trade and share, annual. https://unctadstat.unctad.org/wds/ReportFolders/reportFolders.aspx (Abruf am 18.01.2022).

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change (2015): Adoption of the Paris Agreement. https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf (Abruf am 18.01.2022).

United Nations (2020): Goal 12: Ensure sustainable consumption and production patterns. https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-consumption-production/ (Abruf am 18.01.2022).

Unruh, Gregory C. (2000): Understanding carbon lock-in. In: Energy Policy 28, H. 12, S. 817–830.

van de Ven, Andrew H. / Hargrave, Timothy (2004): Social, Technical, and Institutional Change. In: van de Ven, Andrew H. / Poole, Marshall Scott (Hrsg.): Handbook of organizational change and innovation, Oxford, New York: Oxford University Press, S. 259–303.

Verband der Automobilindustrie (2015): Automatisierung. Von Fahrerassistenzsystemen zum automatisierten Fahren. https://en.vda.de/dam/vda/publications/2015/automatisierung.pdf (Abruf am 19.01.2022).

Verband der Automobilindustrie (2018): Jahresbericht 2018. https://www.vda.de/vda/de/aktuelles/publikationen/publication/jahresbericht-2018 (Abruf am 18.01.2022).

Verband der Automobilindustrie (2020): Jahresbericht 2020. https://www.vda.de/vda/de/aktuelles/publikationen/publication/jahresbericht-2020 (Abruf am 18.01.2022).

Verband der Automobilindustrie (2021a): Analysen zur Automobilkonjunktur 2020. https://www.vda.de/vda/de/aktuelles/publikationen/publication/analysen-zur-automobilkonjunktur-2020 (Abruf am 18.01.2022).

Verband der Automobilindustrie (2021b): Automobilproduktion. https://www.vda.de/de/aktuelles/zahlen-und-daten/jahreszahlen/automobilproduktion (Abruf am 18.01.2022).

Verband der Automobilindustrie (2021c): Export. https://www.vda.de/de/aktuelles/zahlen-und-daten/jahreszahlen/export (Abruf am 18.01.2022).

Volkswagen (2020): Batterie oder Brennstoffzelle, das ist hier die Frage. https://www.volkswagenag.com/de/news/stories/2020/03/battery-or-fuel-cell--that-is-the-question.html# (Abruf am 18.01.2022).

Vollmer, Patrick / Wunner, Felix / Käfer, Simone (2020): Ohne Digitalisierung keine Additive Fertigung. https://www.maschinenmarkt.vogel.de/ohne-digitalisierung-keine-additive-fertigung-a-963876/ (Abruf am 18.01.2022).

Wappelhorst, Sandra (2020): The end of the road? An overview of combustion engine car phase-out announcements across Europe. https://theicct.org/publications/combustion-engine-car-phase-out-EU (Abruf am 18.01.2022).

Wietschel, Martin (2020): Stellungnahme zum Policy Brief Elektromobilität und Klimaschutz: Die große Fehlkalkulation. https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2020/Stellungnahme_IfW-Langfassung.pdf (Abruf am 18.01.2022).

Winkelhake, Uwe (2018): Die Digitale Transformation der Automobilindustrie. Treiber – Roadmap – Praxis. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.

Wirtschaftsförderung Bremen (2020a): Die Geschichte der Digitalisierung – Teil II. https://www.wfb-bremen.de/de/page/stories/digitalisierung-industrie40/geschichte-der-digitalisierung-teil-zwei (Abruf am 18.01.2022).

Wirtschaftsförderung Bremen (2020b): Seit wann gibt es die Digitalisierung? Teil I. https://www.wfb-bremen.de/de/page/stories/digitalisierung-industrie40/seit-wann-gibt-es-die-digitalisierung-geschichte-teil-eins (Abruf am 18.01.2022).

World Bank (2021a): Foreign direct investment, net inflows. https://data.worldbank.org/indicator/BX.KLT.DINV.CD.WD (Abruf am 18.01.2022).

World Bank (2021b): GDP deflator (base year varies by country). https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.DEFL.ZS (Abruf am 18.01.2022).

World Trade Organization (2016): World Trade Statistical Review 2016. https://www.wto.org/english/res_e/statis_e/wts2016_e/wts2016_e.pdf (Abruf am 18.01.2022).

World Trade Organization (2021): Statistics on merchandise trade. https://www.wto.org/english/res_e/statis_e/merch_trade_stat_e.htm (Abruf am 19.01.2022).

Yoo, Youngjin / Henfridsson, Ola / Lyytinen, Kalle (2010): Research Commentary –The New Organizing Logic of Digital Innovation: An Agenda for Information Systems Research. In: Information Systems Research 21, H. 4, S. 724–735.

Zahraei, Seyed Mehdi / Kurniawan, Jude Herijadi / Cheah, Lynette (2019): A foresight study on urban mobility: Singapore in 2040. In: Foresight 22, H. 1, S. 37–52.

Autorinnen und Autoren

Dr. Jens Clausen ist Mitgründer des Borderstep Instituts. Der Diplomingenieur für Maschinenbau leitet als Senior Researcher das Borderstep Büro Hannover. In seinen Arbeiten beschäftigt er sich mit Gründungs-, Innovations- und Transformationsforschung. Sein besonderes wissenschaftliches Interesse gilt den Themen Wärme, Elektromobilität und Digitalisierung. Nach seinem Studium arbeitete er als Entwicklungsingenieur und Anwendungstechniker für die Continental AG. Von 1991 bis zur Gründung des Borderstep Instituts im Jahr 2005 war er als Senior Researcher am Institut für ökologische Wirtschaftsforschung im Forschungsfeld „Ökologische Unternehmenspolitik“ in Berlin und Hannover tätig. Von 1993 bis 2000 wirkte Jens Clausen im DIN-Normenausschuss Grundlagen des Umweltschutzes im Arbeitsausschuss „Umweltmanagementsysteme“ mit. Im Jahre 2004 promovierte er am Institut für Institutionelle und Sozial-Ökonomie der Universität Bremen. Seit 2006 ist er als Gutachter für verschiedene Gründerwettbewerbe tätig und seit 2019 koordiniert er die Regionalgruppe der Scientists4Future in der Region Hannover.

Anna Grimm studierte Wirtschaftsmathematik (B.Sc.) an der Universität Mannheim mit dem Fokus mathematischer Modellierung. Anschließend studierte sie Volkwirtschaftslehre (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 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