

# Strukturstudie BW 2023

Transformation der Automobil- und Nutzfahrzeugindustrie  
in Baden-Württemberg durch Elektrifizierung,  
Digitalisierung und Automatisierung




# Strukturstudie BW 2023

Transformation der Automobil- und Nutzfahrzeugindustrie  
in Baden-Württemberg durch Elektrifizierung,  
Digitalisierung und Automatisierung

Herausgeber

**e-mobil** <sup>BW</sup>  
Landesagentur für neue Mobilitätslösungen  
und Automotive Baden-Württemberg

Autoren

 Deutsches Zentrum  
DLR für Luft- und Raumfahrt

 IMU Institut

# Inhaltsverzeichnis

|  |            |
|--|------------|
| <b>Vorwort</b> .....   | <b>4</b>   |
| <b>Management Summary</b> .....  | <b>6</b>   |
| <b>1 Ausgangslage und Zielsetzung</b> .....                                    | <b>12</b>  |
| <b>2 Technologiewandel und wesentliche Trends</b> .....                        | <b>16</b>  |
| 2.1 Elektrifizierung .....   | 16         |
| 2.1.1 Antriebskonzepte .....   | 17         |
| 2.1.2 Technologien .....   | 29         |
| 2.2 Digitalisierung und autonomes Fahren .....                                 | 50         |
| 2.2.1 Automatisierungskonzepte .....   | 51         |
| 2.2.2 Technologien .....   | 54         |
| 2.2.3 Neue Mobilitätsdienste und Geschäftsmodelle .....                        | 62         |
| 2.3 Automobilproduktion 4.1 .....  | 67         |
| <b>3 Branchenbeschreibung und Marktanalyse</b> .....                           | <b>76</b>  |
| 3.1 Besonderheiten der baden-württembergischen Automobilindustrie .....        | 84         |
| 3.2 Nutzfahrzeuge .....  | 89         |
| 3.3 Investitionen der baden-württembergischen Automobilindustrie .....         | 90         |
| 3.4 Flächenbedarf der Automobilindustrie .....                                 | 97         |
| 3.5 Entwicklungsdienstleistungen .....   | 104        |
| 3.6 Kfz-Gewerbe .....  | 107        |
| 3.7 Das baden-württembergische Automobilcluster .....                          | 110        |
| 3.8 Marktentwicklung und Rahmenbedingungen im internationalen Vergleich .....  | 112        |
| 3.8.1 Deutschland und Baden-Württemberg .....                                  | 114        |
| 3.8.2 Vergleich mit Europa und ausgewählten europäischen Ländern .....         | 117        |
| 3.8.3 Vergleich mit den USA, China und Japan .....                             | 119        |
| 3.9 Aktuelle Herausforderungen und Markthochlauf der Elektromobilität .....    | 121        |
| <b>4 Szenarien des Strukturwandels</b> .....                                   | <b>124</b> |
| 4.1 Methodik des DLR VECTOR21-Fahrzeugszenariomodells .....                    | 125        |
| 4.2 Rahmenbedingungen für die Fahrzeugtechnologieszenarien .....               | 131        |
| 4.3 Szenariomodellierung für den deutschen Pkw-Neuwagenmarkt bis 2050 .....    | 136        |
| 4.3.1 Entwicklung des Pkw-Markthochlaufs im „Business-as-usual“-Szenario ..... | 137        |
| 4.3.2 Entwicklung des Pkw-Markthochlaufs im „Progressiv“-Szenario .....        | 139        |
| 4.4 Szenariomodellierung für den deutschen Lkw-Neuwagenmarkt bis 2050 .....    | 141        |
| 4.4.1 Entwicklung des Lkw-Markthochlaufs im „Business-as-usual“-Szenario ..... | 141        |
| 4.4.2 Entwicklung des Lkw-Markthochlaufs im „Progressiv“-Szenario .....        | 143        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 4.5      | Szenariomodellierung für den europäischen Pkw- und Lkw-Neuwagenmarkt bis 2050 .....                                    | 145        |
| 4.5.1    | Entwicklung des Markthochlaufs im „Business-as-usual“-Szenario .....   | 146        |
| 4.5.2    | Entwicklung des Markthochlaufs im „Progressiv“-Szenario .....  | 149        |
| 4.6      | Ökonomische Auswirkungen des Markthochlaufs .....  | 150        |
| 4.7      | Einordnung der Szenarien vor dem Hintergrund des Klimaschutzgesetzes und der Sektorziele Verkehr ...                   | 154        |
| 4.8      | Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen Pkw und Lkw .....   | 156        |
| <b>5</b> | <b>Beschäftigungseffekte der Elektromobilität und des automatisierten Fahrens .....</b>                                | <b>164</b> |
| 5.1      | Aktueller Forschungsstand .....  | 168        |
| 5.2      | Beschäftigungseffekte der Elektromobilität .....   | 169        |
| 5.2.1    | Auswirkungen grundlegender Branchentrends auf das baden-württembergische<br>Automobilcluster .....                     | 171        |
| 5.2.2    | Beschäftigungseffekte durch die Elektromobilität (Fade-in und Fade-out) .....  | 172        |
| 5.2.3    | Beschäftigungseffekte im Kfz-Gewerbe (Fade-out) .....  | 179        |
| 5.2.4    | Beschäftigungseffekte in der Energieversorgung und der Ladeinfrastruktur<br>(Fade-out und Fade-in) .....               | 181        |
| 5.3      | Beschäftigungseffekte durch automatisiertes Fahren (Fade-in) .....   | 183        |
| 5.4      | Zusammenfassung der Beschäftigungseffekte .....  | 185        |
| <b>6</b> | <b>Megatrends und ihr Einfluss auf Baden-Württembergs Automobilindustrie als industrielles Innovationscluster ....</b> | <b>194</b> |
| 6.1      | Anhaltende Optimierung und Produktivitätseffekte .....   | 194        |
| 6.2      | Industrie 4.0 und Digitalisierung der Arbeitsprozesse .....  | 195        |
| 6.3      | Globalisierung der Produktionsnetzwerke .....  | 197        |
| 6.4      | Baden-Württemberg als industrielles Innovationscluster .....   | 199        |
| <b>7</b> | <b>Zusammenfassung und Handlungsoptionen .....</b>   | <b>206</b> |
| 7.1      | Kernergebnisse der Studie .....  | 206        |
| 7.2      | Handlungsoptionen in der Transformation des baden-württembergischen Automobilclusters .....                            | 209        |
|          | <b>Literaturverzeichnis .....</b>  | <b>228</b> |
|          | <b>Abbildungsverzeichnis .....</b>   | <b>258</b> |
|          | <b>Tabellenverzeichnis .....</b>   | <b>261</b> |
|          | <b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>   | <b>263</b> |



# Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser,

die Zukunft der Mobilität steht an einem Wendepunkt und ist geprägt von Elektrifizierung, Digitalisierung und Automatisierung. Diese Transformation ist nicht nur ein umfassender technologischer Wandel, sondern bringt auch tiefgreifende strukturelle Veränderungen und neue Geschäftsmodelle mit sich. Elektrifizierung und Digitalisierung verändern die gesamten Entwicklungs-, Produktions- und Vertriebsprozesse. Neue Wettbewerber und immer kürzere Innovations- und Marktzyklen fordern die etablierten Akteure heraus. Baden-Württemberg spielt in dieser Entwicklung eine zentrale Rolle. Als Wiege des Automobils sind wir heute einer der weltweit führenden Standorte für Automobiltechnologie. Baden-Württemberg ist bestens gerüstet, um im laufenden Transformationsprozess eine führende Rolle einzunehmen. Die Kooperationsstruktur und Innovationskraft der Region, die von einer engen Vernetzung zwischen Automobilherstellern, Zulieferern und Forschungseinrichtungen profitiert, bietet eine solide Basis für die Bewältigung des Wandels.

Die Bundesregierung und die Europäische Union haben klare Ziele formuliert, die unter anderem bei der Förderung von Elektromobilität und erneuerbaren Energien den Rahmen für den Transformationsprozess setzen. Hinzu kommen spezifische Zielvorgaben in Baden-Württemberg, wie die vollständige Klimaneutralität bis 2040. Herausforderungen wie die Covid-19-Pandemie und geopolitische Veränderungen erhöhen die Komplexität dieses Wandels.

Die Strukturstudie 2023 erscheint somit zu einem entscheidenden Zeitpunkt, um auf diese geänderten Rahmenbedingungen zu reagieren und bietet eine wissenschaftlich fundierte Analyse der Auswirkungen dieser Veränderungen auf Wertschöpfung und Beschäftigung in Baden-Württemberg. Neben der Transformation der Automobilwirtschaft durch die Elektrifizierung des Antriebsstrangs werden in der Studie auch die Perspektiven und Folgen betrachtet, die sich aus der zunehmenden Digitalisierung, Automatisierung und Vernetzung der Mobilität ergeben.

Die Studie soll nicht nur die Herausforderungen beleuchten, sondern auch die Chancen aufzeigen, die sich aus dieser Transformation ergeben. Sie dient als wichtige Informationsquelle für ein breites Spektrum von Akteuren – von der Industrie über die Politik bis hin zur Zivilgesellschaft – und formuliert adressatengerechte Handlungsempfehlungen für eine langfristig erfolgreiche Transformation des Automobilstandorts Baden-Württemberg. Die Ergebnisse der Studie sind von zentraler Bedeutung für die Gestaltung des Pfads hin zu einer nachhaltigen und intelligenten Mobilitätslandschaft.

Trotz der Komplexität und der mehrdimensionalen Herausforderungen, die der Transformationsprozess mit sich bringt, gibt es Grund für Optimismus. Baden-Württemberg hat die einzigartige Gelegenheit, seine Stärken – einschließlich seiner hochqualifizierten Fachkräfte, seiner exzellenten Hochschulen und Forschungseinrichtungen und seiner starken industriellen Basis – zu nutzen, um eine führende Rolle in der zukünftigen Mobilitätslandschaft zu erhalten und auszubauen.

Die erfolgreiche Bewältigung dieser Herausforderungen erfordert einen systemischen und intersektoralen Ansatz. Es bedarf einer engen Zusammenarbeit verschiedener Akteure aus Wirtschaft, Wissenschaft, Verwaltung, Politik und Gesellschaft. In Baden-Württemberg sind jeweils über 200 Partner in den Clustern Elektromobilität Süd-West und Brennstoffzelle BW aktiv. Mit dem Strategiedialog Automobilwirtschaft BW hat die Landesregierung bereits 2017 eine institutionalisierte, branchenübergreifende Zusammenarbeit aller relevanten Akteure auf den Weg gebracht, um die Zukunft der Automobilwirtschaft erfolgreich zu gestalten.

Abschließend möchten wir allen danken, die zur Realisierung dieser wichtigen Studie beigetragen haben. Die Erkenntnisse sollten als Weckruf für alle Stakeholder dienen. Wir müssen unsere Zusammenarbeit intensivieren um weiter sicherzustellen, dass Baden-Württemberg auch in Zukunft ein nachhaltiger und wettbewerbsfähiger Standort in der Automobilindustrie bleibt.



© Martin Stollberg

Dr. Nicole Hoffmeister-Kraut MdL  
Ministerin für Wirtschaft,  
Arbeit und Tourismus des Landes  
Baden-Württemberg



© e-mobil BW/KD Busch

Franz Loogen  
Geschäftsführer e-mobil BW  
GmbH – Landesagentur für  
neue Mobilitätslösungen und  
Automotive Baden-Württemberg



© e-mobil BW/KD Busch

Dr. Wolfgang Fischer  
Prokurist und Leiter Bereich  
Projekt- und Clusteraktivitäten  
der e-mobil BW GmbH

# Management Summary

## Strukturelle Bedeutung des Automobilclusters

Die Automobilwirtschaft in Baden-Württemberg ist ein komplexes und vielschichtiges Ökosystem, das weit über den klassischen Fahrzeugbau hinausgeht. Baden-Württemberg ist nicht nur die Heimat renommierter Fahrzeughersteller, sondern auch zahlreicher Zulieferer und Entwicklungsdienstleister aus verschiedenen Industriezweigen. Das Automobilcluster ist der Kern der baden-württembergischen Wirtschaft und umfasst sämtliche Unternehmen, die sich mit der Herstellung, dem Vertrieb, der Wartung, der Reparatur und anderen Dienstleistungen rund um Kraftfahrzeuge (Pkw und Nutzfahrzeuge) beschäftigen. Der Cluster gliedert sich in drei Hauptbereiche.

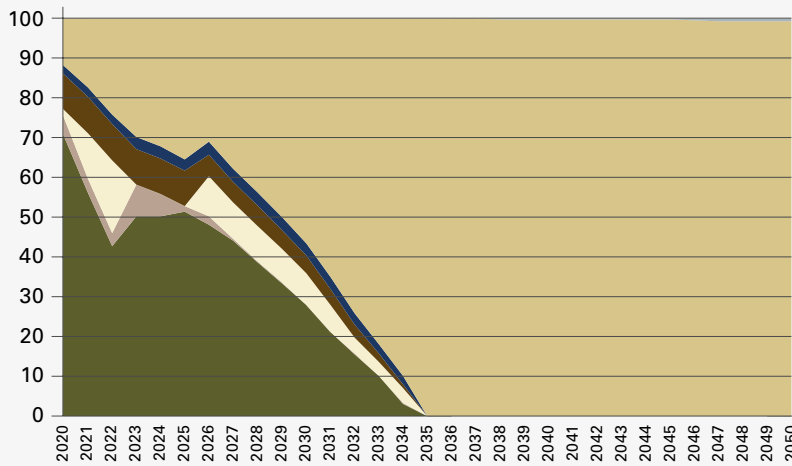
- **Cluster-Kern (315.500 Beschäftigte):** Unternehmen, die unmittelbar an der Fahrzeugproduktion beteiligt sind, darunter Hersteller wie die Mercedes-Benz Group AG, die Daimler Truck AG, die Porsche AG sowie Zulieferer der Stufen Tier1 und Tier2 wie Bosch, ZF Friedrichshafen oder Mahle.
- **Erweitertes Wertschöpfungscluster (381.600 Beschäftigte):** Dieser Bereich umfasst den Cluster-Kern und Unternehmen, die die Automobilindustrie beliefern, aber nicht ausschließlich auf Kraftfahrzeuge spezialisiert sind. Hierzu gehören Maschinenbauunternehmen, Materiallieferanten und Dienstleistungen wie Rechtsberatung.
- **Vollständiges Automobil-Cluster (480.100 Beschäftigte):** Hier werden auch Branchen einbezogen, die für die Nutzung von Kraftfahrzeugen notwendig sind, wie das Kfz-Gewerbe, Tankstellen und Raffinerien.

Diese Struktur unterstreicht die immense Bedeutung der Branche für die Wirtschaft und den Arbeitsmarkt der Region.

## Technologischer Wandel und Markthochlauf-Szenarien: Elektrifizierung, Digitalisierung und Automatisierung

Die Automobilbranche befindet sich in einem umfassenden Wandel, weg von traditionellen Verbrennungsmotoren hin zu elektrifizierten und digitalisierten Fahrzeugen. Die Markthochlaufgeschwindigkeit elektrifizierter Fahrzeuge variiert je nach politischen, marktbedingten und technologischen Rahmenbedingungen. Nach den Szenarien dieser Studie werden im Jahr 2030 zwischen 34 und 57% (abhängig von „Business-as-usual“ vs. „Progressiv“) der Pkw-Neuzulassungen und zwischen 23 und 50% der Lkw-Neuzulassungen in Deutschland auf batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) entfallen. Auch im progressiven Szenario wird das Ziel der Bundesregierung, bis 2030 15 Mio. BEV im Bestand zu haben, verfehlt. Auf den Straßen befänden sich dann ca. 10,0 Mio. batterieelektrische Pkw und ca. 0,9 Mio. Lkw. Die kumulierten Treibhausgasemissionen aus dem Pkw- und Lkw-Sektor übersteigen in beiden Szenarien die im Klimaschutzplan genannten Meilensteine für das Jahr 2030 – im progressiven Szenario um ca. 27%. Zur Simulation der Markthochlaufszzenarien wird das wissenschaftlich verifizierte Szenariomodell DLR VECTOR21 genutzt. Es ermöglicht die Simulation des Kaufverhaltens von Kund:innen beim Neuwagenkauf unter Berücksichtigung komplexer Rahmenbedingungen.

Anteil an den Neuzulassungen [in %]

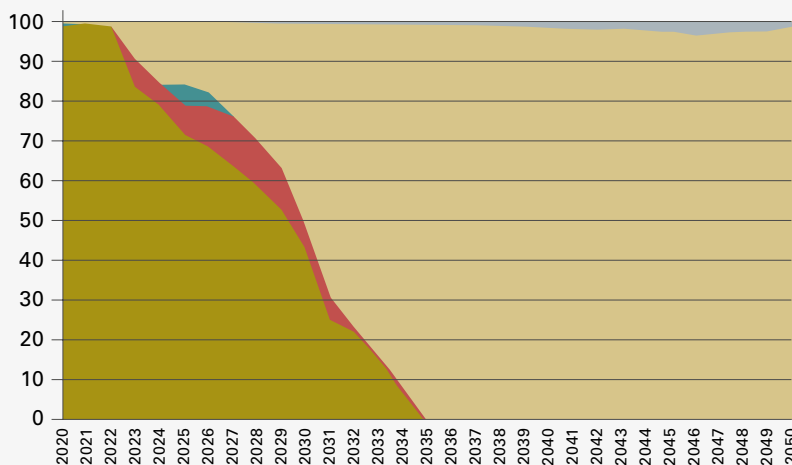


FCEV = Brennstoffzellenfahrzeuge; BEV = batterieelektrische Fahrzeuge;  
 CNG = Erdgasfahrzeuge; D = Dieselfahrzeuge, inkl. Mild-Hybrid;  
 G-PHEV = Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge; G-HEV = Voll-Hybrid-Fahrzeuge;  
 G = Benzinfahrzeuge, inkl. Mild-Hybrid

Entwicklung der Pkw-Marktpotenziale in Deutschland im Rahmen des DLR VECTOR21-Szenarios „Progressiv“ für den deutschen Neuwagenmarkt bis 2050

Quelle: Eigene Darstellung DLR, 2023

Anteil an den Neuzulassungen [in %]



FCEV = Brennstoffzellenfahrzeuge; BEV = Batterieelektrische Fahrzeuge;  
 PHEV-NG = Plug-In-Hybrid-Fahrzeuge Erdgas; HEV-NG = Voll-Hybrid-Fahrzeuge Erdgas;  
 ICE-NG = Erdgasfahrzeuge; PHEV-D = Plug-In-Hybrid Dieselfahrzeuge;  
 HEV-D = Voll-Hybrid-Dieselfahrzeuge; ICE-D = Dieselfahrzeuge, inkl. Mild-Hybrid

Entwicklung der Lkw-Marktpotenziale im Rahmen des DLR VECTOR21-Szenarios „Progressiv“ für den deutschen Neuwagenmarkt bis 2050

Quelle: Eigene Darstellung DLR, 2023

Dieser Wandel verändert nicht nur die Art der produzierten Fahrzeuge, sondern auch die wertschöpfenden Komponenten. Mechanische Teile weichen elektrischen und elektronischen Elementen und Hardware wird durch Software ersetzt. Fortschrittliche Fahrerassistenzsysteme werden immer häufiger eingesetzt und gelten als Sprungbrett zum vollautomatisierten oder autonomen Fahren, das zwischen 2027 und 2033 erwartet wird.

Diese Entwicklung stellt sowohl eine Herausforderung als auch eine Chance dar. Einerseits erfordert sie erhebliche Investitionen in neue Technologien und Infrastrukturen. Andererseits bietet sie die Möglichkeit, Baden-Württemberg als führenden Standort für Elektromobilität und automatisiertes Fahren zu etablieren.

#### **Auswirkungen auf Wertschöpfung und Beschäftigung**

Die Transformation der Automobilindustrie in Baden-Württemberg ist für Beschäftigung und Wertschöpfung ein zweiseitiges Schwert. Die Beschäftigungseffekte des Wegfalls des Verbrennungsmotors (Fade-Out) und des Markthochlaufs von Komponenten für Elektromobilität und automatisiertes Fahren (Fade-In) haben erhebliche Auswirkungen auf den gesamten Automobilcluster in Baden-Württemberg. Einerseits ist der Wandel hin zu Elektromobilität und automatisiertem Fahren für die langfristige Zukunfts- und Wettbewerbsfähigkeit unverzichtbar. Auf der anderen Seite birgt dieser Wandel erhebliche Herausforderungen, wie z.B. einen Rückgang der Beschäftigung aufgrund der geringeren Komplexität von Elektrofahrzeugen, die Auslagerung von Schlüsselkomponenten wie Batterien und den hohen Investitionsbedarf. Hinzu kommen die finanziellen Anforderungen der Transformation und der Wettbewerb um den Kundenzugang mit neuen Marktteilnehmern im Bereich der Elektromobilität und mobilitätsbezogener digitaler Dienstleistungen.

Unter diesen herausfordernden Rahmenbedingungen war die Investitionstätigkeit in Baden-Württemberg zuletzt rückläufig. Um wettbewerbsfähig zu bleiben, optimieren Unternehmen ihre Produktions-, Verwaltungs- und F&E-Aktivitäten, was zu Arbeitsplatzverlusten durch Automatisierung und Verlagerung in kostengünstigere Länder führen kann. Externe Faktoren wie die Covid-19-Pandemie haben die Entwicklung zunehmend eigenständiger Produktionsnetzwerke in den drei Weltmarktregionen beschleunigt. In der Folge profitieren die Standorte in Baden-Württemberg in geringerem Maß von den expandierenden Märkten außerhalb Europas.

All diese Faktoren tragen zu unsicheren Beschäftigungsperspektiven bei. Die Automobilwirtschaft könnte in Baden-Württemberg bis 2030 mit einem Beschäftigungsrückgang von 8–14% konfrontiert sein, bis 2040 sogar mit einem Rückgang von über 30%. Dieser Beschäftigungsrückgang verteilt sich ungleichmäßig auf das Cluster, wobei die Bereiche Forschung und Entwicklung sowie Komponentenherstellung die größten Beschäftigungsverluste verzeichnen. Diese ungleiche Betroffenheit bedroht insbesondere die Produktionsstandorte im Bereich Antriebsstrang, wo Rationalisierungen und Verlagerungen die Arbeitsplatzverluste noch verstärken könnten. Eine Voraussetzung, um diesem Trend entgegenzuwirken, ist eine erfolgreiche Umstellung der baden-württembergischen Automobilindustrie auf Fahrzeuge mit elektrifiziertem Antriebsstrang. Andernfalls können die Beschäftigungsrisiken noch größer ausfallen. Zusätzlich könnte die Entwicklung automatisierter Fahrtechnologien die Beschäftigungsverluste zumindest teilweise kompensieren und bis 2030/2040 in der Größenordnung von 7.000 zusätzliche Arbeitsplätze schaffen.



### Fazit: Strategische Planung für zukünftigen Erfolg

Die Automobilindustrie in Baden-Württemberg steht in den nächsten Jahren vor anhaltend großen Herausforderungen, um mit ihren Stärken die bestehenden Chancen zu nutzen. Die Unternehmen müssen ihre Wertschöpfung umbauen, dafür brauchen sie politisch abgesicherte Standortbedingungen. Um die komplexe Transformation effektiv zu bewältigen, bedarf es koordinierter Anstrengungen von Unternehmen, Politik und Gesellschaft, was die Arbeit des Strategiedialogs Automobilwirtschaft BW umso wertvoller macht.

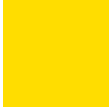


Die Kernergebnisse und Handlungsempfehlungen der Studie stehen auch in einer kompakten Zusammenfassung unter [e-mobilbw.de/service/publikationen/Studien](https://e-mobilbw.de/service/publikationen/Studien)

kostenfrei zur Verfügung. Scannen Sie einfach den QR-Code.

# 01

## Ausgangslage und Zielsetzung





# 01

## Ausgangslage und Zielsetzung

Die Transformation der Automobilindustrie findet weltweit mit immer größerer Dynamik und Intensität statt. Angetrieben u. a. durch den technologischen Wandel in den Bereichen Elektrifizierung, Digitalisierung und Automatisierung, verändern sich bestehende Innovations-, Produktions- und Wertschöpfungsstrukturen oder werden gänzlich neu etabliert – mit großen Auswirkungen auch auf die deutschen und baden-württembergischen Automobilstandorte. Zusätzliche wirtschaftliche Chancen (z. B. durch das automatisierte Fahren) stehen Risiken des Verlusts von Wettbewerbsfähigkeit (z. B. bei Batterietechnologien) gegenüber. Unsicherheit herrscht, wie sich diese Veränderungen auf die Wertschöpfung und Beschäftigung im baden-württembergischen Automobilcluster auswirken könnten.

Ziel dieser Studie ist es, Veränderungen am Automobilstandort Baden-Württemberg darzustellen. Hierbei wird ein Fokus auf die Herausforderungen und Chancen gelegt, die durch Elektrifizierung, Digitalisierung und Automatisierung des Fahrens sowohl im Pkw- (Personenkraftwagen) als auch im Lkw-Sektor (Lastkraftwagen) entstehen. Diese wissenschaftlich fundiert, nachvollziehbar und transparent darzustellen, ist Voraussetzung für eine aktive und positive Gestaltung des Wandels in Politik, Gesellschaft und Industrie. Weitere wichtige Kriterien für eine gelungene Transformation sind die Einhaltung der Klimaziele und die Begrenzung der weiteren Erderwärmung. Hierfür ist die Elektrifizierung der Fahrzeugantriebe eine notwendige, aber keine hinreichende Maßnahme. Die ebenfalls erforderliche Veränderung des gesamten Mobilitätssystems und des Mobilitätsverhaltens ist jedoch kein Thema dieser Studie.

Der Fokus dieser Studie liegt auf der szenariobasierten Untersuchung zu elektrifizierten, automatisierten Pkw und Lkw einschließlich deren Technik und Komponenten sowie auf den Wirkungen der Elektrifizierung, Digitalisierung und Automatisierung auf Wertschöpfung und Beschäftigung. Mögliche Effekte aus den Bereichen Energie, Software und Produktion 4.0 werden dagegen hier nicht mit eigenen Simulationsmodellen

berechnet, sondern qualitativ beschrieben. Die vorliegende Analyse liefert Antworten auf folgende Fragestellungen:

- Was ist der Technologiewandel?
- Welchen Stand haben Elektrifizierung, Digitalisierung und Automatisierung und welche Trends gibt es?
- Wie sieht die Branchenstruktur im Automobilsektor in Baden-Württemberg aus (Pkw und Lkw)?
- Wie schnell und unter welchen Voraussetzungen setzen sich alternative Antriebe durch? Wie schnell werden Fahrzeuge automatisiert?
- Wie entwickeln sich Wertschöpfung und Beschäftigung?
- Welche Gestaltungsoptionen stehen für die Transformation zur Verfügung?

**Kapitel 2** fokussiert auf die Darstellung der wichtigsten Informationen zum Technologiewandel in kompakter, einfacher und übersichtlicher Form, erklärt die Formen der Elektrifizierung sowie des automatisierten und vernetzten Fahrens für Pkw und Lkw, der dort relevanten Technologien und der möglichen Auswirkungen auf die Ausgestaltung der Mobilität der Zukunft. Eine Beschreibung von Konzepten der Produktion 4.0 schließt das Kapitel.

**Kapitel 3** stellt die Marktsituation bei alternativen Antrieben im internationalen Vergleich dar und ordnet die spezifische Situation und Branchenstruktur Baden-Württembergs in den Kontext ein. Ein besonderer Fokus liegt auf der Darstellung der Ist-Situation im Pkw- und Lkw-Bereich, um die Grundlage für eine Fortschreibung von Wertschöpfungs- und Beschäftigungsstrukturen zu schaffen.

**Kapitel 4** umfasst die Analyse bestehender Elektromobilitäts-szenarien im Zeitraum bis 2050 und die Entwicklung eigener Marktdurchdringungsszenarien mit wissenschaftlichen Szenariomodellen (DLR VECTOR21). So werden u. a. die Nachfrage nach neuen und klassischen Antriebskomponenten in der Zukunft sowie deren potenzielle Kostenentwicklungen auf Basis

der Entwicklung unterschiedlicher Rahmenbedingungen modelliert. Ergänzt werden diese Simulationen durch die Darstellung von Sensitivitätsszenarien zum Markthochlauf unterschiedlicher Grade der Fahrzeugautomatisierung auf Basis von Expertengesprächen und Metaanalysen.

So können auch mögliche zusätzliche Nachfrageeffekte für Automatisierungs- und Vernetzungskomponenten berechnet werden und in die folgende Wertschöpfungs- und Beschäftigungsanalyse einfließen.

**Kapitel 5** beschreibt auf Basis der Szenarioergebnisse die relevanten Entwicklungen von Wertschöpfung und Beschäftigung durch Elektromobilität und Automatisierung/Digitalisierung bei Pkw und Lkw für den Automobilstandort Baden-Württemberg.

**Kapitel 6** fasst die wesentlichen Ergebnisse zusammen und liefert Handlungs- und Gestaltungsoptionen für die Entscheidungsträger:innen in Politik, Wirtschaft und Gesellschaft.

Die folgende Abbildung illustriert das methodische Vorgehen dieser Studie.

Die vorliegende Studie baut auf den Ergebnissen und Implikationen vorhergehender Untersuchungen der e-mobil BW – so u. a. „Strukturstudie BW<sup>e</sup> mobil 2019“ (e-mobil BW, 2019a), „Zukunftsfähige Lieferketten und neue Wertschöpfungsstrukturen der Automobilindustrie“ (e-mobil BW, 2022a) – sowie weitere aktuelle Referenzstudien auf, fasst diese zu einem neuen Bild zusammen und erweitert sie punktuell in wissenschaftlicher Breite und Tiefe.

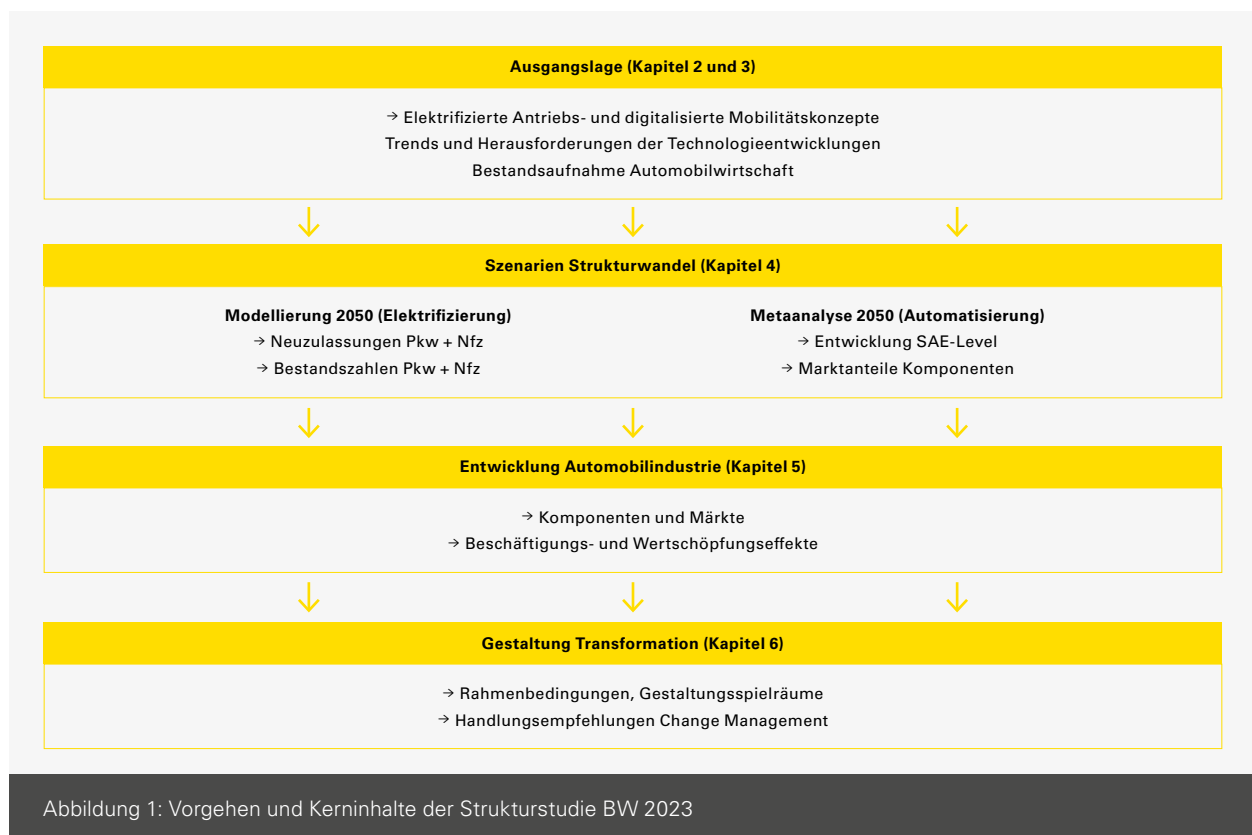


Abbildung 1: Vorgehen und Kerninhalte der Strukturstudie BW 2023

# 02

## Technologiewandel und wesentliche Trends



# 02

## Technologiewandel und wesentliche Trends

Die Automobilwirtschaft befindet sich derzeit in einem grundlegenden Wandel. Sowohl im Pkw- als auch im Lkw-Bereich ist die Transformation hin zu alternativ angetriebenen, elektrifizierten sowie automatisierten und vernetzten Fahrzeugen in vollem Gange. „Klassische“, also auf der Verbrennung von fossilen Kraftstoffen basierende, Fahrzeugantriebe müssen mittelfristig durch klimaneutrale Lösungen ersetzt werden. Die sogenannte Dekarbonisierung des Verkehrs ist wesentlicher Bestandteil, um das Ziel der Klimaneutralität in Deutschland bis 2045 erreichen und so die globale Erderwärmung zumindest teilweise begrenzen zu können.

Hierfür stehen unterschiedliche technologische Lösungen zur Verfügung: die Verwendung von regenerativ erzeugtem Strom in elektrifizierten Fahrzeugen, die Verwendung von regenerativ erzeugtem Wasserstoff in z. B. Brennstoffzellenfahrzeugen oder die Verwendung von regenerativ erzeugten synthetischen Kraftstoffen in verbrennungsmotorisch betriebenen Fahrzeugen. Je nach Anwendungssektor und Transportaufgabe bieten die genannten Lösungen spezifische Vor- und Nachteile. Im Automobilbereich ist derzeit ein eindeutiger Trend zu batterieelektrischen Pkw zu erkennen, im Lkw-Sektor werden perspektivisch voraussichtlich auch wasserstoffbasierte Antriebsformen – insbesondere bei Langstreckenfahrten – eine Rolle spielen.

Für die Automobilindustrie bedeutet dieser Wandel eine erhebliche Herausforderung: Bestehende Geschäftsmodelle müssen an die sich ändernden Anforderungen angepasst werden. Neue Technologien und Komponenten werden von den Herstellern und Zulieferern entwickelt, neue Marktteilnehmer treten auf den Plan und klassische Komponenten – wie der Verbrennungsmotor – verlieren an Relevanz. Die Transformation hin zu neuen Technologien verändert die Automobilindustrie, da Wertschöpfungsanteile, -prozesse und -strukturen in der Fahrzeugentwicklung sowie in der Fahrzeugproduktion angepasst werden. Davon abhängig ist auch die Beschäftigungssituation – speziell im Automotive-geprägten Baden-Württemberg.

Ziel im Folgenden ist es, die mit den drei großen Trends Elektrifizierung, Automatisierung und Vernetzung einhergehenden Entwicklungen zu beschreiben und zu erklären. Dies bildet die Grundlage, um den Wandel zu verstehen und einzuordnen. Vor allem soll ein Verständnis dafür geschaffen werden, dass dieser Wandel einen signifikanten Einfluss auf die Art und Weise hat, wie Fahrzeuge in der Zukunft gestaltet, produziert und genutzt werden. Ein Fokus wird zudem auf die zukünftige Einbindung von Fahrzeugen in das Energiesystem und die Energieinfrastruktur sowie auf generelle Transformationsprozesse im Mobilitätssystem angesichts sich ändernden Nutzerverhaltens und neuer Geschäftsmodelle gelegt.

### 2.1 Elektrifizierung

Elektrisch angetriebene Fahrzeuge sind bereits heute ein wesentlicher Bestandteil der Mobilität und werden ihre Bedeutung aller Voraussicht nach in der Zukunft noch weiter steigern – sowohl im Pkw- als auch im Nutzfahrzeugbereich. Sie ermöglichen lokal emissionsfreies Fahren, so dass der Ausstoß von klima- und gesundheitsschädlichen Abgasen wie CO<sub>2</sub> (Kohlenstoffdioxid) oder NO<sub>x</sub> (Stickstoffoxide) vor Ort entfällt. Zusätzlich ist auch eine Verringerung der Feinstaubbelastung (u. a. durch Bremsabrieb) z. B. in Großstädten möglich, sofern mechanische Bremsvorgänge durch die über den E-Motor gesteuerte Verzögerung des Fahrzeugs (Rekuperation) bei gleichzeitiger Energierückgewinnung reduziert werden. Als elektrifiziert gelten nicht nur rein elektrisch fahrende Fahrzeuge, sondern auch alle hybriden Formen, die sowohl einen Verbrennungsmotor als auch einen E-Motor zum Vortrieb nutzen. Auch Brennstoffzellenfahrzeuge sind Teil elektrifizierter Antriebskonzepte, erzeugen die Antriebsenergie aber im Fahrzeug mit einer wasserstoffbetriebenen Brennstoffzelle selbst. Gemeinsam ist allen Fahrzeugen, dass zumindest Teile der Fahrtstrecke rein elektrisch zurückgelegt werden können oder der klassische Verbrennungsmotor elektrisch unterstützt wird. So sind z. B. bessere Beschleunigungswerte oder ein geringerer Kraftstoffverbrauch möglich.

## 2.1.1 Antriebskonzepte

### In Kürze

- Es gibt verschiedene Bauformen und Grade der Elektrifizierung – vom Hybrid- bis zum reinen Elektrofahrzeug – mit unterschiedlichen elektrischen Leistungen, Reichweiten und Fahranteilen.
- Das Angebot an Elektrofahrzeugen nimmt kontinuierlich zu, derzeit sind über 1.000 elektrifizierte Fahrzeugmodelle und -varianten auf dem deutschen Markt verfügbar.
- Aktuelle Unternehmens-, Innovations-, Produkt- und Plattformstrategien der deutschen Automobilhersteller lassen eine eindeutige Ausrichtung auf batterieelektrische Antriebe erkennen.
- Entwicklungsumfänge und -varianten bei klassischen Komponenten werden zugunsten neuer Komponenten im E-Antriebsstrang (Batterie, E-Motor, Leistungselektronik) und für das automatisierte/vernetzte Fahren reduziert.
- Neue Komponenten verändern die Wertschöpfungsanteile am Fahrzeug signifikant. Der Schwerpunkt der Wertschöpfung verschiebt sich weiter aus der Mechanik zur Elektrik/Elektronik und zur Software.

Auf dem Markt verfügbar sind schon heute eine Vielzahl elektrisch oder alternativ betriebener Fahrzeuge. Diese werden unterschieden nach dem Grad der Elektrifizierung – und damit z. B. der erzielbaren rein elektrischen Reichweite – sowie dem technischen Zusammenspiel von konventionellen und elektrischen Komponenten. Die relevanten Formen bei Pkw sind in Abbildung 2 dargestellt und werden im Weiteren kompakt beschrieben.







Generell können die Antriebskonzepte in „konventionell“ (klassisch mit Verbrennungsmotor), „hybrid“ (mit und ohne externe Lademöglichkeit), „rein elektrisch“ (immer mit externer Lademöglichkeit) sowie „brennstoffzellenbasiert“ unterteilt werden.

### Hybridfahrzeug (Hybrid Electric Vehicle, HEV)

Ein Hybridfahrzeug hat mindestens zwei Antriebe an Bord. Es verfügt über einen Verbrennungsmotor und einen Elektromotor, der den Verbrennungsmotor beim Antrieb entweder unterstützt oder (in Teilen) entlastet. Je nach Leistung des E-Motors und Größe der Batterie werden folgende Grade der Hybridisierung unterschieden: Mikro-Hybrid, Mild-Hybrid, Full-Hybrid und Plug-in-Hybrid.

Der **Mikro-Hybrid** ist heute Stand der Technik und in so gut wie jedem Neuwagen mit Verbrennungsmotor (ICE, Internal Combustion Engine) verbaut. Hier wird der klassische Anlasser durch einen stärkeren Elektromotor ersetzt, zudem die Motorsteuerung angepasst, um eine Start-Stopp-Funktion zu ermöglichen. Der Verbrennungsmotor wird z. B. beim Halt an der roten Ampel automatisch ausgeschaltet, beim Weiterfahren wieder gestartet. Dies führt zu Verbrauchseinsparungen vor allem im Stadtverkehr, rein elektrisches Fahren ist aber nicht möglich. Die technischen Veränderungen am Fahrzeug sind minimal, auch die Mehrkosten des Systems halten sich für die Kund:innen in Grenzen. Bei hohem Anteil an Fahrten in der Stadt können Effizienzpotenziale von 5 bis 10 % realisiert werden. Beim **ICE efficient** werden darüber hinaus eine Vielzahl weiterer Funktionen elektrifiziert (z. B. Turbolader, Klimakompressor, Lenkpumpe) oder Bauteile (wie LED-Leuchten) verbessert, um die Energieeffizienz des Fahrzeugs zu erhöhen. Der Wertschöpfungsanteil elektrischer und elektronischer Bauteile steigt damit weiter an.

Ein **Mild-Hybrid** bietet zusätzlich die Möglichkeiten zur Rekuperation (Energierückgewinnung beim Bremsen) und eine Schub- und Boost-Funktion, die eine zeitweise Unterstützung des Verbrennungsmotors, z. B. für eine stärkere Beschleunigung, ermöglicht. Der Verbrennungsmotor wird dabei durch einen relativ klein dimensionierten E-Motor mit ca. 15 kW unterstützt. Bis zu bestimmten Geschwindigkeiten (ca. 70 km/h) ist zusätzlich ein „Segeln“ möglich, indem das Fahrzeug bei stehendem Verbrennungsmotor rollt und so Energie spart. Zur Steuerung der elektrischen Leistung werden die Bordnetze mit höheren Spannungen betrieben, beispielsweise mit einem 48-Volt-System. So können auch Nebenaggregate elektrisch statt mechanisch angetrieben und effizienter geregelt werden.

| Konventionelles Fahrzeug  | Hybridfahrzeug<br>(ohne externe Lademöglichkeit)                                    | Hybrid-/Elektrofahrzeug<br>(mit externer Lademöglichkeit)                          | Brennstoffzellenfahrzeug  |
|---|---|--|---|
| <b>ICE</b><br>Internal Combustion Engine  | <b>Mild-HEV</b><br>Mild Hybrid Electric Vehicle                                     | <b>PHEV</b><br>Plug-in Hybrid Electric Vehicle                                     | <b>FCEV</b><br>Fuel Cell Electric Vehicle   |
| <b>Mikro-Hybrid</b><br>ICE mit Start-Stopp-Funktion                               | <b>Full-HEV</b><br>Full Hybrid Electric Vehicle                                     | <b>REEV</b><br>Range-extended Electric Vehicle                                     |   |
| <b>ICE efficient</b><br>ICE mit elektr. Nebenaggregaten                           |   | <b>BEV</b><br>Battery Electric Vehicle   |   |
|  |    |  |  |
| z. B. VW Golf VII, ICE, Verbrennungsmotor Benzin/Diesel                           | z. B. Mercedes C-Klasse, Mild-HEV, Verbrennungsmotor, E-Motor nur zur Unterstützung | z. B. BMW 530e, PHEV, Verbrennungsmotor, rein elektrisches Fahren bis 50 km        | z. B. Toyota Mirai, FCEV, Brennstoffzelle, rein elektrischer Vortrieb               |
|   |    |  |   |
|   | z. B. Toyota RAV4, Full-HEV, Verbrennungsmotor rein, elektrisches Fahren bis 5 km   | z. B. Tesla Model 3, BEV, rein elektrischer Vortrieb                               |   |

BEV: Batterieelektrisches Fahrzeug (Battery Electric Vehicle), FCEV: Brennstoffzellenfahrzeug (Fuel Cell Electric Vehicle), HEV: Hybridfahrzeug (Hybrid Electric Vehicle), PHEV: Hybridfahrzeug mit Auflademöglichkeit (Plug-in Hybrid Electric Vehicle), ICE: verbrennungsmotorbasiertes Fahrzeug (Internal Combustion Engine), REEV: Elektrofahrzeug mit Reichweitenverlängerung (Range-extended Electric Vehicle)

Abbildung 2: Übersicht über konventionelle und elektrifizierte Antriebskonzepte

Quelle: Eigene Darstellung DLR und IMU, 2023; Bildquellen und © Copyright: Volkswagen AG, Mercedes-Benz AG, BMW AG, Toyota Motor Corporation, Tesla, Inc.

Die Installation des Hybridsystems inkl. der Batterie bedeutet eine höhere Komplexität, eine höhere Masse und höhere Kosten, ermöglicht aber in Abhängigkeit vom Einsatzprofil 15–20 % Effizienzpotenzial im Vergleich zum konventionellen Fahrzeug.

**Full-Hybride** ermöglichen rein elektrisches Fahren für eine kurze Zeit und Strecke (ca. 1–5 km), können aber nicht extern aufgeladen werden. Die für die elektrische Fahrt notwendige Energie kommt allein aus der Rekuperation sowie aus Erzeugung durch den konventionellen Verbrennungsmotor. Der höheren Komplexität, der zusätzlichen Masse und den Mehrkosten stehen höhere Verbrauchseinsparungen (insbesondere im Stadtverkehr, 22–25 %) und kurze lokal emissionsfreie Fahrten gegenüber (ECF, 2017).

**Plug-in-Hybride** können im Vergleich zum Full-Hybrid zusätzlich an einer externen Stromquelle aufgeladen werden, die Ladegeräte sind in das Fahrzeug oder die Ladesäule integriert. Der Energiespeicher umfasst ca. 5–30 kWh und ermöglicht rein elektrisches Fahren mit Reichweiten von ca. 40–100 km. Bei hohen realen elektrischen Fahranteilen können lokal große Emissionseinsparungen (bis 100 %) realisiert werden – diese sind jedoch sehr abhängig von den individuellen Fahrprofilen und dem Nutzungsverhalten der Fahrer:innen. Der reale mittlere elektrische Fahranteil in Deutschland liegt bei ca. 43 % bei Privatfahrzeugen und nur 18 % bei Dienstwagen (Plötz et al., 2020).

Bei einem **Elektrofahrzeug mit Range Extender** (Range-extended Electric Vehicle, REEV) treibt der installierte Ver-

brennungsmotor einen Generator an, der bei Bedarf die Batterie im Fahrzeug mit Energie versorgt. Für diese Funktion kann der Verbrennungsmotor kleiner als in einem reinen Verbrenner ausgelegt werden. Er muss allerdings für einen häufig unterbrochenen, dafür aber stationären Einsatz ausgelegt sein. Der E-Motor ist für den Vortrieb zuständig. Durch die Kombination der Batteriekapazitäten und der chemischen Energie im Kraftstoff können hohe Gesamtreichweiten des Fahrzeugs und hohe rein elektrische, also auch lokal emissionsfreie Fahranteile ermöglicht werden. Der Range Extender kann verbrauchs- und schadstoffoptimal bei konstanter Drehzahl im bestmöglichen Wirkungsgradbereich arbeiten. Dem stehen ein komplexer Gesamtsystemaufbau und – in Anbetracht der groß dimensionierten Batterie – hohe Kosten und hohe Masse gegenüber.

### **Batteriefahrzeug (Battery Electric Vehicle, BEV)**

Ein **Batteriefahrzeug** nutzt ausschließlich ein rein elektrisches Antriebssystem, das aus einem oder mehreren Elektromotoren, der Leistungselektronik (inkl. Ladesystem) sowie einem Batteriesystem besteht. Der Energiespeicher ist dabei relativ groß dimensioniert (20–150 kWh) und kann über das externe Stromnetz aufgeladen werden. Zusätzlich wird durch Rekuperation kontinuierlich Bremsenergie zurückgewonnen und in die Traktionsbatterie eingespeist. Der Vortrieb erfolgt jederzeit rein elektrisch, konventionelle Komponenten wie Verbrennungsmotor, Kraftstoffversorgung, Abgasanlage sowie Starter und Lichtmaschine entfallen.

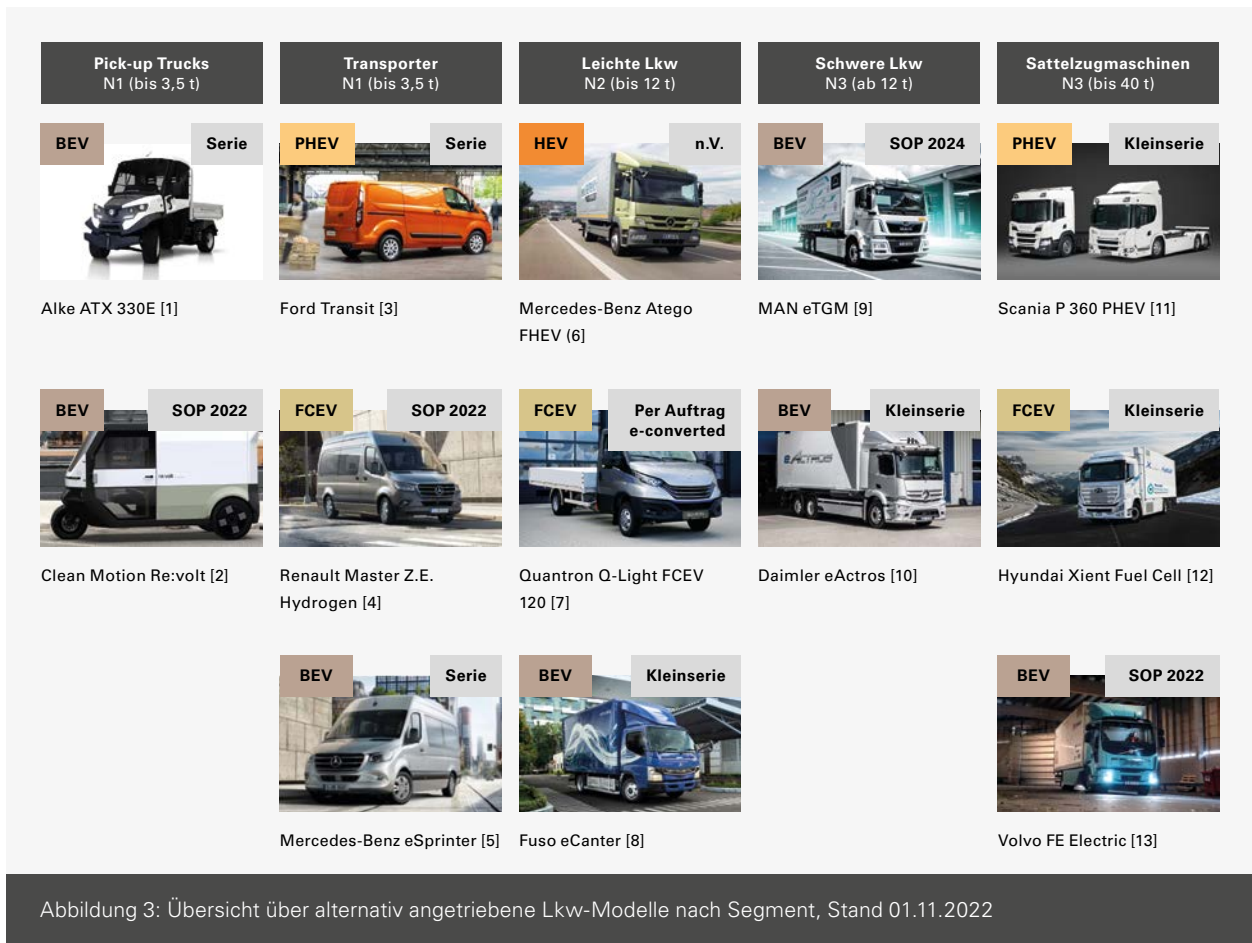
Im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen verringert sich die Teilekomplexität im Antriebsstrang und Vorteile entstehen in Bezug auf den verfügbaren Bauraum. Ein Batterie- oder Elektrofahrzeug erzeugt lokal und während der Fahrt keine Emissionen und bei geringen Geschwindigkeiten weniger Lärm. Sofern das Fahrzeug mit erneuerbaren Energien gespeist wird, können hohe Vorteile beim Emissionsausstoß auch über den gesamten Lebenszyklus des Fahrzeugs realisiert werden. Die Nachteile liegen derzeit in noch höheren Anschaffungskosten – v. a. bedingt durch das Batteriesystem – und eine im Vergleich zum Verbrenner geringere Reichweite bzw. längere Ladezeiten.

### **Brennstoffzellenfahrzeug (Fuel Cell Electric Vehicle, FCEV)**

**Brennstoffzellenfahrzeuge** nutzen ausschließlich Elektromotoren zum Vortrieb, die hier aber aus einem Wasserstofftank und einem Brennstoffzellensystem gespeist werden. Die kleiner dimensionierten Batterien werden kontinuierlich bordintern von der Brennstoffzelle geladen. Zudem ist eine externe Ladung als FC-PHEV konstruktiv möglich. In Brennstoffzellen-Pkw werden meist 3–6 kg Wasserstoff bei 700 bar gespeichert, was Reichweiten von 400 km und Füllzeiten von sechs Minuten ermöglicht. Bei Brennstoffzellen-Nutzfahrzeugen wird in der Regel ein Druck von 350 bar verwendet. Die Nachteile von Brennstoffzellenfahrzeugen bestehen derzeit in hohen Anschaffungskosten und geringer Verfügbarkeit von Wasserstoffinfrastruktur bei gleichzeitig im Vergleich zu Benzin und Diesel höheren Kraftstoffkosten.

Auch im Nutzfahrzeugsektor werden die beschriebenen alternativen Antriebstechnologien eine immer größere Rolle spielen. Hierbei ist die Wahl der bevorzugten Antriebstechnologie stark abhängig von der jeweiligen Transportaufgabe und dem Einsatzprofil der Fahrzeuge. Generell unterschieden werden können dabei leichte und schwere Nutzfahrzeuge im N1-, N2- und N3-Segment. Das N1-Segment beinhaltet Fahrzeuge zur Güterbeförderung mit einer zulässigen Gesamtmasse bis 3,5 t (z. B. Transporter im Stadtverkehr), das N2-Segment Fahrzeuge bis 12 t (z. B. leichte Lastkraftwagen im Verteilerverkehr), das N3-Segment schließlich Fahrzeuge über 12 t (z. B. schwere Sattelzugmaschinen im Fernverkehr). Aktuelle Beispiele alternativ angetriebener Nutzfahrzeuge je Segment sind in Abbildung 3 dargestellt.





Quelle: DLR Vehicle Concept Database, 2022; Bildquellen und © Copyright: [1] Alke [2] Clean Motion [3] Ford [4] Renault [5] Mercedes-Benz [6] Mercedes-Benz [7] Quantron [8] Daimler Truck [9] MAN [10] Daimler Truck [11] Scania [12] Hyundai [13] Volvo Trucks

Abbildung 3: Übersicht über alternativ angetriebene Lkw-Modelle nach Segment, Stand 01.11.2022

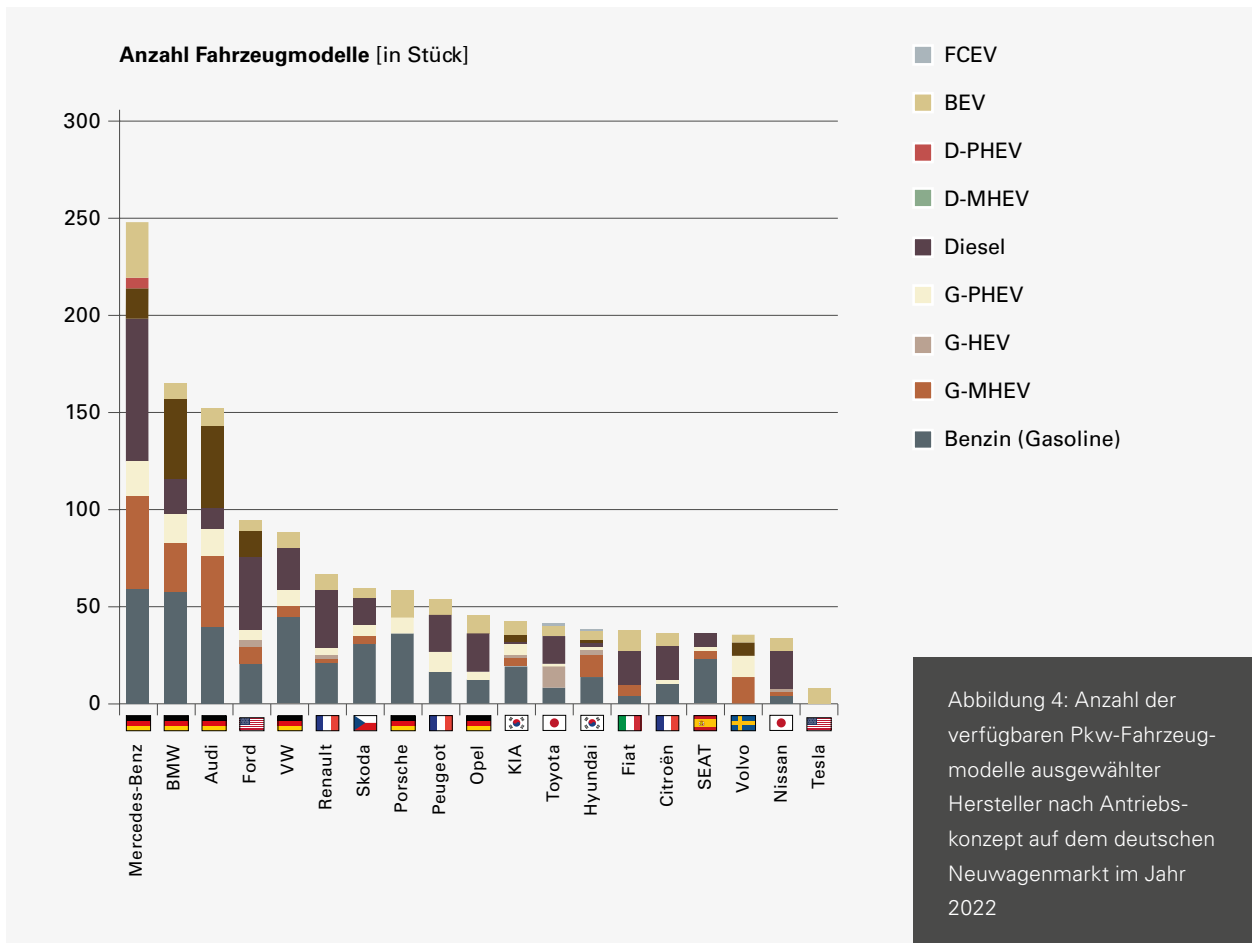
**Marktangebot und Strategien der Hersteller**

Alle Automobilhersteller richten ihre jeweiligen Produktportfolios immer stärker auf elektrifizierte Fahrzeuge aus. Während zu Beginn des Technologiewandels der Fokus insbesondere auf einer Teilelektrifizierung und Hybridisierung der Antriebsoptionen lag, verschiebt sich der Fokus mittlerweile stärker auf die Entwicklung und das Angebot rein elektrisch betriebener Fahrzeugmodelle.

Einen Vergleich der zum Stand Juli 2022 auf dem deutschen Markt von ausgewählten Herstellern verfügbaren Pkw-Fahrzeugmodelle nach Antriebskonzept stellt Abbildung 4 dar.

Berücksichtigt wurden nur die bereits in den deutschen Markt eingeführten Serienfahrzeuge. Insgesamt waren 1.821 Modelle und Modellvarianten verfügbar, hiervon 630 Benzin (Gasoline, 35%), 213 Benzin Mild-Hybrid (G-MHEV, 12%), 38 Benzin Full-Hybrid (G-HEV, 2%) und 157 Benzin Plug-in-Hybrid (G-PHEV, 9%), 385 Diesel (21%), 150 Diesel Mild-Hybrid (D-MHEV, 8%), 5 Diesel Plug-in-Hybrid (D-PHEV, 0,3%), 217 rein batterieelektrisch (BEV, 12%) und 2 Brennstoffzelle (FCEV, 0,1%).

Die größte Modellpalette bei batterieelektrischen Fahrzeugen hat Mercedes-Benz (29 Pkw-Modelle), gefolgt von Porsche (14) und Fiat (11). Opel (9), Audi (9), BMW (8) und VW (8) folgen aus deutscher Perspektive auf den weiteren Plätzen. Bei Modellen mit Plug-in-Hybrid-Antrieb führt Mercedes-Benz mit insgesamt 18 Fahrzeugmodellen, gefolgt von BMW (15), Audi (14), Volvo (11), Peugeot (10) sowie Porsche und VW (jeweils 8).



Die individuellen Anteile der unterschiedlichen Antriebsarten im Produktportfolio der betrachteten Hersteller sind in Tabelle 1 dargestellt. Besonderheiten sind bei mehreren Herstellern zu erkennen: So besitzt beispielsweise Toyota im Jahr 2022 mit ca. 26 % einen im Vergleich sehr hohen Anteil bei Voll-Hybrid-Modellen, während die deutschen Hersteller Audi, BMW und Mercedes-Benz auf ein breiteres Angebot bei Mild-Hybriden setzen (24 %; 15 %; 19 %). Die höchsten Anteile bei Mild-Hybriden im Angebotsportfolio sind aber bei Volvo (36 %) und Hyundai (28 %) zu erkennen. Auch bei Plug-in-Hybrid-Modellen besitzt Volvo mit 31 % den im Vergleich größten Anteil. Die deutschen Hersteller liegen darunter: Porsche 14 %, BMW 9 %, Audi 9 %, VW 9 %, Opel 9 %, Mercedes-Benz 7 %. Mercedes-Benz ist zudem der einzige Hersteller mit Diesel-Plug-in-Hybrid-Modellen in diesem Vergleich. Mit Toyota und Hyundai bieten derzeit nur zwei Hersteller Brennstoffzellenfahrzeuge auf dem deutschen Markt an.

Im Vergleich zum Jahr 2019 haben sich deutliche Verschiebungen zugunsten der höher elektrifizierten Fahrzeugmodelle ergeben: Die von allen Herstellern auf dem deutschen Markt angebotenen Pkw-Modellvarianten mit Benzinantrieb nahmen um 26 % ab (849 Modelle im Jahr 2019 vs. 630 Modelle im Jahr 2022), die Diesel-Modelle sogar um 46 % (712 vs. 385). Das Modellangebot bei benzingetriebenen Mild-Hybriden wurde hingegen um 218 % gesteigert (67 vs. 213), bei dieselgetriebenen Mild-Hybriden um 219 % (47 vs. 150). Auch bei den Voll-Hybrid-Modellen ist ein größeres Modellangebot (+27 %) zu erkennen, jedoch auf niedrigerem Niveau: 30 Pkw-Modelle im Jahr 2019 vs. 38 im Jahr 2022. Die höchsten Steigerungsraten sind bei benzingetriebenen Plug-in-Hybriden und rein batterieelektrischen Fahrzeugmodellen zu verzeichnen: +224 % (46 vs. 157) bzw. +382 % (45 vs. 217).

Ein Großteil der verfügbaren rein elektrischen Fahrzeugmodelle stammt von europäischen Herstellern (151 von 217), danach folgen asiatische (43) und amerikanische (23). Deutsche OEM sind mit 88 Fahrzeugmodellen und ca. 58 % Anteil im europäischen Vergleich die Hauptakteure, gefolgt von Herstellern aus

Frankreich (27 Modelle, 18 %), Italien (11 Modelle, 7 %) und dem Vereinigten Königreich (8 Modelle, 5 %). Unter asiatischen Anbietern führen japanische Hersteller mit 18 Fahrzeugmodellen (42 %) vor Anbietern aus Südkorea (16 Modelle, 37 %). Chinesische Hersteller belegen mit derzeit 3 Pkw-Modellen (7 %) hier Platz 3, drängen aber immer stärker mit neuen Marken und Modellen auch auf den deutschen Markt (u. a. Nio, BYD, Xpeng). Sie stoßen mit wettbewerbsfähigen Angeboten auch in das BEV-Volumensegment vor, während sich insbesondere die deutschen Premiumhersteller zukünftig vermehrt auf das margenträchtigere obere Segment und das Luxussegment fokussieren.

Auch bei Nutzfahrzeugen ist eine steigende Anzahl elektrifizierter und vollelektrischer Fahrzeugmodelle zu erkennen. Eine Übersicht der im Jahr 2022 verfügbaren bzw. vorgestellten Modelle nach Entwicklungsstatus und je Fahrzeugsegment (N1, N2, N3) ist in Abbildung 6 dargestellt. Insbesondere im leichten Nutzfahrzeugsegment sind bereits viele Serienmodelle auf dem Markt verfügbar, im schweren Nutzfahrzeugsegment hingegen eher Konzepte und erste Prototypen.

|                      | Anzahl Modelle | Gasoline | G-MHEV | G-HEV | G-PHEV | Diesel | D-MHEV | D-PHEV | BEV   | FCEV |
|----------------------|----------------|----------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|------|
| <b>Mercedes-Benz</b> | <b>248</b>     | 24 %     | 19 %   | 0 %   | 7 %    | 29 %   | 6 %    | 2 %    | 12 %  | 0 %  |
| <b>BMW</b>           | <b>165</b>     | 35 %     | 15 %   | 0 %   | 9 %    | 11 %   | 25 %   | 0 %    | 5 %   | 0 %  |
| <b>Audi</b>          | <b>152</b>     | 26 %     | 24 %   | 0 %   | 9 %    | 7 %    | 28 %   | 0 %    | 6 %   | 0 %  |
| <b>Ford</b>          | <b>95</b>      | 22 %     | 9 %    | 3 %   | 5 %    | 40 %   | 14 %   | 0 %    | 6 %   | 0 %  |
| <b>VW</b>            | <b>89</b>      | 51 %     | 7 %    | 0 %   | 9 %    | 25 %   | 0 %    | 0 %    | 9 %   | 0 %  |
| <b>Renault</b>       | <b>67</b>      | 33 %     | 3 %    | 3 %   | 4 %    | 45 %   | 0 %    | 0 %    | 12 %  | 0 %  |
| <b>Skoda</b>         | <b>60</b>      | 52 %     | 7 %    | 0 %   | 10 %   | 23 %   | 0 %    | 0 %    | 8 %   | 0 %  |
| <b>Porsche</b>       | <b>59</b>      | 63 %     | 0 %    | 0 %   | 14 %   | 0 %    | 0 %    | 0 %    | 24 %  | 0 %  |
| <b>Peugeot</b>       | <b>54</b>      | 31 %     | 0 %    | 0 %   | 19 %   | 35 %   | 0 %    | 0 %    | 15 %  | 0 %  |
| <b>Opel</b>          | <b>46</b>      | 28 %     | 0 %    | 0 %   | 9 %    | 43 %   | 0 %    | 0 %    | 20 %  | 0 %  |
| <b>KIA</b>           | <b>43</b>      | 47 %     | 9 %    | 5 %   | 12 %   | 2 %    | 9 %    | 0 %    | 16 %  | 0 %  |
| <b>Toyota</b>        | <b>42</b>      | 21 %     | 0 %    | 26 %  | 2 %    | 33 %   | 0 %    | 0 %    | 14 %  | 2 %  |
| <b>Hyundai</b>       | <b>39</b>      | 36 %     | 28 %   | 8 %   | 5 %    | 5 %    | 3 %    | 0 %    | 13 %  | 3 %  |
| <b>Fiat</b>          | <b>38</b>      | 13 %     | 13 %   | 0 %   | 0 %    | 45 %   | 0 %    | 0 %    | 29 %  | 0 %  |
| <b>Citroën</b>       | <b>37</b>      | 30 %     | 0 %    | 0 %   | 5 %    | 46 %   | 0 %    | 0 %    | 19 %  | 0 %  |
| <b>SEAT</b>          | <b>37</b>      | 65 %     | 11 %   | 0 %   | 5 %    | 19 %   | 0 %    | 0 %    | 0 %   | 0 %  |
| <b>Volvo</b>         | <b>36</b>      | 3 %      | 36 %   | 0 %   | 31 %   | 0 %    | 19 %   | 0 %    | 11 %  | 0 %  |
| <b>Nissan</b>        | <b>34</b>      | 15 %     | 6 %    | 3 %   | 0 %    | 56 %   | 0 %    | 0 %    | 21 %  | 0 %  |
| <b>Tesla</b>         | <b>9</b>       | 0 %      | 0 %    | 0 %   | 0 %    | 0 %    | 0 %    | 0 %    | 100 % | 0 %  |

Tabelle 1: Anteile unterschiedlicher Antriebskonzepte im Pkw-Angebotsportfolio ausgewählter Hersteller auf dem deutschen Neuwagenmarkt im Jahr 2022

Quelle: DLR Vehicle Concept Database, 2022; Stand: 31.07.2022

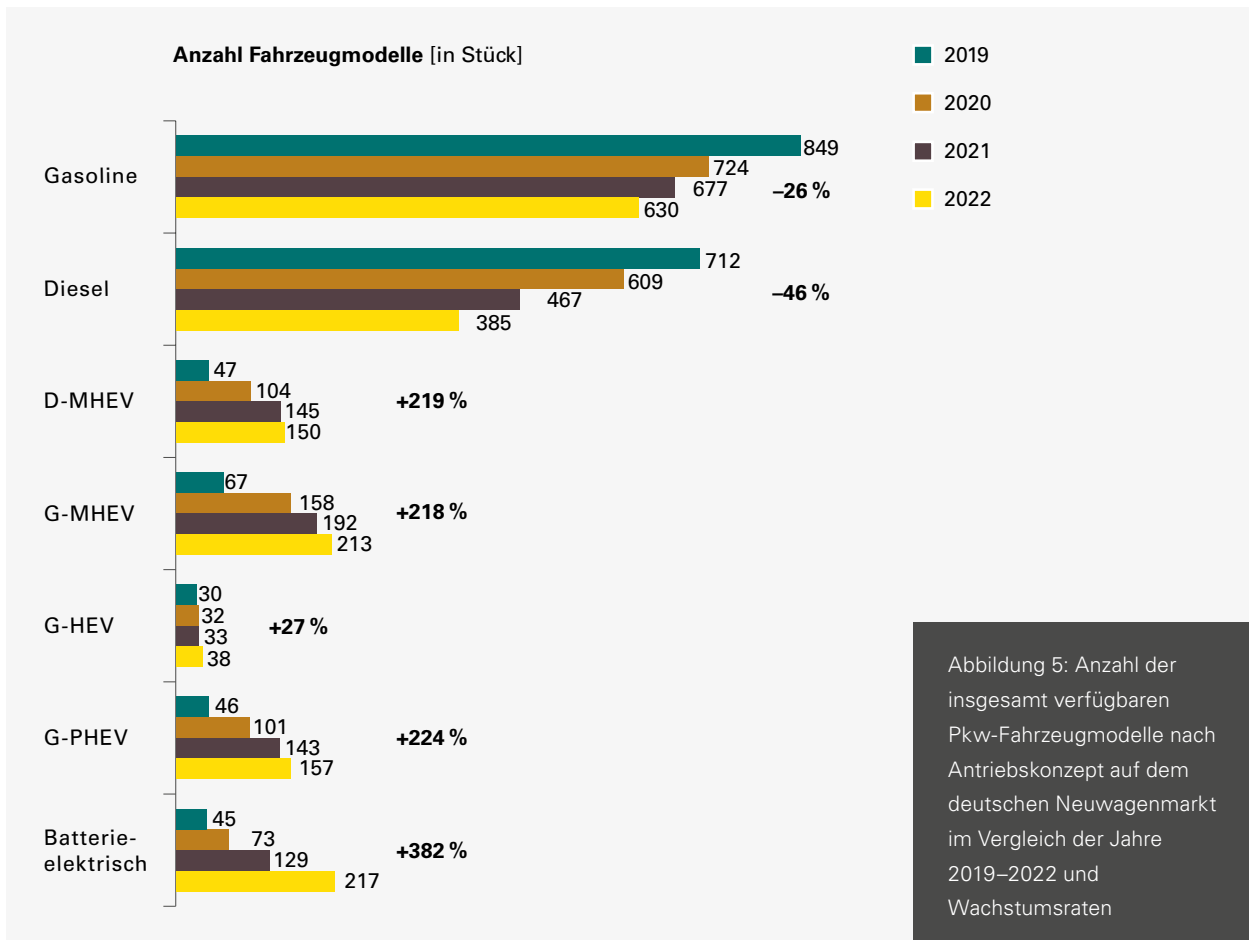


Abbildung 5: Anzahl der insgesamt verfügbaren Pkw-Fahrzeugmodelle nach Antriebskonzept auf dem deutschen Neuwagenmarkt im Vergleich der Jahre 2019–2022 und Wachstumsraten

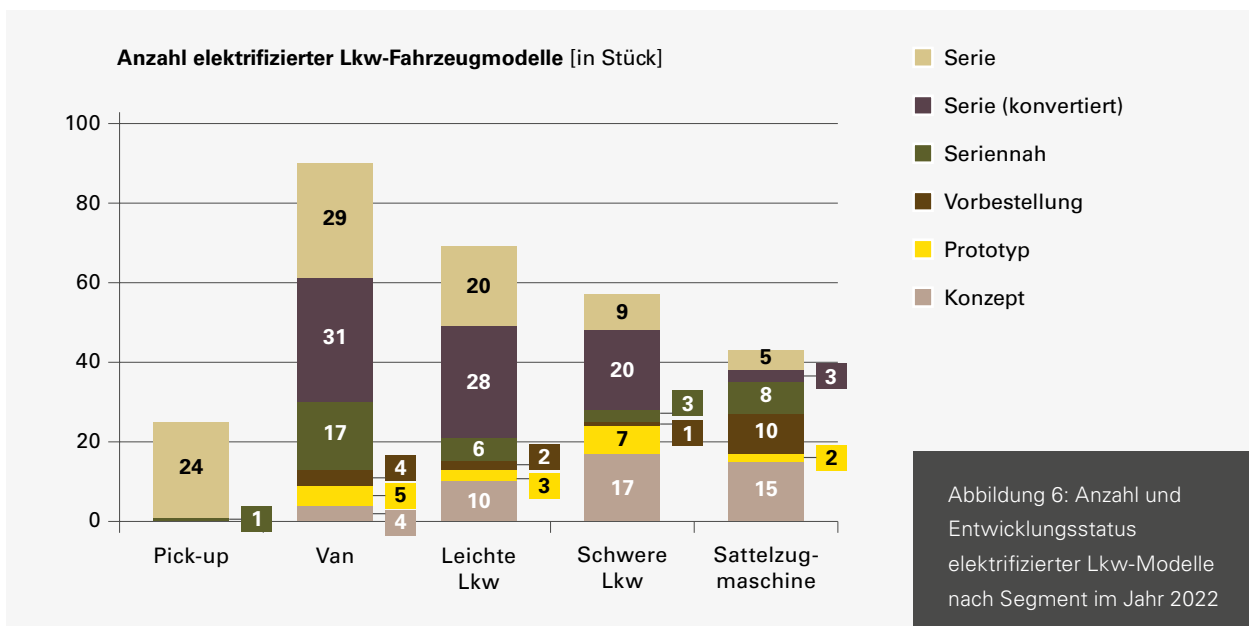


Abbildung 6: Anzahl und Entwicklungsstatus elektrifizierter Lkw-Modelle nach Segment im Jahr 2022

Eine Fahrzeugplattform stellt generell die gemeinsame Basis für eine Produktfamilie dar, die alle Funktionen und/oder Komponenten für alle Produktvarianten definiert. Sie ist als struktureller Rahmen zu verstehen, der über verschiedene Modelle einer Fahrzeugfamilie hinweg gemeinsam genutzt werden kann und Fahrzeugdimensionen wie Länge, Breite und Radstand sowie die Freiheitsgrade bei Ausgestaltung und Packaging der Kernkomponenten festlegt (Krause und Gebhardt, 2018). Aus den zugrundeliegenden Plattformstrategien der Automobilhersteller lassen sich Aussagen zur mittel- bis langfristigen Ausrichtung des Produktangebots ableiten. Differenziert werden kann in folgende Fahrzeugplattformen, die in Abstufungen den Übergang vom Verbrennerantrieb zu elektrischen (insbesondere batterieelektrischen) Antrieben darstellen (e-mobil BW, 2022a).

- **Dedizierte Elektroplattformen:**  
Plattformvariante, die rein für BEV entwickelt wird (Purpose Design)
- **Elektroplattform mit ICE-/FCEV-Option:**  
Plattformvariante, die für BEV entwickelt wird, jedoch auch die Möglichkeiten für Verbrenner (z. B. Zusatzaggregate wie ein Range Extender) oder Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie bietet (Multitraktionsplattform)
- **Verbrennerplattform mit Hybridisierungs-Option:** Plattformvariante, die auf einer Verbrennerplattform aufbaut und elektrifiziert werden kann (HEV/PHEV/FCEV) (Multitraktionsplattform)
- **Verbrennerplattform mit BEV-Option:**  
Plattformvariante, die auf einer Verbrennerplattform aufbaut und so weit elektrifiziert werden kann, dass BEV darauf aufbauen (Multitraktionsplattform)
- **Verbrennerplattform mit Hybridisierungs- und BEV-Option:** Plattformvariante, die auf einer Verbrennerplattform aufbaut und sowohl Hybride als auch BEV ermöglicht (Multitraktionsplattform)

Der dargestellte Ausbau des Produktangebots bei elektrifizierten und vollelektrischen Fahrzeugmodellen aller untersuchten Fahrzeughersteller führt zu Veränderungen auch bei der Entwicklung neuer Fahrzeugplattformen. OEM fokussieren Entwicklungsaktivitäten zum einen immer stärker auf dedizierte Elektroplattformen, die exklusiv für die Anforderungen eines rein batterieelektrischen Antriebsstrangs ausgelegt werden und möglichst modular nutzbar sind, um verschiedene Fahrzeugsegmente bedienen zu können. Die Entwicklung reiner Verbrennerplattformen wird zum anderen reduziert oder gänzlich eingestellt, stattdessen werden diese immer stärker auf die Anforderungen der Teileelektrifizierung ausgerichtet. Diese sogenannten Multitraktionsplattformen dienen vor allem dazu, die Produktion von Fahrzeugen mit unterschiedlichem (hybridisiertem) Antriebskonzept flexibel handhaben zu können. Mehrere Antriebsvarianten können so auf einer Fertigungslinie produziert werden. Die erste Variante ermöglicht Vorteile durch Standardisierung, so dass Skaleneffekte durch möglichst hohe Produktionsvolumina und Kosteneinsparungen ermöglicht werden. Zudem sinken durch die Fokussierung auf dedizierte Elektroplattformen auch die Aufwände in Entwicklung, Produktion, Logistik und Einkauf, da Variantenvielfalt und Komplexität reduziert werden (Knauer, 2019).

Zur Entwicklung neuer Fahrzeugplattformen und der dahinterliegenden Schlüsseltechnologien und -komponenten im Antriebsstrang investieren Automobilhersteller und -zulieferer hohe Milliardenbeträge. Die Entwicklungsaufwände steigern sich zusätzlich durch die zunehmende Bedeutung der Digitalisierung und Vernetzung der Fahrzeuge sowie des automatisierten und autonomen Fahrens. Hierbei wird die Integration von u. a. Fahr-, Assistenz- und Komfortfunktionen zu weiter steigenden Anforderungen an die Fahrzeugplattform führen und in einer Verschiebung des Entwicklungsfokus hin zu Software- und Elektronikarchitekturen resultieren.

Die durch diesen Technologiewandel bedingte Transformation der Automobilwirtschaft führt zu Anpassungen der Unternehmens-, Produkt- und Innovationsstrategien aller Hersteller und Zulieferer. Sie wird bei fast allen Herstellern begleitet und unterstützt durch das Ziel, Klimaneutralität über alle Produktionsschritte hinweg – von der Rohstoffgewinnung bis zum Recycling – erreichen zu wollen. Dies schließt bei mehreren Herstellern die gesamte Wertschöpfungskette ein, so dass auch die Zulieferer direkt betroffen sind.

Ein Überblick über die Strategien ausgewählter europäischer OEM zum Stand Juli 2022 wird im Folgenden dargestellt, ver-

gleichend werden Tesla (USA), Toyota (Japan) und BYD (China) hinzugezogen. Gemein ist allen, dass über die Entwicklung effizienter, verbrauchs- und emissionsarmer Fahrzeuge die Reduzierung u. a. des Flottenverbrauchs und des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes angepeilt wird, um auch die Gesetzesvorgaben in Bezug auf Schadstoffgrenzwerte einhalten zu können.

**Audi** will bis zum Jahr 2026 ca. 37 Mrd. EUR in neue Technologien investieren, 18 Mrd. EUR davon allein zur Elektrifizierung des Produktportfolios (Audi AG, 2021). Bis dahin soll das Produktportfolio des Unternehmens um mehr als 30 elektrifizierte Fahrzeugmodelle erweitert werden, 20 hiervon rein elektrisch angetrieben. Ziel ist es, ab dem Jahr 2026 nur noch rein batterieelektrisch betriebene Fahrzeuge neu in den Markt einzuführen, spätestens bis zum Jahr 2033 soll der vollständige Ausstieg aus der Produktion von Verbrennerfahrzeugen umgesetzt werden (Jeß et al., 2021). Insgesamt soll der Absatzanteil elektrifizierter Fahrzeuge bis 2025 weltweit auf 40 % steigen, rund ein Drittel des Absatzes bis dahin in China elektrifiziert sein (Drechsel, 2019). Hierzu bedient sich Audi unterschiedlicher Multitraktions- und E-Fahrzeug-Plattformen: MLB evo (modularer Längsbaukasten; teilelektrifiziert), J1 (gemeinsam mit Porsche; rein elektrisch), MEB (gemeinsam mit VW; rein elektrisch) und zukünftig PPE (Premium Platform Electric, gemeinsam mit Porsche; rein elektrisch) sowie SSP (Scalable Systems Platform; gemeinsam mit Porsche und Volkswagen; rein elektrisch) (Volkswagen AG, 2021a). Letztere Plattform dient dazu, das Modellportfolio in der Zukunft verstärkt nach den Anforderungen der Software und der E/E-Architektur zu entwickeln.

**BMW** will insgesamt für Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im Bereich elektrifizierter Antriebstechnologien, KI und automatisiertes/autonomes Fahren bis 2025 ca. 30 Mrd. EUR investieren (ecomento, 2021a). Das Unternehmen plant eine kontinuierlich zunehmende Elektrifizierung der volumenstärksten Modelle, so dass im Jahr 2023 25 Modelle mit einem elektrifizierten Antrieb im Markt verfügbar sind und bis 2025 25 % des Absatzes mit elektrifizierten Pkw realisiert werden können. 50 % der geplanten Modelle sollen dann rein batterieelektrisch angetrieben sein, während gleichzeitig die Hälfte der bestehenden Verbrennermodelle bis dahin vom Markt genommen werden sollen (Schaal, 2021a). Bis zum Jahr 2030 wird angestrebt, über 7 Mio. elektrifizierte Fahrzeuge pro Jahr weltweit zu verkaufen, davon zwei Drittel als BEV (BMW AG, 2021). Auch die Marke Mini soll in diesem Zuge bis 2030 vollständig zur Elektromarke umgewandelt werden. BMW nutzt derzeit die flexiblen Multitraktions-Plattformkonzepte CLAR-WE (Cluster-

Architektur Weiterentwicklung) und FAAR-WE (Frontantriebs-Architektur Weiterentwicklung), um unterschiedliche Antriebskonzepte flexibel vereinen zu können (Vogel und Olle, 2019). Zukünftig aber wird das Unternehmen – wie auch die weiteren deutschen Automobilhersteller – dediziert elektrische Fahrzeugplattformen (CLAR III, „Neue Klasse“) entwickeln und ab dem Jahr 2025 im Markt etablieren.

**Mercedes-Benz** will bis 2030 ca. 40 Mrd. EUR in die Entwicklung neuer, rein elektrischer Fahrzeuge investieren und verfolgt eine „Electric only“-Strategie. So sollen gleichzeitig Aufwände zur Weiterentwicklung konventioneller Antriebsstränge bis 2026 um 80 % und das Angebot von Verbrennervarianten auf dem Markt um 70 % reduziert werden, auch Plug-in-Hybrid-Technologien werden laut Aussage des Unternehmens nicht mehr – oder nur in geringem Umfang – weiterentwickelt (Mercedes-Benz AG, 2021a). Bis zum Jahr 2025 soll über die Hälfte der Fahrzeugmodelle in elektrifizierter Variante verkauft werden und ab dann sollen nur noch dedizierte E-Plattformen in den Markt eingeführt werden. Bis 2030 wird angestrebt, den Verkauf konventionell angetriebener Fahrzeuge vollständig einzustellen – zumindest in den Märkten, in denen dies möglich ist. Bis dahin ist es Ziel des Unternehmens, das Angebotsportfolio auf mehr als 40 rein batterieelektrische Modelle zu erweitern. Ebenfalls sollen die Submarken AMG und Maybach elektrifiziert werden, die Marke Smart ist derzeit schon konsequent auf elektrische Antriebe ausgerichtet (Mercedes-Benz AG, 2021b). Mercedes-Benz nutzt unterschiedliche Plattformen zur Elektrifizierung der Modellpalette: Eine überarbeitete Multitraktions-Verbrennerplattform MRA (Modular Rear Architecture; teilelektrifiziert) und eine dedizierte E-Plattform EVA (Electric Vehicle Architecture; rein elektrisch). Zusätzlich entwickelt werden sollen die weiteren E-Plattformen MMA (Mercedes Modular Architecture) und ab dem Jahr 2025 die MB.EA (für mittlere bis große BEV), AMG.EA (für leistungsstarke BEV) sowie VAN.EA (für BEV-Nutzfahrzeuge). Fahrzeuge der Marke Smart sollen gemeinsam mit dem chinesischen Automobilhersteller Geely auf der ebenfalls reinen E-Plattform SEA (Sustainable Experience Architecture) aufbauen.

Bei **Porsche** sollen bis 2024 ca. 10 Mrd. EUR in die Hybridisierung, Elektrifizierung und Digitalisierung der Fahrzeuge investiert werden (ecomento, 2020). Das Unternehmen strebt an, bis zum Jahr 2025 über 50 % der vertriebenen Sportwagen zumindest teilweise zu elektrifizieren. Bis 2030 wird mit einem Anteil elektrifizierter Fahrzeuge i. H. v. über 80 % am Gesamtabsatz gerechnet. Neben rein batterieelektrischen Fahrzeugen (wie dem Porsche Taycan) sollen zunehmend auch die bestehenden Fahrzeugmodelle hybridisiert werden. Neben der Entwicklung elektrifizierter Fahrzeugmodelle treibt der Hersteller auch die Entwicklung synthetisch hergestellter, klimaneutraler Kraftstoffe (E-Fuels) voran, um auch die weiterhin konventionell betriebenen Porsche-Modelle CO<sub>2</sub>-neutral(er) betreiben zu können (Porsche AG, 2021). Porsche nutzt die dedizierten Elektroplattformen J1 und (zukünftig) PPE gemeinsam mit Audi. Die Weiterentwicklung der Fahrzeugplattformen wird auch bei Porsche zunehmend dadurch geprägt, neben den „klassischen“ Anforderungen bei Komponenten und Hardware stärker Anforderungen im Bereich Software und KI zu berücksichtigen.

**Volkswagen** hat bis 2026 Investitionen in Höhe von ca. 89 Mrd. EUR in die Entwicklung elektrifizierter Antriebe (ca. 60 Mrd. EUR) sowie des automatisierten Fahrens und in die Digitalisierung und Vernetzung der Fahrzeuge (ca. 29 Mrd. EUR) angekündigt. 2030 soll der Anteil der Neuzulassungen bei rein batterieelektrischen Fahrzeugen in der EU auf 70 % und in China sowie den USA auf 50 % gesteigert werden (Volkswagen AG, 2021b). Bis zum Jahr 2040 will das Unternehmen alle Kernmärkte vollständig mit rein batterieelektrischen Fahrzeugen bedienen. Allein bis zum Jahr 2025 sind 80 elektrifizierte Modelle für die Markteinführung geplant, davon 50 BEV-Modelle. Diese bauen vorrangig auf der im Jahr 2020 eingeführten dedizierten E-Plattform MEB (modularer E-Antriebs-Baukasten) auf. Perspektivisch will das Unternehmen diese durch eine neue, hochskalierbare, dedizierte E-Plattform – die sogenannte Scalable Systems Platform (SSP) – ersetzen. Damit werden erstmals auch einheitliche E/E-, Software- und Rechnerarchitekturen für die einzelnen Marken des Konzerns ermöglicht (Stegmaier, 2021). Im Zuge des Übergangs hin zu einem vollständig elektrifizierten Produktangebot wird eine kontinuierliche Steigerung der Wertschöpfungstiefe in der Komponenten- und Fahrzeugproduktion angestrebt. Für den elektrischen Antriebsstrang stellt Volkswagen z. B. Teile des E-Motors und des Getriebes (u. a. Rotor, Stator, Gehäuse) schon selbst in den eigenen Komponentenwerken her. Auch beim Batteriesystem will VW stärker vertikal integrieren und die Wertschöpfungsanteile bis hin zur Batteriezelle ausdehnen.

Hierfür plant Volkswagen, insgesamt sechs Batteriefabriken bis 2030 in Europa zu errichten, die eine jährliche Gesamtkapazität von ca. 240 GWh abdecken sollen (Johannsen, 2021).

**BYD** besitzt im Automobilssektor auf dem chinesischen Markt eine derzeit führende Position im Bereich alternativ betriebener Pkw und führte drei rein batterieelektrische Modelle erstmals im Jahr 2022 auch in den deutschen Markt ein. Das Unternehmen besitzt Kernkompetenzen in der Herstellung von Batterien, Steuergeräten, Leistungshalbleitern und E-Motoren (BYD, 2020). Investitionen in Forschung und Entwicklung fließen sowohl in die Weiterentwicklung der Antriebstechnologien als auch in automatisierte und vernetzte Fahrfunktionen, hier in Kooperation mit Partnern. Höhe und Umfang dieser Investitionen sind jedoch zum jetzigen Zeitpunkt nicht bekannt (e-mobil BW, 2022a). Ziel des Unternehmens ist es, weltweit einen jährlichen Absatz von ca. 400.000 elektrifizierten Fahrzeugen zu erzielen. Im Jahr 2021 wurde dieses Ziel mit einem Absatz von ca. 608.000 elektrifizierten Pkw bereits übererfüllt (Kauper, 2021). BYD nutzt derzeit zwei dediziert elektrische Fahrzeugplattformen: die sogenannte „e-platform 33111“ seit 2018 und die weiterentwickelte „e-platform 3.0“ seit 2021.

Die Allianz der Automobilhersteller **Renault, Nissan und Mitsubishi** will bis zum Jahr 2027 insgesamt 23 Mrd. EUR in neue Technologien der Elektrifizierung und Digitalisierung investieren (ecomento, 2022a). Im Jahr 2030 ist es Ziel der Marke Renault, auf dem europäischen Markt nur noch rein batterieelektrische Fahrzeuge anzubieten. Eine Aufteilung des Unternehmens in zwei separate Einheiten für Verbrennerfahrzeuge („Horse“) und Elektrofahrzeuge („Ampere“) ist derzeit in Diskussion (ecomento, 2022b). Bis dahin sind (inkl. der Marke Alpine) zehn neue Elektromodelle geplant. **Nissan** – als Teil der Allianz – plant die Einführung von insgesamt 15 rein batterieelektrischen Pkw bis zum Jahr 2030. Zusätzlich werden weitere sieben neue Modelle bis dahin in hybridisierter Variante in den Markt eingeführt. Über 50 % des Gesamtabsatzes sollen in diesem Jahr durch elektrifizierte Fahrzeuge generiert werden (Nissan, 2021). Die Allianz setzt hierfür u. a. zwei neue Fahrzeugplattformen ein: Für das Mittelklassensegment seit 2021 die dedizierte E-Plattform CMF-EV (Common Module Family – Electric Vehicle) sowie für das Kompaktsegment die E-Plattform CMF-B-EV, geplant ab dem Jahr 2023.

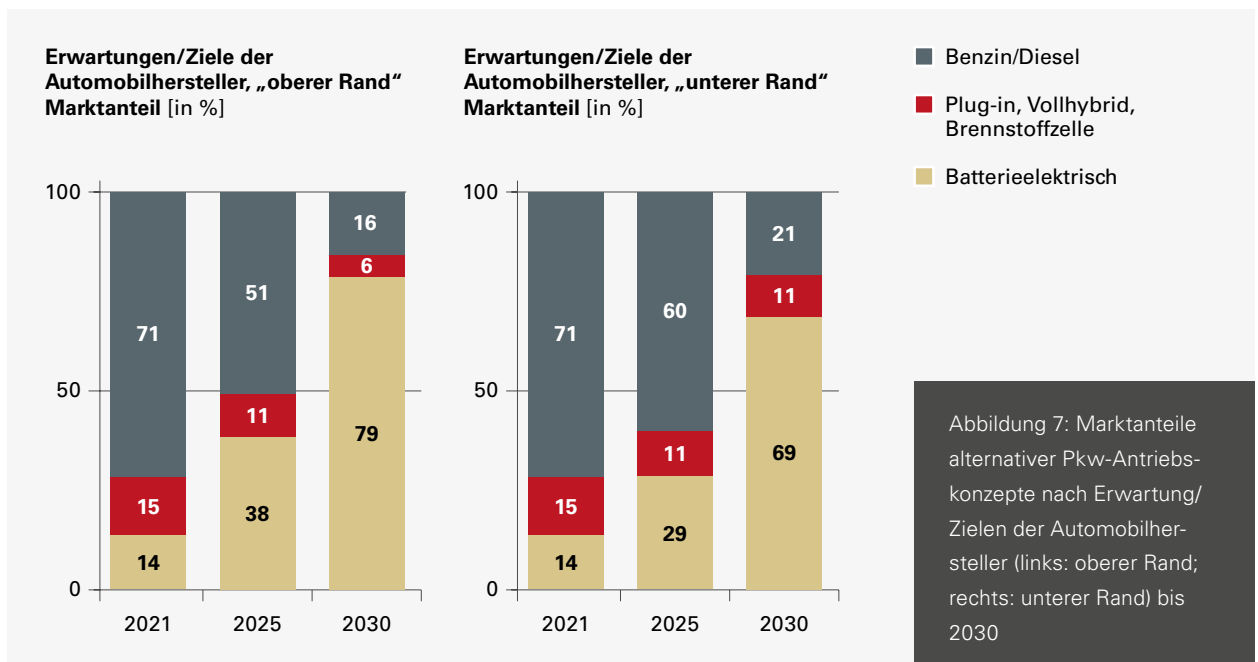


**Tesla** ist Vorreiter der rein batterieelektrischen Mobilität. Nach dem Tesla Roadster, dem Model S, Model X, Model 3 und Model Y ist im Jahr 2023 die Markteinführung des Cybertrucks geplant. Das Unternehmen verfügt bereits heute bei der wichtigsten Komponente im elektrifizierten Antriebsstrang – dem Batteriesystem – über eine im Vergleich hohe Wertschöpfungstiefe. Es führt von der Batteriemodulfertigung bis hin zur Batteriesystemintegration alle Prozesse in Eigenfertigung durch (Yilmaz und Kehrer, 2020). Mit dem sog. Tesla Supercharger-Netzwerk hat das Unternehmen an ausgewählten Standorten Hochleistungs-Ladesysteme etabliert, die mittlerweile weltweit ca. 4.300 Supercharger (EU: ca. 800; DE: ca. 125) mit mehr als 35.000 Ladepunkten umfassen und teilweise kostenloses Laden für Tesla-Kund:innen ermöglichen (Tesla, 2022). Das Unternehmen nutzt derzeit zwei dedizierte E-Plattformen: Tesla 3/Y und Tesla S/X.

Seit der Markteinführung des ersten Prius im Jahr 1997 ist **Toyota** als Pionier für Hybridfahrzeuge anerkannt und mit mehr als 20 Mio. verkauften HEV weltweit Marktführer in diesem Segment. Während der japanische Hersteller in der Vergangenheit eine eher evolutionäre Entwicklung der Hybridtechnologie verfolgt und zudem seinen Entwicklungsfokus auf die Brennstoffzellentechnologie gelegt hat, sind mittlerweile auch rein batterieelektrische Fahrzeuge Teil der Unternehmensstrategie. So will Toyota bis zum Jahr 2025 insgesamt 60 neue elektri-

fizierte Fahrzeuge in den Markt einführen (15 davon rein batterieelektrisch) und einen jährlichen Absatz von 5,5 Mio. (teil-)elektrifizierten Fahrzeugen erreichen. Das Produktangebot von konventionell angetriebenen Pkw soll bis 2025 auf einen Anteil von unter 10 % sinken. Das Unternehmen plant, bis 2030 insgesamt 11,5 Mrd. EUR in die Weiterentwicklung von Technologien der Elektrifizierung und Digitalisierung zu investieren (ecomento, 2021b). Toyota nutzt und entwickelt unterschiedliche Fahrzeugplattformen: Eine Multitraktionsplattform TNGA (Toyota New Global Architecture) – auf der auch der brennstoffzellenbetriebene Toyota Mirai basiert – und eine dediziert elektrische Plattform e-TNGA mit Einführung im Jahr 2022. Diese soll auch von den Marken Mazda, Subaru, Suzuki und Daihatsu genutzt werden.

Werden alle bekannten Erwartungen und Ziele der Automobilhersteller zur Entwicklung der Neuzulassungsanteile von elektrifizierten Pkw und konventionell betriebenen Pkw für den deutschen Markt zusammengefasst, so ergeben sich im Schnitt die in Abbildung 7 dargestellten Werte für die Jahre 2025 und 2030. Links ist der obere Rand der Herstellererwartungen dargestellt. Der untere Rand (rechts) liegt bei batterieelektrischen Fahrzeugen in den Jahren 2025 und 2030 9 bzw. 10 Prozentpunkte darunter, bei konventionell betriebenen dafür 9 (2025) bzw. 5 (2030) Prozentpunkte höher.





Die Pläne der (europäischen) Nutzfahrzeughersteller zur Entwicklung der Marktanteile alternativer Antriebskonzepte in Europa für leichte und schwere Nutzfahrzeuge bis zum Jahr 2030 sind in Abbildung 8 zusammengefasst. Demnach werden im leichten Nutzfahrzeugsegment (Fahrzeugklasse N1) bis 2030 batterieelektrische Fahrzeuge die dominierende Antriebstechnologie darstellen. Bereits im Jahr 2022 besaßen fast alle europäischen Hersteller von N1-Fahrzeugen batterieelektrische

Modelle im Portfolio. Interessant ist zudem, dass die Stellantis Gruppe (führend hinsichtlich Absatzzahlen in Europa) bereits heute auch auf die Brennstoffzelle im N1-Segment setzt. So werden im Werk Hordain in Frankreich seit 2022 brennstoffzellengetriebene Transporter der Marken Citroën, Opel und Peugeot in geringer Stückzahl (bis ca. 5.000 p.a. im Jahr 2024) in Serien produziert (Stellantis, 2021). Im schweren Nutzfahrzeugsegment (Fahrzeugklassen N2 und N3) sollen laut Her-

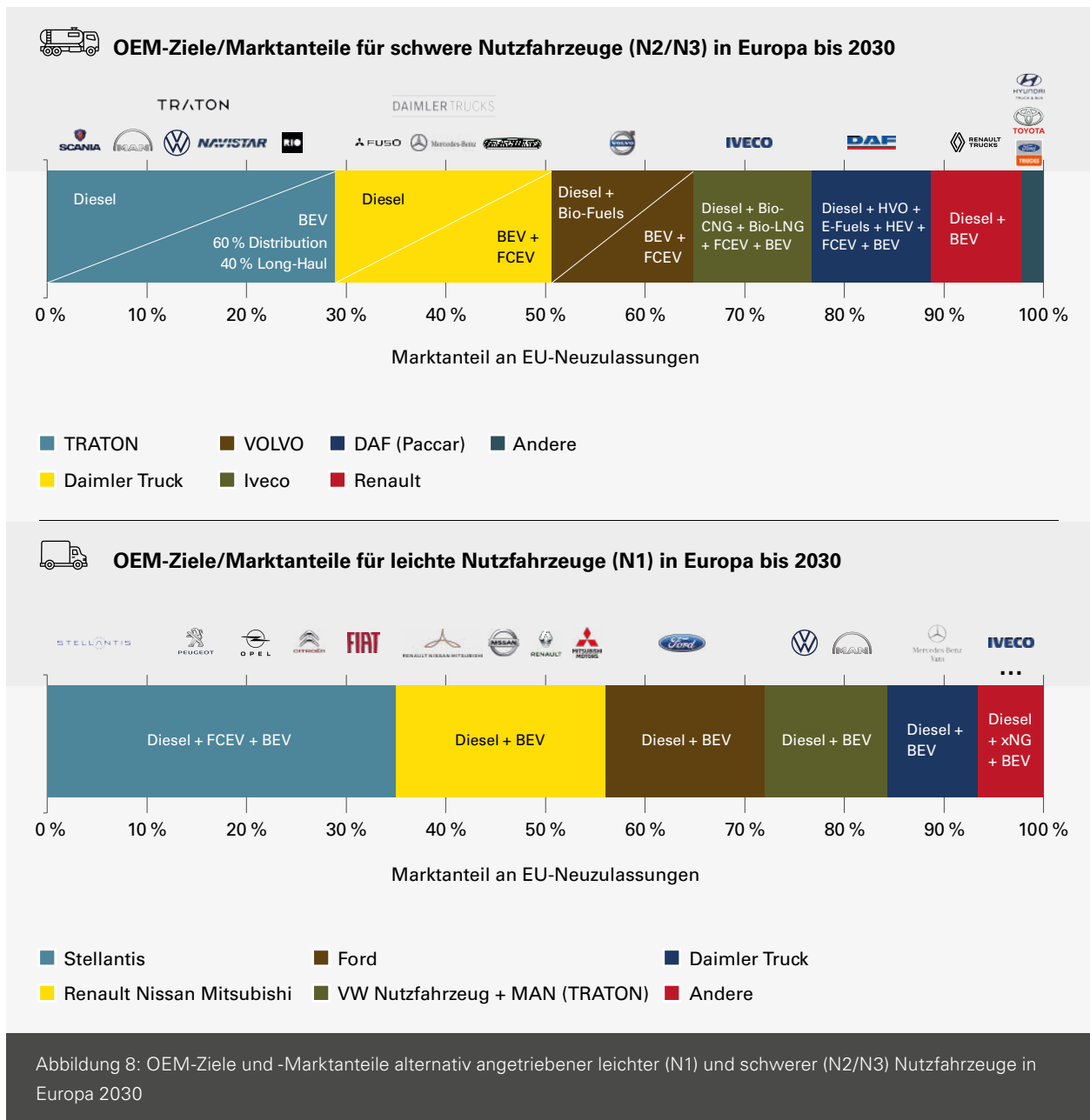


Abbildung 8: OEM-Ziele und -Marktanteile alternativ angetriebener leichter (N1) und schwerer (N2/N3) Nutzfahrzeuge in Europa 2030

stellerankündigungen ca. 50 % der Neuwagenverkäufe komplett emissionsfrei sein (BEV/FCEV). Die Antriebsstrategien der drei führenden Markengruppen (hinsichtlich Absatzzahlen) in Europa fokussieren sich zunächst auf den batterieelektrischen Antrieb. Daimler Truck und Volvo setzen ergänzend auf den Brennstoffzellenantrieb, zunächst für schwere Nutzfahrzeuge im Fernverkehr. Hierfür gründeten beide Markengruppen das Joint-Venture Cellcentric GmbH & Co. KG in Baden-Württemberg.

Die großen Automobilhersteller verfolgten in der Vergangenheit unterschiedliche Strategien der Elektrifizierung ihrer Produktpalette. Einerseits wurde der konventionelle Antriebsstrang immer weiterentwickelt und immer stärker über hybride Antriebstechniken elektrifiziert, wobei deutsche Hersteller – auch wegen der Verbrauchsvorteile im NEFZ und der WLTP – bislang verstärkt Plug-in-Hybride ins Portfolio aufnahmen. Dieser Trend wird derzeit durch eine stärkere Fokussierung auf die Entwicklung und Produktion wettbewerbsfähiger rein batterieelektrischer Pkw abgeschwächt, bei gleichzeitiger Reduzierung von Anzahl und Vielfalt der Modellvarianten bei verbrennungsmotorischen Pkw. Auch Brennstoffzellenfahrzeuge sind auf dem Markt erhältlich (Toyota Mirai, Hyundai Nexa), jedoch mit derzeit sehr geringem Angebotsumfang.

Abbildung 9 zeigt einen Ausschnitt der Ankündigungen von Fahrzeugherstellern für elektrifizierte Fahrzeuge mit Perspektive bis 2027, untergliedert nach Mild-HEV, FullHEV, Plug-in-HEV, BEV und FCEV sowie nach Fahrzeugaufbauten.

## 2.1.2 Technologien

Mit einer zunehmenden Elektrifizierung und Automatisierung der Fahrzeuge verändern sich auch die für die Wertschöpfung relevanten Schlüsselkomponenten. Die nicht mehr notwendigen, modifizierten und neuen Komponenten je Antriebskonzept sind in Tabelle 2 dargestellt. Den höchsten Anteil an der Wertschöpfung eines elektrischen Antriebsstrangs nimmt mit ca. 57 % das Batteriesystem ein, gefolgt von der Leistungselektronik mit ca. 20 % Anteil, der E-Maschine mit ca. 18 % und dem Getriebe mit ca. 2 %. Den größten Wertschöpfungsanteil am Antriebsstrang eines konventionellen Pkw nimmt dagegen der Verbrennungsmotor mit rund 39 % ein, danach folgt das Getriebe mit ca. 21 %. Rund 11 % sind der Abgas- und Kraftstoffanlage zuzuordnen (e-mobil BW, 2022a).

Neben den aufgeführten Veränderungen bei Antriebsstrangkomponenten führen auch die zusätzlichen Module und Komponenten, die für das automatisierte und autonome Fahren notwendig sind, zu neuen Wertschöpfungspotenzialen. Diese sind unter anderem: Radar, LiDAR, Kamerasysteme, Sensoren sowie neue Module zur Positionierung und Kommunikation der Fahrzeuge. Sie werden je nach Grad der Fahrzeugautomatisierung in unterschiedlicher Art und Anzahl benötigt (siehe Kapitel 2.2.1).

|                            | 2022              | 2023            | 2024                | 2025            | 2026              | 2027                      |
|----------------------------|-------------------|-----------------|---------------------|-----------------|-------------------|---------------------------|
| <b>Audi</b>                | Q5 e-tron         | A4              | A6 e-tron           | A4 e-tron       | „Landjet“         | A8/„Grand-sphere“         |
|                            |                   | Q5              | Q9 e-tron           | Q3              | A5                | Q7                        |
|                            |                   |                 |                     | Q6 e-tron       |                   |                           |
| <b>BMW/Mini</b>            | X1                | iX1             | iX5 H2 „Kleinserie“ | i5              | 3er               | 6er                       |
|                            | 2er Active Tourer | i7              | 5er                 | 7er             | X2                | X3                        |
|                            |                   |                 | Mini Electric       | Mini Countryman | Mini Crossover EV | iX5 H2 „Massenproduktion“ |
| <b>Mercedes-Benz/Smart</b> | EQT Van           | GLC             | CLE                 | EQE SUV         | EQG               | CLA                       |
|                            | EQE               | EQS SUV         | E-Klasse            | EQS SUV Maybach |                   | CLA Shooting Brake        |
|                            |                   |                 | GLC Coupé           | eSprinter Van   |                   | EQC                       |
|                            | #1                |                 |                     |                 |                   | GLS                       |
| <b>Porsche</b>             | Cayenne Facelift  | Boxster/ Cayman | 911 Facelift        | Panamera        | Macan             | „E-Cayenne“               |
|                            |                   |                 |                     |                 |                   | E-Boxster/ Cayman         |
| <b>Renault</b>             | Austral           | Megane E-Tech   | Kangoo Electric Van | Master Van      | R5                | Megane 4ever              |
| <b>Tesla</b>               |                   |                 | Roadster II         | Cybertruck      | Model 1/2         | Model S                   |
|                            |                   |                 |                     |                 |                   | Model X                   |
| <b>Toyota</b>              | bZ4X              | Corolla Cross   | Camry               | CH-R            | RAV4              | ProAce Van                |
|                            |                   |                 | Prius               |                 |                   | ProAce Verso Van          |
| <b>VW</b>                  | ID.Buzz Van       |                 |                     | bZ4X            | Passat            | ID.Life/ID.1/ID.2         |
|                            |                   | ID.Aero/ID.7    |                     |                 |                   | Corolla                   |
|                            |                   |                 |                     |                 | „Trinity“         | Golf 9                    |

■ Mild-HEV ■ Full-HEV ■ PHEV ■ BEV ■ FCEV

Abbildung 9: Übersicht zu Ankündigungen der Markteinführung elektrifizierter Pkw nach Herstellern

Quelle: DLR Vehicle Concept Database, 2022

| Antriebskonzepte                    | ICE                              | HEV         | PHEV        | REEV                     | BEV                      | FCEV                     |
|-------------------------------------|----------------------------------|-------------|-------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Komponenten                         | Veränderung der Systeme bis 2023 |             |             |                          |                          |                          |
| <b>Verbrennungsmotor</b>            | Modifiziert                      | Modifiziert | Modifiziert | Modifiziert              | Entfällt                 | Entfällt                 |
| <b>Starter und Lichtmaschine</b>    | Modifiziert                      | Modifiziert | Modifiziert | Modifiziert              | Entfällt                 | Entfällt                 |
| <b>Abgasanlage/Luftsystem</b>       | Modifiziert                      | Modifiziert | Modifiziert | Modifiziert              | Entfällt                 | Modifiziert              |
| <b>Kraftstoffversorgung</b>         | Modifiziert                      | Modifiziert | Modifiziert | Modifiziert              | Entfällt                 | Modifiziert              |
| <b>Getriebe</b>                     | Modifiziert                      | Modifiziert | Modifiziert | Modifiziert/<br>Entfällt | Modifiziert/<br>Entfällt | Modifiziert/<br>Entfällt |
| <b>Elektrische Antriebsmaschine</b> | n.V.                             | Neu         | Neu         | Neu                      | Neu                      | Neu                      |
| <b>Batterie-System für Antrieb</b>  | n.V.                             | Neu         | Neu         | Neu                      | Neu                      | Neu                      |
| <b>Leistungselektronik</b>          | n.V.                             | Neu         | Neu         | Neu                      | Neu                      | Neu                      |
| <b>Ladesystem intern</b>            | n.V.                             | n.V.        | Neu         | Neu                      | Neu                      | n.V.                     |
| <b>Brennstoffzellen-System</b>      | n.V.                             | n.V.        | n.V.        | n.V.                     | n.V.                     | Neu                      |

Quelle: e-mobil BW, 2019a

Tabelle 2: Übersicht neuer, modifizierter und nicht mehr notwendiger Antriebskomponenten nach Antriebskonzept

Automobilhersteller, Zulieferer und Forschungsinstitutionen entwickeln die einzelnen Technologien und Komponenten kontinuierlich weiter, um sie zum einen technisch zu verbessern und leistungsfähiger zu machen und zum anderen kostengünstiger zu produzieren und somit gegenüber der Konkurrenz Wettbewerbsvorteile in der Wirtschaftlichkeit und Rentabilität zu erlangen. Die Automobilhersteller setzen die Elektrifizierung ihres Fahrzeugangebots auch gezielt ein, um die EU-Gesetzesvorgaben bzgl. der CO<sub>2</sub>-Grenzen in der Fahrzeugflotte einhalten zu können und keine Strafzahlungen leisten zu müssen. Übergeordnetes Ziel der Elektrifizierung ist, die Fahrzeuge energieeffizienter zu machen und damit Verbrauch und Emissionen zu verringern. Neben dem Ziel zur Einhaltung der CO<sub>2</sub>-Grenzwerte gibt es länderspezifische Treiber wie beispielsweise verbindliche Quoten für E-Fahrzeuge und Betriebs- oder gar Neuzulassungsverbote von mit fossilen Kraftstoffen betriebenen Verbrennerfahrzeugen. Detailliert sind die politischen Rahmenbedingungen ausgesuchter Länder in Kapitel 3.8 beschrieben.

Die Optimierung der konventionellen Fahrzeuge und Komponenten ist nach wie vor für die Automobilhersteller relevant – jedoch mit abnehmender Tendenz. Forschungs- und Entwicklungsaufgaben werden auf elektrifizierte bzw. rein batterieelektrische Antriebstechnologien fokussiert. Zur Einhaltung von Flottengrenzwerten werden hybride Antriebsstränge immer stärker elektrifiziert, um Fahrzeuge energieeffizienter zu machen und CO<sub>2</sub>-Emissionen senken zu können. Ziel ist es, dass lokal emissionsfreies Fahren mit rein batterieelektrisch betriebenen und – perspektivisch – wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen zu wettbewerbsfähigen Preisen möglich ist. Durch die steigenden Produktionszahlen der elektrischen Komponenten sind kontinuierlich sinkende und letztlich mit konventionellen Fahrzeugen vergleichbare Preise bei ähnlichen oder gar besseren Fahreigenschaften zu erwarten.

### Weiterentwicklung des Verbrennungsmotors

Der konventionelle Verbrennungsmotor spielt nach wie vor bei fast allen Antriebskonzepten – bis auf das reine Batteriefahrzeug und das Brennstoffzellenfahrzeug – eine wichtige Rolle. Die Investitionen zur Weiterentwicklung dieser Komponente werden jedoch von den Automobilherstellern derzeit reduziert und vermehrt ausgelagert bzw. in Kooperation mit weiteren Herstellern und Zulieferern umgesetzt. Zudem wird auch in der Produktion die Variantenvielfalt reduziert, um so Komplexität und Kosten verringern zu können. Fokus der FuE-Aktivitäten (Forschung und Entwicklung) ist die Anpassung der bestehenden Motorgenerationen an neue Abgasnormen (Euro 7, ab 2025–2027). Diese beziehen sich z. B. auf verbesserte Partikelfilter, Abgasnachbehandlungssysteme und zusätzliche Heizaggregate für Katalysatoren.



Quelle: Mercedes-Benz AG, 2019

#### Exkurs:

#### Die Euro-7-Abgasnorm und Beschluss des EU-Parlaments zum Neuzulassungsverbot von mit fossilen Kraftstoffen betriebenen Pkw

Derzeit befindet sich die Ausgestaltung der Euro-7-Abgasnorm noch in Diskussion, ein Vorschlag der Europäischen Kommission wurde am 10.11.2022 eingebracht und muss anschließend vom Europäischen Parlament und dem Europäischen Rat ratifiziert werden. Der derzeit bestehende Vorschlag begrenzt die Emission u. a. von Stickoxiden und Partikeln bei neu zuzulassenden Pkw im Vergleich zu

den bisher geltenden Abgasnormen (Euro 6d, seit 01.01.2021) weiter: Bei Otto- und Dieselmotoren liegt der Stickoxidgrenzwert dann bei 60 mg/km (statt 80 mg/km) sowie einem maximalen Gesamtausstoß von 600 mg innerhalb der ersten zehn Kilometer. Zudem werden die bislang erlaubten Differenzen zwischen auf Prüfständen gemessenen Emissionen und denjenigen, die tatsächlich „auf der Straße“ ausgestoßen werden, gestrichen.

Diese durften bislang bei Stickoxiden um einen Faktor 1,43 höher ausfallen, bei der Partikelanzahl sogar um 1,50 (heise, 2022). Die Regelungen sollen ab Mitte 2025 gelten.

Ab dem Jahr 2035 dürfen zudem laut Beschluss des Europäischen Parlaments keine Pkw neu zugelassen werden, die fossile Kraftstoffe nutzen.

Generell bietet der Verbrennungsmotor theoretisch noch Potenziale zur Steigerung der Effizienz und des Wirkungsgrads: Das Optimierungspotenzial liegt bei Otto-Motoren bei ca. 25–30 %, bei Diesel-Motoren bei ca. 15–20 % (van Basshuysen und Schäfer, 2017).

Der durchschnittliche CO<sub>2</sub>-Ausstoß der in Deutschland neu zugelassenen Pkw konnte durch die Weiterentwicklung der konventionellen Komponenten und Maßnahmen zur Elektrifizierung schon von ca. 189 g/km (1998) auf ca. 110 g/km (2022) gesenkt werden (siehe Abbildung 10) – und zwar trotz der seit 2010 im Durchschnitt um ca. 20 kW auf heute 115 kW angestiegenen Motorleistungen und der Änderung des Fahrzyklus zur Verbrauchs- und Emissionsmessung weg vom NEFZ (Neuer Europäischer Fahrzyklus) hin zum WLTP (Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Procedure) im Jahr 2019. Durch geänderte Rahmenbedingungen führte allein diese Umstellung zu erhöhten Verbrauchs- und Emissionswerten im Vergleich zum NEFZ in Höhe von ca. 20 %. Als direkte Folge des Downsizings konnte zudem eine Reduzierung des Hubraums um ca. 150 cm<sup>3</sup> im Vergleich zu 2005 erzielt werden.

Die CO<sub>2</sub>-Grenzwerte betragen in der Europäischen Union im Jahr 2015 130 g CO<sub>2</sub>/km und wurden auf 95 g CO<sub>2</sub>/km im Jahr 2021 abgesenkt. Die Strafzahlungen für Automobilhersteller ergeben sich dabei durch eine Überschreitung der genannten Limits, wobei 95 EUR je g CO<sub>2</sub> über dem Zielwert gezahlt wer-

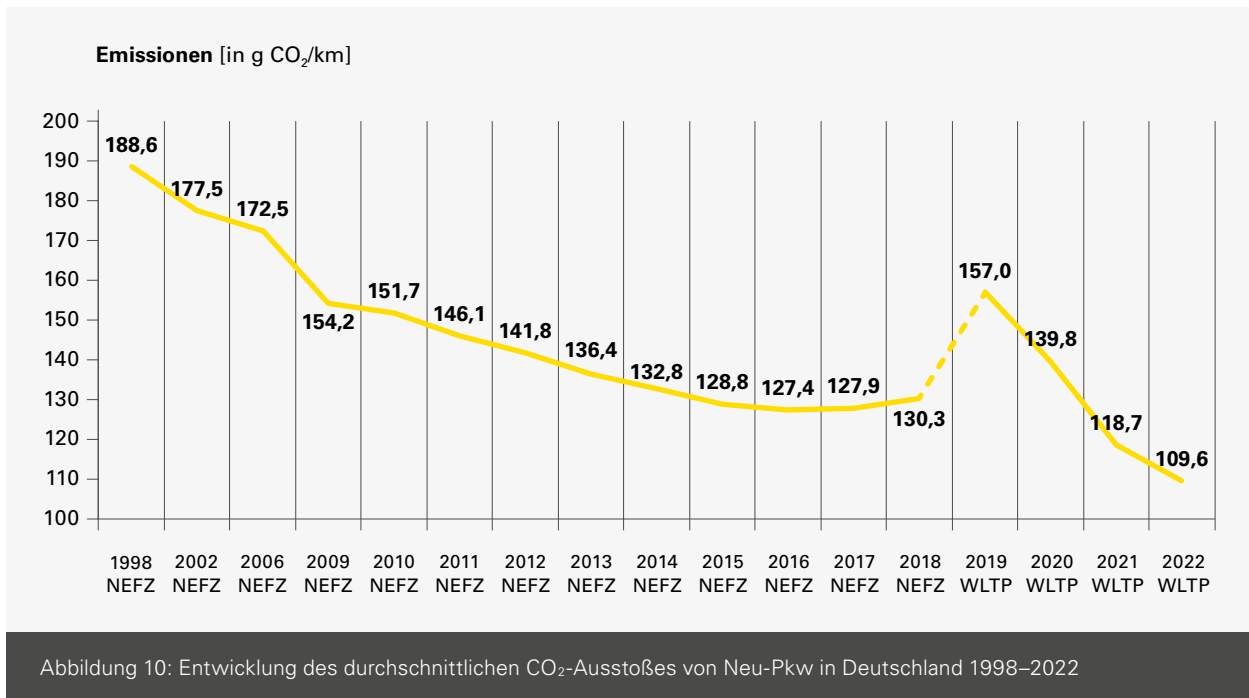


Abbildung 10: Entwicklung des durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes von Neu-Pkw in Deutschland 1998–2022

den müssen, multipliziert mit den gesamten Neuzulassungszahlen des Vorjahres je Hersteller. Der Zielwert je Hersteller

weicht in der Realität von den 95 g/km ab, da er u. a. auch das Durchschnittsgewicht der jeweiligen Flotte berücksichtigt.

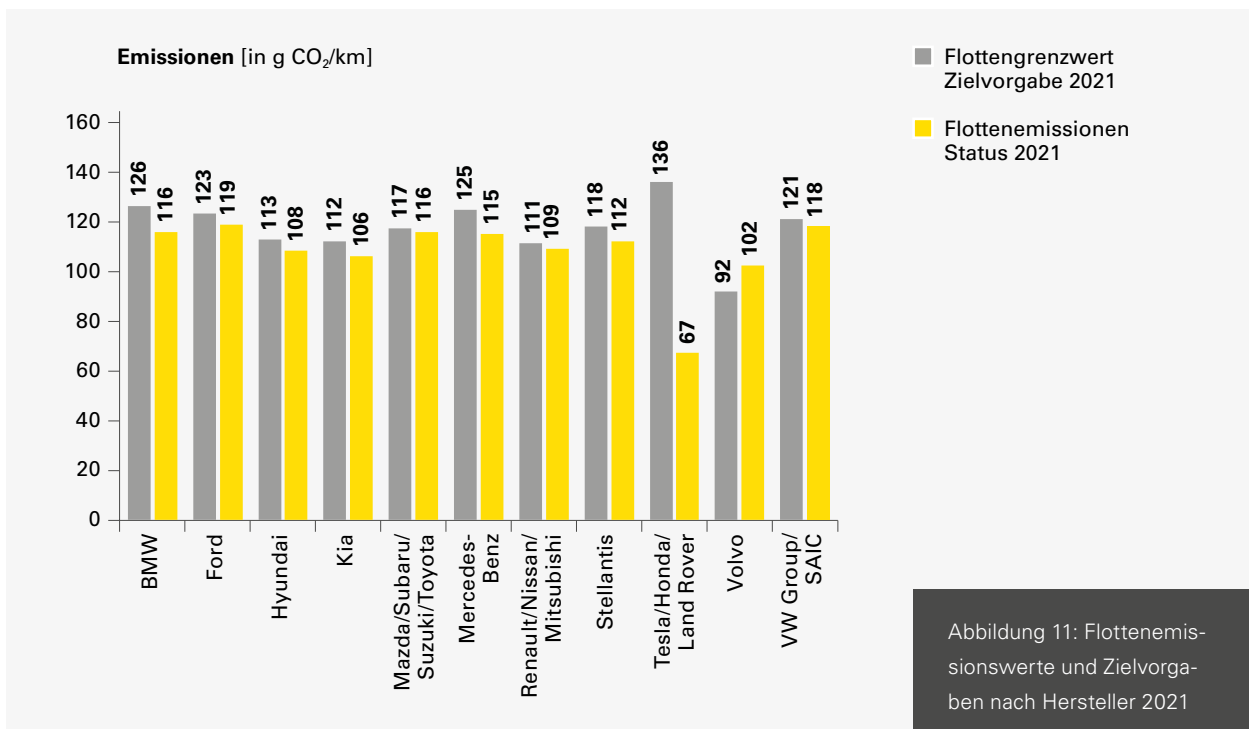


Abbildung 11: Flottenemissionswerte und Zielvorgaben nach Hersteller 2021

**Exkurs:****Alternative Kraftstofftechnologien und H<sub>2</sub>-Verbrennungsmotor**

Neben der Optimierung von Komponenten des verbrennungsmotorischen Antriebsstrangs kann auch die Nutzung von alternativen, synthetischen Kraftstoffen zur Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen beitragen, wenn diese klimaneutral durch regenerativ erzeugte Energien gewonnen und produziert werden. Diese sogenannten E-Fuels werden auf Basis von CO<sub>2</sub>, Wasser und erneuerbaren Energien gewonnen und entweder in gasförmiger Variante als Methan (Power-to-Gas) oder in flüssiger Form (Power-to-Liquid) bereitgestellt (DLR, 2022). Die Erzeugung und Bereitstellung der synthetischen Kraftstoffe verbraucht jedoch relativ viel Energie und ist in einer Lebenszyklusbetrachtung durch die mehrfach notwendige Energiewandlung weniger effizient als eine direkte Nutzung von Strom als Energieträger. Für 100 km Reichweite benötigt ein batterieelektrisches Fahrzeug im Durchschnitt 15 kWh Primärenergie, ein Brennstoffzellenfahrzeug ca. 31 kWh, ein mit synthetischen Kraftstoffen betriebenes ca. 94 kWh (DLR et al., 2015).

Ebenso ist die direkte Verbrennung von Wasserstoff im Verbrennungsmotor möglich. Einige Bauteile, u. a. Kolben und Ventile, das Luft-, Kraftstoff-, Zünd- und Abgassystem sowie die Motorsteuerung und -sensorik müssen dafür jedoch aufgrund der spezifischen Eigenschaften von H<sub>2</sub> im Vergleich zu konventionellen, fossilen Kraftstoffen angepasst werden. Wirkungsgrade des Motors liegen bei ca. 42% – und sind damit ähnlich denen eines mit konventionellen Kraftstoffen betriebenen Verbrennungsmotors. Elektromotoren erreichen Wirkungsgrade von über 90%.

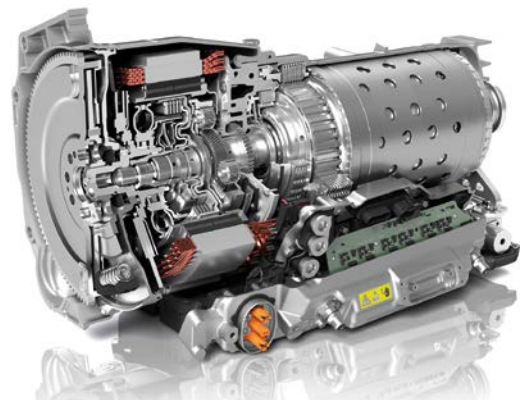
Generell bieten die drei Technologiepfade „Elektrifizierung“, „Wasserstoff“ und synthetische Kraftstoffe jeweils spezifische und von den einzelnen Anwendungsfällen im Verkehr abhängige Vor- und Nachteile bei gesamtwirt-

schaftlicher und ökologischer Betrachtung. Im Hinblick auf die unterschiedlichen Anforderungen der Verkehrsmittel (u. a. Pkw, Lkw, weitere Nutzfahrzeuge, Schienenfahrzeuge, Schiffe und Flugzeuge) ist es sinnvoll, alle hier genannten Optionen anwendungsspezifisch weiterzuentwickeln. So könnten in der Zukunft zum Beispiel auch die Vorteile der unterschiedlichen technologischen Möglichkeiten für einzelne Anwendungen kombiniert werden.

**Weiterentwicklung des Getriebes**

Auch das Getriebe bietet Möglichkeiten zur Steigerung der Effizienz des konventionellen oder hybridisierten Fahrzeugs, wobei zwischen konventionellen Handschalt-, Automatik- und automatisierten Schaltgetrieben unterschieden werden kann. Zur Reduzierung von Komplexität und Vielfalt in der Produktion werden derzeit und perspektivisch vermehrt klassische Handschaltgetriebe durch Automatikgetriebe ersetzt. Doppelkupplungsgetriebe bieten das höchste Potenzial für Verbrauchseinsparung, je nach Fahrzeugsegment zwischen 3% und 6%.

Bei elektrifizierten Fahrzeugen, vor allem bei Hybriden, werden Bedeutung und Verbreitung von Automatikgetrieben in der Zukunft noch weiter zunehmen. Die Herausforderung der technischen Entwicklung besteht hier in der Realisierung von Hybridgetrieben, die reibungsoptimiert an die komplexen Anforderungen des Zusammenspiels von mechanischen und elektrischen Komponenten auf engstem Bauraum angepasst sind. Ein Trend liegt beispielsweise in der Integration von Getriebe und E-Maschine in einer einzigen kompakten Einheit.



Quelle: ZF Friedrichshafen AG, 2019

Bei reinen Elektrofahrzeugen kann das automatische Getriebe entweder stufenlos oder ein- bzw. zweistufig ausgelegt sein. Zweistufige Getriebe bieten insofern Vorteile, als sie sowohl hohes Drehmoment bei der Beschleunigung (z. B. beim Anfahren) als auch einen effizienteren Betrieb bei höheren Geschwindigkeiten bieten.

### Weiterentwicklung des Batteriesystems

Die Traktionsbatterie ist ein Kernelement aller elektrifizierten Fahrzeuge. Sie speichert die für den Vortrieb notwendige Energie in den Batteriezellen und gibt diese bei Bedarf an den Elektromotor ab. Die größte technische Herausforderung liegt in der Entwicklung leistungsfähiger und kostengünstiger Batteriesysteme, um elektrische Reichweiten zu realisieren, die mit den heutigen konventionell betriebenen Fahrzeugen konkurrieren können. Ausschlaggebend hierfür ist insbesondere die im Vergleich zu Benzin oder Diesel geringere Energiedichte der Batterien: Während für 100 km Reichweite nur 6 bis 7 kg konventioneller Kraftstoff im Fahrzeug nötig sind, steigt dieser Wert auf über 100 kg bei heutigen Batteriesystemen. Höhere Energiedichten zu erreichen, steht entsprechend im Fokus der Forschung und Entwicklung zu Batteriesystemen.

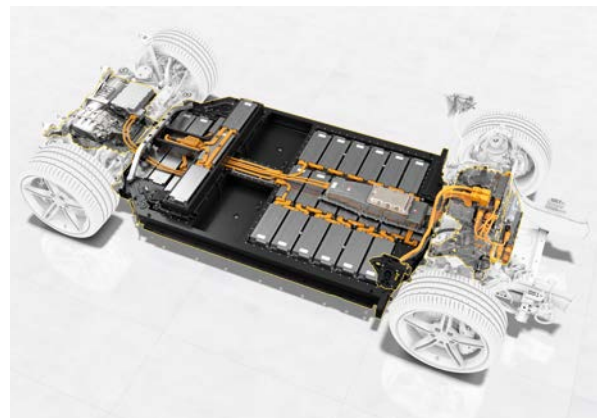
Für die Zukunft könnten z. B. Feststoffkörperbatterien die derzeitigen Lithium-Ionen-Batterien ersetzen, sie haben zum Teil unter Laborbedingungen bereits vielversprechende Ergebnisse produziert. Zudem könnten Lithium-Schwefel- bzw. Lithium-Luft-Batterien zukünftige Anwendungen in Fahrzeugen bekommen, jedoch befinden sich diese Technologien nach wie vor in einer noch relativ frühen Phase der Entwicklung und es ist schwierig vorherzusagen, welche Leistungsparameter sie dann auch praktisch realisieren können. Schwierigkeiten bestehen beispielsweise in der Realisierung einer ausreichenden Zyklenstabilität und Lebensdauer. Als Alternative zu Lithium-Ionen-Batterien könnten auch Natrium-Ionen-Batterien eingesetzt werden. Diese weisen zwar geringere Leistungsparameter als Lithium-Ionen-Batterien auf, besitzen dafür aber Kostenvorteile.

Für das Energiespeichersystem im Auto sind die folgenden Eigenschaften von besonderer Bedeutung:

- Energiedichte (Wh/kg bzw. Wh/l),
- Leistungsdichte (W/kg bzw. W/l),
- Zyklenlebensdauer und kalendarische Lebensdauer.

Die Energiedichte ist der kritische Faktor eines Batteriesystems, da sie direkt mit der erzielbaren elektrischen Reichweite zusammenhängt. Sie kann als volumetrische (Wh/l) und gravimetrische (Wh/kg) Energiedichte beschrieben werden. Bei derzeitigem Stand der Technik können mit Li-Ion-Systemen Energiedichten von ca. 280 Wh/kg auf Zellebene realisiert werden, die theoretische Grenze liegt bei ca. 350 Wh/kg. Im Vergleich zu den in konventionellen Kraftstoffen gespeicherten Energien (Benzin: 12.800 Wh/kg, Diesel: 11.800 Wh/kg) ist dies aber nach wie vor deutlich geringer. Auf Systemebene, also bei Betrachtung des gesamten Batteriesystems inkl. Gehäuse, Kühlung, Separatoren etc., ist die effektiv erzielte Energiedichte im Fahrzeug aufgrund von Wirkungsgradverlusten nochmals geringer. Je nach Packsystem werden hier aktuell 20–60 % der Energiedichte der Zellebene erreicht. Damit ist die Erhöhung der Energiedichte sowohl auf Zellebene als auch auf Systemebene ein wichtiges Entwicklungsziel, um längere Reisedistanzen auch ohne Zwischenladung zu ermöglichen.

Elektrofahrzeuge mit großer Reichweite (bis zu 700 km), wie z. B. der Mercedes EQS, drängen derzeit verstärkt auf den Pkw-Markt. Auch chinesische Hersteller wie BYD (Build Your Dreams) oder Nio etablieren derzeit Fahrzeuge, die eine Reichweite von über 500 km aufweisen. In der Realität sind diese Reichweiten jedoch aufgrund des Verbrauchs einer Vielzahl von Nebenaggregaten (Klimaanlage, Heizung etc.) und oftmals stärkeren und häufigeren Beschleunigungsvorgängen als im Testzyklus um ca. 20–30 % geringer. Die Kund:innen können derzeit in der Regel beim Autokauf zwischen verschiedenen Batteriegrößen wählen, um die für ihren individuellen Gebrauch relevanten Anforderungen mit bestem Kosten-Nutzen-Verhältnis umsetzen zu können.



Quelle: © Porsche AG, 2019



Die Leistungsdichte ist ein weiterer wichtiger Faktor eines Energiespeichers. Sie stellt die für die Beschleunigung relevante Leistung dar, die pro Kilogramm Batteriemasse (W/kg) oder Batterievolumen (W/l) bereitgestellt werden kann. Hohe Leistungsdichten sind insbesondere bei Hybridfahrzeugen relevant, während in Batteriefahrzeugen zur Erzielung hoher Reichweiten v. a. Batterien mit hoher Energiedichte eingesetzt werden. Beeinflusst wird die Leistungsdichte im System durch die Reaktionsrate des Transfers von Elektronen und Ionen, wobei große Oberflächen zwischen Elektroden und Elektrolyt positiv auf diesen Austausch wirken. Auch kann durch eine hohe Leistungsdichte nicht nur die Abgabe von Energie, sondern auch die Aufnahme beschleunigt werden. Eine hohe Leistungsdichte kann damit die Ladezeit der Batterie verkürzen.

Die Lebensdauer einer Traktionsbatterie ist abhängig vom kalendarischen Lebensalter und von der Zyklenstabilität, also der Anzahl an partiellen oder vollständigen Auf- und Entladevorgängen, die sukzessive einen Verlust an Energie- und Leistungsdichte des Batteriesystems bewirken. Während kleinere hybridelektrische Fahrzeuge auf ausreichende Teilzyklenstabilität angewiesen sind, da sie im „Charge Sustaining“-Modus (CS) betrieben werden, müssen reine Batteriefahrzeuge eine

ausreichende Zyklenstabilität aufweisen, da sie im „Charge Depleting“-Modus (CD) arbeiten. Plug-in-Hybridfahrzeuge müssen in beiden Modi operieren können (Böhme und Frank, 2017). Generell wird davon ausgegangen, dass die Lebensdauer der derzeit im Fahrzeug verbauten Batterie mindestens der Lebensdauer des Gesamtfahrzeugs entspricht, was ca. 15 Jahre oder 200.000 bis 250.000 km Laufleistung bedeutet. Von den meisten Herstellern wird jedoch nur eine Garantie auf einen Mindestanteil an nutzbarer Akkukapazität innerhalb einer bestimmten Nutzungsdauer gegeben. Diese liegt bei fast allen Elektrofahrzeugen bei der Grenze von 70% der nutzbaren Batteriekapazität nach 160.000 km oder acht Betriebsjahren. (ADAC, 2022) Der derzeitige Stand der Technik bei Batteriesystemen für den Automotivbereich ermöglicht ca. 1.000–3.000 reversible Ladezyklen (König et. al, 2021). Der Alterungsprozess wird zudem maßgeblich durch Temperatur und Qualität des Batteriemanagementsystems beeinflusst, beispielsweise beim Schnellladevorgang: Die hierfür notwendigen hohen Ladeströme erwärmen die Batterie und führen zu einer beschleunigten Alterung der Elektroden und des Elektrolyts. Die theoretischen Potenziale der Entwicklung von Leistungskennzahlen unterschiedlicher Batterietechnologien für Automobilanwendungen im Vergleich ist in Tabelle 3 dargestellt.

|                                  | Nickel-Metall-Hydrid (NiMH) | Lithium-Ionen (Li-Ion) |             |             | Feststoffbatterien | Natrium-Ionen (NIB) | Lithium-Schwefel (Li-S) | Lithium-Luft (Li-Luft) |
|----------------------------------|-----------------------------|------------------------|-------------|-------------|--------------------|---------------------|-------------------------|------------------------|
|                                  |                             | NMC                    | LFP         | NCA         |                    |                     |                         |                        |
| <b>Energiedichte [Wh/kg]</b>     | <100                        | 350                    | 210         | 350         | 500                | 250                 | 860                     | 600–1.600              |
| <b>Energiedichte [Wh/l]</b>      |                             | 700                    | 450         | 800         | 1.100              | 300                 |                         |                        |
| <b>Leistungsdichte [W/kg]</b>    | 1.000                       | 1.000–4.000            | 1.000–4.000 | 1.000–4.000 | 1.000              | 1.000               | <1.000                  | 150                    |
| <b>Zyklenstabilität</b>          | 1.000                       | 1.000                  | 4.000       | 1.000       | 500                | 3.500               | <4.000                  | <4.000                 |
| <b>Kalendarische Lebensdauer</b> | <10                         | 5–10 Jahre             | 10–15 Jahre | 5–10 Jahre  | 10                 | 10–15 Jahre         | bis zu 15 Jahre         | bis zu 15 Jahre        |

NMC = Lithium-Nickel-Mangan-Kobalt; LFP = Lithium-Eisen-Phosphat; NCA = Lithium-Nickel-Kobalt-Aluminium-Oxid

Tabelle 3: Theoretische Potenziale der Entwicklung von Leistungskennzahlen unterschiedlicher Batterietechnologien für Automobilanwendungen im Vergleich

Quelle: Meyer, 2022

Zusätzlich zu den technischen Anforderungen einer ausreichenden Leistungsfähigkeit besteht in den Bereichen Crashesicherheit, Thermomanagement, Batteriemangement und Recycling Forschungsbedarf.

Die zukünftige Verfügbarkeit des für die Umsetzung der Elektromobilität entscheidenden Rohstoffs Lithium ist z. T. durch geostrategische Verhältnisse geprägt (Cluster Elektromobilität Süd-West, 2022a). Die Entwicklung eines freien Markts für Lithium könnte so erschwert sein. Die derzeit bekannten globalen Lithiumvorkommen belaufen sich auf ungefähr 86 Mio. t, wovon ein Großteil auf Südamerika entfällt (Bolivien: 21 Mio. t; Argentinien: 19 Mio. t; Chile: 10 Mio. t) (USGS, 2021). Ein Elektrofahrzeug benötigt ca. 0,07 kg Lithium je kg Batteriezelle. Bei Fahrzeugen mit großen Energiespeichern können somit rund 10–15 kg Lithium verbaut sein (Fhg ISI, 2021). Aufgrund der hohen Nachfrage durch die Automobilindustrie steigen die Preise für Lithium aktuell an. So kostet 1 t Lithiumcarbonat in China derzeit 72.000 USD, Anfang 2022 noch rund die Hälfte (Handelsblatt, 2022a). Die Gefahr einer Verknappung angesichts der verfügbaren geologischen Ressourcen wird auch bei steigendem Bedarf durch die Elektrifizierung für Lithium eher nicht gesehen. Hingegen wird die Verfügbarkeit von Kobalt in Untersuchungen als kritischer bewertet. Nach derzeitiger Einschätzung könnten sich dessen begrenzte Reserven als limitierender Faktor für die Batterieproduktion erweisen. Die derzeit monopolistische Versorgungssituation aus der Demokratischen Republik Kongo ist verknüpft mit politischen Risiken und sozial problematischen Bedingungen in Bezug auf die Arbeitsbedingungen beim Abbau des Rohstoffs (e-mobil BW, 2019b). Risiken ergeben sich weiterhin aus der Entwicklung der Rohstoffpreise: So ist beispielsweise der Preis für Kobalt von ca. 24.000 USD je Tonne im Jahr 2016 auf ca. 78.000 USD im Jahr 2018 gestiegen. Aktuell liegt der Kobaltpreis bei ca. 51.000 USD (Investing, 2022). Weitere potenziell kritisch verfügbare Rohstoffe sind auch Kupfer, Neodym und Dysprosium (e-mobil BW, 2022a; e-mobil BW, 2019b).

Kurz- bis mittelfristig besitzen Batteriezellen mit Lithium-Ionen-Technologie (Li-Ion) das größte Potenzial. Sie werden schon heute in fast allen relevanten elektrifizierten Fahrzeugkonzepten eingesetzt. Neben den Zellen umfasst das Batteriesystem im Fahrzeug auch das Batteriemangement (inkl. Zellmonitoring), Elektronik und Sensorik, Komponenten zur Kühlung, Sicherheitselemente sowie das Batteriegehäuse. Eine markt-nahe Anwendung der Feststoffbatterien wird in den nächsten fünf bis 15 Jahren erwartet. Bis dahin aber entwickeln sich auch die derzeitigen Lithium-Ionen-Batterien weiter – nicht nur

über technische Verbesserungen, sondern auch über sinkende Herstellungskosten durch Skaleneffekte in der Produktion. Durch die zunehmende Nachfrage nach Batteriezellen und Verbesserung der Fertigungstechnologie können weitere Skaleneffekte in der Produktion realisiert werden, die zu kostengünstigerer Herstellung und damit abnehmenden Preisen führen. Sofern Kostensteigerungen aufgrund erhöhter Rohstoffpreise diese Entwicklungen nicht überkompensieren und die Kosten an die Endkund:innen weitergegeben werden, könnten die Preise für Hybrid- und Elektrofahrzeuge weiter sinken. So können diese Fahrzeuge perspektivisch auch in den Anschaffungskosten mit konventionell angetriebenen Fahrzeugen konkurrieren. Aktuelle Studien weisen bereits Kostenreduktionen auf ca. 132 USD/kWh auf Systemebene nach – eine Reduktion um ca. 80 % in den letzten sieben Jahren. Im Jahr 2013 betrug die Herstellkosten noch zwischen 600 und 900 USD pro kWh. Abbildung 12 stellt den Kostenverlauf der letzten Jahre dar.

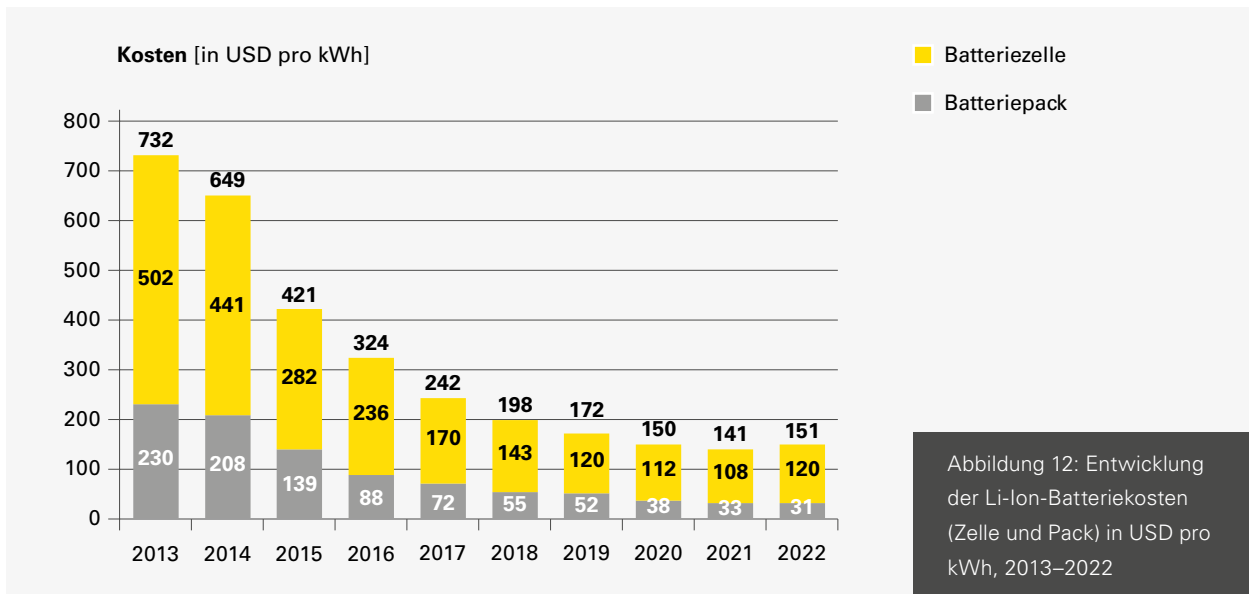


Abbildung 12: Entwicklung der Li-Ion-Batteriekosten (Zelle und Pack) in USD pro kWh, 2013–2022

Der Hauptanteil der Wertschöpfung liegt mit ca. 60–80 % bei der Batteriezelle und lediglich zu 20–40 % beim Batteriepack. Die Zelle wiederum setzt sich aus den Kosten für Kathode, Anode, Separator und Elektrolyt zusammen. Knapp 51 % entfallen dabei auf die Materialkosten der Kathode, die einen großen Einfluss auf die Leistung, die Reichweite und die thermische Sicherheit einer Batterie hat und deshalb zu den

wichtigsten Komponenten gehört. Sie besteht je nach Zellchemie aus verschiedenen Metallen. Die gängigen Kathodenzusammensetzungen, die heute verwendet werden, sind Lithium-Eisen-Phosphat (LFP), Lithium-Nickel-Mangan-Kobalt (NMC) und Lithium-Nickel-Kobalt-Aluminium-Oxid (NCA).

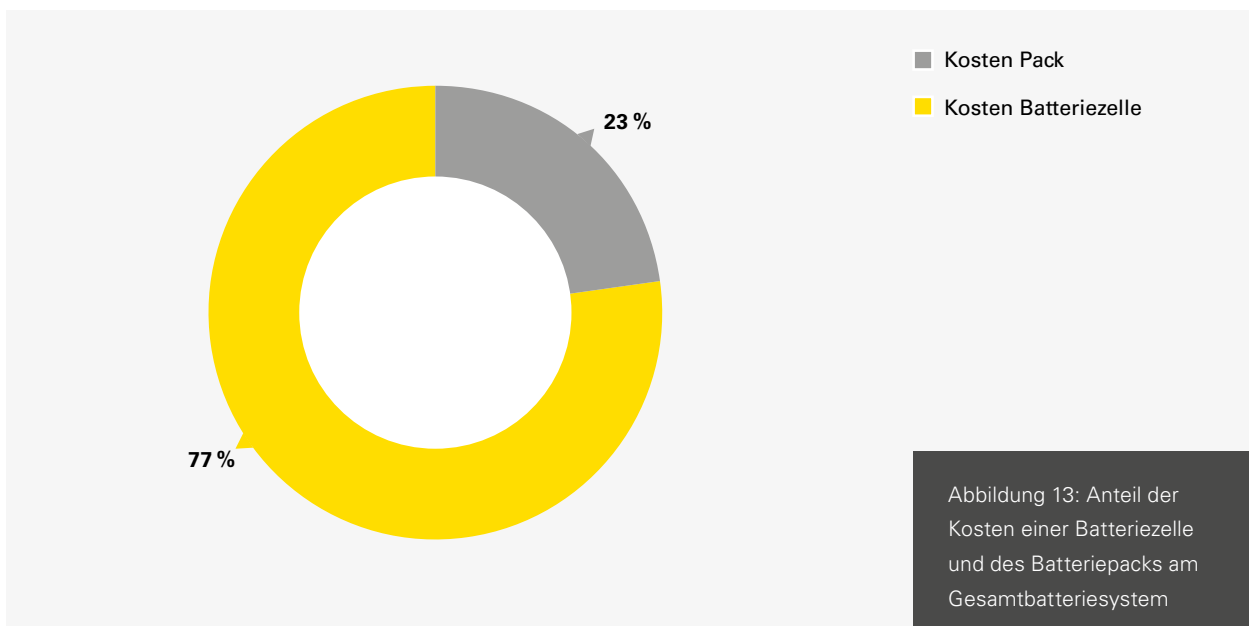


Abbildung 13: Anteil der Kosten einer Batteriezelle und des Batteriepacks am Gesamtbatteriesystem

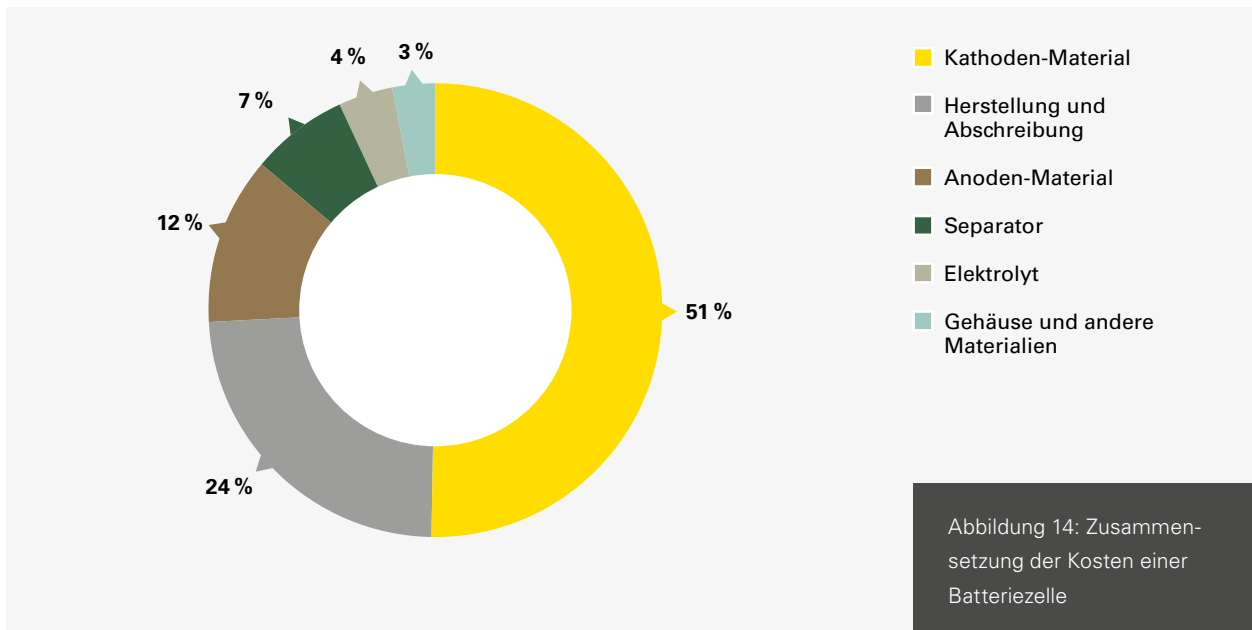


Abbildung 14: Zusammensetzung der Kosten einer Batteriezelle

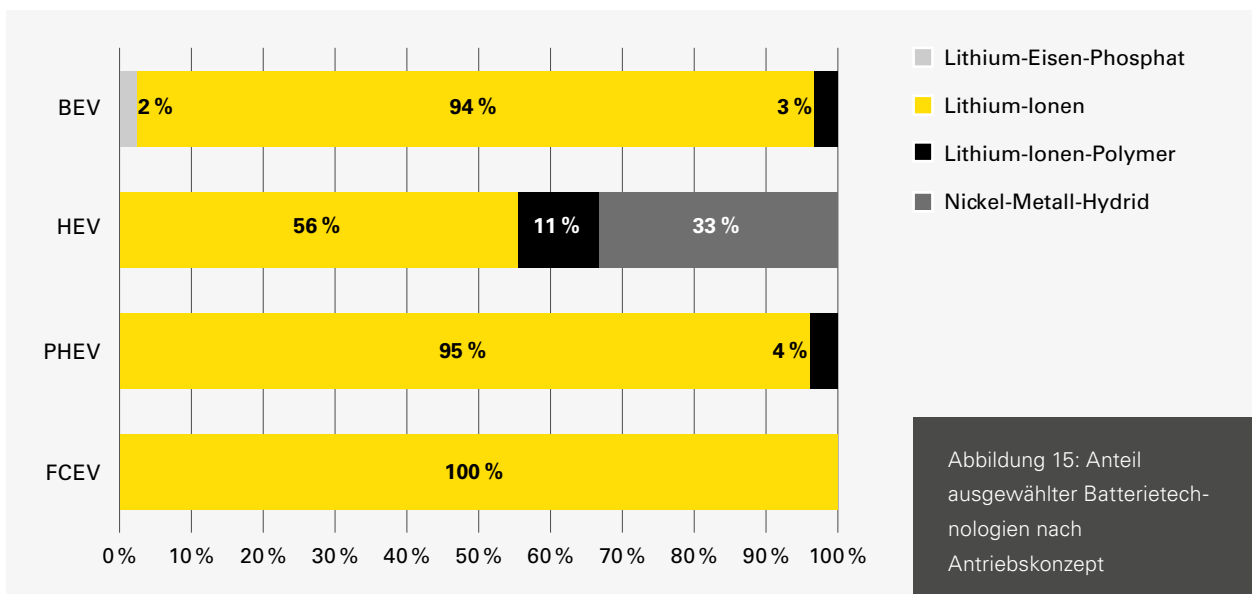


Abbildung 15: Anteil ausgewählter Batterietechnologien nach Antriebskonzept

Energiespeicher auf Nickel-Metall-Hydrid-Basis wurden bislang hauptsächlich in Mild- und Full-Hybrid-Fahrzeugen eingesetzt, wie Abbildung 15 verdeutlicht. Aufgrund mangelnder Datenlage kann keine Unterscheidung zwischen den einzelnen Zellchemien der Lithium-Ionen-Batterien getroffen werden. Lithium-Polymer-Batterien werden hauptsächlich von asiatischen Herstellern wie KIA oder Hyundai verbaut.

Bei Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in Bezug auf die Lithium-Ionen-Batterie sind weltweit die Automobilhersteller selbst, deren Zulieferer, Forschungsinstitutionen, Universitäten sowie etablierte Technologiekonzerne wie Samsung, LG und Panasonic aktiv. Die FuE-Ausgaben der Unternehmen sind als Investitionen in technologische Vorteile zu verstehen, die möglichst konkret in Produkten Eingang finden sollen. Patente

schützen das gewonnene Know-how für die Hersteller und stellen sicher, dass die Erfindung nicht (straffrei) kopiert werden kann. Entsprechend groß ist der Zusammenhang zwischen FuE-Investitionen auf der einen und Patentanmeldungen auf der anderen Seite, da letztere oftmals direktes – und messbares – Ergebnis der Aufwendungen sind.

melder auf internationaler Ebene (Top Ten) sowie eine Rangliste der deutschen Unternehmen. Insgesamt wurden in diesem Zeitraum weltweit über 150.000 Patente angemeldet (e-mobil BW, 2022b).<sup>1</sup>

Abbildung 16 stellt die Patentsituation im Bereich „Batterietechnologien für die Fahrzeuganwendung“ der Jahre 2010 bis 2022 dar. Im Detail abgebildet sind die führenden Patentan-

<sup>1</sup> Die Patentzahlen der Jahre 2021 und 2022 sind noch vorläufig und können sich durch weitere Patentveröffentlichungen in der Zukunft ggfs. ändern. Generell kann von einem zeitlichen Verzug von Patenteinreichung bis -veröffentlichung von bis zu 1,5 Jahren ausgegangen werden. Das Jahr 2022 ist im Zeitverlauf deshalb nicht dargestellt.

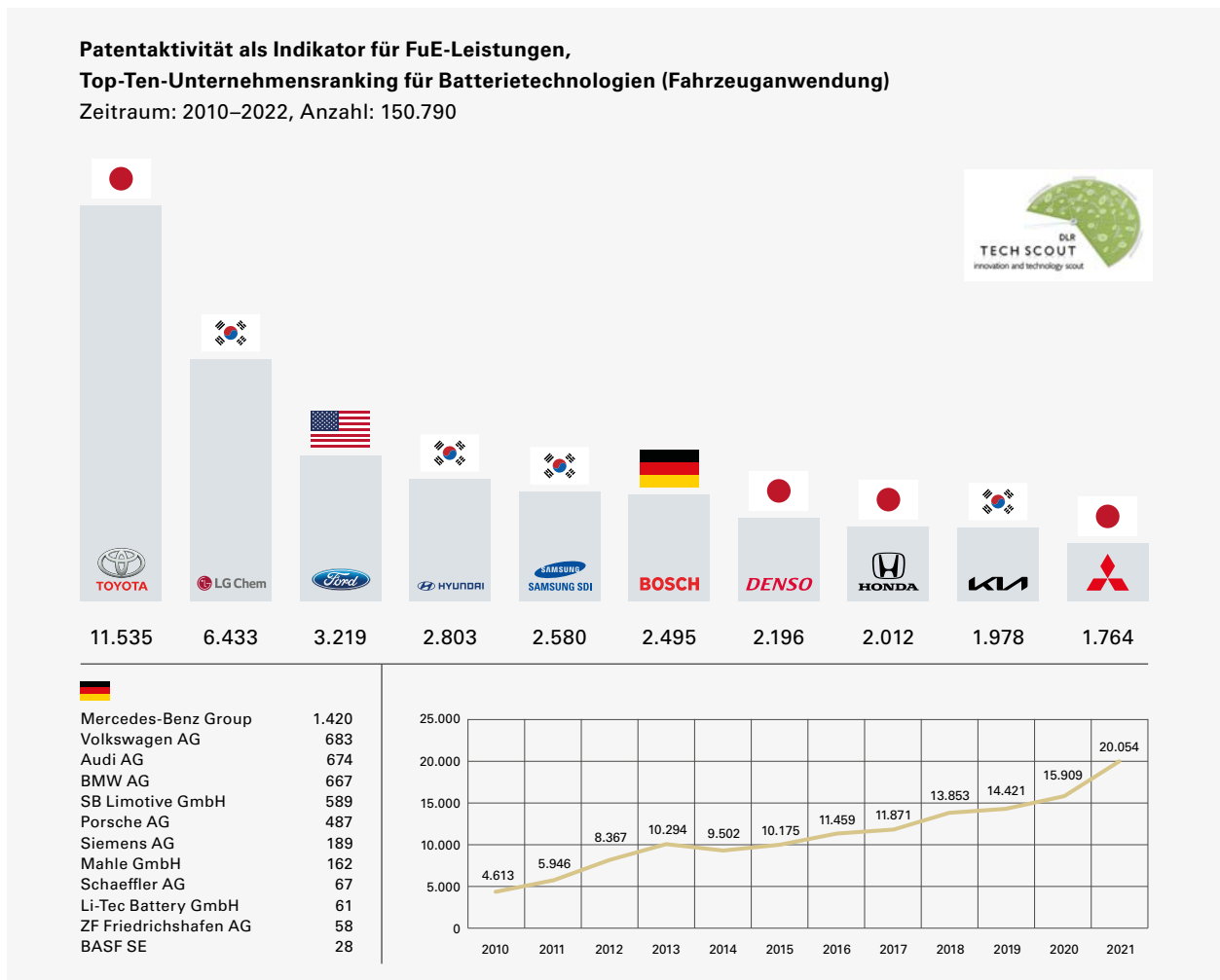


Abbildung 16: Patentanalyse für Lithium-Ionen-Energiespeicher, 2010–2022



**Wissen Kompakt-Ausgabe:  
Monitoring von FuE-Aktivitäten  
im Technologiefeld  
„Batterietechnologien für die  
Fahrzeuganwendung“,**

hier direkt als PDF herunterzuladen. Scannen  
Sie einfach den QR-Code.

Im oberen Teil von Abbildung 16 sind die bei FuE-Aktivitäten weltweit führenden Institutionen dargestellt. Die Robert Bosch GmbH (Platz 6) als deutsches Unternehmen ist unter den Top Ten weltweit vertreten. Die Toyota Motor Corp. führt die Rangliste mit Abstand (Japan, 11.535 Patentfamilien) vor LG Chem (Südkorea, 6.433) an. Toyota meldet seit 2010 ca. 900 Erfindungen pro Jahr zum Patent an, mit nur geringen Schwankungen im Zeitverlauf. Weitere japanische Unternehmen sind Denso auf Platz 7 (2.196), die Honda Motor Co., Ltd. auf Platz 8 (2.012) und die Mitsubishi Motor Corp. auf Platz 10 (1.764). Neben LG Chem auf Platz 2 sind auch weitere südkoreanische Unternehmen in der Rangliste stark vertreten: Die Hyundai Motor Company mit 2.803 Patentfamilien auf Platz 3, Samsung SDI Co. Ltd. auf Platz 4 (2.580) sowie die Kia Motors Corp. (1.978) auf Platz 9. Die Ford Motor Company liegt mit 3.219 geschützten Erfindungen im Betrachtungszeitraum auf Platz 3 und ist als einziges Unternehmen aus den USA in den Top Ten platziert. Einzelne französische oder chinesische Unternehmen sind in dieser Rangliste nicht vertreten.

Insgesamt zeigt sich, dass viele deutsche Unternehmen – v. a. OEM und Systemlieferanten – in die Technologieentwicklung investieren und Erfindungen im Bereich elektrischer Antriebe über Patente schützen (siehe Abbildung 16, links unten). Unter den weiteren deutschen Institutionen können die Mercedes-Benz Group AG (1.420 Patentfamilien), Volkswagen AG (683), Audi AG (674), BMW AG (664), SB Limotive GmbH (589), Porsche AG (487), Siemens AG (189), Mahle GmbH (162), Schaeffler AG (67), Li-Tec Battery GmbH (61), ZF Friedrichshafen AG (58) sowie BASF SE (28) identifiziert werden.

### Exkurs

Die Patentanalyse als originäres Instrument der strategischen Unternehmensführung dient der Untersuchung wettbewerbsrelevanter Aktivitäten in definierten Technologiefeldern und zielt als Planungs- und Entscheidungshilfe auf die Entwicklung von Handlungsempfehlungen für das Technologiemanagement ab. Zu diesem Zweck werden der enge Zusammenhang zwischen Investitionen im Bereich Forschung und Entwicklung (FuE) als Inputfaktor und Patentanmeldungen als Outputfaktor herangezogen. Patente beinhalten per Definition Erfindungen (Inventionen), die über den jeweils aktuellen Stand der Technik hinausgehen und in zukünftigen Produkten in konkreter Anwendung (Innovation) mit wirtschaftlichem Interesse Verwendung finden können.

Neben der Nutzung als strategisches Planungstool ist die Patentanalyse zur Darstellung technologieorientierter Wettbewerbs- und Trendanalysen geeignet. Patentinformationen werden damit als Indikatoren technologischer Trends und Entwicklungen sowie zur Bewertung der relativen Stärke von Technologieposition und Wettbewerbsfähigkeit im Vergleich von Institutionen, Ländern und/oder Weltregionen genutzt.

In der hier durchgeführten Untersuchung wurden alle Patente im Bereich Hybrid- und Elektrofahrzeuge erfasst, die als für den Antriebsstrang elektrifizierter Pkw relevant bewertet und deshalb für die nachfolgende Analyse herangezogen wurden. Die jeweiligen Such- und Recherchestrategien in den Themengebieten „Lithium-Ionen-Energiespeicher“, „E-Maschine“, „Leistungselektronik“ und „Brennstoffzelle“ wurden in den Datenbanken Espacenet des Europäischen Patentamts in Kombination von IPC-Klassen (International Patent Classification, z. B. B60L, B60K, B60W, H02K, H02W, H01F) und Schlüsselworten ausgeführt.

### Weiterentwicklung des Elektromotors

Grundsätzlich lassen sich bei E-Maschinen vier Funktionsweisen unterscheiden: Gleichstrommotoren, Asynchronmotoren, Synchronmotoren und Reluktanzmotoren. Im Automotivebereich werden aktuell permanent erregte Synchronmotoren bevorzugt eingesetzt, v.a. aufgrund überlegener Eigenschaften in Bezug auf Wirkungsgrad, Leistungsdichte und thermische Stabilität. Zudem können sie relativ kompakt gebaut werden, so dass die insbesondere in Hybridfahrzeugen auftretende geringe Bauraumverfügbarkeit besser gehandhabt werden kann.

Auch elektrisch erregte Synchronmaschinen (ohne Permanentmagnete) sowie robuste und kostengünstigere, aber größere und schwerere Asynchronmaschinen werden in aktuellen Fahrzeugmodellen eingesetzt und könnten auch in der Zukunft weiterhin relevant sein, Letztere z.B. auch aufgrund von Packagingfreiräumen bei Nutzfahrzeugen. Allerdings hängt dies auch von der Preisentwicklung und Verfügbarkeit von Seltenmetallen ab.

Die Entwicklung von Axialflussmaschinen wird derzeit insbesondere zur Verwendung in Fahrzeugen mit hohen Leistungsanforderungen getrieben. Diese können im Vergleich zu Synchronmaschinen kleiner, leichter, flacher und mit weniger Materialeinsatz gebaut werden, so dass sie beispielsweise für eine radintegrierte Verwendung genutzt werden können. Diese Maschinen besitzen eine im Vergleich um ca. 30 %



Quelle: Robert Bosch GmbH, 2015

höhere Drehmomentdichte, die Markteinführung könnte ab 2025 erfolgen (e-mobil BW, 2021a). Eine Übersicht über den Einsatz permanent- und fremderregter E-Motoren in aktuell verfügbaren Fahrzeugmodellen ist in Abbildung 17 dargestellt.

Die im Fahrzeug verbauten E-Maschinen sind hocheffizient und besitzen Wirkungsgrade, die über 90 % liegen. Sie können in den meisten Fällen zudem sowohl motorisch als auch generatorisch betrieben werden, um Energie beim Bremsvorgang rückzugewinnen und wieder in die Batterie einzuspeisen. Dies erhöht die Gesamteffizienz des Antriebsstrangs und die Bremsenergie wird nicht vollständig in Wärme umgesetzt.

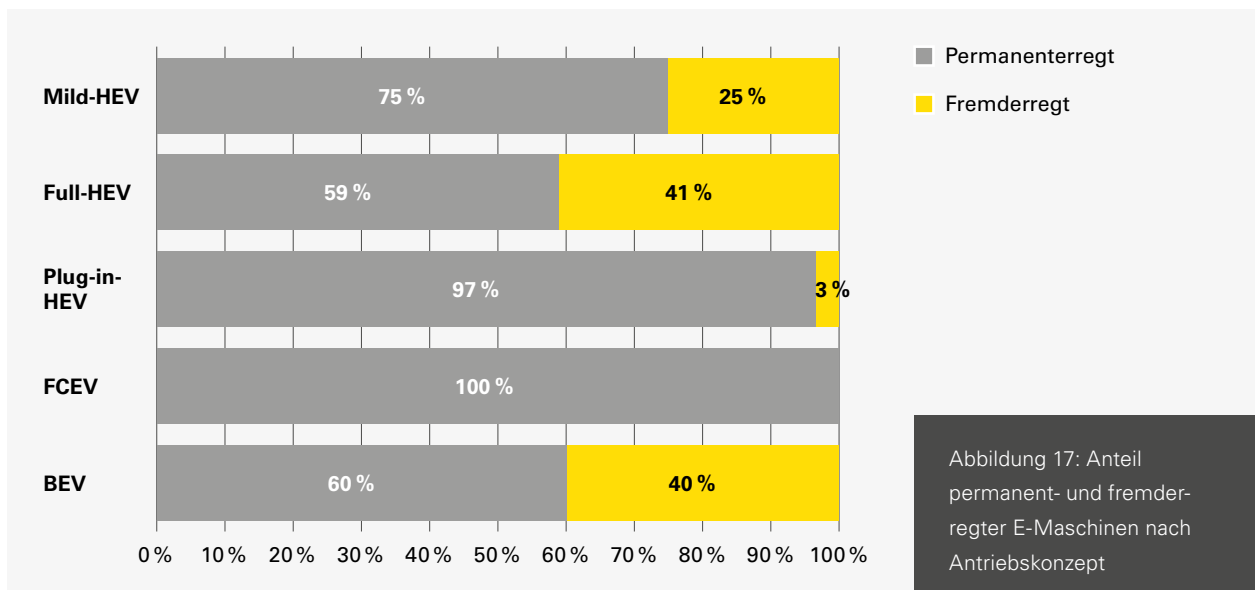


Abbildung 17: Anteil permanent- und fremderregter E-Maschinen nach Antriebskonzept

Quelle: DLR Vehicle Concept Database, 2022

Auch der Einbauort der E-Maschine(n) im Fahrzeug lässt sich unterschiedlich realisieren: Zentral im Fahrzeug, radnah auf der Achse oder als Radnabenantrieb im Rad selbst verbaut. Bei Hybridfahrzeugen ist der E-Motor meist in kompakter, hochintegrierter Form im Hybridgetriebe installiert. Alle Varianten besitzen spezifische Vor- und Nachteile, wobei bei reinen E-Fahrzeugen die zentrale und die radnahe Variante derzeit von den Herstellern favorisiert werden. Ein Trend geht beispielsweise auch zur Entwicklung von Antriebssystemen, die hochintegriert in den Achsen selbst verbaut sind. Deren Kern beinhaltet dann einen mittig positionierten E-Motor, das Getriebe (meist ein zweistufiges 1-Gang-Getriebe), das Differenzial, die Leistungselektronik sowie Kühlelemente und das Gehäuse.

Obwohl die elektrische Maschine eine reife Technologie ist und seit Jahrzehnten in unterschiedlichen Varianten Anwendung findet, investieren OEM und Zulieferer in die Weiterentwicklung der Technologie, um die speziellen Anforderungen an E-Motoren im Automotivbereich zu bedienen. Generell liegen diese – neben Leistungseigenschaften – in der Realisierung einer ausreichenden Dauerhaltbarkeit, Temperaturbeständigkeit und Wartungsfreiheit. Diesbezügliche FuE-Aktivitäten konzentrieren sich hauptsächlich auf das Ziel, den Wirkungsgrad und die Leistungsdichte des E-Motors weiter zu steigern. So können z. B. Größe und Masse der E-Maschine reduziert werden. Bei permanent erregten Synchronmaschinen werden derzeit ca. 2–3 kW/kg erreicht, mit neuen Motortechnologien können perspektivisch bis zu 20 kW/kg erzielt werden. Zudem ist die Weiterentwicklung geeigneter Produktionsprozesse (v. a. für die Wicklung und Magnetisierung) sowie zur Reduzierung des Materialeinsatzes bedeutsam, da diese für einen beträchtlichen Teil der Herstellkosten einer E-Maschine verantwortlich sind. Weiterhin ist die Substitution kostenintensiver und teilweise schwer verfügbarer Seltenerdmetalle wie Neodym und Dysprosium wichtig, die z. B. in permanentmagnetisch erregten Synchronmaschinen verwendet werden.

Aktuelle Patentierungsaktivitäten sind auch auf FuE-Arbeiten zu hochintegrierten Antriebsachsen zurückzuführen. Die Patentanalyse in Bezug auf elektrische Maschinen für den Antriebsstrang elektrifizierter Fahrzeuge zeigt über den gesamten Zeitraum insgesamt einen Anstieg der Patentierungsaktivitäten, mit jedoch schwankendem Verlauf. Besonders hohe Aktivitäten sind in den Jahren 2015 und 2016 zu erkennen. Insgesamt wurden im Zeitraum der Jahre 2010–2022 über 62.000 Patente angemeldet.

Die Unternehmen mit den größten Patentportfolios illustriert Abbildung 18. Toyota führt die Rangliste mit insgesamt 3.568 Patenten an, gefolgt von Honda (2.135), Nissan (2.113) und Hitachi (1.228). Auf Platz 5 findet sich das bestplatzierte US-amerikanische Unternehmen GM (1.218), dahinter der südkoreanische Automobilhersteller Hyundai (1.205) und mit der Robert Bosch GmbH das bestplatzierte deutsche Unternehmen (1.168). Komplettiert wird die Top Ten durch Ford (1.146, USA), Denso (1.110, Japan) und Sumitomo Electric (1.062, Japan). Weitere deutsche Unternehmen mit FuE-Aktivitäten im Bereich „Traktions-Elektromotor“ seit 2010 sind: Mercedes-Benz (754), ZF Friedrichshafen (327), BMW (277), Volkswagen (250), Porsche (231), Audi (206), Schaeffler (198), Siemens (179), Continental (119) und Brose (115).



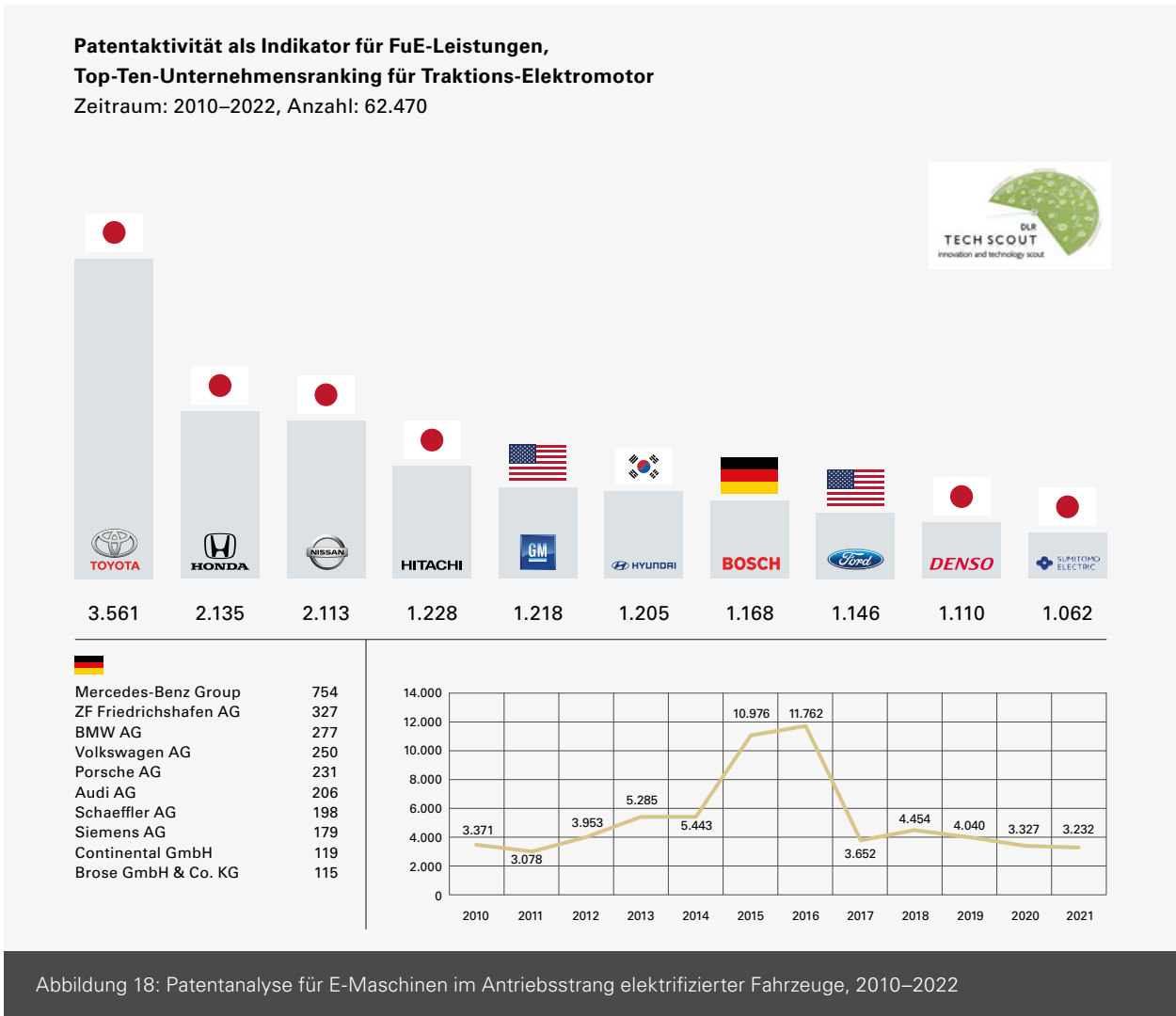


Abbildung 18: Patentanalyse für E-Maschinen im Antriebsstrang elektrifizierter Fahrzeuge, 2010–2022

#### Weiterentwicklung der Leistungselektronik

Die Leistungselektronik ist neben der Batterie und dem Elektromotor eine Schlüsseltechnologie der Elektrifizierung. Hauptaufgabe der Komponente ist es, die Energieflüsse im Fahrzeug zu steuern und in geeigneter Form den elektrischen Verbrauchern zur Verfügung zu stellen. Beispielsweise muss der von der Batterie bereitgestellte Gleichstrom für den Elektromotor in einen Wechselstrom gewandelt werden – beim Rekuperationsvorgang in umgekehrter Richtung.

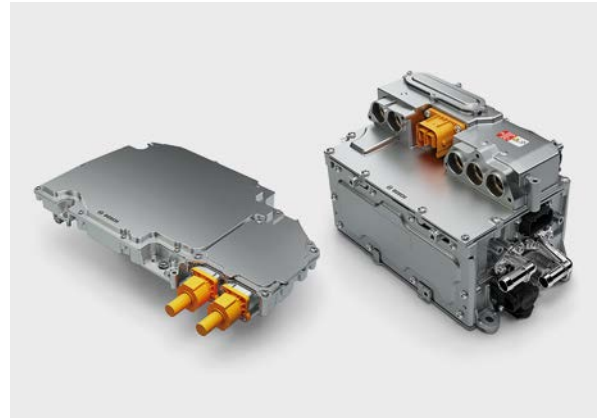
In elektrifizierten Fahrzeugen kommen mehrere Leistungselektroniksysteme zum Einsatz, da mehrere Bordnetze mit unterschiedlichen Spannungen (z. B. 12/48 V) installiert sind.

Zudem wird ein Anschluss an das Hochvoltnetz der Batterie und an externe Stromquellen für den Ladevorgang des Fahrzeugs benötigt. Aktuelle Systeme sind hocheffizient und erreichen Wirkungsgrade von mehr als 95 %, sie sind zudem relativ langlebig und wartungsfrei (Tille, 2016).

FuE-Anstrengungen konzentrieren sich derzeit wesentlich darauf, Volumen und Masse der Komponente zu verringern sowie Effizienz und Temperaturbeständigkeit für eine Anwendung im Automobil zu erhöhen. Ziel der Hersteller ist es, die Leistungselektronik in der Nähe zur E-Maschine wirkungsnah zu integrieren oder gar eine Hochintegration im Fahrzeug zu realisieren. Das bedeutet, dass E-Maschine und Leistungselektronik in einer einzigen, kompakten Einheit vereint werden. So kön-

nen Komplexität und Kosten, z. B. für Kabelstränge im Fahrzeug, verringert werden. Ein weiterer Trend liegt darin, die Spannungen im Fahrzeug weiter zu steigern, um Wirkungsgradverluste zu verringern und Kühlanforderungen zu vermindern. Spannungen von 800 bis 1.000 V sind denkbar. Zusätzlich ist die Entwicklung neuer Halbleitermaterialien für die Hersteller und Zulieferer von hoher Relevanz, um die Leistungselektronik kleiner, leichter und effizienter zu gestalten sowie ggf. ganz ohne aktive Kühlung betreiben zu können. Wichtigste Enabler sind sogenannte Wide-Bandgap-Materialien wie Siliziumkarbid und Galliumnitrid, die mit höheren Frequenzen schneller arbeiten und die klassischen Silizium-Halbleiter ablösen könnten. Allerdings müssen die Herstellkosten dieser Bauteile noch verringert werden, um mit den konventionellen Silizium-Modulen konkurrieren zu können (Wallmann, 2016).

Die Patentanalyse zur Leistungselektronik für elektrifizierte Fahrzeuge im Zeitraum 2010 bis 2022 zeigt, dass japanische und südkoreanische Unternehmen am häufigsten vertreten sind (siehe Abbildung 19). Mit der China State Grid Corp. ist auf Platz 3 (939 Patentanmeldungen) zudem auch ein chinesisches Unternehmen vertreten, auf Platz 7 mit der Robert Bosch GmbH (604) das bestplatzierte deutsche Unternehmen. Toyota ist wiederum mit Abstand führend (3.521 Patentanmeldungen), gefolgt von LG (1.126) auf Platz 2. Weitere japanische Unternehmen sind mit Denso (883), Panasonic (636), Sumitomo Electric (437) und Honda (412) vertreten. Samsung auf Platz 4 (890) und Hyundai auf Platz 8 (542) komplettieren die Rangliste aus südkoreanischer Sicht. Unter den deutschen Unternehmen ist Siemens mit 228 Patenten im Portfolio führend, gefolgt von Continental (166), Infineon (162), Mercedes-Benz (139), ZF Friedrichshafen (123), BMW (106), Audi (78), Volkswagen (73), Porsche (61) und Schaeffler (39).



Quelle: Robert Bosch GmbH, 2022

2010–2022 wurden weltweit insgesamt 53.887 Patente angemeldet, wobei auch hier insgesamt eine deutliche Steigerung erkennbar ist. Der Höchststand wurde mit 6.368 Anmeldungen 2022 erreicht, wobei sich diese Zahl voraussichtlich noch weiter erhöhen wird. Eine wissenschaftlich valide Auswertung für dieses Jahr ist aufgrund der zeitlichen Verzögerung von Patentanmeldung zu -veröffentlichung erst 2024 möglich.

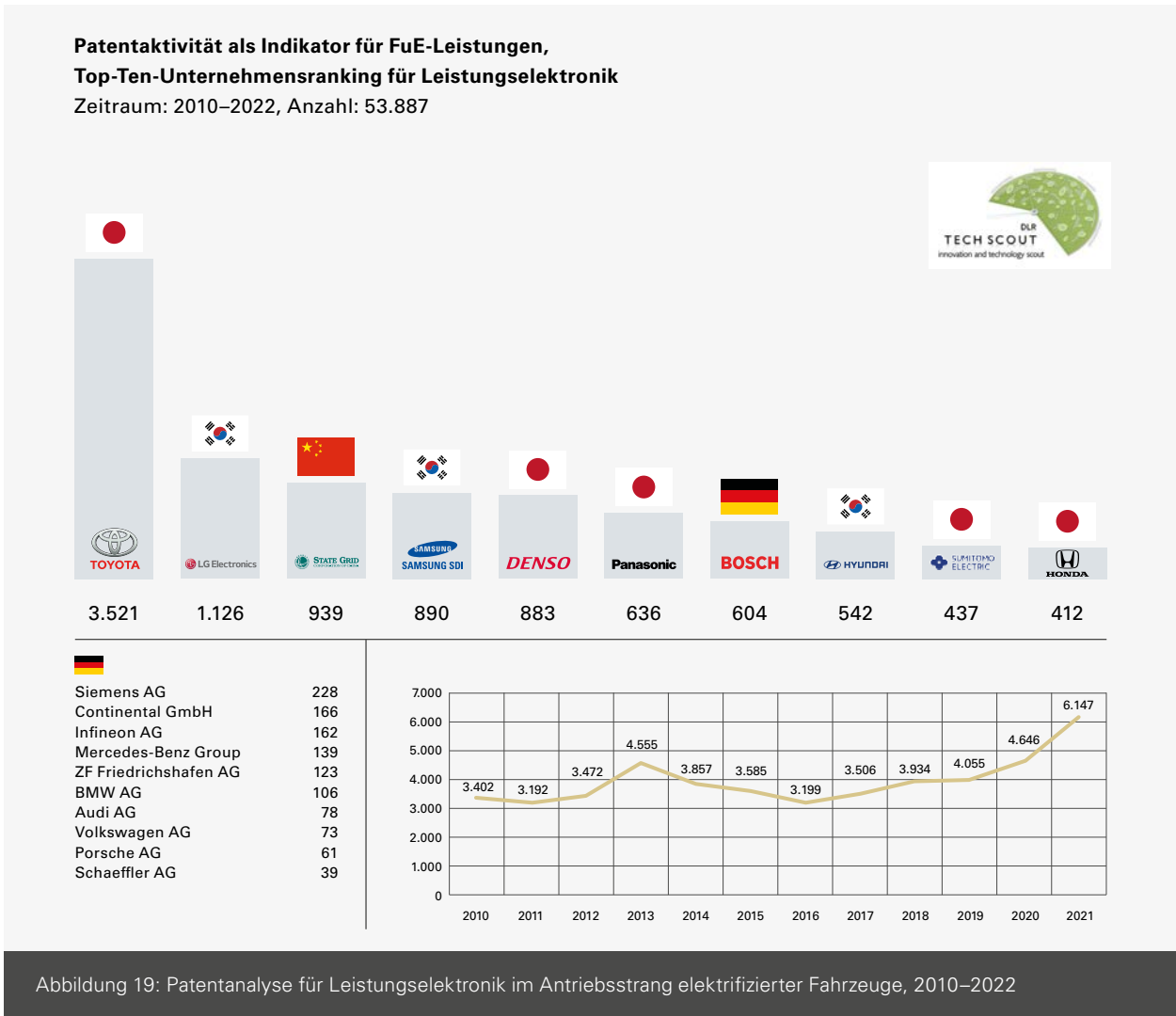
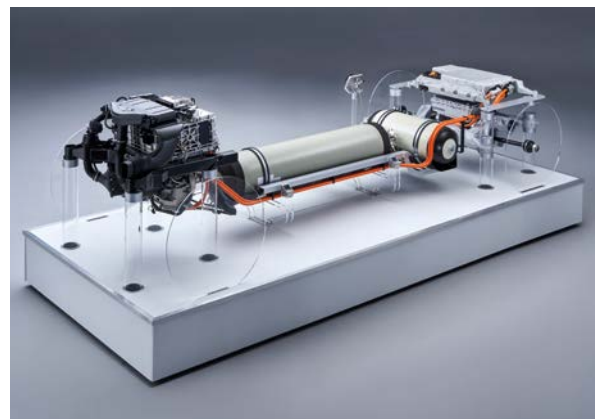


Abbildung 19: Patentanalyse für Leistungselektronik im Antriebsstrang elektrifizierter Fahrzeuge, 2010–2022

### Weiterentwicklung der Brennstoffzellensysteme

Die Brennstoffzelle ist ein elektrochemisches System, bei dem i. d. R. Wasserstoff und Luft zu elektrischer Energie und Wasser (als Nebenprodukt) im Fahrzeug reagieren. Der Wasserstoff wird in einem Drucktank direkt im Fahrzeug gespeichert und mitgeführt (siehe hierzu auch e-mobil BW, 2022c). Wird Wasserstoff in der Brennstoffzelle in elektrische Energie und anschließend mit einem E-Motor in Bewegungsenergie umgesetzt, ist der Wirkungsgrad mit ca. 60 % deutlich höher als bei der thermischen Verbrennung von Wasserstoff in einem Verbrennungsmotor.



Quelle: BMW AG, 2020

Der elektrochemische Prozess verläuft im Vergleich zur klassischen Erzeugung von Bewegungsenergie durch Verbrennung allerdings effizienter, sauberer und leiser. Größter Vorteil der Technologie im Vergleich zu einem heutigen Lithium-Ionen-Batteriesystem ist die höhere Reichweite, wobei dies hauptsächlich an der hohen Energiedichte des Wasserstoffs liegt: 1 kg Wasserstoff beinhaltet so viel Energie wie ca. 3 kg Benzin. Zudem kann eine vergleichsweise kurze Betankungszeit von ca. 5 Minuten realisiert werden.

Im Automobilbereich werden hauptsächlich sogenannte Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzellen eingesetzt, die wassergekühlt bei ungefähr 80 °C betrieben werden und den derzeit höchsten Entwicklungsstand aufweisen. Die Herausforderungen für das Gesamtsystem im Fahrzeug bestehen insbesondere in der Realisierung von wettbewerbsfähigen Kosten, dem Thermo- und Energiemanagement sowie in der Verbesserung der Leistungsdynamik. Der Erfolg der Brennstoffzellentechnologie hängt entscheidend von der Kostenentwicklung und der Infrastrukturverfügbarkeit ab (Töpler und Lehmann, 2017). Durch die bei Brennstoffzellenfahrzeugen hohen erzielbaren Reichweiten werden Anwendungspotenziale derzeit auch im Bereich des (Fern-)Güterverkehrs erwartet.

Abbildung 20 stellt die Patentsituation für Brennstoffzellensysteme elektrifizierter Pkw dar. Insgesamt wurden im Zeitraum 2010 bis 2022 weltweit ca. 25.000 Patente im Bereich der Brennstoffzellentechnologie für elektrifizierte Fahrzeuge angemeldet, mit relativ konstanter Tendenz bis 2019 und ab dem Jahr 2020 mit wieder steigender Tendenz. Die Auswertung für die Jahre 2021 und 2022 ist jedoch zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Studie noch vorläufig und kann sich zukünftig ändern.

In den Top Ten vertreten sind Unternehmen aus Japan, Südkorea, Deutschland und den USA, wobei Toyota bei der reinen Anzahl der Patentanmeldungen führt (6.242). Auf den weiteren Plätzen folgen Hyundai (1.947), Honda (1.904) und Kia (1.221). Mercedes-Benz<sup>2</sup> ist als bestes deutsches Unternehmen auf Rang 7 platziert (902), auch Bosch auf Platz 9 (566) und Audi auf Platz 10 (479) sind in der Top Ten vertreten. Bestplatziertes US-amerikanisches Unternehmen ist Ford auf Rang 5 (1.125). Unter den weiteren deutschen Institutionen sind als OEM Volkswagen (325) und BMW (232) in der Technologieentwicklung aktiv. AVL List (47), Mahle (32), Cellcentric (24), Continental (20) und Eberspächer (14) komplettieren aus deutscher Perspektive diese Analyse.

---

2 | Inkl. aller Patente der Daimler AG vor Aufspaltung des Unternehmens.

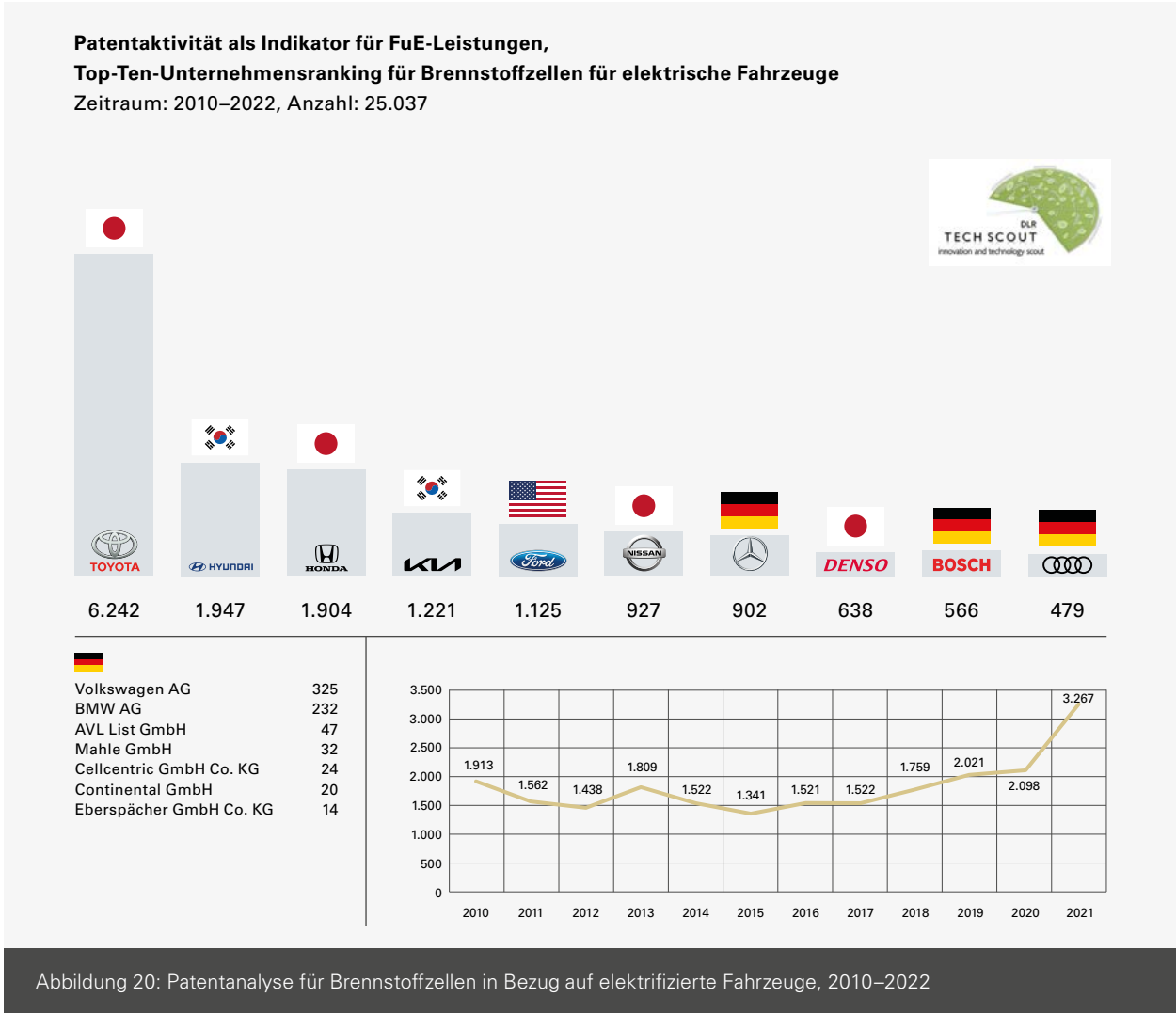


Abbildung 20: Patentanalyse für Brennstoffzellen in Bezug auf elektrifizierte Fahrzeuge, 2010–2022

### Ladetechnologien

Die Dauer des Ladevorgangs bei Elektrofahrzeugen ist u. a. von der Ladeleistung und der Größe der Fahrzeugbatterie abhängig. Vor allem bei E-Fahrzeugen mit sehr großen Batteriekapazitäten (bis 120 kWh) kann durch die Verwendung eines geeigneten Ladesystems eine deutlich reduzierte Ladezeit realisiert werden. Unterschieden werden kann zwischen dem Laden mit Gleichstrom (DC-Laden, Schnellladen) und mit Wechselstrom (AC-Laden, Normalladen). Auch Lösungen für kabelloses Laden (sogenanntes induktives Laden) sowie den kompletten Tausch des Batteriesystems an Batteriewechselstationen werden derzeit entwickelt.

Das AC-Laden wird über einen Ladeanschluss zum ein- bzw. dreiphasigen Wechselstromnetz realisiert und erreicht eine Leistung von 3,7 kW (einphasig, 230 V) bis hin zu 11, 22 oder 43 kW (dreiphasig, 400 V). Das im Fahrzeug eingesetzte Ladegerät steuert dabei den Ladevorgang und speist die Energie in geeigneter Form in die Fahrzeugbatterie.

Beim DC-Laden können höhere Leistungen realisiert werden: Aktuell typische Werte sind ca. 50 kW bis zu 86 kW. Über Mittelspannungs-Netzanschlüsse können in Deutschland derzeit Leistungen bis zu 350 kW (HPC, High Power Charging) übertragen werden. Chinesische Hersteller planen sogar den Aufbau von Ladesystemen mit einer Leistung von 480 kW bzw. 500 kW in China und Europa. Die Anforderungen im Nutz-

fahrzeubereich sind noch höher, hier werden sogenannte Megawatt Charging Systems (MCS) mit Leistungen von über 1.000 kW entwickelt. Diese sollen ab dem Jahr 2024 verfügbar sein.

Beim induktiven Laden wird die Energie kabellos über ein elektromagnetisches Feld in das Fahrzeug übertragen. Zu diesem Zweck muss das Fahrzeug über einer Primärspule platziert werden, so dass die im Fahrzeug installierte Sekundärspule die Energie aufnehmen kann. Die Energieübertragung erfolgt mit Hilfe des Transformatorprinzips und erreicht bei geringen Abständen und richtiger Ausrichtung der Spulen die höchsten Wirkungsgrade. Aktuelle Systeme arbeiten mit ca. 90 % Wirkungsgrad (Tille, 2016).

Eine weitere Möglichkeit der Energieversorgung bei E-Fahrzeugen ist der Wechsel der leeren Batterie gegen eine vollständig geladene. Allerdings ist aufgrund der Komplexität des Systems, der hierfür notwendigen Standardisierung der Batterie- und Anschlussysteme sowie der Kosten derzeit nur eine eingeschränkte Verfügbarkeit vorhanden. Systeme des chinesischen Automobilherstellers Nio existieren derzeit schwerpunktmäßig in China (ca. 800 Stationen), zudem ist eine Station in Norwegen in Betrieb. Ziel des Unternehmens ist es, bis 2025 ca. 5.000 Wechselstationen zu etablieren, drei sind derzeit konkret in Deutschland geplant bzw. bereits installiert (ecomento, 2022c). Nio kooperiert hierzu mit dem Mineralölkonzern Shell. Auch weitere Hersteller haben Investitionen in den Auf-

bau eigener Batteriewechselsysteme angekündigt, darunter u. a. GAC Aion und CATL.

Die unterschiedlichen Schnittstellen zwischen Fahrzeug und Ladepunkt haben international zu unterschiedlichen Steckersystemen geführt. In Europa werden insbesondere Typ-2- und CCS-Stecker (Combined Charging System) genutzt. CCS ermöglicht den Anschluss sowohl für ein- bis dreiphasiges Wechselstrom- als auch Gleichstromladen bis 200 kW mit einem Potenzial bis 350 kW. Das Ladesystem liefert eine kompatible Steckerverbindung für die oben genannten Ladepunkte und beinhaltet alle notwendigen Funktionen zur Steuerung des Ladevorgangs und der Kommunikation. Das System konkurriert allerdings mit weiteren Ladestandards, z. B. mit CHAdeMO (bis 50 kW) und mit den Tesla Superchargern (bis 300 kW) (Veneri, 2016).







| Schuko  | Typ 2   | CHAdeMO   | Tesla Supercharger  | CCS Combined Charging System  | ChaoJi CHAdeMO 3.0  |
|---|---|---|---|---|---|
|  |  |  |  |  |  |
| 2,3–3,6 kW<br>Ladeleistung  | Bis 43 kW   | Bis 150 kW  | Bis 300 kW  | Bis 350 kW  | Bis 900 kW  |
| Haushaltssteckdose  | EU-Standard   | Japan-Standard  | Ausschließlich für Tesla-Fahrzeuge  | Erweiterter Typ-2-Stecker, EU-Standard  | Erweiterter CHAdeMO/GB/T-Stecker, China-Japan-Standard                                |

Abbildung 21: Übersicht über gängige Ladestecker

Quelle: Eigene Darstellung DLR und IMU, 2023; Bildquellen und © Copyright: Mennekes, Vattenfall, Tesla, BMW, Midea

## 2.2 Digitalisierung und autonomes Fahren

### In Kürze

- Wesentlicher Aspekt der Digitalisierung in der Mobilität ist die Konnektivität bzw. Kommunikation der Fahrzeuge untereinander, mit der Infrastruktur oder mit speziellen Plattformen.
- Die Kombination aus vernetzten, intelligenten Verkehrselementen und automatisiert/autonom fahrenden Fahrzeugen führt zur Entwicklung neuer Mobilitätsdienstleistungen und Geschäftsmodelle.
- Neue Anbieter treten in den Markt und konkurrieren mit den „klassischen“ Automobilherstellern und -zulieferern.
- Teilautomatisierte Fahrzeuge existieren schon heute, vollautomatisiertes bzw. autonomes Fahren wird für einen Zeitraum zwischen 2025 und 2035 erwartet.
- Das autonome bzw. automatisierte Fahren soll dazu beitragen, die Verkehrssicherheit zu erhöhen und die Mobilitätsangebote für alle gesellschaftlichen Gruppen zu erweitern

Neben der Veränderung der Antriebstechnik stehen – vor allem aus Sicht der Automobilhersteller – das autonome Fahren und die digitale Vernetzung der Pkw im Fokus derzeitiger technischer Entwicklungen. „Digitalisierung“ steht im traditionell technischen Verständnis für eine Umwandlung von analoger Information und Kommunikation in eine digitale Form. Im heutigen Verständnis ist sie aber viel mehr: Als Kombination unterschiedlicher Informations- und Kommunikationstechnologien motiviert und beeinflusst sie eine Vielzahl weiterer technischer Entwicklungen in unterschiedlichsten Branchen – und damit das Produktangebot sowie die Art und Weise, wie diese Produkte produziert und genutzt werden können. Mit der Digitalisierung ändert sich die Art und Intensität, wie Objekte miteinander – teilweise Cloud-gestützt – kommunizieren bis hin zur Künstlichen Intelligenz (KI). Sie verändert zudem gleichzeitig auch die Marktnachfrage, indem sie die Kundenpräferenzen, das Konsum- und Nutzerverhalten sowie Arbeits- und

Lebensverhältnisse prägt. Digitalisierung wirkt damit tiefgreifend und strukturverändernd sowohl auf Angebot als auch auf Nachfrage und legt entsprechend – und v. a. in Kombination mit weiteren Trends wie Autonomisierung, Flexibilisierung und Individualisierung – so den Grundstein für die sogenannte vierte industrielle Revolution („Industrie 4.0“), die nachhaltig auch Produktions- und Arbeitsprozesse verändert.

Die Digitalisierung motiviert z. B. die umfassende Vernetzung des Verkehrssystems und dessen Elemente – wie Fahrzeuge und Infrastruktur – und ermöglicht dadurch optimierte oder völlig neue Mobilitätsangebote und -lösungen (siehe hierzu auch e-mobil BW, 2023a). Parallel dazu werden Fahrfunktionen immer stärker automatisiert, bis hin zum völlig autonom agierenden Fahrzeug. Technologien der Kommunikation und Konnektivität, Sensoren und Aktoren, die Gewinnung, Verarbeitung, intelligente Nutzung und Analyse großer Datenmengen durch lernende Systeme hoher Künstlicher Intelligenz sind die Grundlage dafür. Neue Fahrzeug- und Plattformkonzepte der OEM integrieren so zukünftig nicht nur Anforderungen, die durch die Elektrifizierung des Antriebsstrangs und neue Elektrik-/Elektronikarchitekturen entstehen, sondern werden zusätzlich von denjenigen Rahmenbedingungen geprägt, die durch die Entwicklung und Integration von Software und softwarebasierten Systemen zur Realisierung von Mobilitätsdienstleistungen und neuen Geschäftsmodellen entstehen.



Die ständige intelligente Vernetzung von Elementen im Mobilitätssystem – die Konnektivität – ist ein wesentlicher Bestandteil neuer Fahrzeugkonzepte: Aus der Vielzahl von Daten und Informationen, die die Fahrzeuge senden und empfangen können, entstehen neue Möglichkeiten zur Steuerung der Verkehrswege und -flüsse, aber auch zur Steigerung von Sicherheit und Komfort. Die dafür notwendigen Daten werden mithilfe von Kameras und Sensoren generiert und innerhalb von Sekundenbruchteilen verarbeitet. Außerdem tauschen Fahrzeuge untereinander sowie mit der Verkehrsinfrastruktur permanent und in Echtzeit Informationen aus. Assistenzsysteme können sukzessive mehr und mehr beim Fahren unterstützen, bis letztlich die Fahraufgabe selbst vollständig automatisiert übernommen wird. Autonomes Fahren könnte damit wesentlich dazu beitragen, Mobilitätsangebote für alle gesellschaftlichen Gruppen zu erhöhen, so dass Menschen, die nicht mehr mobil sind oder es bislang nicht waren, mobilisiert werden. Zudem ist es so auch möglich, ländliche Regionen durch neue Konzepte besser mit den Zentren bzw. Großstädten (bedarfsgerecht) zu vernetzen.

Die Technologie für hoch automatisiertes Fahren wurde im Jahr 2022 in Deutschland erstmals in einem Serienfahrzeug von Mercedes-Benz umgesetzt und wird in den nächsten Jahren voraussichtlich auch in großvolumige Marktsegmente eingeführt. Auch wenn erste vollautomatisierte oder autonome Systeme bereits im Einsatz sind, so sind diese im Wesentlichen jedoch noch beschränkt auf Test- und Forschungseinsätze. Bevor es zu einer umfänglichen Markteinführung komplett autonom fahrender Fahrzeuge kommen kann, müssen erst entscheidende Hürden überwunden werden: So sind beispielsweise die Sensoren (noch) relativ teuer, die Akzeptanz in der Gesellschaft ist eingeschränkt und die notwendigen gesetzlichen Regularien sind noch nicht vorhanden. Expert:innen prognostizieren, dass zwischen 2025 und 2035 auch das vollautomatisierte bzw. vollständig autonom fahrende Fahrzeug voraussichtlich verfügbar sein wird (Ulrich et al., 2022). Im Folgenden werden die wesentlichen Informationen zum Status

des automatisierten und autonomen Fahrens dargestellt, bevor anschließend eine Perspektive auf Potenziale der Digitalisierung für die Mobilität aufgezeigt wird. Hierbei liegt der Fokus insbesondere auf neuen Mobilitätslösungen, -angeboten und Geschäftsmodellen.

### 2.2.1 Automatisierungskonzepte

Automatisiertes Fahren bedeutet, dass einzelne Fahraufgaben (schrittweise) vom Menschen auf das Fahrzeug übertragen werden, um diesen so in bestimmten Fahrsituationen zu unterstützen oder zu entlasten. Ähnlich wie bei der breiten Spanne unterschiedlich elektrifizierter Antriebskonzepte müssen auch bei der Automatisierung mehrere Umsetzungsgrade unterschieden werden. Diese werden in Abbildung 22 mit von oben nach unten steigenden Graden der Automatisierung illustriert und nachfolgend im Detail erläutert.

| Stufen                         | Funktion Fahrer:in   |  Funktion System   |
|--------------------------------|---|---|
| <b>0</b><br>Rein manuell       | Dauerhafte gesamte Fahrzeugführung  |   |
| <b>1</b><br>Assistiert         | Dauerhafte Quer- oder Längsführung.   | Jeweils andere Fahraufgabe wird in gewissen Grenzen vom System ausgeführt.  |
| <b>2</b><br>Teilautomatisiert  | Dauerhafte Systemüberwachung und dauerhafte Bereitschaft zur Übernahme.   | Das System übernimmt Quer- und Längsführung für einen gewissen Zeitraum in spezifischen Fahrsituationen.  |
| <b>3</b><br>Hoch automatisiert | Keine dauerhafte Systemüberwachung erforderlich. Bei Bedarf Übernahme mit ausreichender Zeitreserve.  | Das System übernimmt Quer- und Längsführung für einen gewissen Zeitraum in spezifischen Fahrsituationen. Verlängerter Übergabezeitraum.                       |
| <b>4</b><br>Vollautomatisiert  | Keine dauerhafte Systemüberwachung erforderlich.  | Das System übernimmt Quer- und Längsführung für einen gewissen Zeitraum in spezifischen Fahrsituationen. Rückführung in risikominimalen Zustand durch System. |
| <b>5</b><br>Autonom            | Das System übernimmt Quer- und Längsführung vollständig. Das System ist in allen Situationen in der Lage, das Fahrzeug sicher zu steuern. Das Fahrzeug kommt ganz ohne Fahrer:in aus. |   |

Quelle: e-mobil BW, 2015; in Anlehnung BAST und vda

Abbildung 22: Die Stufen des automatisierten Fahrens



**Stufe 0: keine Automation/Driver Only**

Der/die Fahrer:in muss dauerhaft sowohl Längsführung (Geschwindigkeit) als auch Quersführung (Lenkung) steuern. Dies entspricht dem klassischen Autofahren. Die Darstellung von Hinweisen und Informationen unterstützt die Fahrer:innen beim Steuern des Fahrzeugs.

**Beispiele**

*Müdigkeitsassistent:* Die Müdigkeitserkennung warnt bei auftretenden Konzentrationsschwierigkeiten mittels eines akustischen Signals. Zu diesem Zweck können Augenbewegungen per Kamera analysiert oder z. B. auch Mikroimpulse am Lenkrad gemessen werden, um auf die Erschöpfung des:der Fahrer:in zu schließen. Werden Pausenempfehlungen ignoriert, wiederholt sich die Warnung in regelmäßigen Abständen.

*Schildererkenung:* Die Verkehrszeichenerkennung zeigt z. B. die zugelassene Höchstgeschwindigkeit und Überholverbote an. Sie ist auch in der Lage, Zusatzschilder wie „bei Nässe“ zu registrieren. Sie arbeitet mittels Kameras, die die Umgebung permanent nach Schildern abtasten und im Display darstellen.

*Kollisionswarnung:* Ein akustisches Warnsignal wird aktiviert, sobald die Geschwindigkeitsdifferenz zu vorausfahrenden oder folgenden Fahrzeugen bei Annäherung zu groß wird und eine mögliche Kollision droht.

**Stufe 1: Fahrerassistenz/assistiert**

Bei Stufe 1 verfügt das Fahrzeug über Systeme, die auf Basis einer Analyse von Umfeldinformationen entweder die Geschwindigkeitssteuerung oder die Lenkung übernehmen können. Der/die Fahrer:in muss die jeweils andere Führung übernehmen. Ein grundlegendes Stufe-1-System kann generell mit nur einem einzigen Sensor im Fahrzeug umgesetzt werden – z. B. einer Kamera.

**Beispiele**

*Spurhalteassistent:* Der Spurhalteassistent ermöglicht die Steuerung von Lenkbewegungen während der Fahrt. Dafür werden die Straßenmarkierungen von Sensoren und Kameras analysiert und ausgewertet. Der Computer steuert das Fahrzeug zwischen den Markierungen.

*(Adaptiver) Tempomat:* Der adaptive Tempomat erlaubt die automatisierte Steuerung der Fahrzeuggeschwindigkeit relativ

zu vorausfahrenden Fahrzeugen z. B. auf der Autobahn. Sofern ein Mindestabstand unterschritten wird, bremst das System automatisch und beschleunigt bei ausreichend freiem Raum das Fahrzeug wieder auf die gewünschte Geschwindigkeit.

*Bremsassistent:* Der Bremsassistent unterstützt in Gefahrensituationen durch eine automatisierte Verstärkung der Bremskraft. Die Gefahrensituation wird vom Bordcomputer anhand verschiedener Indikatoren identifiziert, u. a. durch die Zeitdifferenz zwischen Gas- und Bremsimpuls.

**Stufe 2: partielle Automation/teilautomatisiert**

Das Auto kann mehrere Automatisierungsaufgaben gleichzeitig übernehmen. So erkennt z. B. der Stauilot die Fahrbahnbegrenzung ebenso wie die Geschwindigkeit und die Entfernung des vorausfahrenden Fahrzeugs. Auf Grundlage dieser Informationen ist das System in der Lage, das Fahrzeug zu beschleunigen, zu bremsen und zu lenken. Fahrer:innen müssen die Umgebung jederzeit im Blick behalten und, sofern etwa höhere Geschwindigkeiten wieder möglich sind, das Steuer übernehmen. Ein konkretes Beispiel ist der Stauassistent von Tesla, der eine Kombination aus einem Abstandsregeltempomat und einem Lenkassistenten darstellt. Eine weitere konkrete Umsetzung ist der Einparkpilot. Von den meisten Automobilherstellern wird diese Stufe der Automatisierung durch eine Kombination oder Fusion von Kamera- (2 bis 3) und Radarsystemen (1 bis 3) umgesetzt. Beide Systeme ergänzen sich durch ihre Eigenschaften z. B. bei unterschiedlichen Licht- und Wetterverhältnissen. In Kombination mit einer Positionsbestimmung und einer geeigneten Software zur Interpretation der Sensordaten können auf dieser Basis auch sogenannte Level-2+-Funktionen ermöglicht werden. Diese ermöglichen eine teil- oder bedingtautomatisierte zeitweise Steuerung des Fahrzeugs unter bestimmten Voraussetzungen, z. B. bei geringen Geschwindigkeiten im Stau.

**Beispiele**

*Einparkpilot:* Der:Die Fahrer:in kann den Einparkpiloten flexibel aktivieren. Daraufhin tasten Ultraschallsensoren an den Kotflügeln bis zu einer Fahrtgeschwindigkeit von 30 km/h den Straßenrand auf eine ausreichend große Lücke ab. Sobald eine entsprechende Lücke gefunden wurde, informiert das System über die entsprechende Ausgangsposition für die Einfahrt in die Lücke. Der:Die Fahrer:in legt den Rückwärtsgang ein, fährt langsam los und lässt das Lenkrad los. Das Lenkrad wird vom System gesteuert, so dass das Fahrzeug in die Parklücke hineinfährt. Der gesamte Vorgang dauert knapp 15 Sekunden.

Sicherheitshalber bricht der Parkassistent ab, sobald der/die Fahrer:in das Lenkrad berührt oder schneller als 7 km/h fährt.

*Stauassistent:* Der Stauassistent ermöglicht eine teilautomatisierte, meist kamerabasierte, Steuerung der Fahrzeuggeschwindigkeit und -positionierung im Stau bei Geschwindigkeiten bis ca. 60 km/h. Die Kombination aus adaptivem Tempomat und Spurhalteassistent deaktiviert sich bei Überschreitung dieser Geschwindigkeitsgrenze und z. T. bei nicht umgebungsgerechter Anwendung (z. B. im Stadtverkehr).

**Stufe 3: Bedingte Automation/hoch automatisiert**

Auf Stufe 3 übernimmt das Fahrzeug sowohl Längs- als auch Querverführung. Auf diesem Automationsniveau muss der Mensch jederzeit bereit sein, das Steuer zu übernehmen. Die ersten serienmäßigen Fahrzeugmodelle, die automatisiertes Fahren auf diesem Level 3 umsetzen, sind die Mercedes-Benz S-Klasse und der EQS (2022), die in einem begrenzten Bereich (u. a. auf der Autobahn, bis 60 km/h, bei klarem Wetter) alle Fahraufgaben übernehmen und in dieser Zeit die manuelle Steuerung vollständig ersetzen. Nur in besonderen Situationen muss der/die Fahrer:in das Lenkrad übernehmen, wird aber vorher darauf hingewiesen. Die Anzahl der notwendigen Kom-

ponenten und Systeme im Fahrzeug steigt aufgrund der erhöhten Anforderungen weiter an: Benötigt werden auf dieser Stufe bis zu jeweils sechs Kamera- und Radarsysteme, zudem wird von den meisten Automobilherstellern zusätzlich ein LiDAR-System eingebaut oder -geplant.

**Stufe 4: Hohe Automation/vollautomatisiert**

Der wesentliche Unterschied zu Stufe 3 besteht darin, dass das System alle Aufgaben ausführt. Dies bedeutet, dass im Notfall das System nach einer vordefinierten Strategie reagiert, wie etwa Bremsen bis zum Stillstand und Absetzen eines Notsignals.

**Stufe 5: Volle Automation/fahrerlos**

Auf der höchsten Stufe wird schließlich ein System beschrieben, das alle Aufgaben des Fahrens jederzeit übernimmt, wengleich alternativ das Fahrzeug aber auch von einem Menschen gesteuert bzw. ferngesteuert werden kann (Schacht, 2017). Ein vollständig autonom fahrendes Fahrzeug würde voraussichtlich bis zu zwölf Kamerasysteme, acht Radarsysteme und vier LiDAR-Systeme benötigen. Die Art und Anzahl der LiDAR-Sensoren variiert dabei je nach benötigter Reichweite, Auflösung und Kostenanforderung.

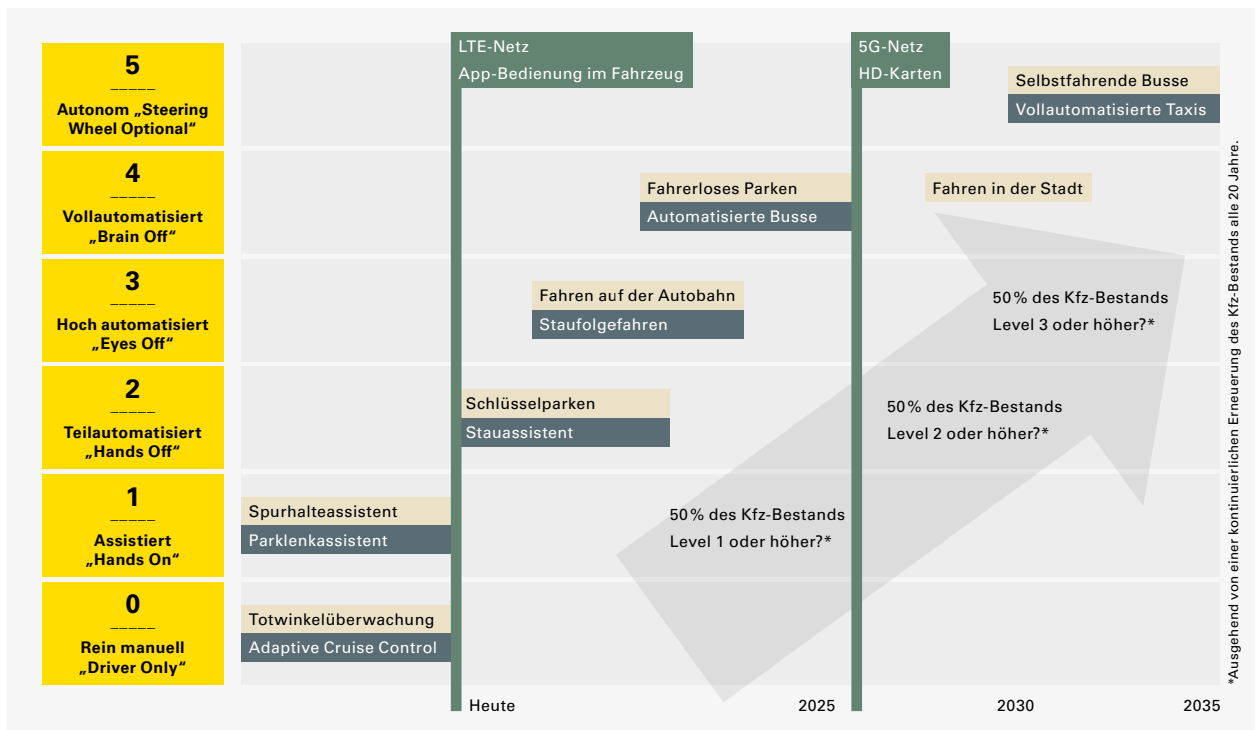


Abbildung 23: Beispiele für Fahrzeugsysteme zur Automatisierung und Vernetzung

Teilautomatisiertes Fahren ist bereits möglich; die Fahrzeugtechnik und die Ausstattung von Straßen sind in Serienreife vorhanden, um – zumindest auf Autobahnen – das hoch automatisierte Fahren in absehbarer Zukunft und höherem Volumen umzusetzen. Die für das automatisierte oder autonome Fahren notwendigen Systeme im Fahrzeug ersetzen dabei die manuellen Aufgaben des:der Fahrer:in Sehen, Denken, Ausführen. Dies passiert in einer Kombination aus real installierter Hardware (z. B. zur Umfelderkennung) und intelligenter Software (z. B. zur Datenverarbeitung).

Insbesondere in komplexen Verkehrssituationen müssen autonom fahrende Fahrzeuge in Sekundenbruchteilen die richtigen Entscheidungen auf Basis komplexer Informationen aus dem Umfeld treffen können. Halten beispielsweise zeitgleich zwei Fahrzeuge gleichberechtigt an einer Kreuzung, verständigen sich Menschen auf höchst unterschiedliche Art (Blick, Geste, Mimik etc.), um die Situation zu lösen. Vollautonome Fahrzeuge müssen im Verkehrsgeschehen ähnliche Eigenschaften aufweisen. Die unterschiedlichen Technologien und Komponenten automatisierter und autonomer Fahrzeuge sind im Folgenden beschrieben.

## 2.2.2 Technologien

Die Integration neuer Module und Komponenten für das automatisierte und autonome Fahren erhöht den Wertschöpfungsanteil am Fahrzeug sowohl aus Perspektive der Hardware als auch aus der für die Umsetzung der unterschiedlichen Assistenz- und Vernetzungsfunktionen notwendigen Software. Die für die verschiedenen Stufen des automatisierten Fahrens notwendigen Komponenten und deren beispielhafte Anzahl bei Pkw sind in Tabelle 4 zusammengefasst: Radar, LiDAR, Kamerasysteme, Sensoren sowie neue Module zur Positionierung und Kommunikation der Fahrzeuge. Der Anteil der einzelnen Komponenten an der Wertschöpfung eines Automatisierungssystems variiert je nach Automatisierungsgrad: Bei hoch- bzw. vollautomatisierten Pkw nehmen die CPU und die Software mit ca. 30–41 % den größten Anteil ein, gefolgt von LiDAR-Systemen (ca. 17–18 %), Radarsystemen (ca. 9–15 %) und Kameras (ca. 8–16 %). Weitere Komponenten zur Gewährleistung der Verbindungs-, Signal-, Verarbeitungs- und Funktionsicherheit, für die Cockpитеlektronik sowie für redundante Brems- und Lenksysteme haben einen weiteren Wertschöpfungsanteil in Höhe von insgesamt ca. 6–20 % (Citigroup, 2019).

| Komponenten      | Stufe 1 | Stufe 2 | Stufe 3 | Stufe 4 | Stufe 5 |
|------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Ultraschall      | 9       | 9       | 9       | 9       | 9       |
| Radar            | 2       | 4       | 4       | 8       | 8       |
| LiDAR            | 0       | 0       | 1       | 1       | 1       |
| Kamera           | 0       | 2       | 5       | 5       | 5       |
| DSRC             | 1       | 1       | 1       | 1       | 1       |
| GNSS-Positioning | 1       | 1       | 1       | 1       | 1       |
| V2X-Modul        | 1       | 1       | 1       | 1       | 1       |
| Steuergeräte     | 1       | 1       | 1       | 3       | 3       |

Tabelle 4: Anzahl der Komponenten je Automatisierungsstufe

Quelle: Agora Verkehrswende, 2020; Fraunhofer ISI, abgeleitet aus Krall et al. 2019

Automobilhersteller entwickeln die einzelnen Technologien und Komponenten kontinuierlich selbst und in Kooperation mit Zulieferern, Start-ups und Forschungseinrichtungen weiter, um ihre Leistungsfähigkeit zu verbessern und sie kostengünstiger herstellen zu können. Eine Übersicht über die notwendigen Komponenten und deren Weiterentwicklungspotenzial bzw. Schwerpunkte aktueller Forschungs- und Entwicklungsleistungen wird im Folgenden dargestellt.

### Umfelderfassung

Eine zuverlässige Umfelderfassung ist wesentliche Voraussetzung für jedes automatisierte Fahrsystem. Dafür sind hochmoderne Kamerasysteme sowie Umfeldsensoren notwendig, die auf Basis von Ultraschall, Radar und Laser die Umgebung permanent in Kombination abtasten, um Streckenverlauf, Straßenmarkierungen und andere Verkehrsteilnehmer:innen selbstständig erkennen. Die Verarbeitung der Daten bietet dem Fahrzeug ein vollständiges Bild seiner Umgebung, unabhängig von Witterungs- und realen Sichtverhältnissen. In einem vernetzten Mobilitätssystem können die Daten einzelner Fahrzeuge und Informationen aus der Verkehrsinfrastruktur ausgetauscht werden, so dass ggfs. akute Gefahrensituationen erkannt und an die relevanten Verkehrsteilnehmer:innen weitergeleitet werden.

### Radarsysteme

Ein Radarsystem nutzt zur Objekterkennung elektromagnetische Funkwellen im Radiofrequenzbereich, die anhand der Reflexion als Sekundärsignal (Winkel/Position, Entfernung, Geschwindigkeit) ausgewertet werden. In der Regel bestehen Radarsysteme aus einem Hochfrequenzsender, einem Empfänger, zugehörigen Antennen und einer Einheit zur Verarbeitung der Signale. Unterschiedliche Frequenzbereiche können im Pkw-Bereich genutzt und nach Reichweite und Auflösung unterschieden werden: Fernbereich (77 GHz) und Nahbereich (24 GHz bzw. 79 GHz). Vorteil des Radars ist, dass es Farben erfassen und auch bei ungünstigen Wetter- und Lichtverhältnissen eingesetzt werden kann sowie eine sehr exakte Entfernungs- und Geschwindigkeitsbestimmung ermöglicht.

Die generelle Herausforderung dieser Technologie liegt in der weiteren Verbesserung der Leistungseigenschaften bezüglich Auflösung und Reichweite bei gleichzeitiger Minimierung von Rauschsignalen und Interferenzen. In Abbildung 25 sind aktuelle Aktivitäten zur Weiterentwicklung der Komponente „Radar“ und den dahinterliegenden Einzeltechnologien zusammengefasst.<sup>3</sup>

<sup>3</sup> | Details zu den dort hinterlegten Technologien und zur Entwicklung der TRL- und MRL-Reifegrade sind unter <https://www.transformationswissen-bw.de/technologiekalender-app#> zu finden

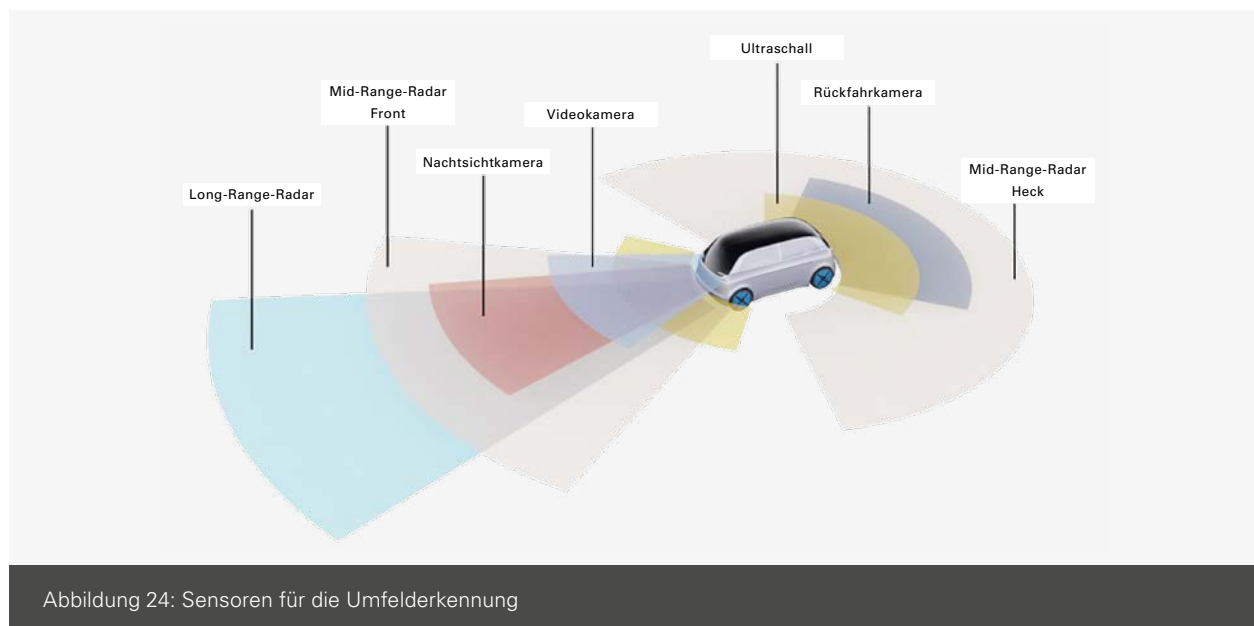


Abbildung 24: Sensoren für die Umfelderfassung

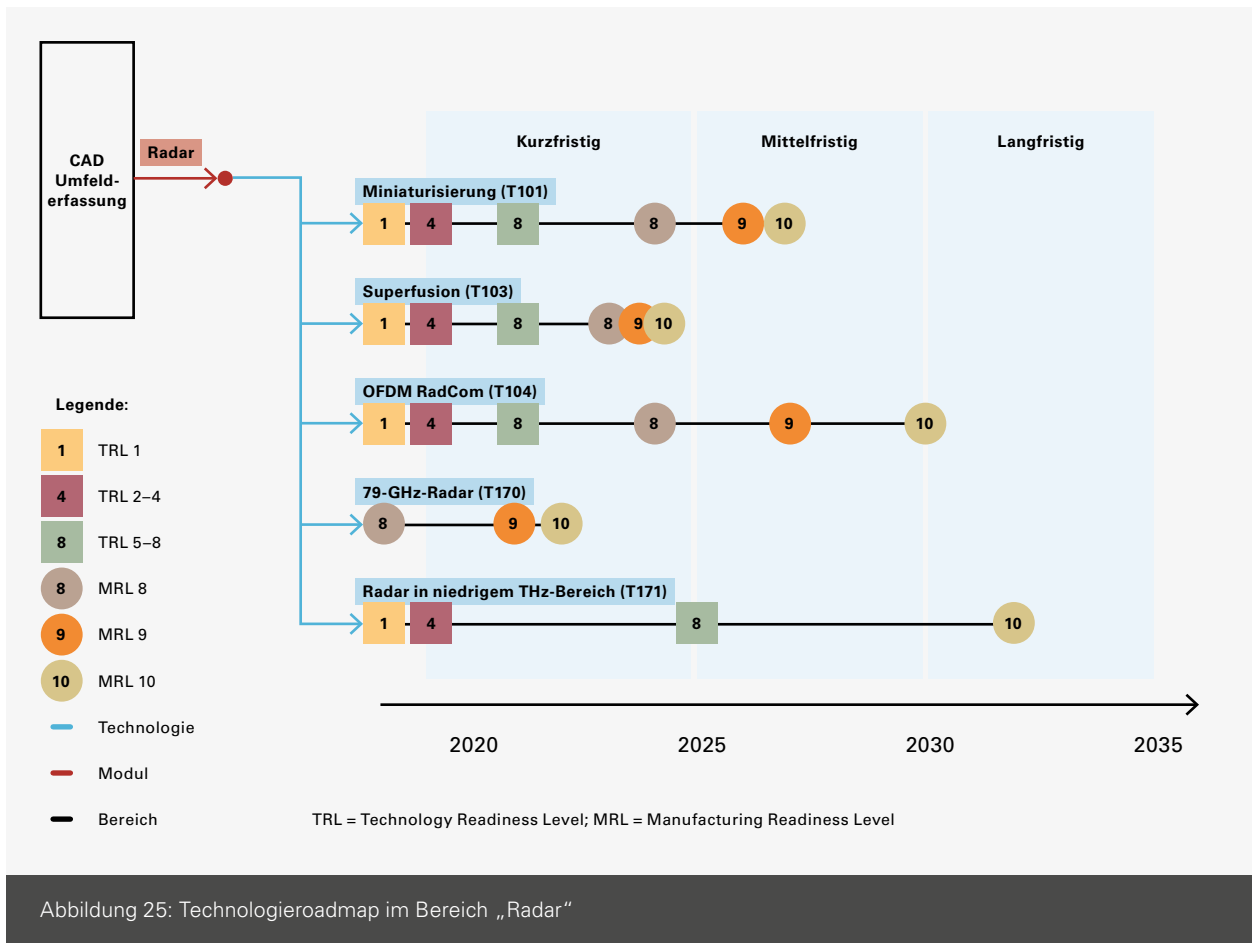


Abbildung 25: Technologieroadmap im Bereich „Radar“

Zur Identifikation von Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten für Erfindungen im Bereich „Radar für automatisierte Fahrzeuge“ wurde eine weltweite Analyse von Patentanmeldungen ab dem Jahr 2010 beim Europäischen Patentamt durchgeführt. Über den gesamten Untersuchungszeitraum (1. Januar 2010 bis 31. Oktober 2022) konnten über alle Weltregionen hinweg 11.245 Patentanmeldungen identifiziert werden.

In Abbildung 26 ist rechts unten der zeitliche Verlauf der Patentanmeldungen dargestellt. Es ist eine klare Trenddynamik ersichtlich: Insgesamt ist ab dem Jahr 2011 (531) und wieder ab dem Jahr 2016 (592) eine steigende Tendenz bis auf ca. 1.400 im Jahr 2022 zu erkennen.<sup>4</sup> Im oberen Teil der Abbildung sind die bei FuE-Aktivitäten weltweit führenden Institutionen

dargestellt. Die Robert Bosch GmbH (Platz 4, 235 Patentfamilien) und die Mercedes-Benz Group (Platz 6, 164) als deutsche Unternehmen sind unter den Top Ten weltweit vertreten. Toyota (Japan, 557) führt die Rangliste vor Denso (Japan, 282) an. Mit Honda befindet sich ein weiterer japanischer OEM in der Top Ten auf Rang 5 (224). Bestes südkoreanisches Unternehmen ist Hyundai auf Rang 3 (262), gefolgt von Mando auf Rang 7 (148). Die chinesische Universität Changan befindet sich auf Rang 9 (139), zwei US-amerikanische Automobilhersteller – GM (Platz 8, 143) und Ford (Platz 10; 118) – kompletieren die Rangliste.

<sup>4</sup> Die Jahre 2021 und 2022 befinden sich allerdings noch in vorläufiger Auswertung und können sich durch weitere Patentveröffentlichungen ggfs. ändern. Generell kann von einem zeitlichen Verzug von Patenteinreichung bis -veröffentlichung von bis zu 1,5 Jahren ausgegangen werden. Das Jahr 2022 ist deshalb im Trendverlauf nicht dargestellt.

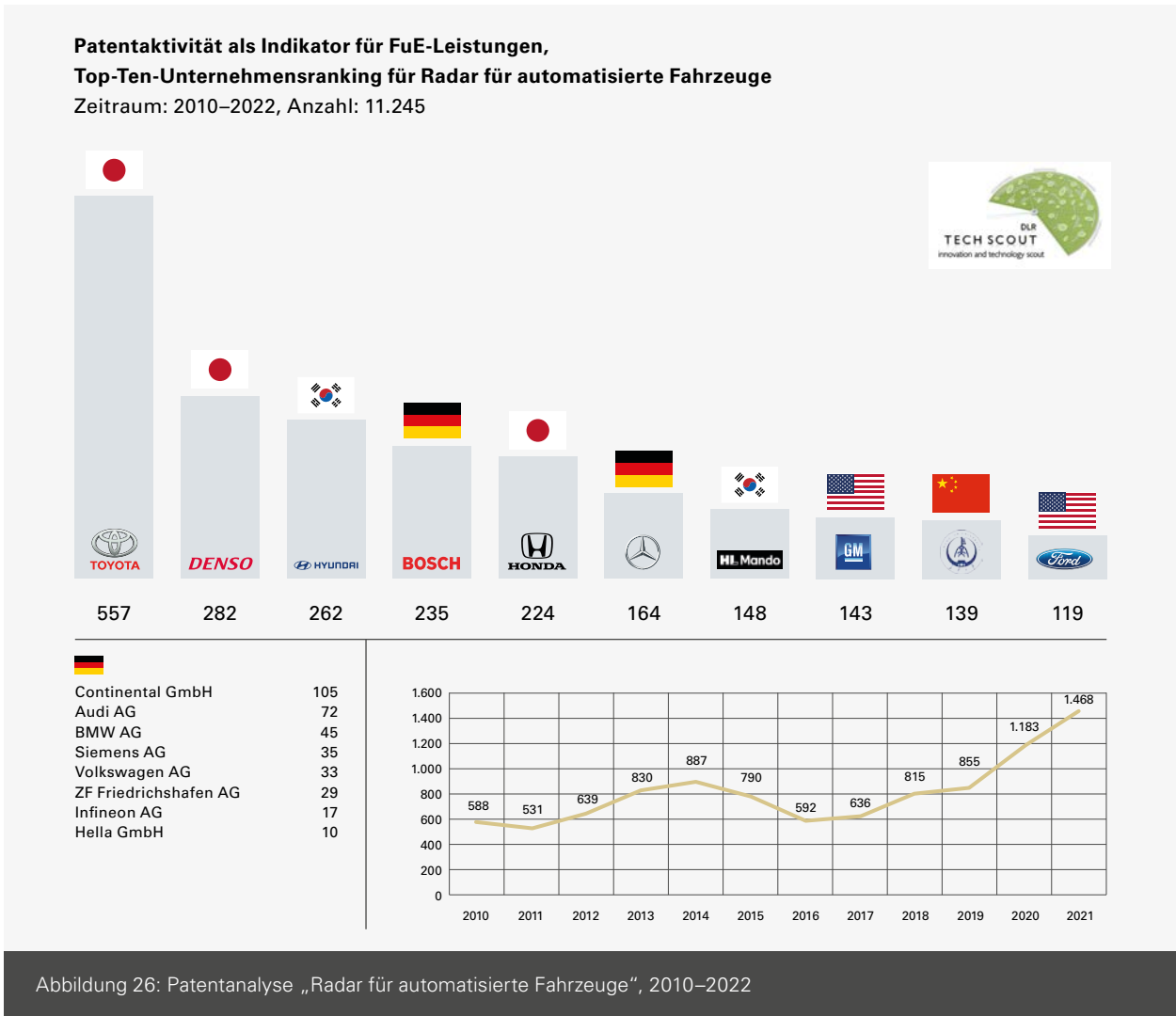


Abbildung 26: Patentanalyse „Radar für automatisierte Fahrzeuge“, 2010–2022

Insgesamt zeigt sich, dass weitere deutsche Unternehmen – v. a. OEM und Systemlieferanten – in die Technologieentwicklung investieren und mit Patentanmeldungen aktiv sind. Unter den weiteren deutschen Institutionen können die Continental GmbH (105 Patentfamilien), Audi AG (72), BMW AG (45), Siemens AG (35), Volkswagen AG (33), ZF Friedrichshafen AG (29), Infineon AG (17) und Hella GmbH & Co KGaA (10) identifiziert werden.

**Kamerasysteme**

Den auch für Menschen sichtbaren Wellenlängenbereich decken Kamerasysteme ab. Diese verwenden halbleiterbasierte Bildsensoren zur Wandlung von Licht in digitale Bildsignale. Kameras sind im Vergleich zu anderen Umfeldsensoren relativ kostengünstig, bieten eine hohe Auflösung, können große Kontraste verarbeiten und ergänzen Radarsysteme so z. B. bei der Objekterkennung und -klassifizierung. Differenziert werden kann dabei in Mono- und Stereokameras, Letztere ermöglichen durch Triangulation der Bildsignale eine dreidimensionale Erfassung der Umgebung – und damit auch die Messung und Interpretation von Entfernungen, z. B. bei vorwärtsgerichteten Objekten. Durch optimierte Methoden der Datenverarbeitung

sind mittlerweile auch Monokameras in der Lage, die Größe und Position einzelner Objekte und deren relative Veränderung abzubilden. Diese Kameras werden von den Automobilherstellern voraussichtlich auch zukünftig bevorzugt für die grundlegenden Funktionen des automatisierten Fahrens eingesetzt. Ein Schwerpunkt der Forschung zur Weiterentwicklung von Kamerasystemen liegt darin, die zu erfassenden Frequenzbereiche und spektralen Kanäle zu erweitern, um so z. B. auch den langwelligen Infrarotbereich (Wärmebilder) oder Reflexionsgrade der Oberflächen darstellen zu können. Die Analyse von FuE-Aktivitäten im Bereich „Kamerasysteme zur Umfelderkennung“ zeigt eine ab dem Jahr 2016 ansteigende Tendenz. Insgesamt wurden im gesamten Zeitraum 2010 bis 2022 5.821 Patente weltweit angemeldet.

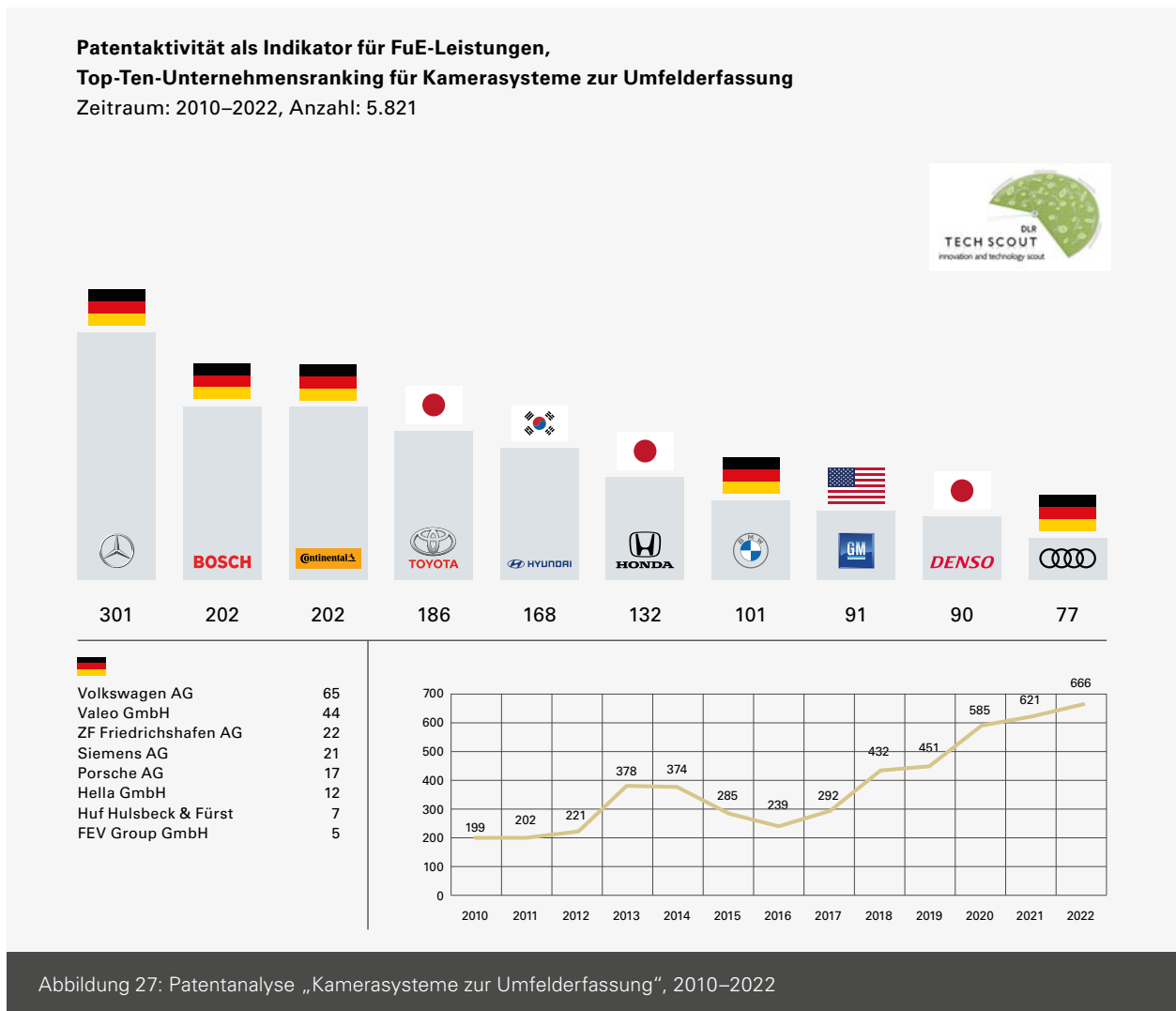


Abbildung 27: Patentanalyse „Kamerasysteme zur Umfelderkennung“, 2010–2022

Die bei FuE-Aktivitäten weltweit führende Institution ist die Mercedes-Benz Group AG mit 301 Patentfamilien im Portfolio. Auf Platz 2 und 3 folgen mit gleicher Patentanzahl (202) die Robert Bosch GmbH und Continental GmbH, aus deutscher Perspektive vervollständigen die BMW AG auf Platz 8 (101) sowie die Audi AG auf Platz 10 (77) die Rangliste. Bestplatziertes japanisches Unternehmen ist die Toyota Motor Corp. auf Rang 4 mit 186 Patenten, weitere japanische Institutionen sind mit Honda (Platz 6) und Denso (Platz 9) vertreten. Mit Hyundai auf Platz 5 und GM auf Platz 8 sind auch jeweils ein südkoreanisches und ein US-amerikanisches Unternehmen unter den zehn bestplatzierten Unternehmen zu finden. Auch weitere deutsche Unternehmen – v. a. OEM und Zulieferer – investieren in die Technologieentwicklung und schützen Erfindungen im

Bereich „Kamerasysteme zur Umfelderkennung“ über Patentanmeldungen. Unter den weiteren deutschen Institutionen können die Volkswagen AG (65 Patentfamilien), Valeo GmbH (44), ZF Friedrichshafen AG (22), Siemens AG (21), Porsche AG (17), Hella GmbH & Co. KGaA (12), Huf Hülsbeck & Fürst GmbH & Co. KG (7) sowie FEV Group GmbH (5) identifiziert werden.

**LiDAR-Systeme**

Zusätzlich werden LiDAR-Systeme (Light Detection and Ranging Systems) eingesetzt, die der optischen Abstands- und Geschwindigkeitsmessung dienen. Über das sogenannte Lichtlaufzeitverfahren können dabei reflektierte Lichtimpulse ausgewertet werden. Im Automobilbereich befinden sich bevor-

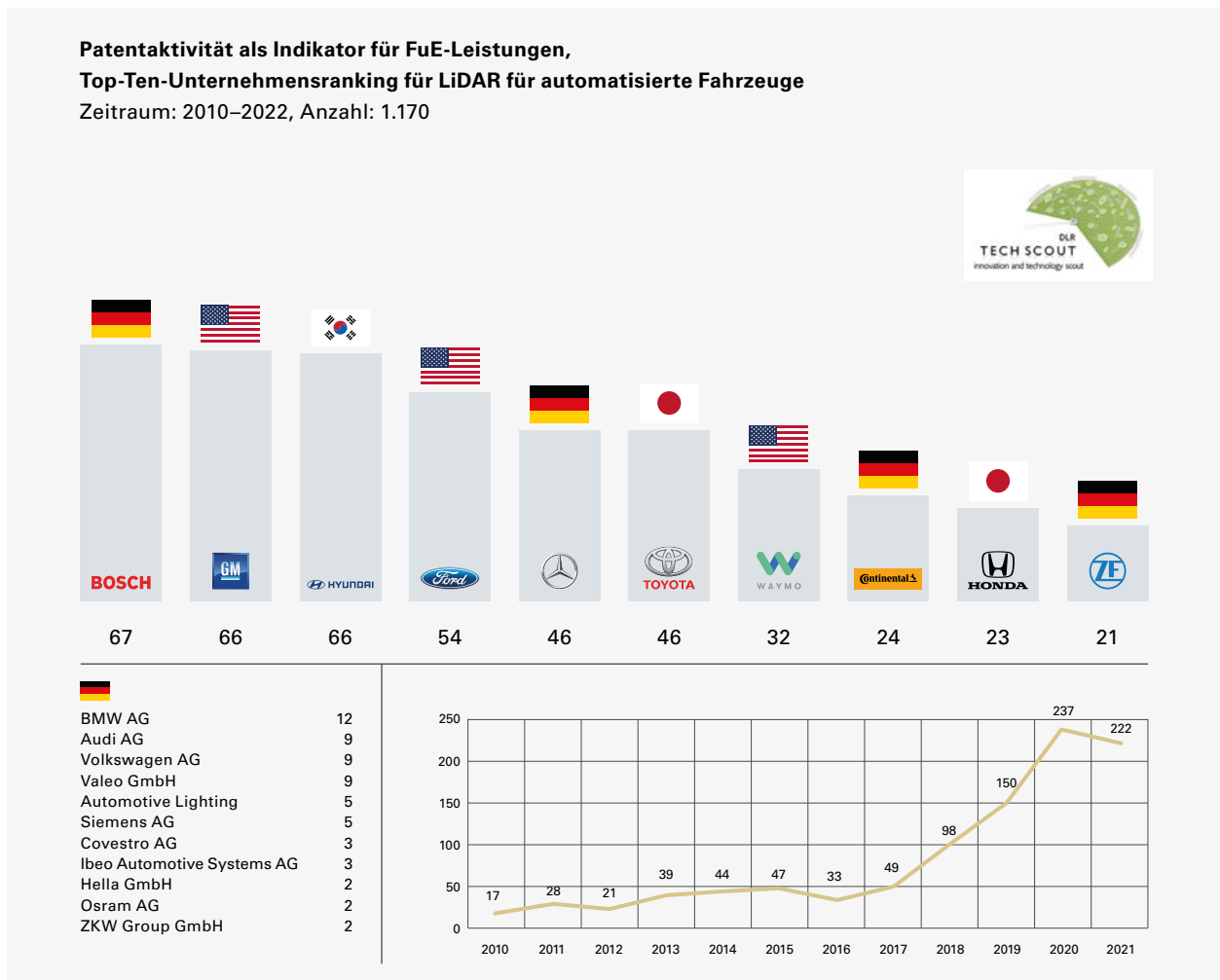


Abbildung 28: Patentanalyse „LiDAR für automatisierte Fahrzeuge“, 2010–2022

Quelle: DLR TechScout, 2022



zugt LiDAR-Systeme im Einsatz, die es ermöglichen, Objekte präzise in größeren Entfernungen auch bei Nacht, dreidimensional und mit hoher Auflösung zu erfassen.

Grundsätzlich bestehen LiDAR-Systeme aus einem Emitter, einem System zur Strahlformung und -steuerung sowie einem Sensor zur Erfassung des reflektierten Lichts. Unterschieden werden kann dabei zwischen Scanning- und Staring-Systemen, der Art und Weise, wie die Umgebung mit Laserlicht abgetastet wird (Linien vs. Raster), sowie, ob der Scanningprozess mit beweglichen oder unbeweglichen Teilen (z. B. Mikrospiegel) durchgeführt wird. Je nach Positionierung und Ausgestaltung kann ein LiDAR-Sensor bis zu 360 Grad rund um das Auto mit hoher Auflösung abdecken.

Der größte Nachteil des LiDAR-Systems sind die im Vergleich zu weiteren Umfellsensoren noch relativ hohen Kosten, ebenfalls muss die Systemzuverlässigkeit verbessert werden. Auch Packagingaspekte sind beim Einsatz im Pkw aufgrund der größeren Dimensionen der Komponente und des Einbauorts (z. B. im oberen Bereich der Windschutzscheibe bzw. im Kühlergrill) zu berücksichtigen.

Weitere Forschungsschwerpunkte liegen derzeit in der Verbesserung der Leistungseigenschaften der Bildgebung (u. a. Optical Faced Arrays, Flash-LiDAR), des Emitters (u. a. Erhöhung der Strahlungsenergie, Erweiterung der Wellenlängen) sowie des Detektors (neue Halbleitermaterialien und Photodioden).<sup>5</sup>

Die Analyse von FuE-Aktivitäten im Bereich „LiDAR für automatisierte Fahrzeuge“ zeigt eine ab dem Jahr 2016 stark ansteigende Tendenz. Insgesamt wurden im gesamten Zeitraum 2010 bis 2022 1.170 Patente weltweit angemeldet.

Die bei FuE-Aktivitäten und Patentanmeldungen weltweit führende Institution ist die Robert Bosch GmbH (Platz 1, 67 Patentfamilien), mit der Mercedes-Benz Group AG (Platz 5, 46), der Continental GmbH (Platz 8, 24) und der ZF Friedrichshafen AG (Platz 10, 21) sind drei weitere deutsche Unternehmen in den Top Ten weltweit vertreten. Bestplatziertes Unternehmen aus US-amerikanischer Sicht ist GM (Platz 2, 66), gefolgt von Ford (Platz 4, 54) und Waymo (Platz 7, 32). Ein südkoreanischer Automobilhersteller (Hyundai) folgt mit gleicher Patentzahl wie GM auf Platz 2 (66), japanische Unternehmen sind mit Toyota

(Platz 6, 46) und Honda (Platz 9, 23) in den Top Ten vertreten. Unter den weiteren deutschen Institutionen können die BMW AG (zwölf Patentfamilien im Portfolio), Audi AG, Volkswagen AG, Valeo GmbH (jeweils 9), Automotive Lighting GmbH, Siemens AG (jeweils 5), Covestro AG, Ibeo Automotive Systems GmbH (jeweils 3) sowie Osram GmbH und ZKW Group GmbH (jeweils 2) identifiziert werden.

### Ultraschallsensoren

Zur Messung der Distanz eines Objekts im unmittelbaren Umfeld (z. B. ein anderes Fahrzeug, eine Person, ein Bürgersteig) werden Ultraschallsensoren eingesetzt, die laufend kurzweilige Impulse aussenden. Über das Echolotprinzip wird die Laufzeit der ausgesendeten und reflektierten Signale ausgewertet und so die relative Entfernung zum Objekt ermittelt. Ultraschallsensoren bauen üblicherweise auf einer piezoelektrischen Keramik auf, die elektrisch angeregt und damit in einer bestimmten Frequenz in Schwingung versetzt wird. Die entstehenden Schallwellen werden nach Reflexion von der Piezokeramik wieder in elektrische Energie und digitale Signale umgewandelt. Der Aufbau und das Funktionsprinzip wurden über Jahre hinweg optimiert und haben sich bewährt. Ultraschallsensoren auf Basis einer Piezokeramik sind sehr kostengünstig in der Herstellung und weisen eine gute Witterungsbeständigkeit auf. Im Fahrzeug werden üblicherweise zwischen vier und sechs Sensoren jeweils im Front- und Heckbereich angebracht, um Funktionen der Parkhilfe oder Totwinkelerkennung zu ermöglichen.

### Kommunikation und Vernetzung

Die Kommunikation und Vernetzung der Fahrzeuge untereinander, mit anderen Verkehrsteilnehmer:innen und mit der Infrastruktur kann über unterschiedliche Technologien einer drahtlosen Datenübertragung erfolgen, die sich z. B. hinsichtlich Leistungsfähigkeit und Reichweite (Kurz-, Mittel- und Langstreckenkommunikation) unterscheiden. Generell differenziert werden kann in folgende Formen:

- Car2X – Fahrzeug mit Umwelt
- Car2Car – Fahrzeug mit Fahrzeug
- Car2Infrastructure – Fahrzeug mit Verkehrsinfrastruktur
- Car2Backend – Fahrzeug mit einem zentralen Rechenzentrum

<sup>5</sup> | Siehe hierzu im Detail auch: <https://www.transformationwissen-bw.de/technologiekalendar-app#>

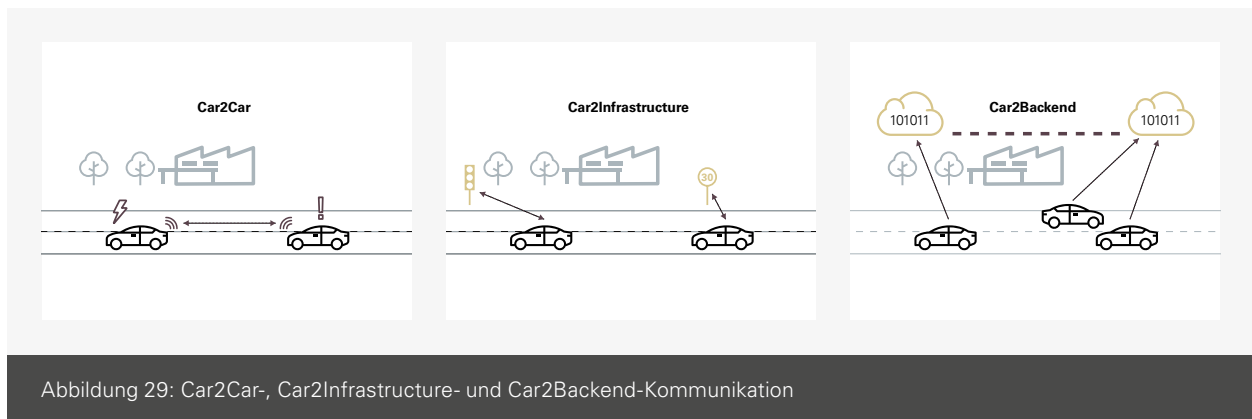


Abbildung 29: Car2Car-, Car2Infrastructure- und Car2Backend-Kommunikation

„Car2X-Kommunikation“ ist der Oberbegriff für diverse Kommunikationsverbindungen der Fahrzeuge mit der Umwelt. Der Ausdruck „Car2Car-Kommunikation“ bezeichnet eine direkte Informationsübermittlung zwischen Fahrzeugen, um den/die Fahrer:in frühzeitig über kritische oder gefährliche Situationen zu informieren. Der direkte Datenaustausch zwischen Fahrzeugen wird mittels eines WLAN- oder mobilfunkbasierter Standards umgesetzt. Wenn z. B. ein Fahrzeug auf einer unübersichtlichen Straße vor einem Hindernis gerade noch stoppen kann, warnt das nachfolgende Fahrzeug wenige Sekunden später automatisch, um eine rechtzeitige Reaktion ermöglichen und den Unfall ggfs. vermeiden zu können. „Car2Infrastructure“ bezeichnet die direkte Informationsübermittlung zwischen Fahrzeugen und straßennaher Infrastruktur. Hierbei handelt es sich z. B. um Lichtsignalanlagen oder intelligente Verkehrszeichen. Unter „Car2Backend“- bzw. mobilfunkbasierter Kommunikation ist die Informationsübertragung zwischen Fahrzeugen und Verkehrsleitzentralen sowie herstellereigenen oder -übergreifenden Backends zu verstehen. Beispielsweise können Erfassung und Vermittlung der Positionen von Tagesbaustellen erfolgen, so dass frühzeitige Umfahrungen möglich sind und damit Staubildungen vermindert werden können.

Die zur Kommunikation und Vernetzung notwendigen Komponenten und Systeme basieren in der Regel auf Mobilfunk- oder WLAN-Technologien. Diese müssen geeignete, möglichst unterbrechungsfreie Abdeckungsrate ermöglichen, zudem hohe Datenübertragungsraten und geringe Latenzzeiten auf Basis hoher und einheitlicher Sicherheitsstandards gewährleisten. Der Mobilfunkstandard „5G“ kann als Enabler hierfür dienen. Neben der Verbesserung der fahrzeugexternen Kommunikationsfähigkeit müssen gleichzeitig auch die fahrzeuginternen Fähigkeiten zur Datenübertragung verbessert werden.

Hierfür ist die Installation eines sogenannten „Automotive-Ethernet“ als Grundlage für eine lichtwellenbasierte, echtzeitfähige Erkennung, Verarbeitung und Interpretation der Daten vorgesehen.

### Navigation und Positionierung

Grundlage des automatisierten Fahrens sind Komponenten und Systeme, die eine möglichst exakte und fehlerfreie Navigation und Positionierung des Fahrzeugs ermöglichen. Zur Positionsbestimmung ist dabei die absolute Position im Koordinatensystem mit einer relativen Position im zugrundeliegenden, hochauflösenden (HD-)Karten- bzw. Straßennetz zu kombinieren. Ersteres erfolgt in der Regel über ein satellitengestütztes Empfangsmodul auf dem Fahrzeug, Letzteres kann auf Basis der Inertialsensorik des Fahrzeugs durchgeführt werden. Ebenfalls ist die Positionsbestimmung durch Kombination und Trilateration unterschiedlicher Kommunikationswege (z. B. WLAN/Mobilfunk) möglich und wird genutzt, um z. B. über die Umfeldsensorik ermittelte Positionen zu überprüfen und abzusichern. Die möglichst (zentimeter-)genaue Bestimmung der absoluten und relativen Fahrzeugposition in Verbindung mit Bewegungsvektoren des eigenen Fahrzeugs und der weiteren Verkehrsteilnehmer:innen ist grundlegende Voraussetzung für vollautomatisiertes und autonomes Fahren in einem vernetzten Mobilitätssystem.

Der Navigationsvorgang kann generell durch computergestützte Hardware entweder im Fahrzeug selbst oder von externen Systemen berechnet und über geeignete Schnittstellen in das Fahrzeug zurückgespielt werden.

### Elektronische Steuereinheiten

Elektronische Steuereinheiten bilden die Schaltzentrale des automatisierten Fahrsystems. Sie sind dafür zuständig, die Sensorsignale zu sammeln, zu interpretieren, auszuwerten und zu einem dreidimensionalen Bild zu verarbeiten. Auf dieser Basis wird in Sekundenbruchteilen die optimale Reaktion auf die gegebene Situation ermittelt und eine Entscheidung getroffen, wie das Fahrzeug diese am besten umsetzen kann. Herausforderung ist dabei insbesondere die Interpretation des unmittelbar möglichen Verhaltens einzelner Verkehrsteilnehmer:innen (die ggfs. nicht vernetzt sind), so dass eine mit hoher Wahrscheinlichkeit hinterlegte Prognose entsteht. Auf deren Basis und relativ zur eigenen Position und Bewegung wird dann das optimale Verhalten in komplexen Verkehrssituationen errechnet. Klar geregelte, standardisierte Mechanismen zur Signalisierung des geplanten Verhaltens sowie hochpräzise digitale Abbildungen des aktuellen Umfelds unterstützen bei der Entscheidungsfindung.

### Aktuatoren und „X-by-Wire“

Zur Realisierung autonomer Fahrfunktionen müssen Fahrzeuge zukünftig in der Lage sein, selbstständig und allein auf Basis elektrischer Impulse und elektronischer Signalübermittlung zu steuern. Die bislang üblicherweise mechanisch oder hydraulisch gesteuerten bzw. gesicherten Systeme wie Antriebs-, Brems-, Lenk- und Fahrwerksysteme werden so zukünftig bei autonom fahrenden Fahrzeugen vollständig durch mechatronische oder elektronische Komponenten ersetzt.

Aktuatoren setzen hierfür generell elektrische Signale in eine mechanische Bewegung um und steuern so beispielsweise die Entriegelung des Kofferraums oder das Öffnen und Schließen eines Ventils. Elektrisch arbeitende Aktuatoren werden bevorzugt zur Umsetzung von Automatisierungs- und Assistenzfunktionen eingesetzt. Der vollständige Ersatz einer mechanischen oder hydraulischen Steuerung durch eine rein elektronische wird als „X-by-Wire“ bezeichnet. Dies kann auch bei sicherheitsrelevanten Systemen wie der Fahrantriebssteuerung (Drive-by-Wire), Bremssteuerung (Brake-by-Wire) oder Lenksteuerung (Steer-by-Wire) erfolgen, jedoch müssen diese dann (mehrfach) redundant ausgelegt werden. Vorteile des Einsatzes von „X-by-Wire“-Systemen sind die Reduzierung von Gewicht und Volumen durch wegfallende mechanische, hydraulische oder pneumatische Komponenten und die Möglichkeit, rein softwarebasierte Verbesserungen und/oder Funktionserweiterungen vornehmen zu können.

### 2.2.3 Neue Mobilitätsdienste und Geschäftsmodelle

Die Markteinführung hoch automatisierter oder sogar autonom fahrender Pkw wird für einen Zeitraum zwischen 2025 und 2035 projiziert (siehe auch Kapitel 4.8). Damit ergeben sich neue oder veränderte Mobilitätsdienstleistungen und Geschäftsmodelle. Die vorliegende Studie behandelte in den vorigen Kapiteln den technologischen Wandel und widmet sich im folgenden Kapitel 2.3 die Veränderungen der Automobilproduktion. Dieses Unterkapitel vervollständigt die Darstellung des sektoralen Wandels mit neuen Mobilitätsdiensten sowie Geschäftsmodellen (Geschäftsmodellinnovationen) und deren Trends.

Im Weiteren werden zuerst ausgewiesene Trends bei Mobilitätsdienstleistungen, die durch zukünftig höher automatisiert oder vollständig autonom fahrende Fahrzeuge ermöglicht oder verbessert werden, beschrieben. Anschließend erfolgt die Darstellung von Potenzialen neuer Geschäftsmodelle und aktueller Aktivitäten aus Perspektive der Unternehmen Bosch, Mahle, ZF, BMW, Mercedes-Benz und Porsche.

#### Möglichkeiten durch neue Mobilitätsdienste

Automatisierung und Vernetzung können dazu beitragen, Mobilität effizienter, sicherer, umweltfreundlicher und nutzer- bzw. bedarfsgerechter zu gestalten. Dies gilt für den motorisierten Individualverkehr, den Güterverkehr, den öffentlichen Personenverkehr sowie für neue Lösungen und Geschäftsmodelle an den Schnittstellen dieser Verkehrsarten. Sie könnten zu einer Erschließung neuer Geschäftsfelder und einer Ausweitung des Angebots an Mobilitätsdienstleistungen führen.

Eine Verbesserung von Verkehrseffizienz und -sicherheit kann beispielsweise durch neue Formen der Organisation und **Steuerung des Verkehrsflusses** erreicht werden, insbesondere in Ballungsgebieten. Durch die ständige Vernetzung der Verkehrsteilnehmer:innen und aktuelle Informationen zu den Verkehrswegen und -lagen können kooperative und aufeinander abgestimmte Verkehrssituationen geschaffen werden, die über eine Optimierung der Fahrzeugverteilung individuelle Vorteile für die einzelnen Verkehrsteilnehmer:innen ermöglichen. So ist es möglich, Reisezeit einzusparen, den Reisekomfort zu erhöhen und gleichzeitig auch Energieverbrauch und Emissionen aus dem Verkehrssektor zu reduzieren.

Ein optimiertes und vernetztes Verkehrssystem bietet außerdem die Möglichkeit, aktuelle Informationen zu **lokalen Gefahrenstellen** (z. B. Schlaglöcher, vereiste Fahrbahnen, Stauenden, Unfälle) in Echtzeit weiterzugeben, so dass die Verkehrsteilnehmer:innen frühzeitig informiert und ggfs. Ausweichrouten definiert werden können. Eine Herausforderung stellt dabei der Übergang vom derzeitigen Zustand nicht oder nur teilvernetzter Fahrzeuge zur vollen Vernetzung dar, weil das Gesamtsystem nur bei möglichst flächendeckender Ver-

netzung aller Elemente optimal umgesetzt werden kann. Beachtet werden muss das beispielsweise bei der Ergänzung des öffentlichen Verkehrs mit autonomen Shuttles, wie dies bereits zahlreiche Projekte auch in Baden-Württemberg erproben. Wichtige Erkenntnisse über die verkehrlichen Wirkungen ergab beispielsweise die Begleit- und Wirkungsforschung „bwirkt“ im Testfeld Autonomes Fahren Baden-Württemberg in Karlsruhe, Bruchsal und Heilbronn (e-mobil BW, 2022e).

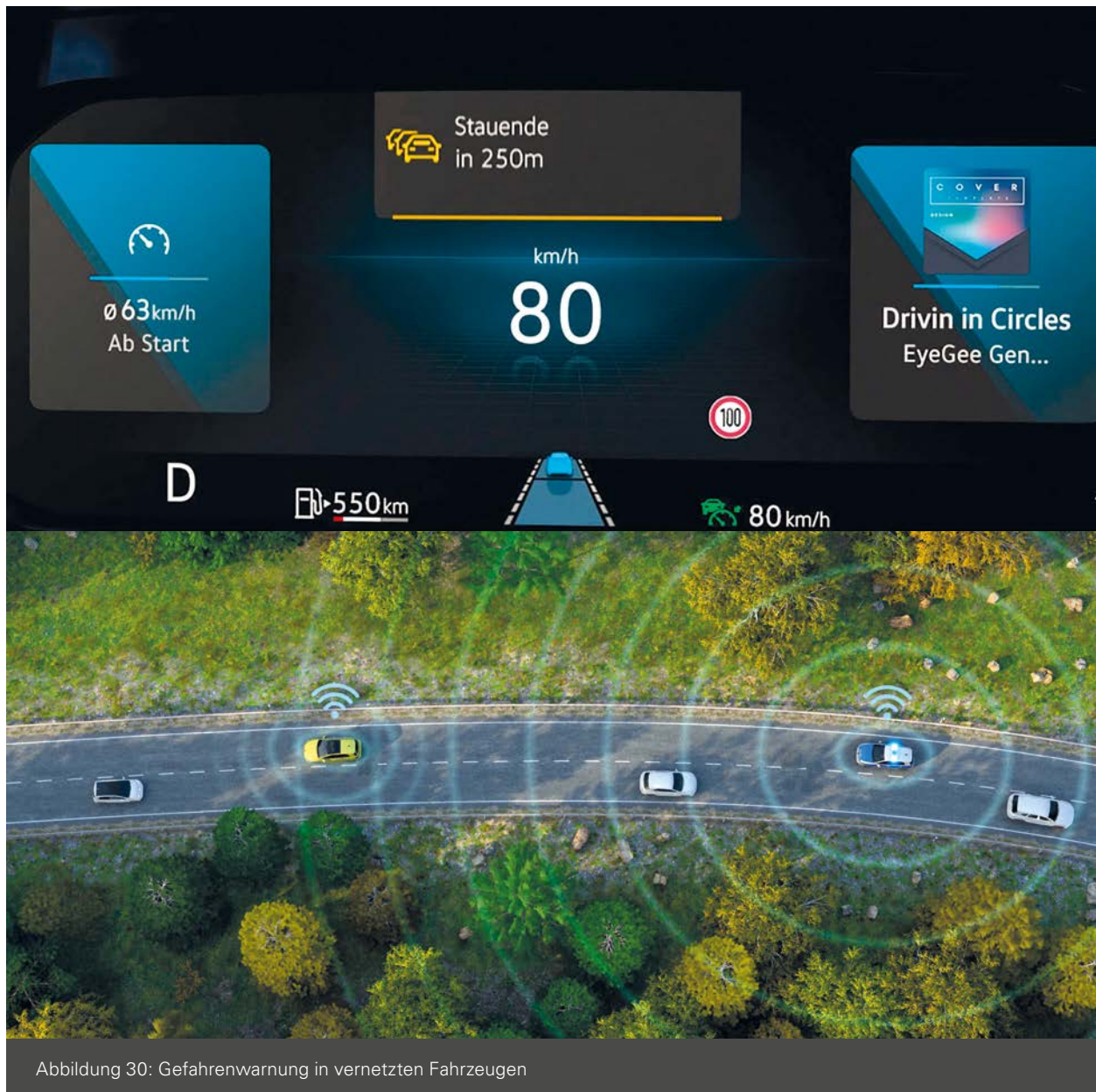


Abbildung 30: Gefahrenwarnung in vernetzten Fahrzeugen

Quelle: Volkswagen AG, 2020



Auch der Lkw- und Güterverkehr kann durch neue Formen der Vernetzung der Fahrzeuge profitieren: Beim sog. **Platooning** können dicht hintereinanderfahrende Fahrzeuge elektronisch zu einer Gesamteinheit gekoppelt und im Verband vom manuell gesteuerten Fahrzeug geführt werden. Hoch automatisierte Systeme stellen die Kommunikation zwischen den Fahrzeugen und das korrekte Verhalten der einzelnen Einheiten im „Schwarm“ sicher. Generell ist dieses Konzept auch bei Pkw und auch in urbanen Umfeldern anwendbar. Neben Komfort- und Sicherheitsvorteilen auf langen Strecken ist durch verbesserte Aerodynamik bei Kolonnenfahrt auch eine Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs möglich. Zudem ist durch die geringeren Abstände der Fahrzeuge auch generell eine Steigerung der Kapazitätsauslastung auf den Straßen umsetzbar.

Digitalisierung ermöglicht zudem neue Formen des **Carsharings**: An der Schnittstelle von Individual- und öffentlichem Personenverkehr bietet Carsharing die Möglichkeit eines umweltschonenderen Verkehrsverhaltens und stellt aufgrund seines Potenzials zur Nutzungsintensivierung und angesichts der Entkopplung vom persönlichen Autoeigentum einen Ansatz dar, der sich an dem Nachhaltigkeitsleitbild „Nutzen statt Besitzen“ orientiert. In ursprünglicher Form des Carsharings war es üblich, das Fahrzeug ähnlich wie einen Mietwagen von einer Station abzuholen, zu nutzen und danach wieder dort abzugeben. Im weiteren Ansatz „free-floating“ sind die Fahrzeuge nicht an festgelegten Verleihstationen positioniert, sondern frei über das Geschäftsgebiet verteilt. Nutzer:innen können das nächstgelegene Fahrzeug über die entsprechende Smartphone-App lokalisieren und spontan mieten. Sie müssen sich zu Mietbeginn weder auf eine Rückgabezeit noch auf einen Rückgabeort festlegen, sondern können das Fahrzeug nach der Nutzung auf einem beliebigen Parkplatz im Stadtgebiet abstellen. Da es sich bei free-floating um ein innerstädtisches Mobilitätskonzept für Kurzzeitmieten handelt, erfolgt die Abrechnung im Minutentakt und beinhaltet gefahrene Kilometer, Versicherung, Kraftstoff und Parkgebühren; Nutzer:innen zahlen in der Regel eine einmalige Registrierungsgebühr.

Eine Unterform des Sharing-Ansatzes ist auch **Rideselling** (Fahrdienstvermittlung): Hier werden Fahrdienstanbieter und -kund:innen über eine zentrale Plattform vernetzt. Der Fahrdienstvermittler „Uber“ ist dafür ein prominentes Beispiel. Dessen Angebot an Mobilitätsdienstleistungen ist breit gefächert: von Hubschrauberfahrten über Einkaufsdienste bis hin zu Essenslieferungen. Ihnen allen gemein ist ein sog. Surge-Preis-Modell, d. h. die dynamische Preisgestaltung, die Fahrten

bei starker Nachfrage deutlich teurer werden lässt. Als weitere Form des Sharing ist das sog. **Ridesharing** (auch Carpooling) zu nennen. Hierbei bieten Privatpersonen Mobilitätsdienste im eigenen Pkw an. Internetbasierte Mitfahrzentralen bilden hier Plattformen zur Vermittlung von Mitfahrangelegenheiten. Eine der führenden digitalen Plattformen ist mit über 90 Mio. Nutzer:innen BlaBlaCar (BlaBlaCar, 2022). Der Einsatz von Algorithmen zur Berechnung optimierter Fahrtstrecken und bestmöglicher Treffpunkte in Echtzeit auf Basis der von Anbieter und Nutzer:innen zur Verfügung gestellten Daten soll die bedarfsorientierte Ausrichtung weiter erhöhen.

In einem weiteren Schritt können in Verbindung mit autonomen Fahrfunktionen bereits erste Aktivitäten festgestellt werden, die ein Potenzial von autonomen Fahrzeugen für alle genannten Mobilitätsdienste darstellen (Grimm und Pfaff, 2022). Das AVFMS (Fleet Management System for Autonomous Vehicle) von LG zum Beispiel ist eine integrierte Mobilitätsdienstplattform, die auf Echtzeit-Statusmanagement und integrierten Steuerfunktionen basiert, um das sichere Fahren von autonomen Fahrzeugen zu unterstützen – und kann auch durch die Integration mit verschiedenen anderen Diensten zum autonomen Carsharing-Dienst erweitert werden (LG CNS, 2023).

Wesentlich für den Erfolg des Carsharings ist dessen Einbindung in eine intermodal verknüpfte Mobilität, die flexible Übergänge zu unterschiedlichen Verkehrsträgern ermöglicht. Die Digitalisierung bietet dabei Zugänge zu einer besseren Vernetzung der unterschiedlichen Verkehrsmittel und einer vereinfachten Abrechnung über z. B. Apps oder Mobilitätskarten. Ein so verstandenes Konzept **Mobility as a Service (MaaS)** beinhaltet bedarfsorientierte Mobilitätsdienstleistungen, die unterschiedliche Transportoptionen (z. B. Car- und Ridesharing, ÖPNV, Taxi, Mietwagen) in Kombination nutzen, um optimale Angebote zur Befriedigung individueller Mobilitätsbedürfnisse zu generieren. Diese können je nach Nutzerpräferenz nach unterschiedlichen Kriterien (z. B. Reisezeit, Reisekosten, CO<sub>2</sub>-Ausstoß) in Echtzeit geplant und über verschiedene Verkehrsträger hinweg umgesetzt werden. Als Teil eines MaaS-Konzepts kann auch **Demand-Responsive Transport** verstanden werden. Er basiert auf dem Prinzip des Ridepoolings, bündelt Fahrtwünsche individueller Fahrgäste innerhalb eines bestimmten Gebiets und passt dynamisch Routenoptionen an. Mit hoher Flexibilität und ggfs. unabhängig von fest installierten Haltestellen können so u. a. Komfortvorteile für Nutzer:innen ermöglicht werden (Scheier et al., 2021).

Auch öffentliche Verkehrsunternehmen sehen sich als potenzielle Anbieter neuer Mobilitätsdienstleistungen. Mit dem Ausbau der Informationstechnik sind in immer größerem Umfang anbieterübergreifend Informationen zu durchgehenden Reiseketten oder zur Verfügbarkeit von Verbindungen nutzbar. Denkbar werden hier neue Optionen neben dem Taktfahrplan, bei denen stärker nach Bedarf gefahren wird, und neue Abrechnungslösungen. Allerdings entsteht zusätzlicher Aufwand für die technischen Lösungen zum Datenaustausch und für die regelmäßige Informationspflege. Inwieweit öffentliche Verkehrsunternehmen einen damit möglicherweise verbundenen Trend zu weiterer Flexibilisierung und Individualisierung bedienen können, ist offen.

### Neue Geschäftsmodelle bei Automobilherstellern und -zulieferern

Die Automobilhersteller können über den gesamten Lebenszyklus eng mit ihrem Produkt verbunden sein, auch während der Nutzungsphase, da die Fahrzeuge jederzeit Informationen zum Zustand an eine Zentrale senden können. Dieses Wissen ermöglicht neue Angebote und über zusätzliche Services potenzielle Einnahmequellen. Auch Werbung im Fahrzeug wird

als potenziell großes Geschäftsmodell angesehen. Mit dem neuen Wissen über Kund:innen und ihre Vorlieben, typische Fahrtwege oder auch die aktuelle Position, kann Werbung zielgerichtet und personalisiert eingesetzt werden.

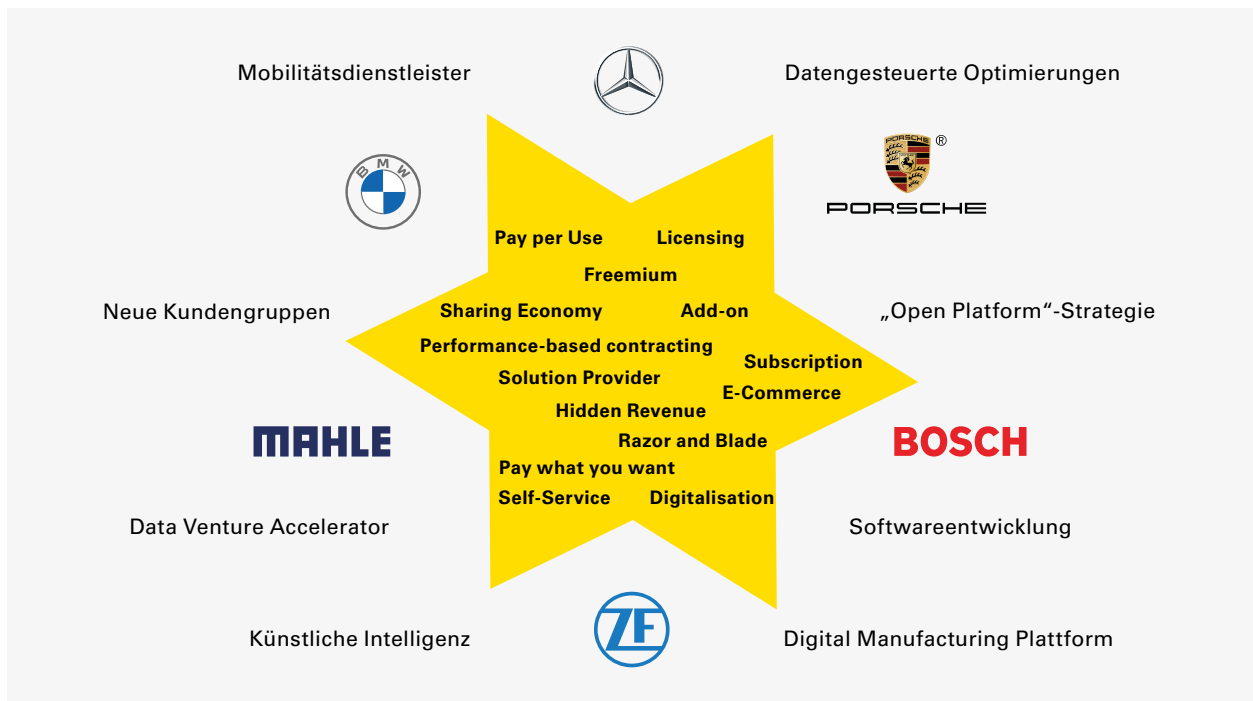
Die Beispiele und Ansätze zeigen, dass sich durch die Digitalisierung, den Zugang zu Daten und die Geschwindigkeit der Veränderung sehr schnell neue Geschäftsmodelle durch Start-ups und kreative Ideen entwickeln lassen. Diesem speziellen Ansatz wird allgemein eine hohe Bedeutung beigemessen und alle größeren Stakeholder befassen sich mit dieser Option. Insgesamt ist zu erwarten, dass die Vernetzung und die Automatisierung des Fahrens durch die Zunahme von Assistenzsystemen und zugehörigen Diensten zu einer Erhöhung der Wertschöpfung im Automobilbau führen. Nach einer Studie der Unternehmensberatung Deloitte soll der Markt für autonome Fahrdienste allein in Deutschland 2035 bis zu 16,7 Milliarden USD Umsatzpotenzial erreichen (Deloitte, 2019).



Abbildung 31: Vier Dimensionen einer Geschäftsmodellinnovation

Mit der fortschreitenden Digitalisierung und Vernetzung der Fahrzeuge entsteht eine Vielzahl neuer Mobilitätsdienstleistungen und -angebote, die Geschäftspotenziale auch für neue Anbieter ermöglichen. In ihren Geschäftsberichten stellen die OEM und Tier-1-Zulieferer neue Wertschöpfungspotenziale beim Ausbau digitaler Produkte und Dienstleistungen dar. Während die Ansätze der Automobilhersteller stärker auf die optimale Gestaltung der Endkundenbeziehung ausgerichtet sind (z. B. Remote Software Upgrades, „Functions on Demand“), geraten die neuen Geschäftsmodellinnovationen entlang der klassischen Wertschöpfungskette bis hin zu neuen Mobilitätsdienstleistungen in den Fokus neuer Dienstleister, etablierter branchenfremder Unternehmen bis hin zu Kommunen. Bei BMW ist es beispielsweise bereits möglich, dass Kund:innen mithilfe von Remote Software-Upgrades weitere Funktionen freischalten und für einen bestimmten Zeitraum buchen können. Neue, digitale Geschäftsmodelle wie „Functions on Demand“ machen dies möglich (BMW, 2022). Ebenso zielt auch Mercedes-Benz mit dem Ausbau digitaler Produkt- und Dienstleistungsportfolios auf ein besseres digitales Kundenerlebnis ab (Mercedes-Benz, 2022a). Beim Zulieferer ZF werden mithilfe der Microsoft Cloud-Computing-Plattform Azure neue Produkte und Geschäftsmodelle entwickelt, die beispielsweise

Betriebskosten der öffentlichen Hand senken, die Sicherheit und die Kundenzufriedenheit verbessern oder die Überwachung des Straßen- und Schienenzustands ermöglichen (ZF, 2021). Mit dem „Data Venture Accelerator“ als weltweitem Hub für das Data Business möchte sich ZF zum Anbieter und Anwender von datenbasierten Produkten und Services weiterentwickeln. Auch der Stuttgarter Zulieferer Mahle richtet seine gesamte Strategie auf fünf Megatrends aus: Klimawandel, fortschreitende Urbanisierung (und Veränderung des Mobilitätsverhaltens), globales Wachstum der Bevölkerung, ökologische Nachhaltigkeit und zunehmende Digitalisierung (Mahle, 2022). Ein weiteres Beispiel von Geschäftsmodellinnovation zeigen Bosch und die Mercedes-Benz Group AG, die die Zulassung für ein vollautomatisches Parksystem (SAE-Level 4) im Pilotparkhaus am Stuttgarter Flughafen erhalten haben und damit sowohl mit den Endkund:innen (derzeit beschränkt auf S-Klasse-Fahrer:innen) als auch mit dem Parkhausbetreiber neue Wertschöpfung generieren können (Mercedes-Benz, 2022b). Dieses sogenannte Automated Valet Parking (AVP) wird weltweit erstmals in der Region Stuttgart eingesetzt (VDA, 2022a und 2022b; Exp.) Damit können Fahrer:innen das Fahrzeug vor dem Parkhaus in der „Drop-off-Zone“ verlassen, das Fahrzeug parkt selbstständig im Parkhaus ein und kommt



Quelle: DLR und IMU, 2023

Abbildung 32: Geschäftsmodellentwicklung ausgewählter Automobilunternehmen

– zu einer festgelegten Uhrzeit oder nach einem spontanen Ruf – zurück in die Pick-up-Zone. Auch der Zahlvorgang ist automatisiert, Kameras des Parkhauses erkennen das Fahrzeug und berechnen Gebühren über hinterlegte Zahlungsinformationen. Perspektivisch sollen im AVP auch weitere Services wie Laden oder Fahrzeugwäsche nutzbar werden.

Hinsichtlich der internen und externen Dimension beim Ausbau neuer Geschäftsmodelle zeigen sich zwei Trends: In der internen Dimension aller sechs Unternehmen scheint der Aufbau eigener digitaler Kompetenzen eine besondere Relevanz zu haben, um den Kulturwandel im Unternehmen bestmöglich gemeinsam voranzutreiben zu können und von Digitalkonzernen unabhängiger zu werden. Außerdem zeigt sich der Trend, externe Partnerschaften (z.B. vermehrte Kooperationen mit Start-ups, neue Joint Ventures, Technologiepartnerschaften) aufzubauen, um etwa datengesteuerte Optimierungen schneller voranzutreiben oder Potenziale in der Vernetzung der mobilen Wertschöpfung effizienter bewerkstelligen zu können (vgl. auch e-mobil BW, 2022a). Um eine virtuelle Plattform mit anderen Herstellern, Systemlieferanten und Technologiepartnern voranzutreiben, wurde das Catena-X Automotive Network gegründet (BMW, 2022). Catena-X verfolgt das Ziel, transparente Daten- und Informationsflüsse in der gesamten automobilen Wertschöpfungskette zu schaffen. Wenn ein Auto aus dem Verkehr gezogen wird, sollen Hersteller, Zulieferer und Recyclingunternehmen über die Plattform genaue Informationen über die verwendeten Rohstoffe und Komponenten erhalten. Ziel ist es, die Recyclingquote von derzeit 20 % deutlich zu steigern (Catena-X-Automotive-Network, 2021a). Ein weiteres Beispiel ist IONITY, das den Aufbau und Betrieb von Hochleistungs-Ladestationen (High-Power Charging) innerhalb Europas betreibt und ein Joint Venture der Automobilhersteller BMW Group, Ford Motor Company, Hyundai Motor Group, Mercedes-Benz AG und Volkswagen Group mit Audi und Porsche sowie BlackRock als Finanzinvestor ist (IONITY, 2022). Der BMW-Geschäftsbericht (BMW AG, 2022) nennt als Tätigkeitsfeld neben Entwicklung, Produktion und Vertrieb innovativer Premiumautomobile und -motorräder ebenso Finanz- und Mobilitätsdienstleistungen als deren Geschäftstätigkeit und betont, dass das Mobilitätsverhalten der Gesellschaft sich weiterhin verändern wird. Carsharing in Deutschland ist mit 3,39 Mio. Fahrberechtigten und bundesweit mehr als 30.000 CCarsharing-Fahrzeugen von insgesamt 243 Anbietern ein weiterhin wachsender Markt (Bundesverband CarSharing, 2022). Dennoch sind Mercedes-Benz und BMW aus dem Carsharing ausgestiegen und verkauften 2022 ihr Joint Venture SHARE NOW an Stellantis, das sich als führender Carsharing-

Anbieter positionieren möchte. Dennoch bleibt der Mobilitätsdienst Free Now weiterhin bestehen, da sich die beiden Premiumhersteller damit künftig auf Ladeservices von E-Autos und einen Mobilitätsdienst fokussieren wollen. Der Mobilitätsdienst in Form einer App ermöglicht es den Kund:innen, ein Taxi, ein Carsharing-Auto, einen E-Scooter/E-Moped oder auch ein ÖPNV-Ticket in einer App zu buchen (Handelsblatt, 2022b).

## 2.3 Automobilproduktion 4.1

Die Automobilindustrie steht unter anhaltendem Rentabilitäts- und Wettbewerbsdruck, der sie zu regelmäßiger Erneuerung der Produktion zwingt. Zentrale Trends (VDA, 2021) sind die anhaltende Effizienzsteigerung in der Produktion, die Ausdifferenzierung von Produktionsnetzwerken in den drei wichtigen Weltmärkten sowie die Erfassung und Verarbeitung von Daten in den Produktionssystemen. Zudem treiben die Unternehmen die Umstellung auf eine CO<sub>2</sub>-neutrale Produktion voran. Die Unternehmen der Automobilindustrie stehen dabei im Spannungsfeld zwischen einer hohen Variantenzahl bei gleichzeitiger Verringerung oder zumindest Bewältigung der Komplexität. So werden auf den Weltmärkten voraussichtlich zumindest noch bis 2035 mehrere Antriebskonzepte parallel gefertigt und Kund:innen erhalten individualisierte Endprodukte, während gleichzeitig Modularisierung und Standardisierung (insbesondere durch Plattformkonzepte) zur Komplexitätsreduktion genutzt werden. Ausgehend von der Fahrzeugproduktion werden zunächst Trends in der Produktion und der Aufbau paralleler Produktionsnetzwerke beschrieben. Es folgt die Digitalisierung des Produkts und der Produktion, das Kapitel schließt mit einer kurzen Darstellung aktueller Herausforderungen in der Produktion durch Klimaneutralität und Nachhaltigkeit ab.

### Innovationen im Produktionsprozess

Die baden-württembergische Automobilindustrie gilt nicht nur in Bezug auf die Produkte, sondern auch in Bezug auf die Produktionsverfahren als hochinnovativ. Große Herausforderungen bestehen im Wechsel von Verbrennungsmotoren hin zu elektrifizierten Antriebssträngen mit dem parallelen Aufbau neuer Produktionsverfahren, in angepassten Globalisierungsstrategien (Handelsunsicherheiten, Abhängigkeiten bei Rohstoffen und Vorprodukten, Lieferkettenstörungen) sowie in einer schwierigen wirtschaftlichen Gesamtsituation (nach Pandemie und mit dem Krieg in der Ukraine) und in der kritischen Energieversorgung (CO<sub>2</sub>-Neutralität, Unsicherheiten in der Energieversorgung, steigende Energiekosten).



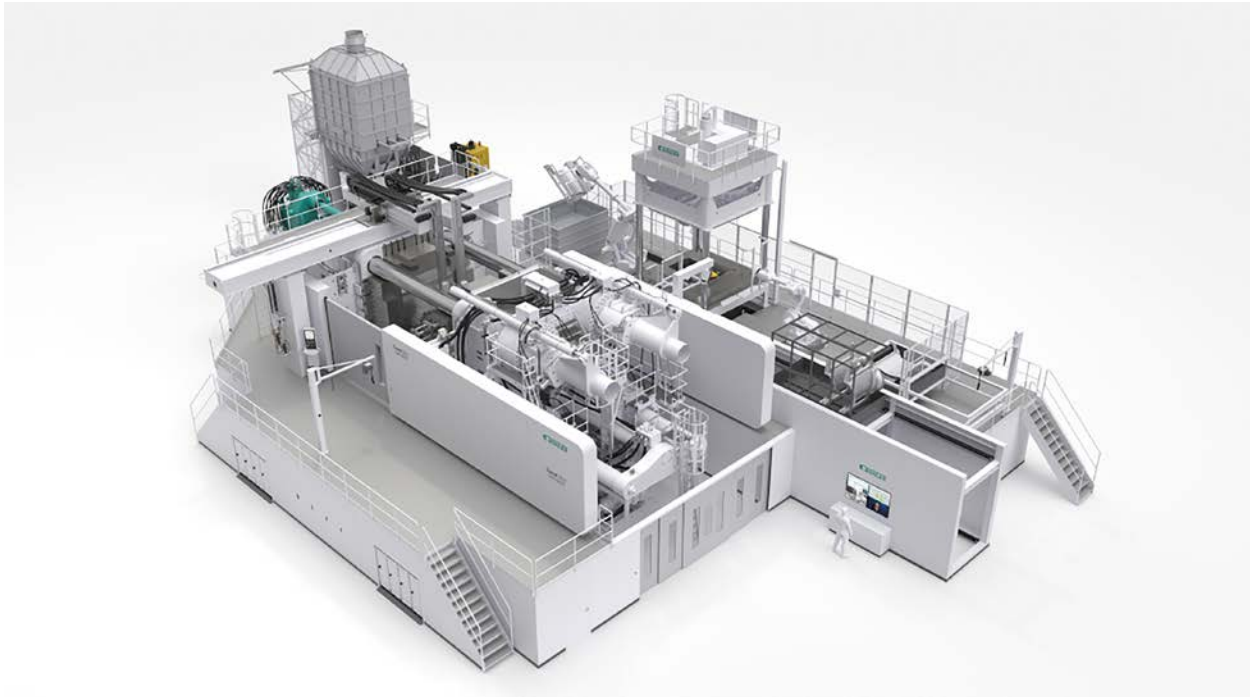
Die Optimierung der gesamten Wertschöpfungskette findet fortlaufend durch die anhaltende Automatisierung der Produktion (beispielsweise im Karosseriebau oder in der Lackiererei) und Abstimmungen entlang der Lieferkette statt (VDA, 2021; Fhg IPA, 2019). Neben der Umsetzung von Produktinnovationen sind damit Effizienzsteigerungen und – insbesondere durch die Digitalisierung – eine schnelle Umsetzung von Produktionsänderungen verbunden. Die verschiedenen Aspekte dieser Erneuerung werden im Folgenden beschrieben. Erneuerungen der Automobilproduktion sind an Modellwechsel gekoppelt, weil dafür die Produktionsanlagen bisher regelmäßig neu aufgebaut wurden.

In der Produktion reicht der Verbesserungs- und Innovationsdruck von den etablierten Produktionsverfahren bis hin zu immer größeren Einsatzbereichen additiver Fertigung. Die Kompetenzen liegen bislang in der Metallverarbeitung und -bearbeitung: Metallguss beispielsweise für Motorblöcke und Kurbelwellen, die Umformung von Blechen für Karosserien, die Zerspanung und Oberflächenbearbeitung der Gussteile in der weiteren Bearbeitung der Motorblöcke, Fügetechniken wie Schweißen und Kleben sowie die Montage. Insbesondere im elektrifizierten Antriebsstrang verlieren Zerspanen und Montieren gegenüber Umformung und Zusammenfügung der Metallteile an Bedeutung. Einen weiteren Perspektivwechsel bringt die „additive Fertigung“ – auch 3D-Druck genannt – ein: Während in den etablierten Verfahren in der weiteren Bearbeitung Material entfernt wurde, werden Teile mit den additiven Verfahren durch die Hinzufügung von Material erstellt, indem Schicht für Schicht Material aufgetragen oder ein Metallgranulat per Laser geschmolzen wird. Dadurch können komplexe Teile (beispielsweise mit innenliegenden Stützstrukturen) in einem Arbeitsgang hergestellt werden. Allerdings sind diese Verfahren im Vergleich zu den klassischen Produktionsverfahren sehr zeitaufwendig; je größer die Teile werden, desto weniger eignen sich die additiven Verfahren für die Produktion großer Stückzahlen. Einsatzbereiche liegen derzeit vor allem bei Hilfsmitteln für die Produktion wie z. B. Greifern für Roboter und bei Ersatzteilen.

Begleitet werden die Neuerungen in der Produktion durch Änderungen bei den Produktionsabläufen mit flexiblerer Fertigung: Unter dem Stichwort „Losgröße 1“ wird das Ziel einer hochflexiblen Fertigung beschrieben, bei der mit minimiertem Aufwand beim Umrüsten sehr geringe Stückzahlen bzw. Einzelstücke gefertigt werden können. Das erfordert eine Anpassung der werksinternen Logistik bei der Materialbereitstellung und dem Transport der Fertigungsteile/Fahrzeuge,

durch die die benötigten Teile passgenau den jeweiligen Produktionsschritten zugeliefert werden, beispielsweise teilt sich eine Montagelinie auf, damit Verbrennungs- bzw. Hybridmotor und batterieelektrische Antriebsstränge in das Fahrzeug eingefügt werden können (e-mobil BW, 2022a; Fhg IPA, 2019). In der Produktion wurden insbesondere mit der Übernahme des Konzepts der Lean Production durch deutsche OEM und Zulieferer in den 1990er Jahren regelmäßig Programme zur Effizienzsteigerung und Kostensenkung aufgelegt (das Konzept wurde von Toyota in den 1950er Jahren entwickelt). Regelmäßige Preiskalkulationen, die vertraglich von den OEM eingeforderte Weitergabe von Rationalisierungseffekten und der (konzern-)interne und externe Wettbewerb von Produktionsstandorten erzwingt diese ständige Effizienzsteigerung (Stieler und Schwarz-Kocher, 2022). Gleichzeitig bringen die Zulieferer in dieser regelmäßigen Erneuerung ihre Produktionskompetenz in Produktinnovationen ein, so dass für Baden-Württemberg von einem Innovationscluster der industriellen Produktion gesprochen werden kann (e-mobil BW, 2019a).

Für eine anhaltende Rationalisierung streben Hersteller beispielsweise nach zunehmend größeren Gussteilen, die mehrere Einzelteile und Fügetechnik ersetzen sollen und durch die Reduzierung von Fertigungsschritten weitere Effizienzvorteile versprechen. Volvo und Tesla beispielsweise setzen bereits „Giga-Press“-Anlagen ein, die in einem Arbeitsgang bis zu 130 kg schwere Bauteile für das Fahrzeuggestell fertigen können, bei denen drei Bauteile über 100 Teile ersetzen (Automobil Industrie, 2023; Idra, 2021). Allerdings erfordern diese Anlagen auch Anpassungen bei den folgenden Arbeitsschritten, um sowohl die schweren Teile als auch die schwereren Werkzeugformen zu handhaben. Volkswagen ersetzt mit einem großen Heckbauteil 30 Einzelteile gegenüber der bisherigen Fertigung, als einer der ersten Zulieferer setzt Handtmann in Biberach eine der „Mega-Casting-Anlagen“ ein, um beispielsweise Batteriegehäuse oder große Bauteile im Unterboden eines Fahrzeugs zu fertigen (Automobil Industrie, 2022).



Quelle: Idra Srl, 2022

Abbildung 33: Eine Gigapresse des Herstellers Idra Srl

### Globale Produktionsnetzwerke

Die Rolle deutscher bzw. baden-württembergischer Standorte in zunehmend globalisierten Wertschöpfungsketten wurde und wird im Konzept des „Leitwerks“ als Muster für ausländische Konzernstandorte zusammengefasst: Produktanläufe und neue Produktionsverfahren wurden hier eingeführt und erst die erprobte Produktion bzw. etablierte Standards werden dann auf ausländische Standorte ausgerollt (z. B. Kinkel und Zanker; 2007; Winter, 2006). Doch nach Jahrzehnten mit zunehmender internationaler Verflechtung haben die letzten Jahre mit der Pandemie, den gestörten Lieferketten und zuletzt mit dem Krieg in der Ukraine möglicherweise eine Trendwende hin zu einer stärkeren „Regionalisierung“ gefördert. Als Maßstab für die Lokalisierung regionaler Produktionsnetzwerke gelten dabei die drei großen Weltmarktregionen Europa, Asien (mit China als weltweit wichtigstem Einzelmarkt) und Nordamerika. Bisherige Globalisierungsstrategien sahen eine Arbeitsteilung von globaler Produktion nahe den jeweiligen Absatzmärkten und einem Schwerpunkt bei Forschung und Entwicklung, Organisation sowie Verwaltung in Deutschland vor (vgl. VDA, 2022c). In dem zunehmend verfolgten Muster des „local for local“ sind Entwicklungs-, Produktions- und Vertriebsstandorte

der global agierenden Unternehmen in allen drei Weltmarktregionen vorhanden. Sie produzieren vorrangig für die jeweiligen Märkte und passen vor Ort die Produkte spezifischen Kunden- und Zulassungsanforderungen an. Zur Komplexitätsreduktion ist dieses Produktionsmuster bereits seit mehreren Jahren in den Auslandsaktivitäten der OEM zu erkennen, um für die Unternehmenssteuerung die hohe, mit der Variantenvielfalt einhergehende Komplexität zu beherrschen und die Resilienz des jeweiligen (lokalen) Wertschöpfungsnetzwerks zu erhöhen. Die hohen Investitionskosten durch den Aufbau mehrerer Produktionsnetzwerke lohnen sich bisher nur bei einer Produktion hoher Stückzahlen. Die Aufteilung in mehrere Produktionsnetzwerke beschleunigt sich in der aktuellen Situation (e-mobil BW, 2022a; BVR, 2022; Lanza et al., 2019). Die Strategien von OEM, großen und mittelständischen Zulieferern unterscheiden sich dabei allerdings: Die OEM und große Zulieferer stellen sich mit einem breiten Produktspektrum international auf, während die mittelständischen Zulieferer sich stärker auf ihre Kernkompetenzen fokussieren und davon ausgehend neue Produkte in der Elektromobilität suchen (VDA, 2022c).

## Digitalisierung des Produkts und der Produktion

Die bisher mit dem Schlagwort der „Industrie 4.0“ bezeichnete Digitalisierung der Produktion verschiebt den Stand der Technik zunehmend von Insellösungen hin zu einer vollständig vernetzten Wertschöpfungskette. Die Vernetzung einzelner Teilbereiche einer Produktionslinie oder innerhalb einzelner Unternehmensbereiche wie der Logistik wurde mittlerweile von einer Vernetzung innerhalb des gesamten Unternehmens abgelöst. Aktuell wird unternehmensintern eine standortübergreifende Vernetzung aufgebaut. Außerdem soll der Datenaustausch über Unternehmen hinweg ausgebaut werden, die in der Wertschöpfungskette vor- und nachgelagert sind. Allerdings werden die digitalen Technologien selektiv nur dort eingesetzt, wo sich die Unternehmen auch wirtschaftliche Vorteile in der Produktion erhoffen. Hersteller und Zulieferer bauen „Smart Factories“ an deutschen Standorten auf, die als Blaupausen für den Um- und Aufbau neuer Standorte weltweit dienen. Hier sind Arbeitsplätze bzw. Maschinen vernetzt, tauschen untereinander und mit den durchlaufenden Produkten Daten aus, die dezentral und zunehmend auch in cloudbasierten Plattformen erfasst und ausgewertet werden. Zentrales Ziel ist die Erhöhung der Anlageneffizienz und der Anlagenverfügbarkeit bzw. der Ausfallsicherheit. Hierzu werden Produktionsdurchläufe flexibel nach der Teilverfügbarkeit gesteuert, Verschleißteile automatisiert bestellt oder kritische Anlagenzustände erfasst und möglichst vor einem Maschinenstillstand eine Wartung ausgelöst (vorausschauende Wartung bzw. „Predictive Maintenance“). In der Mercedes-Benz Group AG gilt die „Factory 56“ in Sindelfingen als Muster für den Umbau der weltweiten Produktionsstandorte, zusätzlich hat die Mercedes-Benz Group AG in Berlin einen „Digital Factory Campus“ eröffnet, an dem neue Digitalisierungsansätze für die Produktion erprobt und außerdem Mitarbeiter:innen qualifiziert werden (Automobil Produktion, 2022a; VDA 2022a). Während die Mercedes-Benz Group AG zwei bestehende Standorte umbaute – der sogenannte Brownfield-Ansatz –, setzen Volkswagen und Tesla dagegen auf den Neubau von Werken in Wolfsburg bzw. Grünheide bei Berlin, den sogenannten Greenfield-Ansatz (Automobil Produktion, 2022b).

Mit dieser Digitalisierung der Produktion ändern sich auch Arbeitsabläufe und Arbeitsplätze.

- Die Überprüfung von Anlagen kann zunehmend digital und automatisiert erfolgen. Das ergänzt und ersetzt – zumindest teilweise – die Kontrolle der Anlagen durch „Anlagenläufer“, die direkt vor Ort die Anlagen begutach-

ten bzw. den jeweiligen Anlagenzustand dokumentieren. Neben der Verringerung der Vor-Ort-Kontrollen können die Echtzeitdaten aus den Produktionsanlagen in die zur Unternehmenssteuerung eingesetzten Programme ergänzen (Automobil Produktion, 2022c).

- Weiterhin erprobt und ausgebaut wird auch die vorausschauende Wartung bzw. „Predictive Maintenance“, beispielsweise im Production Lab von Audi in Neckarsulm (Automobil Produktion, 2022c). Hier geht es darum, den Ausfall von Verschleißteilen auf Basis einer KI-gestützten Auswertung großer Datenmengen in der Produktion und mithilfe der Identifikation von Ausfallindikatoren vorherzusagen und die Teile vor dem erwarteten Ausfall auszutauschen. Dieser Austausch wird dann möglichst in produktionsfreie Zeiten gelegt, um Gesamteffizienzen erhöhen zu können. Derzeit laufen Pilotversuche und -anwendungen an einzelnen Maschinen wie Schweißrobotern. Sind hier stabile und zuverlässige Lösungen erarbeitet, werden diese weltweit auf alle Produktionsstandorte übertragen.
- Durch „digitale Zwillinge“ – also digitale Abbilder der Produkte und der Produktionsanlagen – können Veränderungen der Produktionsanlagen simuliert und zukünftig schneller umgesetzt werden. Für den Mercedes-Benz „Digital Factory Campus“ soll der Umbau einer Produktionszelle auf ein Zehntel der bisherigen Zeit beschleunigt werden (Automobil Produktion, 2022a).
- Die Datenspeicherung und -verarbeitung geht von unternehmenseigenen Servern über auf cloudbasierte Plattformen. Grundlage dafür bilden die zumindest von einigen Herstellern entwickelten eigenen Betriebssysteme wie das MO360 von Mercedes-Benz.

Die flächendeckende Vernetzung der einzelnen Maschinen, Steuerstände und mobilen Geräte kann technisch über 5G-Campusnetze gelöst werden. Damit entfällt die Verkabelung der Maschinen, in der bis vor ein paar Jahren noch eine zentrale Herausforderung für die vernetzte Produktion bestand. Aktuell geht es stärker darum, die großen Datenmengen aus der Produktion KI-gestützt auszuwerten und passende Algorithmen zu programmieren, die zuverlässig Verschleiß vorherzusagen und passende Wartungsfenster erkennen. Als neuer Nutzen wird zusätzlich die unternehmensübergreifende Vernetzung entlang der Wertschöpfungskette einschließlich der Logistik gesehen. Diese Thematik kam mit den gestörten Lieferketten in den Jahren 2020 und 2021 auf und gewinnt vor dem Hintergrund eines deutschen und zukünftig eines europäischen Lieferkettengesetzes an Bedeutung.



Quelle: Mercedes-Benz AG (2023)

Abbildung 34: Vernetzte Produktion der Mercedes-Benz Group AG

Schon auf europäischer Ebene wurde hierzu 2021 Catena-X als gemeinsame Datenplattform insbesondere von Unternehmen der Automobilindustrie, IT-Unternehmen und Technologieanbietern initiiert (e-mobil BW 2022a, VDA 2022a; Catena-X, 2021b). Zu Beginn waren nur deutsche Unternehmen beteiligt, weil die Initiative aus dem Konjunkturpaket der Bundesregierung, Ziffer 35c, gefördert wird (BMWK, 2023a). Beteiligte Automobilunternehmen sind vor allem die Mercedes-Benz Group, BMW, Bosch, ZF Friedrichshafen und Schaeffler. Unternehmensübergreifende Plattformen wie Catena-X und Gaia-X haben mittlerweile die Ansätze der 1990er Jahre abgelöst, bei denen einzelne Unternehmen wie Volkswagen oder Mercedes-Benz zunächst eigene Vergabeplattformen aufbauen wollten. Betont wird in den unternehmensübergreifenden Plattformen die gleichberechtigte Kollaboration, bei der entlang einer Lieferkette alle Partner Zugänge zu den Datenbeständen haben (VDA, 2022a). Neben den Produktionsdaten werden auch Fahrzeugdaten zur Optimierung der Produktion genutzt, so dass sich zum Beispiel aus dem Betrieb eines Fahrzeugs Informationen zur Verbesserung des Produkts und der Produktion (beispielsweise bei wiederkehrenden Mängeln) ableiten lassen. Zentral dafür ist eine standardisierte Datenschnittstelle zwischen den Fahrzeugen und den an der Datenauswertung

interessierten Unternehmen. Dafür entwickelt der VDA das „ADAXO“-Konzept (Automotive Data Access, Extended and Open) für die Kommunikation der Fahrzeuge mit einem OEM-Backend. Durch eine Auswertung von Fahr- bzw. Störungs- und Produktionsdaten sollen zukünftig Hinweise für die Optimierung der Produktion gewonnen werden.

Parallel dazu wird in Deutschland der „Mobility Data Space“ aufgebaut, über den Teilnehmer:innen gleichberechtigt untereinander verbunden werden. Die Entwicklungen zielen auf eine größere Unabhängigkeit von den dominierenden US-amerikanischen Informations- und Technologiekonzernen wie Alphabet (Google) oder Meta (Facebook). Beide Plattformen ergänzen sich zu einer „Vernetzung von Produkten und Prozessen in der Automobilindustrie“ (VDA, 2022a). Der umfangreichen Vernetzung entlang der Wertschöpfungskette stehen allerdings noch offene Fragen der Datensicherheit und Datenhoheit entgegen (e-mobil BW, 2022a).



### Änderung der Kompetenzenanforderungen

Produktion und Fahrzeug werden immer stärker miteinander vernetzt. Das erfordert den Aufbau von Softwarekompetenzen bei den OEM und den großen Zulieferern. Dabei verfolgen Hersteller wie die Mercedes-Benz Group oder Volkswagen mehrere Strategien: Sie bauen eigene Softwarezentren auf und entwickeln für die Fahrzeuge eigene Betriebssysteme. Zudem bauen sie ihre Einflussmöglichkeiten horizontal entlang der Wertschöpfungskette aus, um eine stärkere Kontrolle über Hard- und Software im Fahrzeug zu erhalten: Sie gehen sowohl Kooperationen mit Chipherstellern ein, um zukünftig Ausfälle durch Chipmangel zu vermeiden, als auch mit Softwarekonzernen, um deren Know-how und Technik beispielsweise beim Aufbau der Datenplattformen zu erhalten (Automobil Industrie, 2022). Mit dem Bedeutungsgewinn der Software im Fahrzeug müssen die OEM auch erheblich kürzere Zyklen bei Updates bewältigen und statt des „Werkstatt-Konzepts“ auf „Over-the-Air-Updates“ umstellen. Das erfordert Anpassungen der Unternehmensorganisation: Die Entwicklung von Software folgt nicht mehr mehrjährigen Modellwechseln, sondern unterjährigen Softwareanpassungen (Cluster Elektromobilität Süd-West, 2020a; Fhg IPA, 2019). Und die Änderung der Software-

architektur in den Fahrzeugen weg von rund 100 Steuerungseinheiten hin zu drei, vier zentralen und multifunktionalen Rechnern erfordert den Aufbau zentraler Entwicklungszentren für die Software, wie es die Mercedes-Benz Group oder Volkswagen mit Cariad vorantreiben.

Die Sicherheit der datengestützten Steuerung von Produktions- und Geschäftsprozessen (sowie der Fahrzeugsteuerung) wird damit auch für die Automobilindustrie zu einer wesentlichen Aufgabe. Für eine eindeutige und fälschungssichere Erstellung und Verarbeitung von Datensätzen wird derzeit die „Blockchain-Technologie“ als Datensatzformat präferiert (vgl. EY, 2021; Dietrich et al., 2020). Erste Anwendungsgebiete sind der Datenaustausch entlang von Lieferketten sowie die Verifizierung und Identifizierung von Produkten und Unternehmenspartnern der Wertschöpfungskette (e-mobil BW, 2022a, Cluster Elektromobilität Süd-West, 2022b).

Auch wenn der Begriff der „Industrie 4.0“ seltener verwendet wird, dauert der als „Digitalisierung“ bezeichnete Prozess mit der immer stärkeren Verknüpfung konkreter Produktions- mit der Informationstechnik noch einige Jahre an. Die Beschäftigungseffekte der Digitalisierung in der Produktion sind weiter-

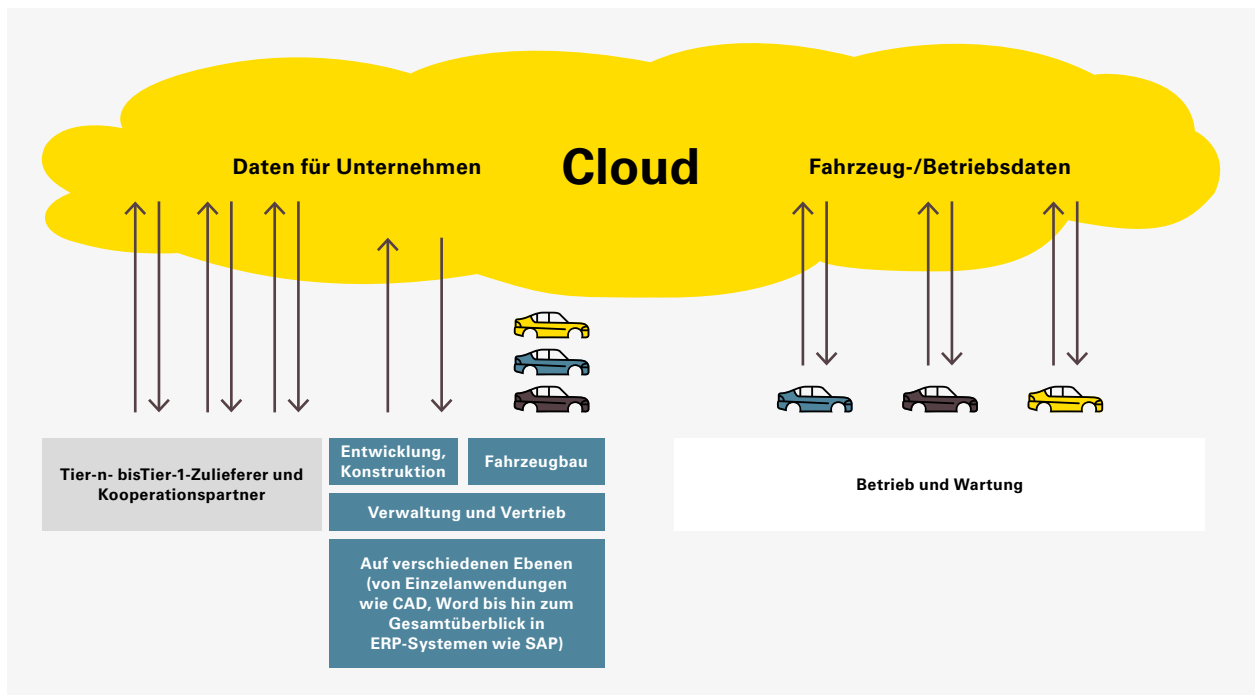


Abbildung 35: Vernetzung von Produkt und Produktion über Datenplattformen

hin schwierig zu fassen (vgl. schon e-mobil BW, 2019a). Die Automatisierung von Tätigkeiten ist als Zusammenspiel von Fachkräften aus der Produktion und IT-Fachleuten zu organisieren (Automobil Produktion, 2022c) und durch Qualifizierungen sind die Softwarekompetenzen der eigenen Beschäftigten zu erhöhen. Gleichzeitig nutzen die Programmierer dabei das Wissen der Produktionsbeschäftigten, um Produktionsabläufe zu standardisieren und über Algorithmen zu automatisieren (zum Beispiel Mercedes-Benz im „Digital Factory Campus“ in Berlin, vgl. Automobil Produktion, 2022a).

### **Klimaneutralität und Nachhaltigkeit**

Getrieben durch politische Vorgaben muss die Automobilindustrie ihre Produktion auf CO<sub>2</sub>-Neutralität umstellen (in der Europäischen Union bis 2050). Beispielsweise will Audi bis 2025 an allen Produktionsstandorten CO<sub>2</sub>-neutral produzieren. Die Mercedes-Benz Group AG ist seit 2022 an eigenen Produktionsstandorten weltweit bilanziell CO<sub>2</sub>-neutral und will ab 2039 mit der gesamten Neufahrzeugflotte einschließlich der gesamten Wertschöpfungskette keine CO<sub>2</sub>-Emissionen mehr verursachen. Aktuell beziehen alle Werke der Mercedes-Benz AG weltweit Strom aus erneuerbaren Energiequellen (Automobilwoche, 2020a; Mercedes-Benz AG, 2023 und 2022c). Die Hersteller geben entsprechende Vorgaben an ihre Zulieferer weiter; verweigern Letztere die Selbstverpflichtung über die sogenannten „Ambition Letters“, werden sie zukünftig aus dem Kreis der Zulieferer ausgeschlossen (e-mobil BW, 2022a). Vor allem durch die energieaufwändige Herstellung der Batteriezellen erhalten Nachhaltigkeitskriterien in der Beschaffung eine höhere Bedeutung, denn je nach Herkunft der Produktionsenergie entfallen zwischen 30 und 50 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen auf die Batterieherstellung (Berylls, 2022). Gegenüber Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor verschiebt sich damit ein relevanter Anteil von CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Nutzungs- in die Herstellungsphase. Bei der Produktion eines rein elektrischen Kleinwagens entsteht fast die dreifache Menge an CO<sub>2</sub> gegenüber einem vergleichbaren Fahrzeug mit Verbrennungsmotor (11 statt 4 t CO<sub>2</sub>, Carbon Connect, 2020, auch VDA, 2022a).

Aktuell steht die CO<sub>2</sub>-Neutralität der Fahrzeuge und der Fahrzeugproduktion im Vordergrund. Eine nachhaltigere Fahrzeugproduktion umfasst darüber hinaus die verwendeten Materialien und deren Herkunft. Mit dem Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz (siehe Kasten) müssen größere Unternehmen entlang der gesamten Lieferkette Umweltstandards einhalten, um Menschenrechte und den Gesundheitsschutz zu beachten. Darüber hinaus erproben sie Recyclingmaterialien. Die Merce-

des-Benz AG kündigt für 2030 einen Anteil von 40 % recycelter Materialien in ihren Fahrzeugen an (Mercedes-Benz AG, 2023). Damit soll auch der Verbrauch kritischer Materialien wie Kobalt oder von Seltenerdmetallen wie Neodym verringert werden.

#### **Das Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz**

Das deutsche „Lieferkettengesetz“ gilt seit dem 01.01.2023 und verpflichtet Unternehmen auf die Einhaltung der Menschenrechte entlang der gesamten Lieferkette und auf die Beachtung von Umweltstandards. Grundlage sind die UN-Leitprinzipien für Wirtschaft und Menschenrechte; die Umweltstandards werden relevant, wenn durch ihre Nichtbeachtung Menschenrechte oder der Gesundheitsschutz verletzt werden.

Zur Einhaltung des Gesetzes sind zunächst Unternehmen mit mehr als 3.000 Mitarbeiter:innen weltweit verpflichtet, ab dem 01.01.2024 erweitert sich der Geltungsbereich auf Unternehmen mit mindestens 1.000 Mitarbeiter:innen. Diese Unternehmen sind unter anderem zur Einrichtung einer Beschwerdestelle verpflichtet, die auch Externe auf Verletzungen der Menschenrechte und der Umweltstandards hinweisen können.

Ein europäisches Lieferkettengesetz wird 2023 zwischen dem Europäischen Parlament und dem Ministerrat verhandelt, das Europäische Parlament hat am 01.06.2023 einem Gesetzentwurf zugestimmt (BMZ, 2023; EQS Group, 2023). (Capital, 2022; e-mobil BW, 2022a)

# 03

## **Branchenbeschreibung und Marktanalyse**





# 03

## Branchenbeschreibung und Marktanalyse

### In Kürze

- Die Automobilindustrie ist in Baden-Württemberg eine der industriellen Kernbranchen mit einem Jahresumsatz von mehr als 135 Mrd. EUR und etwa 225.000 Beschäftigten.
- Hervorzuheben ist die hohe Bedeutung für Forschung und Entwicklung: Mit mehr als 13 Mrd. EUR erbrachte die Automobilindustrie mehr als die Hälfte der FuE-Ausgaben der baden-württembergischen Wirtschaft im Gesamten.
- Mit mehr als 480.000 direkt und indirekt Beschäftigten sind knapp 11 % der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten Baden-Württembergs in der Automobilindustrie tätig, davon 315.000 im Wertschöpfungskern und 66.000 in FuE-nahen Arbeitsfeldern. Etwa 13.000 Beschäftigte können der Nutzfahrzeuherstellung zugeordnet werden. Ca. 91.000 Beschäftigte sind im Kfz-Handwerk tätig.
- Der Umbau des Automobilclusters hin zur Elektromobilität und zum automatisierten Fahren erfordert hohe Investitionen, allerdings hat die Investitionstätigkeit exemplarischer Hersteller und Zulieferer mit Standorten in Baden-Württemberg in den letzten beiden Jahren nachgelassen. In Baden-Württemberg stellt außerdem der Bedarf an zusätzlichen Industrieflächen für die neuen Produkte eine besondere Herausforderung dar – bei sehr begrenzter Flächenverfügbarkeit.

Die Automobilindustrie ist in Baden-Württemberg und in Deutschland eine der industriellen Schlüsselbranchen. Die Kernbranche „Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen“ steht 2022 in Baden-Württemberg für einen Umsatz von 135 Mrd. EUR (Deutschland 2022: 509 Mrd. EUR), den etwa 225.000 Beschäftigte – knapp 5 % aller sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in Baden-Württemberg – erwirtschaften (Deutschland: ca. 900.000 Beschäftigte). Nicht zuletzt der hohe Beitrag der Branche zu Forschung und Entwicklung trägt in hohem Maße zum wirtschaftlichen Wohlstand Baden-Württembergs bei (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2022a; Bundesagentur für Arbeit, 2023; Einwiller, 2022a). Doch nach jahrzehntelangem Wachstum mit kürzeren konjunkturellen Einbrüchen steht die Branche aktuell vor einer beispiellosen Transformation (VDA, 2022a): Getrieben von dem politischen Handlungsdruck zur notwendigen Eindämmung des Klimawandels müssen in der Europäischen Union bis 2035 alle Neufahrzeuge emissionsfreie Antriebe haben, bis spätestens 2050 soll auch von der Produktion keine CO<sub>2</sub>-Emission mehr ausgehen. Gleichzeitig haben Ereignisse wie die Pandemie, die Lieferkettenstörungen und der Krieg in der Ukraine, die schwierige Energieversorgung und zunehmende Handelsauseinandersetzungen der letzten Jahre die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen der Automobilindustrie zunehmend volatil werden lassen. Der Verband der Automobilindustrie (VDA) sieht „Arbeitsplätze bedroht“ (Stuttgarter Zeitung, 2022).

Im Folgenden werden die aktuelle Situation der Automobilbranche und die Besonderheiten Baden-Württembergs dargestellt. Der Fokus liegt auf der Wertschöpfung und der Beschäftigung in der Pkw- und der Nutzfahrzeuherstellung. Die Investitionstätigkeit und Herausforderungen bei der Bereitstellung von Gewerbe- und Industrieflächen in der Transformation ergänzen die Branchenbeschreibung um zwei aktuelle Herausforderungen. Mit Blick auf die Wertschöpfungskette werden Entwicklungsdienstleister als wichtiger Teil des Inno-

vationssysteme und das Kfz-Gewerbe beschrieben. Als Abschluss der Branchendarstellung wird das Automobilcluster dargestellt, in dem weitere, von der Automobilindustrie ausgelöste Beschäftigungseffekte aufgenommen werden. Den Abschluss des Kapitels bildet die Beschreibung aktueller politischer Rahmenbedingungen und Marktentwicklungen bei elektrifizierten Fahrzeugen im internationalen Vergleich.

#### Begriffe:

Fahrzeugindustrie, Automobilindustrie und Automobilcluster

Im folgenden Text werden verschiedene Begriffe verwendet, die sich auf unterschiedliche Branchenabgrenzungen beziehen und deshalb nicht vereinheitlicht werden können:

Nur für die **Fahrzeugindustrie** im engeren Sinne sind viele Branchendaten verfügbar, die sich auf amtliche Wirtschafts- und Beschäftigungsstatistiken beziehen. Sie fassen Personenkraftwagen (Pkw) und Nutzfahrzeuge (Nfz) zusammen. Insbesondere die folgenden Darstellungen beziehen sich deshalb auf die Branchenabgrenzung der Wirtschaftsstatistik und dort auf den Wirtschaftszweig (WZ) „Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagen-teilen“ mit weiteren Differenzierungen nach Herstellern/OEM und Zulieferern. Diese eng gefasste Branchendarstellung der Wirtschaftsstatistik in der aktuellen Version aus dem Jahr 2008 (Klassifikation der Wirtschaftszweige 2008) wird im Text durch den Verweis auf die Nummerierung der Branchenstatistik (WZ 29 bzw. 29.1, 29.2 und 29.3 nach der WZ 2008)

kenntlich gemacht. Zur besseren Lesbarkeit wird für diese Abgrenzung der Begriff der **Automobilindustrie** verwendet.

Die Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte gehen jedoch über die Fahrzeug- bzw. Automobilindustrie hinaus: Zur Wertschöpfungskette von Kraftfahrzeugen gehören nicht nur die Entwicklung und Produktion der Fahrzeuge, sondern auch der Maschinen- und Anlagenbau als Ausrüster der Automobilindustrie und weitere Branchen des Verarbeitenden Gewerbes wie die Kunststoffindustrie, die Glasindustrie oder die Textilindustrie. Weitere Unternehmen bieten Dienstleistungen rund um den Betrieb der Fahrzeuge (wie beispielsweise der Kfz-Handel, Kfz-Werkstätten) sowie die Versorgung mit den jeweiligen Energieträgern für den Antrieb – bislang Benzin und Diesel, zukünftig vermehrt Strom oder Wasserstoff, an. Diese über die reine Fahrzeugproduktion hinaus erweiterte Abgrenzung wird als **Automobilcluster** bezeichnet. Die von den Kraftfahrzeugen induzierten Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte werden damit erheblich umfangreicher, als es allein die Automobilindustrie ausmacht: der Beschäftigungsanteil in Baden-Württemberg verdoppelt sich bei Betrachtung des gesamten Clusters auf etwa ein Zehntel der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten. Der Blick auf dieses umfassende Cluster erfolgt am Ende des Abschnitts zu Wertschöpfung und Beschäftigung.

### Rahmendaten der deutschen und baden-württembergischen Automobilproduktion

Die deutsche Automobilindustrie ist über Jahrzehnte stetig gewachsen. Anfang der 1990er Jahre erwirtschaftete sie mit 378 Mrd. EUR etwa 12 % der Bruttowertschöpfung des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland, seit Beginn der 2020er Jahre beträgt ihr Anteil über 20 %. Im Jahr 2021 wurden Produkte im Wert von etwa 210 Mrd. EUR (55 %) exportiert, damit hatte die Branche einen Anteil von 15 % an den gesamten deutschen Exporten. Ebenfalls 2021 arbeiteten fast 900.000 Beschäftigte im Fahrzeugbau (WZ 29), damit ist die Branche nach dem Maschinenbau in Deutschland die zweitgrößte Branche des Verarbeitenden Gewerbes und hat einen Beschäftigtenanteil von 14 % (VDA, 2022a; Bundesagentur für Arbeit, 2023).

Auch in Baden-Württemberg hat die Automobilindustrie (WZ 29) langfristig einen immer bedeutenderen Anteil am wirtschaftlichen Erfolg: Lag ihr Umsatzanteil am Verarbeitenden Gewerbe 2009 bei 23 %, ist er bis 2022 auf 31 % gestiegen, während jedoch der Beschäftigtenanteil mit knapp einem Fünftel in diesem Zeitraum nicht entsprechend mitgewachsen ist (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2022a; Bundesagentur für Arbeit, 2023). Der hohe Exportanteil von 75 % (Hersteller [WZ 29.1] 81 %, Zulieferer [WZ 29.3] 51 %) zeigt die weltweite Wettbewerbsfähigkeit der baden-württembergischen Automobilindustrie auf (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2009a und 2021a). Diese Position beruht auch auf dem hohen Aufwand für Forschung und Entwicklung (FuE): Die baden-württembergische Automobilindustrie erbrachte 2019 rund 13,3 Mrd. EUR für FuE, das sind 53 % der FuE-Aufwendungen in der baden-württembergischen Wirtschaft und

47 % der deutschlandweiten FuE-Aufwendungen der Branche. Besonders deutlich wird die Spitzenposition dadurch, dass in der Höhe der FuE-Aufwendungen in Baden-Württemberg die Elektrotechnik und der Maschinenbau erst mit 2,9 bzw. 2,5 Mrd. EUR folgen und beide deutlich unter der Leistung der Automobilindustrie liegen (Einwiller, 2022a). Die Wirtschaft in Baden-Württemberg erbringt 83 % der FuE-Aktivitäten (25.272 Mio. EUR), ihr Beitrag zu den FuE-Aktivitäten liegt deutlich höher als beispielsweise in Deutschland (69 %) oder im EU-27-Durchschnitt (66 %). Dazu trägt die forschungsintensive Automobilindustrie mit ihrem Anteil von 53 % maßgeblich bei.

Der Branchenerfolg beruht gleichermaßen auf der Leistung der Hersteller und der Zulieferer. Mit einem Anteil von rund 80 % erbringen die Zulieferer den Großteil der Wertschöpfung und stehen für einen erheblichen Anteil der Produkt- und Prozessinnovationen (e-mobil BW, 2019a). Ihr Anteil an den Innovationen soll perspektivisch weiter im Sinne von Entwicklungspartnerschaften ausgebaut werden (VDA, 2022a; e-mobil BW, 2022a). Hersteller und Zulieferer ergänzen sich in Baden-Württemberg zu einem umfassenden Automobilcluster, in dem alle auf das Fahrzeug spezialisierten Segmente der Wertschöpfungskette vertreten sind. Sie bilden ein produktionswissensbasiertes Innovationssystem. Zudem ist es durch die Ausrichtung auf Premiumfahrzeuge weltweit konkurrenzfähig (e-mobil BW, 2019a und 2022a). Das galt bislang für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren. Durch den Wandel des Fahrzeugs zur Elektromobilität und zum autonomen Fahren sowie die anhaltende Internationalisierung unterliegt die Branche einem drastischen Strukturwandel mit unsicherer Perspektive für baden-württembergische Automobilstandorte. Die Covid-19-Pandemie Anfang der 2020er Jahre hat einige dieser Veränderungen noch einmal beschleunigt. Deutlich erkennbar wird

|                                       | Branchenumsatz<br>(WZ 29)<br>(in Mrd. EUR) | Anteil am Umsatz<br>des Verarbeitenden<br>Gewerbes | Exportanteil am<br>Umsatz | Sozialvers.<br>Beschäftigte<br>(WZ 29) | FuE-Aufwand<br>(WZ 29)<br>(in Mrd. EUR) |
|---------------------------------------|--|--|---------------------------|--|---|
| <b>Deutschland</b>                    | 509  | 23 %   | 69 %                      | Ca. 900.000                            | Ca. 30                                  |
| <b>Baden-<br/>Württemberg</b>         | 135  | 31 %   | 75 %                      | Ca. 225.000                            | Ca. 13                                  |
| <b>Anteil Baden-<br/>Württembergs</b> | 27 %                                       |  |                           | 25 %                                   |   |

Tabelle 5: Umsatz, Exportanteil und sozialversicherungspflichtig Beschäftigte in der deutschen und der baden-württembergischen Automobilindustrie (WZ 29) im Jahr 2022

Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2023; Statistisches Bundesamt, 2023; Bundesagentur für Arbeit, 2023; VDA, 2020 und 2023a

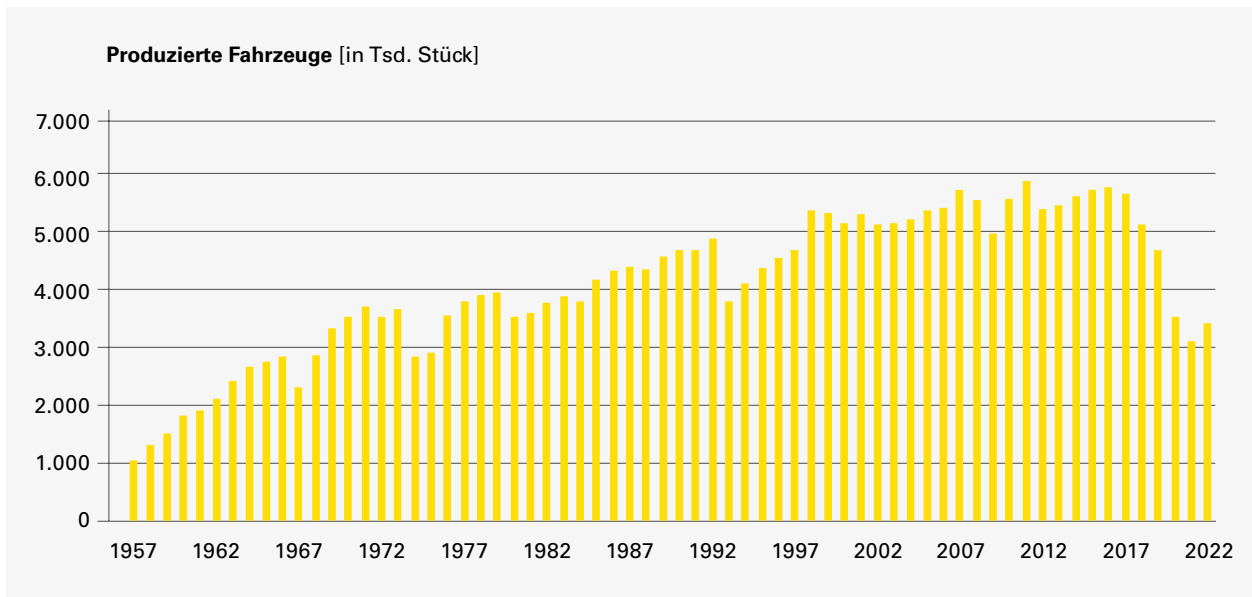


Abbildung 36: Produktionszahlen für Pkw und Lkw in Deutschland zwischen 1956 und 2022

das am Rückgang der Pkw-Produktion in Deutschland und am gleichzeitigen Aufbau der Pkw-Produktion deutscher Hersteller im Ausland. 2016 wurden in Deutschland 5,7 Mio. Pkw produziert, der Höchststand nach einem langen Produktionsaufbau seit den 1950er Jahren. Während die Produktion danach noch langsam sank, ging sie in den Pandemiejahren schneller zurück und lag mit rund 3,4 Mio. Pkw im Jahr 2022 bei etwa 60 % der

Produktion des Jahres 2016. In der langfristigen Perspektive stieg in Deutschland die Zahl der produzierten Fahrzeuge bis 2016 an, parallel dazu haben die Hersteller und die Zulieferer auch im Ausland Produktionskapazitäten aufgebaut. Dadurch ist der Anteil der Inlandsproduktion deutscher Hersteller von 2017 bis 2021 von 34 % auf 25 % gesunken. Im Jahr 2008 lag die Inlandsproduktion noch bei rund 50 %.

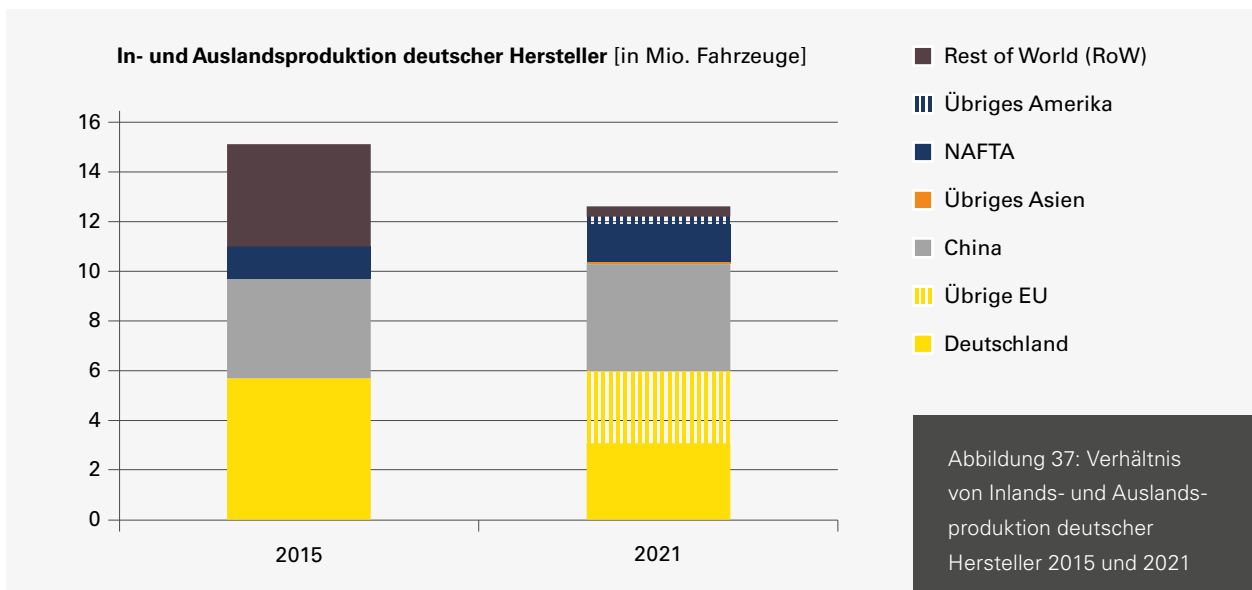


Abbildung 37: Verhältnis von Inlands- und Auslandsproduktion deutscher Hersteller 2015 und 2021

Im Vergleich der Inlands- und Auslandsproduktion deutscher Hersteller zwischen 2015 und 2021 wird die Abnahme der Inlandsproduktion von knapp 6 Mio. Pkw auf etwa 3 Mio. Pkw im Jahr 2021 deutlich. Trotz der insgesamt gesunkenen Pro-

duktion ist jedoch der Produktionsumfang in China von 4 auf 4,3 Mio. Fahrzeuge noch gestiegen, so dass deutsche Hersteller mittlerweile insgesamt 34 % ihrer Fahrzeuge in China fertigen.

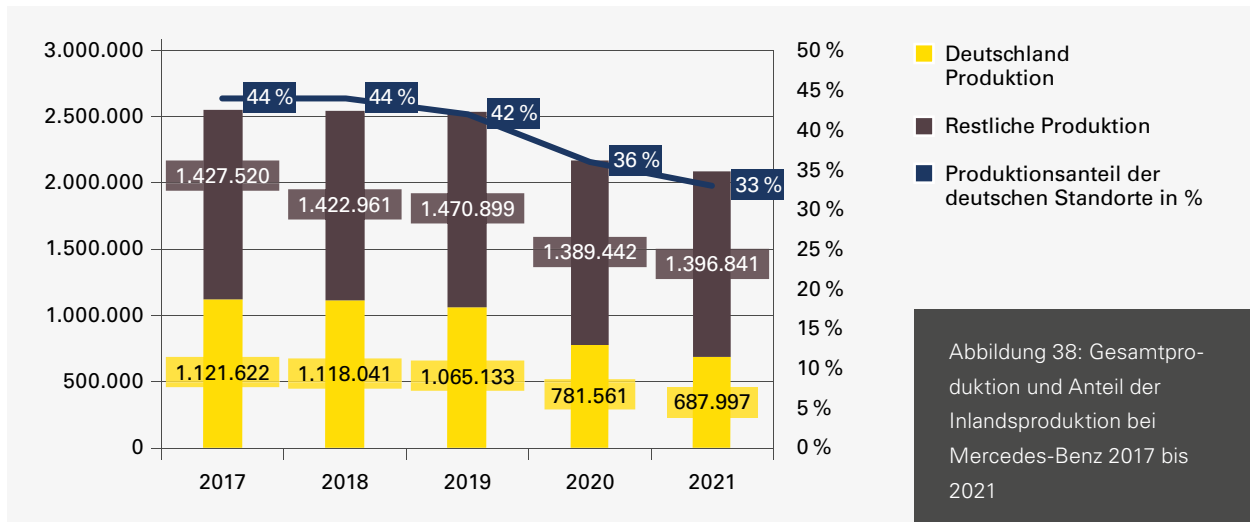


Abbildung 38: Gesamtproduktion und Anteil der Inlandsproduktion bei Mercedes-Benz 2017 bis 2021

Quelle: VDA, 2022a; eigene Darstellung DLR und IMU, 2023

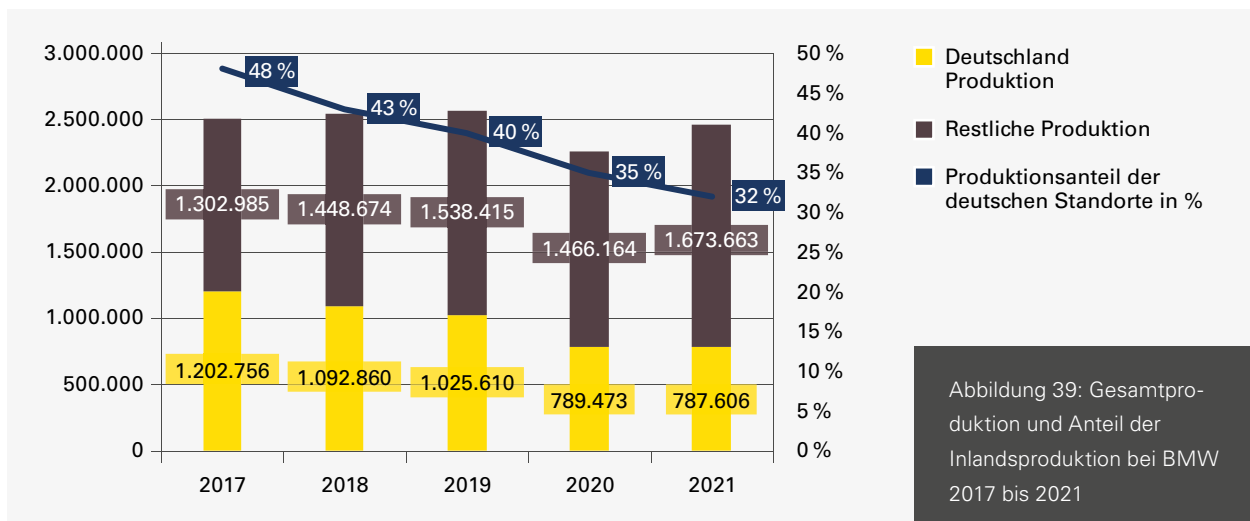
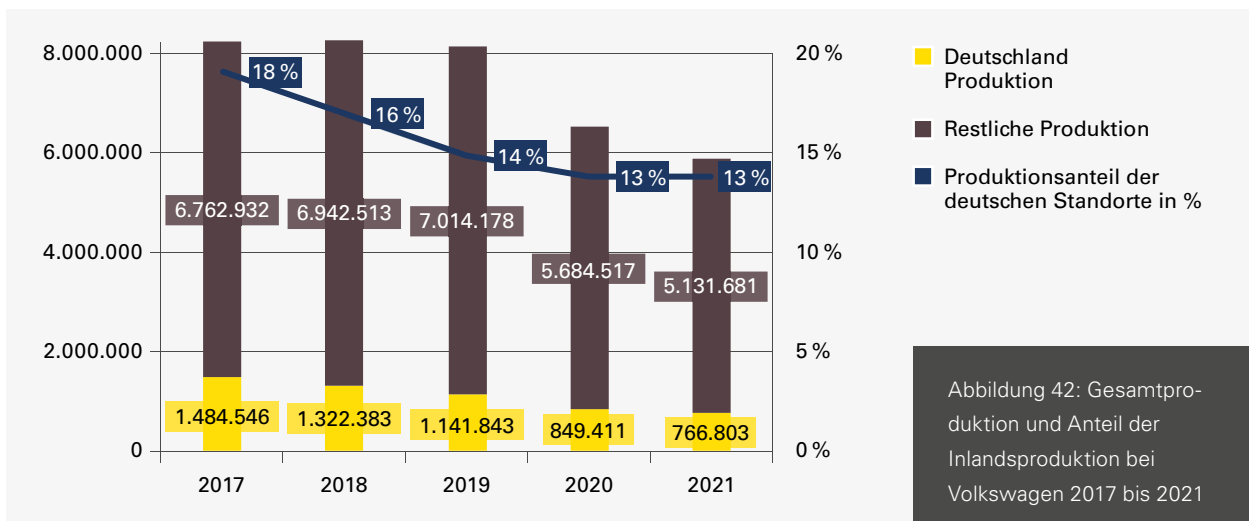
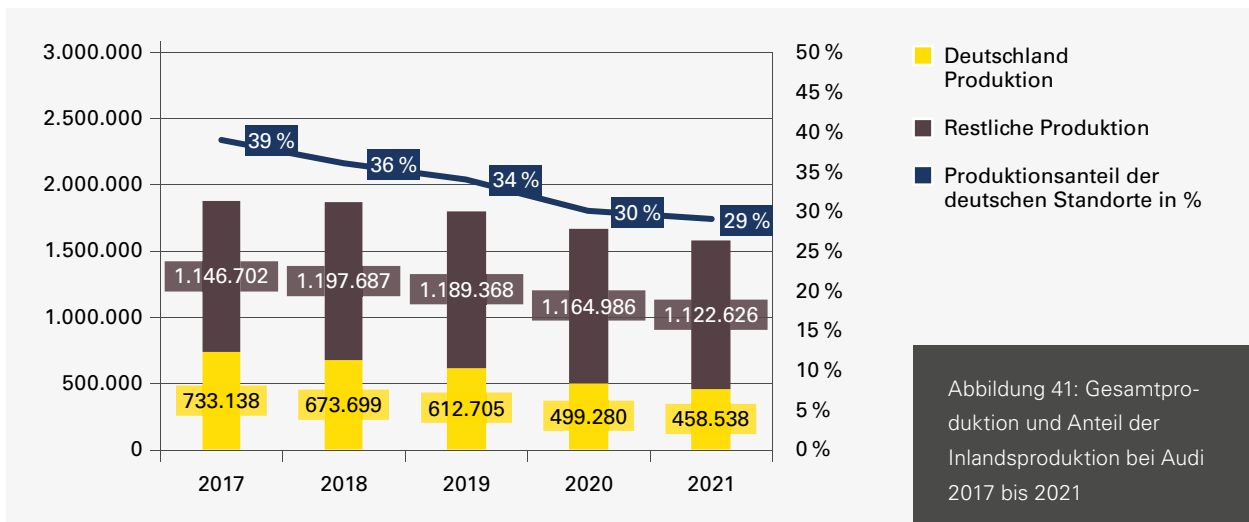
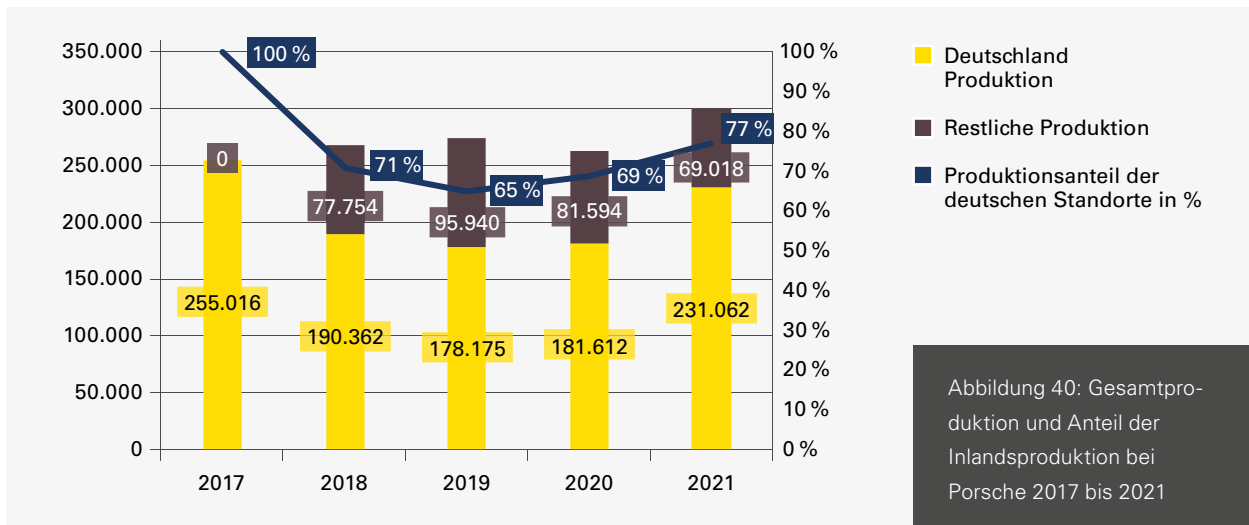


Abbildung 39: Gesamtproduktion und Anteil der Inlandsproduktion bei BMW 2017 bis 2021

Quelle: VDA, 2022a; eigene Darstellung DLR und IMU, 2023



Während in den drei Weltregionen Europa, Asien und Nordamerika eigenständige Produktionsnetzwerke aufgebaut werden, verlagert sich innerhalb Europas die Pkw-Produktion in mittel- und osteuropäische Länder (e-mobil BW, 2022a). Die Pkw-Produktion in Deutschland fokussiert sich auf Premiummodelle: Klein- und Kompaktwagen werden in Deutschland immer weniger hergestellt, während der Anteil von hochpreisigeren Fahrzeugen 2021 bei fast 50 % lag (VDA, 2022a).

Vor allem die baden-württembergischen Hersteller profitieren von der Nachfrageverschiebung hin zu Premiummodellen bzw. SUVs (BVR, 2022). Treiber für diese Verschiebung sind hohe Lohnkostenanteile bei Klein- und Kompaktwagen und höhere Gewinnmargen bei den Premium-Pkw. Allerdings hat auch die

Fertigung von Premiumfahrzeugen im Ausland deutlich zugenommen. Gleichzeitig verdrängen mittlerweile Elektrofahrzeuge diejenigen mit Benzin- und vor allem Dieselmotoren, der VDA verkündet für 2022 sogar den „endgültigen Durchbruch“ (VDA, 2022a). Die baden-württembergischen Hersteller Mercedes-Benz Group AG und die Porsche AG fertigen in Baden-Württemberg in ihrer Serienfertigung parallel batterieelektrische Pkw und Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren; die Audi AG fertigt in kleinen Stückzahlen den e-tron GT in den Böllinger Höfen. Für den Audi-Standort Neckarsulm wird die Serienfertigung batterieelektrischer Fahrzeuge ab Mitte der 2020er Jahre in Aussicht gestellt (Automobilwoche, 2022a; Audi AG, 2023).

| Pkw-Segment        | 2016             | 2021             | Anteil an Pkw-Produktion 2016 | Anteil an Pkw-Produktion 2021 |
|--------------------|------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Mini               | 52.699           | 0                | 0,9%                          | 0,0%                          |
| Kleinwagen         | 401.508          | 52.744           | 7,0%                          | 1,7%                          |
| Kompaktklasse      | 1.619.828        | 739.833          | 28,2%                         | 23,9%                         |
| Mittelklasse       | 1.265.440        | 594.155          | 22,0%                         | 19,2%                         |
| Obere Mittelklasse | 569.820          | 327.932          | 9,9%                          | 10,6%                         |
| Oberklasse         | 192.080          | 238.319          | 3,3%                          | 7,7%                          |
| Geländewagen       | 1.116.011        | 911.627          | 19,4%                         | 29,4%                         |
| Sportwagen         | 113.668          | 100.641          | 2,0%                          | 3,3%                          |
| Mini-Vans          | 130.256          | 29.574           | 2,3%                          | 1,0%                          |
| Großraum-Vans      | 173.429          | 26.776           | 3,0%                          | 0,9%                          |
| Utilities          | 99.182           | 53.990           | 1,7%                          | 1,7%                          |
| Sonstige           | 12.887           | 20.574           | 0,2%                          | 0,7%                          |
| <b>Insgesamt</b>   | <b>5.746.808</b> | <b>3.096.165</b> |                               |                               |

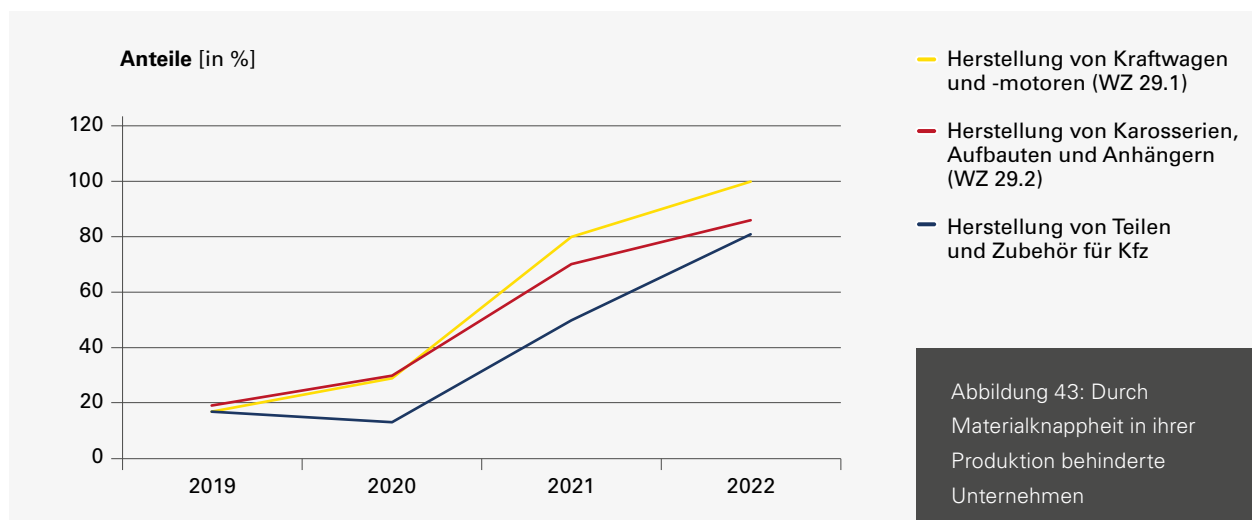
Quelle: VDA, 2022a

Tabelle 6: Pkw-Produktion in Deutschland 2016 und 2021 nach Fahrzeugsegmenten

### Aktuelle Branchensituation

Aktuell – im Frühjahr 2023 – ist die Situation der Automobilindustrie weiterhin von Versorgungsengpässen bei Teilen, Material und Energie gekennzeichnet. Sie haben sich während der Covid-19-Pandemie zugespitzt, während die unmittelbaren Pandemiefolgen (Produktionsstopp und Kurzarbeit aufgrund der unklaren Infektionslage) schon wenige Monate nach ihrem Höhepunkt im April 2020 beherrschbar schienen. Damals gab es einen kurzzeitigen und beispiellosen Rückgang der Automobilproduktion in Deutschland auf beinahe null (ca. 14.000 Fahrzeuge). Die im Sommer 2020 sehr schnell wieder einsetzende Erholung brach zum Jahresende 2020 zunächst wegen des „Chipmangels“ wieder ein. Die Knappheit bei Halbleitern war wegen des steigenden Halbleiterbedarfs nicht unerwartet, spitzte sich aber in der Pandemie durch den schnellen Wechsel von Nachfragerückgang und -anstieg der Automobilindustrie und deutlich gestiegene Nachfrage aus anderen Sektoren so zu, dass fast alle Hersteller und zahlreiche Zulieferer ihre Produktion stoppen oder erheblich zurückfahren mussten (e-mobil BW, 2022a). Mit einem Rückgang auf 3,1 Mio. gefertigte Pkw lag die Produktion im Jahr 2021 so niedrig wie nicht mehr seit der Ölkrise 1975 (VDA, 2022a). Das schon wenige Monate nach dem pandemiebedingten Einbruch im April 2020 erreichte Nachfrage- und Produktionswachstum ist seit dem Winter 2020/2021 nachhaltig durch Knappheiten bei Material und Vorprodukten sowie Störungen der Lieferketten beeinträchtigt. Dazu kommt im Winter 2022/2023 die hohe, energiepreisgetriebene Inflation, in deren Folge ein Kaufkraftschwund mit nachlassender Nachfrage nach Kraftwagen erwartet wird. Die

Versorgungsengpässe belasten die Automobilindustrie anhaltend. So nennen fast alle Betriebe Materialknappheit als Produktionshindernis (100 % der Hersteller von Kraftwagen und -motoren, etwa 80 % der Hersteller von Teilen und Zubehör für Kfz; BVR, 2022). Dazu kam im Jahr 2022 nach dem Angriff Russlands auf die Ukraine auch die unsichere Energieversorgung. Die Beeinträchtigungen halten weiter an, zum Ausgleich von Lieferengpässen beantragte die Mercedes-Benz Group AG im Frühjahr 2023 für Untertürkheim und Bremen Kurzarbeit (Stuttgarter Zeitung, 2022).





### 3.1 Besonderheiten der baden-württembergischen Automobilindustrie

Baden-Württembergs Automobilindustrie ist von den Herstellern von Premiumfahrzeugen und weltweit tätigen Tier-1-Zulieferern geprägt. Die Hersteller, die alle zu Großunternehmen gehören, erwirtschaften über 80 % des Branchenumsatzes. Bei den Zulieferern sind dagegen sowohl die Konzerne mit weltweiter Präsenz als auch zahlreiche Mittelständler und kleine Unternehmen (die sogenannten KMU, kleine und mittlere Unternehmen) vertreten. Dienstleistungsunternehmen wie Entwicklungsdienstleister, das Kfz-Gewerbe, Forschungseinrichtungen, Hochschulen und andere Ausbildungseinrichtungen ergänzen die Automobilindustrie zu einem umfassenden Wertschöpfungscluster. Die hohe Innovationskraft und die Ausrichtung auf das Premiumsegment bilden die Basis für den wirtschaftlichen Erfolg.

Viele der Automobilhersteller und -zulieferer gehören zu den größten Unternehmen Baden-Württembergs (Baden-Württembergischer Industrie- und Handelskammertag, 2019).

- Die Hersteller Mercedes-Benz Group AG (ca. 50.000 Beschäftigte in Baden-Württemberg), Daimler Truck AG (ca. 11.000 Beschäftigte), Porsche AG (ca. 18.000 Beschäftigte) und Audi AG (ca. 15.600 Beschäftigte) beschäftigen etwa die Hälfte aller Arbeitnehmer:innen der baden-württembergischen Automobilindustrie. Auf die Hersteller entfällt ein Großteil des Branchenumsatzes (über 80 %), wobei die Wertschöpfung der Zulieferer in ihren Umsatz einfließt. Langfristig lässt sich eine Verschiebung des Branchenumsatzes zugunsten der Hersteller beobachten (um ca. 4 Prozentpunkte in den letzten 15 Jahren). Während die Porsche AG und die Audi AG nur im Pkw-Bereich tätig sind, stand die Daimler AG sowohl für Pkw als auch für den weltweit größten Nutzfahrzeughersteller. Mit der Aufspaltung in die Mercedes-Benz Group AG und die Daimler Truck AG wurden beide Bereiche mit Ende des Geschäftsjahrs 2021 in rechtlich eigenständige Unternehmen überführt. Zu den baden-württembergischen Nutzfahrzeugherstellern gehört auch die Iveco Magirus AG in Ulm (über 1.500 Beschäftigte).
- Bei den Zulieferern stehen weltweit agierende Großunternehmen wie die Robert Bosch GmbH (über 60.000 Beschäftigte in Baden-Württemberg), die ZF Friedrichshafen AG (ca. 51.000 Beschäftigte in Deutschland), die Mann + Hummel Gruppe (23.000 Beschäftigte weltweit), die Mahle GmbH (ca. 10.000 Beschäftigte in Baden-Württemberg), die Eberspächer Gruppe (ca. 5.000 Beschäftigte in Deutschland) und zwei Standorte der Schaeffler Gruppe (ca. 51.000 Beschäftigte in Europa) neben mittelständischen Zulieferern wie der ElringKlinger AG, der Handtmann Unternehmensgruppe, der KS Kolbenschmidt GmbH der Rolls Royce Power Systems AG (früher MTU Friedrichshafen) mit jeweils mehreren Tausend Beschäftigten. Sowohl die großen Zulieferer als auch einige Mittelständler haben hier ihre Entwicklungszentren angesiedelt, aus denen heraus Fahrzeug- und Produktionsinnovationen vorangetrieben werden. Etliche andere Zulieferstandorte mit mehr als 1.000 Beschäftigten (z. B. Allgaier Automotive, Marelli Automotive Lightning, mehrere Standorte des Continental-Konzerns, des Valeo Konzerns oder die Witzenmann Gruppe) tragen zur Stärke der Automobilindustrie bei.
- Entwicklungsdienstleister wie die AKKA Technologies GmbH & Co. KGaA (nach dem Kauf durch Adecco zukünftig mit Modis zu Akkodis integriert, ca. 2.500 Beschäftigte in Baden-Württemberg), die Bertrandt AG (ca. 4.000 Beschäftigte) und die Robert Bosch Engineering GmbH in Abstatt (ca. 1.800 Beschäftigte) tragen zur automobilen Wertschöpfung bei.
- Zulieferer für die automobilen Wertschöpfungskette sind auch Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus, die sich als Ausrüster für die Automobilindustrie profiliert haben (zum Beispiel die Dürr AG, Eisenmann S. E., Gebrüder Heller Maschinenbau GmbH). Der Maschinenbau in Baden-Württemberg hat ca. 300.000 Beschäftigte, davon können etwa 16.000 Beschäftigte den Ausrüstern der Automobilbranche zugeordnet werden.
- Vervollständigt wird das Cluster durch das Kfz-Gewerbe mit dem Fahrzeughandel sowie Reparatur und Service (ca. 91.000 Beschäftigte in Baden-Württemberg).
- Und letztlich profitieren auch Unternehmen wie die Deutz AG (Ulm, 500 Beschäftigte) oder die Woodward L'Orange GmbH (Stuttgart, 950 Beschäftigte) mit Großdieselmotoren oder Einspritzsystemen von der Kompetenz im Cluster.

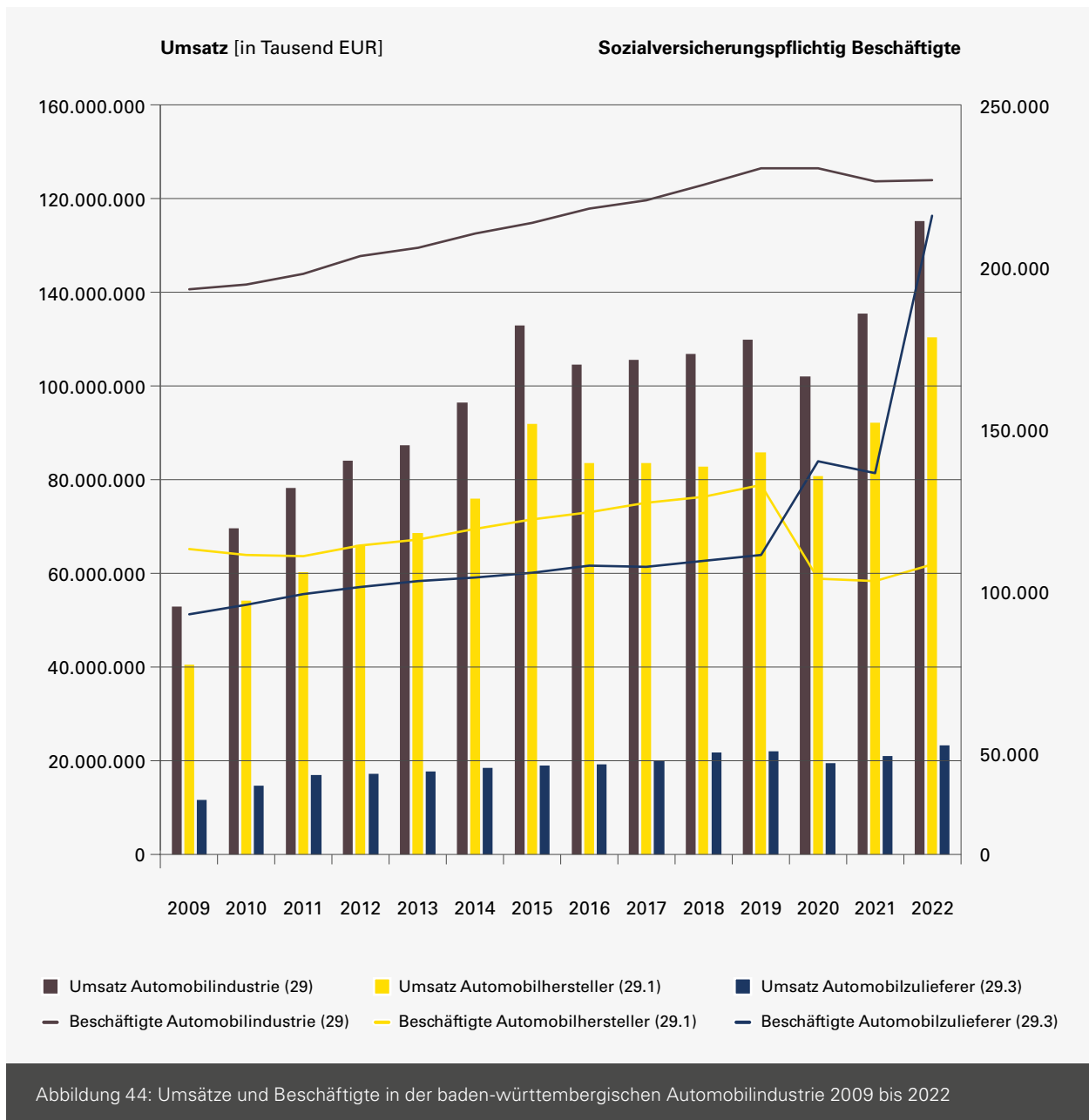


Abbildung 44: Umsätze und Beschäftigte in der baden-württembergischen Automobilindustrie 2009 bis 2022

Trotz der erheblichen Beeinträchtigungen der Fahrzeugproduktion erwiesen sich die Umsätze der baden-württembergischen Automobilindustrie in den letzten Jahren als relativ stabil. Grund hierfür ist zum Teil ein langjähriger Nachfragewandel hin zu größeren und teureren Fahrzeugen und damit die erfolgreiche Produktionsverschiebung hin zu renditeträchtigeren Modellen. Diese Strategie verfolgten die Hersteller auch zur Bewältigung der Krise 2020/2021. Doch während sie im Jahr

2022 damit trotz niedriger Produktionszahlen teilweise sehr gute Geschäftsergebnisse erzielt haben, hatten Zulieferer durch die niedrigeren Stückzahlen bei Volumenmodellen Umsatz- und Renditeeinbrüche und eine unbefriedigendere Ertragssituation, die vor allem mittlere und kleinere Zulieferer trifft (BVR, 2022; Berylls, 2022).

| Teilbranche   | Deutschland Beschäftigte | Anteil der Teilbranche | Baden-Württemberg Beschäftigte | Anteil der Teilbranche |
|---|--------------------------|------------------------|--------------------------------|------------------------|
| <b>Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen (WZ 29)</b>                                    | 899.462                  | 100%                   | 224.536                        | 100%                   |
| <b>Herstellung von Personenkraftwagen und Personenkraftwagenmotoren (29.101)</b>                  | 385.846                  | 43%                    | 83.822                         | 37%                    |
| <b>Herstellung von Nutzkraftwagen und Nutzkraftwagenmotoren (29.102)</b>                          | 47.716                   | 5%                     | 12.681                         | 6%                     |
| <b>Herstellung von Karosserien, Aufbauten und Anhängern (29.200)</b>                              | 45.545                   | 5%                     | 6.098                          | 3%                     |
| <b>Herstellung elektrischer und elektronischer Ausrüstungsgegenstände für Kraftwagen (29.310)</b> | 77.794                   | 9%                     | 31.160                         | 14%                    |
| <b>Herstellung von sonstigen Teilen und sonstigem Zubehör für Kraftwagen</b>                      | 342.561                  | 38%                    | 90.775                         | 40%                    |

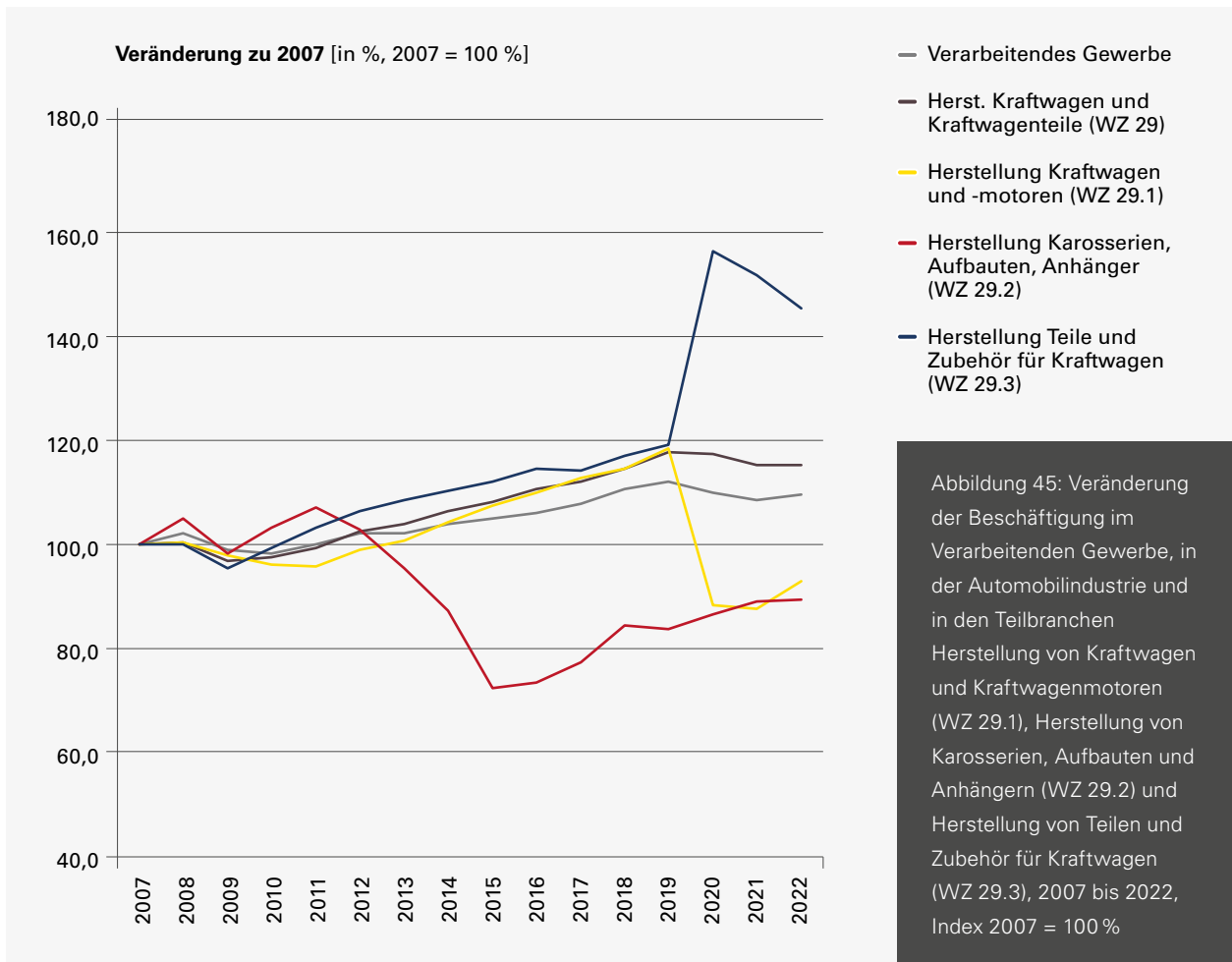
Quelle: Bundesagentur für Arbeit, 2023; eigene Berechnungen

Tabelle 7: Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte in Teilbranchen der Automobilindustrie in Deutschland und Baden-Württemberg 2022

Über 80 % des Umsatzes entfallen auf die Hersteller von Kraftwagen und Kraftwagenmotoren. Beschäftigt sind in der Automobilindustrie (WZ 29) in Deutschland 2,6 %, in Baden-Württemberg 4,6 % der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten. Die Beschäftigten verteilen sich ganz anders als die Umsätze auf die Teilbranchen, hier wird die große Bedeutung der Zulieferer in Baden-Württemberg deutlich.

In der langfristigen Betrachtung hat die Automobilindustrie in Baden-Württemberg bis 2019 Beschäftigung stärker als das Verarbeitende Gewerbe aufgebaut; der Beschäftigungsaufbau war bei den Herstellern (WZ 29.1) stärker als bei den Zulieferern (WZ 29.3). Der große Sprung bei Herstellern und Zulieferern zwischen 2019 und 2020 entstand durch eine geänderte Zuordnung der Unternehmen zu den Wirtschaftszweigen.<sup>6</sup> Das wirkt sich jedoch nur in der Statistik auf das Verhältnis der Teilbranchen zueinander aus, die Beschäftigung in der gesamten Branche zeichnet keine sprunghafte Veränderung nach.

<sup>6</sup> | Aus Geheimhaltungsgründen der amtlichen Statistik kann die neue Zuordnung nicht auf ein konkretes Unternehmen zurückgeführt werden; die Autor:innen gehen davon aus, dass ein bisher einem Hersteller zugeordneter Standort jetzt bei den Kfz-Zulieferern geführt wird.



### Energiebedarf und Energieversorgung

Die stark gestiegenen Energiekosten belasten die Unternehmen der Automobilindustrie, auch wenn die Unternehmen mit Blick auf die CO<sub>2</sub>-neutrale Produktion auf erneuerbare Energiequellen umstellen. Die Unternehmen beziehen zum einen Energie für ihren eigenen Produktionsprozess (z. B. Elektrizität und Gas für den Betrieb von Maschinen oder Informations- und Kommunikationstechnologien, Beleuchtung oder Wärme) und zum anderen steckt in ihren Vorprodukten wie Aluminium, Stahl und Gummi ebenfalls Energie. Ein Großteil davon stammt aus energieintensiven Industrien wie der Metallherzeugung, der Chemie-, der Glas- oder Kunststoffindustrie (BVR, 2022, Blazejczak et al., 2018).

|   | Insgesamt                | Kohle | Heizöl | Erdgas | Erneuerbare Energien | Strom  | Wärme | Sonst. Energieträger |
|---|--------------------------|-------|--------|--------|----------------------|--------|-------|----------------------|
|   | In Terawattstunden (TWh) |       |        |        |                      |        |       |                      |
| <b>Verarbeitendes Gewerbe</b>   | 77,909                   | k. A. | 1,983  | 24,015 | 7,405                | 25,328 | k. A. | 12,541               |
| <b>Automobilindustrie (WZ 29)</b>   | 7,849                    | k. A. | 0,100  | 2,813  | k. A.                | 3,748  | 0,841 | k. A.                |
| <b>dazu: Anteil der Fahrzeugindustrie am VG</b>   | 10%                      |       | 5%     | 12%    | k. A.                | 15%    |       |                      |
| <b>dazu: Anteil des Energieträgers am gesamten Energiebedarf der Automobilindustrie</b> |                          |       | 1%     | 36%    | k. A.                | 48%    | 11%   |                      |
| <b>Energieverbrauch der Industrie in Baden-Württemberg</b>                              | 78,544                   | 2,554 | 2,016  | 24,208 | 7,429                | 25,638 | 4,153 | 12,548               |
| <b>dazu: Anteil des Energieträgers am industriellen Energieverbrauch</b>                |                          | 3%    | 3%     | 31%    | 9%                   | 33%    | 5%    | 16%                  |

Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2022c; eigene Berechnungen DLR und IMU (Die Autor:innen gehen davon aus, dass die Eigenproduktion erneuerbarer Energie durch die Unternehmen selbst nicht ausgewiesen wird).

Tabelle 8: Energieverbrauch im Verarbeitenden Gewerbe und in der Automobilindustrie (WZ 29) in Baden-Württemberg im Jahr 2021 nach Energieträgern in Terawattstunden (TWh)

Die Unternehmen der Automobilindustrie haben allerdings einen im Vergleich zu anderen Industriebranchen sehr niedrigen Anteil der Energiekosten im Verhältnis zu der Bruttoproduktion (etwa 1 %, der Durchschnitt des Verarbeitenden Gewerbes liegt bei über 2 %). Dagegen zählen die Vorleistungsbranchen wie beispielsweise die Stahl- und Glasindustrie zu den energieintensiven Industrien, so dass im Fahrzeugbau vor allem indirekte Energiekosten anfallen und diese fast dreimal so hoch wie die direkten Energiekosten sind (Blazejczak et al., 2018; Löschel et al., 2015).

Der Stromverbrauch in Baden-Württemberg steigt stetig an, mit einem Verbrauch von 65,76 TWh im Jahr 2020 betrug er gegenüber 1950 fast das Dreizehnfache. Etwas mehr als ein Drittel davon (37 %) benötigt das Produzierende Gewerbe (Bergbau und Industrie) mit 24.184 Mio. kWh. Hier ist der Stromverbrauch mit einem Zuwachs um 700 % weniger stark als beim privaten Verbrauch angestiegen. Der Gasverbrauch ist im Zeitraum von 70 Jahren mit einem Zuwachs von 150 % deutlich schwächer gestiegen und lag 2020 bei 7.514 Mio. m<sup>3</sup> (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2022d). Die Automobilindustrie gehört mit einem Anteil von

etwa 10 % beim Erdgas zu den Industriebranchen mit dem höchsten Verbrauch (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2022e). Dieser hohe Anteil ist auf die Größe dieser Branche zurückzuführen, im Verhältnis zu ihrem deutlich höheren Umsatz- und Beschäftigungsanteil wird deutlich, dass sie nicht zu den energieintensiven Branchen gehört.

Der Energieverbrauch von Unternehmen wird vor allem von der Konjunktur beeinflusst, der Energieaufwand der Produktion steigt und sinkt proportional zur Menge der hergestellten Güter. Auch der Energiebedarf der Logistik ist eng an die Produktion gekoppelt. Investitionen in Maßnahmen zum Energiesparen bzw. für eine höhere Energieeffizienz können die Industrie von den derzeit hohen Energiekosten entlasten und gleichzeitig durch die Verringerung der industriellen CO<sub>2</sub>-Emissionen zum Klimaschutz beitragen. Zwischen 2003 und 2018 konnte der Primärenergieverbrauch der Wirtschaft um 7,3 % gesenkt werden. Das Verarbeitende Gewerbe profitierte dabei von etwa 54,7 Mrd. EUR Umsatz aus Investitionen zum Umweltschutz, von denen etwa 40 % einer höheren Energieeffizienz bzw. dem Energiesparen dienen, etwa 33 % der Nutzung erneuerbarer Energien und jeweils etwa 13 % der Abwasserwirtschaft und

Luftreinhaltung (Brockjan et al., 2021). Die Automobilhersteller erklären die CO<sub>2</sub>-neutrale Produktion für sich als Ziel, das sie deutlich früher als das politisch gesetzte Jahr 2050 erreichen wollen: Bis 2025 will die Audi AG die Produktionsstätten klimaneutral umgestellt haben, die Porsche AG will bis 2030 eine umfassende Klimaneutralität umgesetzt haben. Mercedes-Benz Cars will bis 2039 Klimaneutralität einschließlich einer „Electric only“-Strategie erreicht haben. Diese Forderung übertragen die Hersteller auch auf ihre Zulieferer, die dies in den nächsten Jahren umsetzen müssen (vgl. e-mobil BW, 2022a). Dafür sind sie auf Strom aus erneuerbaren Energiequellen angewiesen.

### 3.2 Nutzfahrzeuge

Die baden-württembergische Automobilindustrie wird – wie die deutsche – von der Pkw-Produktion dominiert. Während in Deutschland die Pkw-Produktion zuletzt ca. 3 Mio. Fahr-

zeuge betrug, lag der Nutzfahrzeugmarkt im Jahr 2021 bei ca. 351.000 (VDA, 2022a). Die Trennung der Daimler AG in die Mercedes-Benz Group AG und die Daimler Truck AG zum Jahresende 2021 machte bewusst, dass mit der Daimler Truck AG ein sehr großer Lkw-Hersteller mit 100.000 Beschäftigten weltweit seine Zentrale in Baden-Württemberg hat. Mit dieser Trennung können sich die beiden neuen Unternehmen auf ihren jeweiligen Schwerpunkt fokussieren, eine solche Unternehmensausrichtung wird von institutionellen Anlegern bevorzugt. Möglicherweise weist die Trennung auch darauf hin, dass eine Übertragung der Brennstoffzellen-Technologie von Nutzfahrzeugen auf Langstrecken- bzw. Oberklasse-Pkw als Synergieeffekt eines gemeinsamen Unternehmens skeptischer gesehen wird.

In Baden-Württemberg sind mit der Daimler Truck AG und der Iveco Magirus AG zwei der drei großen Nutzfahrzeughersteller Deutschlands vertreten.

| Unternehmen      | Standort                      | Ort                              | Produkte  |
|------------------|-------------------------------|----------------------------------|---|
| Daimler Truck AG | Daimler Truck AG              | Stuttgart-Untertürkheim          | Motoren und Antriebsstrang, auch elektrifizierte Antriebsstränge und zukünftig Batterien, rd. 4.500 MA  |
| Daimler Truck AG | Daimler Truck Campus          | Leinfelden-Echterdingen          | Forschung und Entwicklung, rd. 2.000 MA   |
| Daimler Truck AG | Cellcentric                   | Kirchheim unter Teck             | Entwicklung und (zukünftig) Produktion von Brennstoffzellen, rd. 400 MA   |
| Daimler Truck AG | Mercedes-Benz und EvoBus Werk | Mannheim                         | Dieselmotoren für Lkw, Produktion und Montage, rd. 4.800 MA<br>EvoBus-Produktion (Stadtbusse), rd. 3.500 MA<br>(keine Angabe des Herstellers) |
| Daimler Truck AG | Mercedes-Benz Werk            | Gaggenau                         | Getriebeproduktion für Lkw, rd. 6.000 MA  |
| Daimler Truck AG | Mercedes-Benz Werk Wörth      | Wörth am Rhein (Rheinland-Pfalz) | Weltgrößtes Lkw-Montagewerk, Tagesproduktion 470 Fahrzeuge (2018), rd. 10.000 MA  |
| Daimler Truck AG | EvoBus Werk Neu-Ulm           | Neu-Ulm (Bayern)                 | Endmontage für Setra-Busse und Überlandbus Intégro, rd. 3.500 MA  |
| Iveco Magirus AG | Iveco und Nikola              | Ulm                              | Produktionswerk für batterieelektrische und brennstoffzellenbetriebene Lkw, rd. 1.500 MA  |
| Deutz AG         | Deutz                         | Ulm                              | Produktion von Motoren für Nutzfahrzeuge  |

Die hier wiedergegebenen Angaben zu den Beschäftigtenzahlen weisen eine weit höhere Beschäftigung im Nutzfahrzeugsektor aus als in der Beschäftigtenstatistik der Bundesagentur für Arbeit für die Herstellung von Nutzfahrzeugen und Nutzfahrzeugmotoren (29102), weil hier auch Standorte aufgeführt sind, die zur Zulieferindustrie zählen.

Tabelle 9: Baden-württembergische Standorte für schwere Nutzfahrzeuge bzw. Standorte an der Landesgrenze

Wie bereits beschrieben, können knapp 13.000 sozialversicherungspflichtig Beschäftigte der Herstellung von Nutzkraftwagen und Nutzkraftwagenmotoren zugeordnet werden (6 % der Automobilindustrie (WZ 29), 13 % der Beschäftigten der Fahrzeughersteller). Der Umsatz der baden-württembergischen Nutzfahrzeugehersteller muss über verschiedene Wege geschätzt werden, weil er nicht in der Wirtschaftsstatistik ausgewiesen wird: Die Auswertung der deutschen Produktionsstatistik und der Ausführstatistik des VDA weisen auf einen Anteil von etwa 6 bis 7 % des Gesamtumsatzes der Kfz-Hersteller hin (Statistisches Bundesamt, 2022; VDA, 2022a). Bezogen auf den Umsatz der baden-württembergischen Kfz-Hersteller wären das knapp 6 Mrd. EUR. Dazu passen die Angaben aus den Geschäftsberichten der drei großen Nutzfahrzeugehersteller, aus denen sich für die Daimler Truck AG und die Iveco Magirus AG in Deutschland ein Umsatz von zusammen 6,6 Mrd. EUR ergibt. Der Umsatzanteil Deutschlands am weltweiten Umsatz der großen Nutzfahrzeugehersteller Daimler Truck AG, Traton SE und Iveco Magirus AG liegt bei 13 %. Der im Vergleich zum Beschäftigtenanteil deutlich niedrigere Umsatzanteil der Nfz-Herstellung gegenüber der Pkw-Herstellung spiegelt wider, dass die Produktion der großen Fahrzeuge bei deutlich niedrigeren Stückzahlen erheblich arbeitsaufwändiger und weniger stark automatisiert ist.

### 3.3 Investitionen der baden-württembergischen Automobilindustrie

Die Stärke der baden-württembergischen Automobilindustrie mit ihrem hohen Forschungs- und Entwicklungsaufwand wurde bereits dargestellt. Dazu gehören eigene Personal- und Sachkosten der Unternehmen (z. B. für Computer, Software

einschließlich der Lizenzen, aber auch Labor- oder Materialkosten). Ebenso gehört die Beauftragung anderer Unternehmen dazu (siehe Kapitel 3.5 zu Entwicklungsdienstleistungen). Forschung und Entwicklung sichern die Wettbewerbsfähigkeit und den Unternehmenserfolg. Als Aufwand- oder Kostenposition stellen sie in der betriebswirtschaftlichen Erfolgsrechnung eine Belastung des Unternehmens dar, die über den Umsatz finanziert wird. Forschungstätigkeiten zielen auf die Gewinnung neuer Erkenntnisse, hier gehen Grundlagenforschung und angewandte Forschung ineinander über. Entwicklungstätigkeiten bauen auf der Forschung auf, sind aber konkreter auf neue Produkte, Dienstleistungen oder Produktionsverfahren und damit auf einen wirtschaftlichen Nutzen für das Unternehmen gerichtet.

Hier ist eine Schnittstelle zur unternehmerischen Investitionstätigkeit. Im Strukturwandel und insbesondere in der Transformation investieren die Unternehmen laufend in neue Sachanlagen (z. B. Maschinen, Gebäude, die sogenannten materiellen Vermögenswerte) und in immaterielle Vermögenswerte (z. B. Software oder die oben beschriebenen Entwicklungsleistungen). Hier wechselt auch die betriebswirtschaftliche Betrachtung: Sobald Entwicklungsaufwände in einen wirtschaftlichen Nutzen überführt werden können (z. B. nach einer Marktstudie), können sie in der Bilanz – der Vermögensaufstellung eines Unternehmens – aktiviert werden und erhöhen damit den Unternehmenswert. Diese „Aktivierung“ von Entwicklungsleistungen ist in der internationalen Rechnungslegung, den International Accounting Standards vorgeschrieben, im deutschen Recht, dem Handelsgesetzbuch, besteht hier eine Wahlmöglichkeit. Die Analyse betrieblicher Investitionen gibt Aufschluss über die Innovationsfähigkeit der Unternehmen.

|  | Umsatz weltweit<br>in Mrd. EUR | Umsatz in Europa<br>in Mrd. EUR | Anteil Europas | Umsatz in Deutsch-<br>land in Mrd. EUR | Anteil<br>Deutschlands |
|--|--------------------------------|---------------------------------|----------------|--|------------------------|
| <b>Daimler Truck AG</b>                | 39,764                         | 13,091                          | 33 %           | 5,266                                  | 13 %                   |
| <b>Traton Group<br/>(Scania + MAN)</b> | 30,620                         | 17,241                          | 56 %           | 4,321                                  | 14 %                   |
| <b>Iveco Magirus AG</b>                | 10,069                         | 5,231                           | 52 %           | 1,345                                  | 13 %                   |
| <b>Zusammen</b>                        | 80,453                         | 35,563                          | 44 %           | 10,932                                 | 14 %                   |

Tabelle 10: Umsätze der drei größten Nutzfahrzeugehersteller weltweit, in Europa und in Deutschland im Jahr 2021 in Mrd. EUR

Quelle: Eigene Berechnungen DLR und  
IMU, 2023

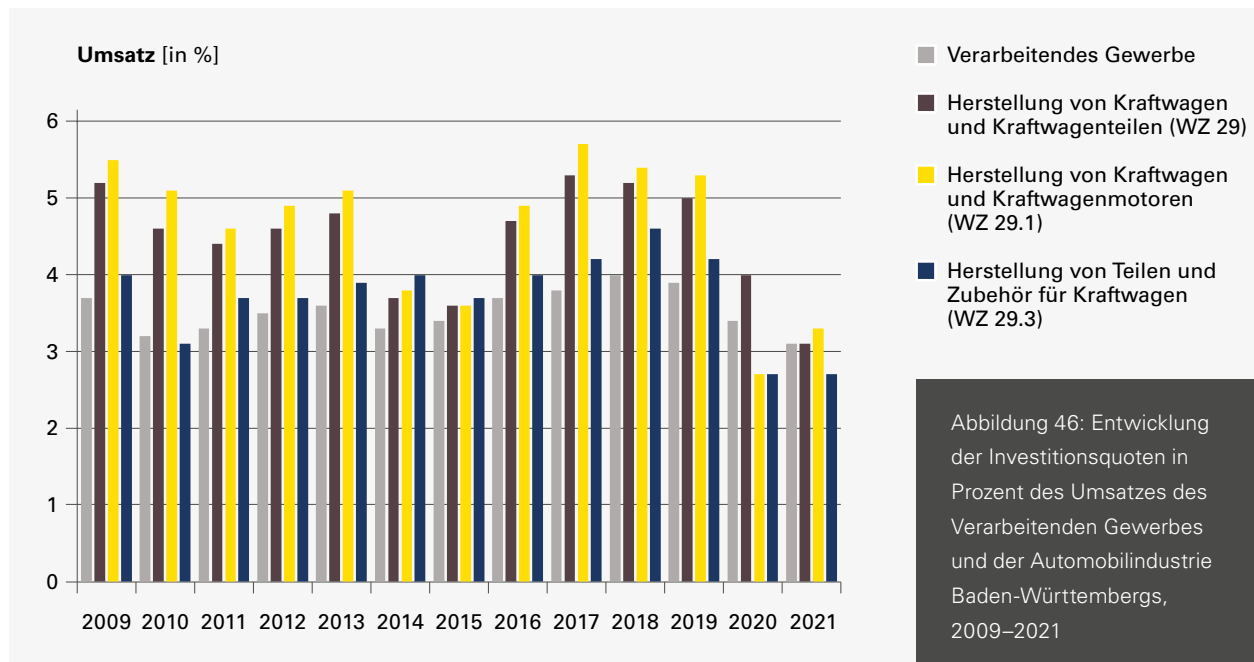
Auch in der volkswirtschaftlichen Betrachtung dient die Investitionstätigkeit als relevanter Indikator zur Innovationsfähigkeit von Regionen, sie gibt Auskunft zur permanenten Verbesserung oder Erweiterung der Produktionsausrüstung bzw. der Höhe des Kapitalstocks. Während in Baden-Württemberg die Investitionsquoten für das verarbeitende Gewerbe im langjährigen Schnitt bei 3,6 % lagen, zeigt sich für den Wirtschaftszweig 29 „Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen“ mit durchschnittlich 4,5 % eine höhere Investitionsquote. Der Anteil der Automobilindustrie an den Gesamtinvestitionen des Verarbeitenden Gewerbes stieg insbesondere in den besseren Konjunkturjahren auf teilweise mehr als 40 %, in den Krisenjahren gingen die Anteile der Automobilindustrie dagegen auf gut 30 % zurück. Zusätzlich zu den Investitionen im Inland gehört die Automobilindustrie zu den Branchen, die seit Jahren sehr stark auch im Ausland investieren (Deutsche Bank Research, 2021 und 2015).

Auch die Investitionsquote (als Verhältnis der Investitionen zum Umsatz) lag tendenziell über dem Niveau des Verarbeitenden Gewerbes. Infolge der Covid-19-Pandemie brachen die Investitionen in der Automobilindustrie um ein Drittel ein. Die baden-württembergische Automobilindustrie investierte 2019 noch 4,5 Mrd. EUR, und 2021 lagen die Investitionen nur mehr bei 3 Mrd. EUR.

|  | 2009 | 2011 | 2013 | 2015 | 2017 | 2019 |  | 2021 | Veränderung<br>2009 bis 2021 |
|--|------|------|------|------|------|------|--|------|------------------------------|
| <b>Verarbeitendes Gewerbe</b>  |      |      |      |      |      |      |  |      |                              |
| <b>Investitionen (Mrd. EUR)</b>  | 8,5  | 9,9  | 11,1 | 11,8 | 13,5 | 14,5 |  | 12,0 | + 42 %                       |
| <b>Investitionsquote (%)</b>   | 3,7  | 3,3  | 3,6  | 3,4  | 3,8  | 3,9  |  | 3,1  |                              |
| <b>Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen (WZ 29)</b>   |      |      |      |      |      |      |  |      |                              |
| <b>Investitionen (Mrd. EUR)</b>  | 2,8  | 3,5  | 3,5  | 3,3  | 4,7  | 4,5  |  | 3,0  | + 32 %                       |
| <b>Investitionsquote (%)</b>   | 5,2  | 4,4  | 4,8  | 3,6  | 5,3  | 5,0  |  | 3,1  |                              |
| <b>Anteil an den Investitionen im Verarbeitenden Gewerbe (%)</b>   | 32,5 | 35,2 | 38,0 | 34,2 | 41,4 | 37,9 |  | 30,2 |                              |
| Tabelle 11: Investitionen und Investitionsquote im Verarbeitenden Gewerbe und im Fahrzeugbau Baden-Württemberg 2009 bis 2021 |      |      |      |      |      |      |  |      |                              |

Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2022f; eigene Berechnungen DLR und IMU





Für die nächsten Jahre sind mit rund 140 Mrd. EUR erhebliche automobilbezogene Investitionen für Deutschland angekündigt (IW Consult und Fraunhofer IAO, 2021). Baden-württembergische Unternehmen haben daran einen Anteil in Höhe von fast 40 % (55 Mrd. EUR). Die Spanne beteiligter Unternehmen reicht von praktisch allen Herstellern (darunter die Mercedes-Benz Group AG, die Porsche AG, die Audi AG, die BMW AG, die Tesla Germany GmbH) über Zulieferer (Robert Bosch GmbH, Marelli Automotive Lightning GmbH, Valmet GmbH) bis hin zu Batterieherstellern (SVOLT Energy Technology GmbH, Farasis Energy Europe GmbH, CATL mit GmbHs in München und Thüringen) sowie Chipherstellern (Infineon Technologies AG mit mehreren Tochterunternehmen).

Investitionen werden grundsätzlich nach Ersatz-, Erweiterungs- und Rationalisierungsinvestitionen unterschieden. Bei Ersatzinvestitionen werden Betriebsmittel wie Maschinen durch neue ersetzt, die Kapazität (der Beschäftigungsgrad) bleibt bei der „reinen“ Ersatzinvestition ohne Rationalisierungsziel gleich. Diese Form der Ersatzinvestition hat heutzutage nur mehr eine geringe Bedeutung, da üblicherweise ein Mehrwert beziehungsweise ein Rationalisierungseffekt erwartet wird. Bei einer Erweiterungsinvestition wird die Kapazität erweitert (z. B. eine weitere Produktionshalle gebaut oder in eine zusätzliche Fertigungslinie investiert). Bei Rationalisierungsinvestitionen handelt es sich um Investitionen, die die Produktivität erhöhen.

Aus Beschäftigtenperspektive können sie sowohl negative (Arbeitsplatzabbau) als auch positive Folgen (höhere Wettbewerbsfähigkeit) haben. Die „Investition“ bezeichnet die Beschaffung und den Einsatz finanzieller Mittel, um neue Vermögenswerte für das Unternehmen zu schaffen, also den Unternehmenswert zu halten oder zu erhöhen. In der Innenfinanzierung von Unternehmen müssen immer wieder Unternehmensüberschüsse zumindest anteilig für Geschäftszwecke investiert werden. Während in Ländern mit seit langem bestehenden Automobilstandorten vor allem Ersatzinvestitionen getätigt werden, werden Neuinvestitionen vor allem in Asien (hier insbesondere in China) und in Südamerika getätigt (emobil BW, 2022a).

## Investitionstätigkeit ausgewählter Automobilunternehmen

Am Beispiel von drei Automobilherstellern (Daimler AG, später Mercedes-Benz-Group AG und Daimler Truck AG<sup>7</sup>, Porsche AG und BMW AG) sowie drei großen baden-württembergischen Automobilzulieferern (Robert Bosch GmbH, Mahle GmbH und ZF) wird die Investitionstätigkeit im Kontext von Kennzahlen zum Umsatz, zum Ertrag und zur Finanzstabilität dargestellt. Als Datenbasis dienen die verfügbaren Geschäftsberichte der sechs Unternehmen von 2017 bis 2021, wie sie auf Konzernebene unternehmensrechtlich vorgeschrieben sind. Angaben zu einzelnen Standorten sind in der Regel nicht verfügbar.

Diese sechs Konzerne beschäftigten 2021 rund 960.000 Menschen weltweit und erwirtschafteten einen Umsatz von 406,3 Mrd. EUR. Während der Umsatzanteil der untersuchten Automobilhersteller etwa zwei Drittel ausmachte, entfielen zwei Drittel aller Beschäftigten auf die drei Automobilzulieferer. Für die letzten Jahre konnte insgesamt eine gleichbleibende Beschäftigungs- und Umsatzentwicklung beobachtet werden. Die Ertragskraft der drei näher betrachteten Automobilhersteller lag in den betrachteten fünf Jahren auf einem höheren Niveau als bei den Automobilzulieferern. Die Porsche AG erwirtschaftete über alle betrachteten Jahre mit 13,5% bis 17,6% die höchsten operativen Ertragsraten (EBIT-Quote). Nach zwei ertragsärmeren Jahren lag die operative Umsatzrendite im Jahr 2021 bei den Premiumherstellern BMW AG und Mercedes-Benz AG wieder im zweistelligen Bereich.

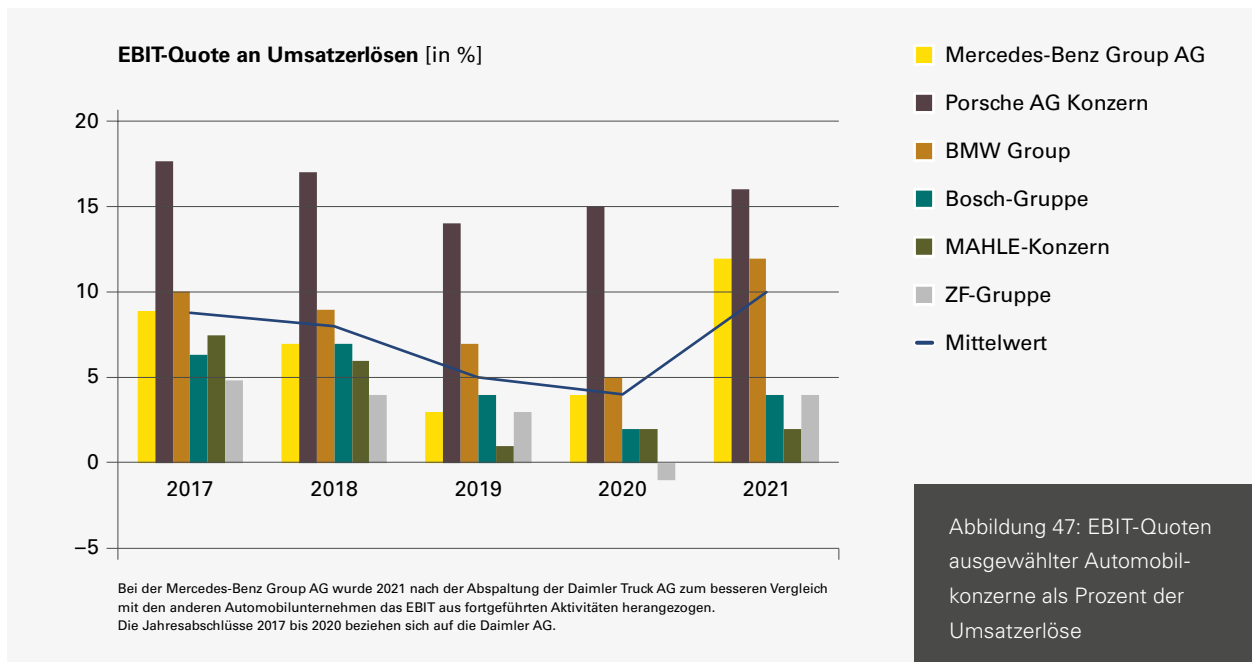
Bei den untersuchten Automobilzulieferern zeigten sich über alle Jahre hinweg strukturell niedrigere Ertragsraten. ZF und die Mahle GmbH wiesen im Jahr 2020 ein negatives Betriebsergebnis aus. Als ursächlich hierfür kann die Covid-19-Pandemie angesehen werden. Auch wenn sich tendenziell für 2021 eine bessere Ertragssituation gegenüber den beiden Vorjahren erkennen ließ, kann bei den drei betrachteten Zulieferern eine weiterhin angespannte Ertragslage beobachtet werden. Das führt insbesondere bei den Zulieferern bei den mittlerweile steigenden Zinsen zu einem „Investitionsdilemma“: Die notwendigen Investitionen in neue Geschäftsmodelle oder in vom Verbrennungsmotor unabhängige Produkte erfordern hohe

Gesamtsummen, die wiederum höhere Ertragsraten zur Finanzierung der Kredite benötigen.

Der Zulieferer Mahle GmbH war in der Vergangenheit vor allem mit Kolben, Filtersystemen und schweren Motorteilen erfolgreich. Das Unternehmen stellt sich in der Digitalisierung, der Elektrifizierung des Antriebsstrangs und für CO<sub>2</sub>-Neutralität neu auf und bietet beispielsweise neben elektrischen Antrieben auch Thermomanagement für batterieelektrische Fahrzeuge sowie Ladetechnologien an. Für diese Neuausrichtung nutzt das Unternehmen unter anderem einen zinsgünstigen Kredit in Höhe von 300 Mio. EUR von der Europäischen Investitionsbank (Stuttgarter Zeitung, 2022).

Das **EBIT** ist eine Ertragskennzahl, die Abkürzung steht für „**Earnings Before Interest and Taxes**“, das entspricht dem „Betriebsergebnis“ oder dem operativen Ergebnis in der deutschen Begrifflichkeit. Die Kennzahl konzentriert sich auf das Ergebnis aus der gewöhnlichen Geschäftstätigkeit, Steuereinflüsse und das Finanzergebnis werden ausgeblendet. Über die Angabe als Verhältnis zum Umsatz (in Prozent) dient das EBIT als Vergleichsmaßstab zwischen Unternehmen.

<sup>7</sup> | Mit Beginn des Geschäftsjahrs 2021 hat die Daimler AG eine Trennung zwischen der Pkw-Sparte und der Truck-Sparte vollzogen und beide Unternehmensteile in rechtlich eigenständige Unternehmen aufgliedert: in die Mercedes-Benz Group AG und die Daimler Truck AG. Im folgenden Text wird daher für den Zeitraum bis Ende 2020 die Daimler AG dargestellt, danach wird zwischen der Mercedes-Benz Group AG und der Daimler Truck AG unterschieden. In den Grafiken wird nur der aktuelle Unternehmensname Mercedes-Benz Group AG verwendet.

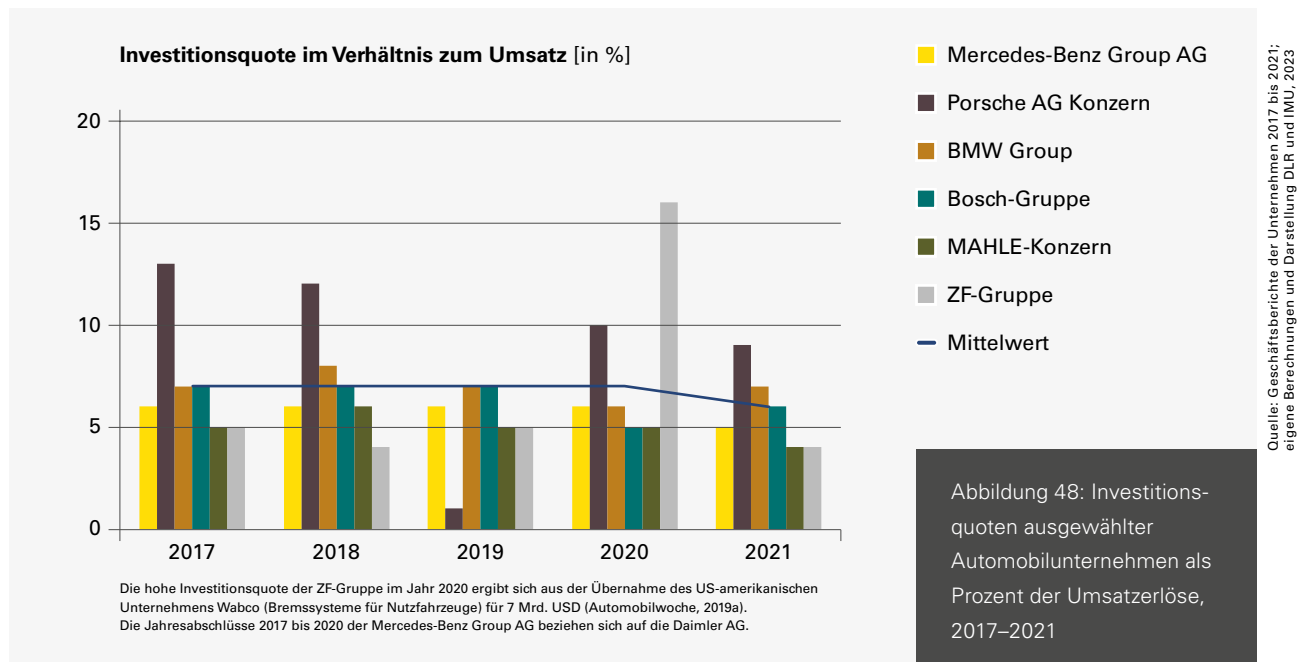


Der tiefgreifende Wandel und die Covid-19-Pandemie führten 2020 bei ZF zu negativen Ertragsraten. Der Autozulieferer ZF Friedrichshafen AG befindet sich mitten in einem Umstrukturierungsprozess und übernahm den US-Bremsenhersteller Wabco, um sein Produktportfolio um das Segment Steuerungssysteme für Nutzfahrzeuge zu erweitern. Dadurch erhofft man sich für die nächsten Jahre wieder eine höhere Ertrags- und Finanzkraft (ZF, 2022).

Weiterhin ist es erforderlich, Investitionen mit ausreichend Eigenkapital abzusichern. Investitionen gehen mit einem Zugang in langfristige Vermögenswerte einher, der wiederum ein bestimmtes Maß an Eigenkapitalreserven notwendig macht. Diese sind bei den betrachteten Unternehmen stabil und konnten von 2020 auf 2021 erhöht werden. Der Mittelwert lag bei 33%. Insbesondere die Robert Bosch GmbH und die Porsche AG wiesen sehr stabile Eigenkapitalreserven von rund 45% auf. Beim Zulieferer Mahle GmbH schlugen sich mehrere Jahre mit Verlusten nach 2018 auch in einem Rückgang des Eigenkapitals nieder. Die ZF Gruppe hatte 2021 in der Vergleichsgruppe die geringste Eigenkapitalquote mit weniger als 20% gemessen an der Bilanzsumme.

Die **Eigenkapitalquote** setzt das Eigenkapital des Unternehmens – das langfristig in das Unternehmen investierte Kapital – ins Verhältnis zur Bilanzsumme, den gesamten Vermögenswert des Unternehmens. Da das Eigenkapital in Krisenjahren Verluste abdeckt, ist eine hohe Eigenkapitalquote ein Hinweis auf ein wirtschaftlich stabiles Unternehmen. Die Höhe der Eigenkapitalquote ist stark von der Branche, dem Geschäftsrisiko und der Anlagenintensität abhängig.

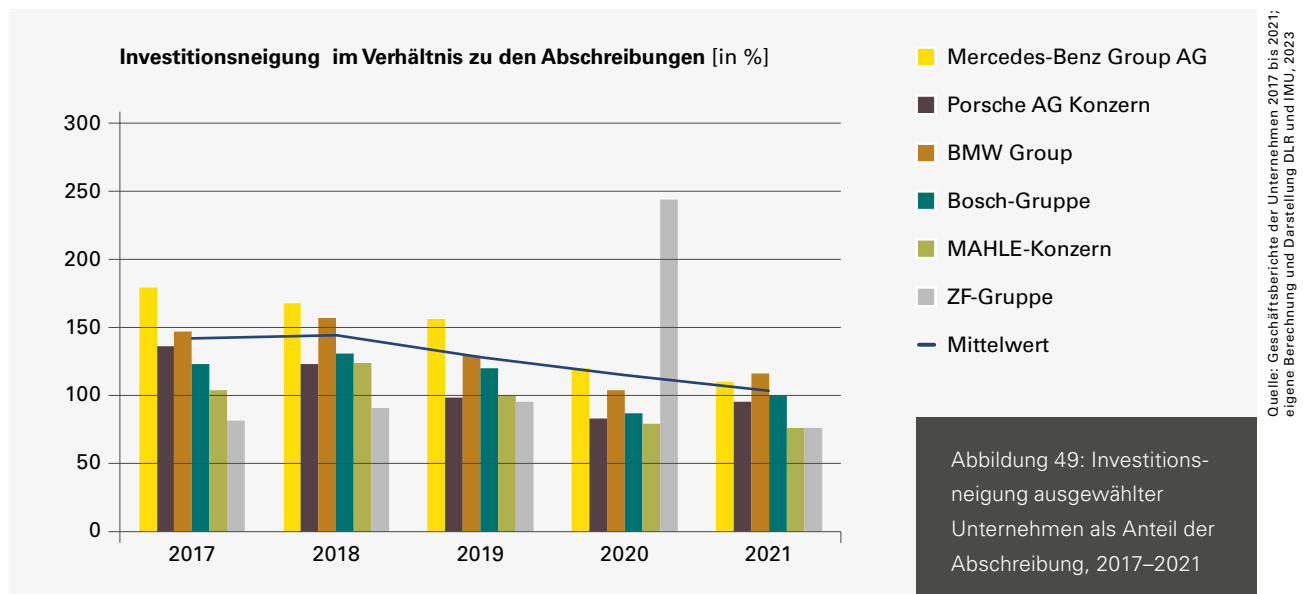
Die **Investitionsquote** stellt das Verhältnis der Investitionen in Sachanlagen und immaterielle Vermögenswerte zum Umsatz des Unternehmens dar. Sie sollte über mehrere Jahre hinweg verglichen werden, weil sie zwischen einzelnen Jahren stark schwanken kann.



Die Investitionsquoten nahmen trotz des anhaltenden Transformationsdrucks bei den untersuchten Automobilkonzernen ab dem Jahr 2020 ab, hier zeigt sich in der Untersuchung der sechs Unternehmen ein ähnliches Bild wie im Investitionsverhalten der baden-württembergischen Automobilindustrie insgesamt. Während die Investitionsquote 2020 noch im Schnitt bei 7 % der Umsatzerlöse lag, gingen die Umsätze und die Investitionssummen im Jahr 2021 zurück. Die Investitionsquoten der ausgewählten Automobilkonzerne liegen allerdings noch über dem Branchenniveau in Baden-Württemberg.

Bei einem Vergleich der Investitionen nach ihrer Art – Investitionen in Sachanlagen (Anlagen, Maschinen, Gebäude) oder in immaterielle Vermögenswerte (v. a. Entwicklungskosten, Firmenwerte, Lizenzen und Software) – zeigten sich bei der Mercedes-Benz AG (bis 2020 Daimler AG) und der BMW AG weitaus höhere Investitionsquoten in immaterielle Anlagen als bei den Zulieferern. 2021 hatten die beiden OEM immaterielle Investitionsquoten von 2,2 % bzw. 2,5 %, während die Zulieferer im selben Betrachtungsjahr immaterielle Investitionsquoten von maximal 0,6 % hatten. Hier schlägt sich nieder, dass die Automobilhersteller durch die wirtschaftliche Nutzung von Produktinnovationen vergleichsweise höhere Entwicklungskosten in der Bilanz ansetzen konnten.

Eine der zentralen Fragen der Investitionstätigkeit ist, ob der Investitionsumfang nicht nur Verschleiß und Verlust von Sachanlagen und immateriellen Vermögenswerten ersetzt, sondern ob er auf eine Erweiterung der Geschäftstätigkeit hinweist. Hinweise darauf gibt die Kennzahl der Investitionsneigung als Verhältnis des Aufbaus von Sachanlagen und immaterieller Vermögenswerte zu den Abschreibungen. Liegt dieser Wert über 100 %, wurden Erweiterungsinvestitionen durchgeführt (allerdings ohne Hinweis auf mögliche Rationalisierungseffekte). Bei Werten unter 100 besteht die Gefahr einer Überalterung der Vermögensgegenstände, weil die Investitionen die im Zeitverlauf anfallende Wertminderung nicht abdecken. Seit dem Jahr 2020 gingen die Investitionen bei den sechs näher betrachteten Automobilkonzernen zurück. Davor – 2017 und 2018 – investierten alle Unternehmen (mit Ausnahme von ZF) weit über dem Niveau von Ersatzbeschaffungen. Ab 2019 nahm die Investitionsneigung tendenziell ab, lediglich die ZF Gruppe wies 2020 mit dem Erwerb des US-Bremsenherstellers Wabco einen Investitionsschub auf. Dennoch hatten die Hersteller Mercedes-Benz AG und BMW AG über alle fünf Betrachtungsjahre eine Investitionsneigung über 100 %, auch die Porsche AG erreichte beinahe diesen Wert. Die Robert Bosch GmbH konnte 2021 exakt die Abschreibungshöhe wieder reinvestieren. Bei ZF und der Mahle GmbH lagen die Investitionen in Sachanlagen und immaterielle Vermögenswerte in den letzten Jahren unter dem Niveau von Ersatzbeschaffungen.



Die Automobilindustrie gehört zu den anlagenintensiven Unternehmenssektoren, in denen sich die Anlagen und damit die meisten langfristigen Vermögenswerte zeitlich abnutzen. Sie ist auf höhere Ertragsraten angewiesen, um die notwendigen Anlagen wiederbeschaffen zu können. Schon die Investitionsneigung weist darauf hin, dass die langfristig genutzten Sachanlagen zunehmend älter werden. Ein hoher bzw. steigender **Anlagenabnutzungsgrad** gibt einen Hinweis darauf, ob von einer „Überalterung“ der Anlagen ausgegangen werden kann. Dazu werden alle bisher angefallenen Abschreibungen (also die finanzielle Bewertung von Verschleiß, Abnutzung, Verlust) ins Verhältnis zum Wert des langfristigen Anlagevermögens gesetzt. Im Schnitt über die Unternehmen steigt er von 2017 bis 2021 leicht von 55 % auf 57 %. Die Analyse der Geschäftsberichte zeigt für die Premiummarken Mercedes-Benz und BMW eine moderate Verjüngung ihrer Anlagen, der Anlagenabnutzungsgrad liegt bei knapp 60 %. Die Porsche AG veröffentlichte hierzu keine Zahlen. Anders ist die Tendenz bei den drei betrachteten Zulieferunternehmen: Der Anlagenabnutzungsgrad erhöhte sich im Laufe der letzten fünf Jahre, ihre Anlagen werden eher älter. Bei der Robert Bosch GmbH und der Mahle GmbH erhöhte sich der Anlagenabnutzungsgrad im Jahr 2021 sogar um 5 Prozentpunkte gegenüber 2017. Bei der ZF Friedrichshafen AG kann generell ein niedrigerer Anlagenabnutzungsgrad bemerkt werden, der sich insbesondere infolge der Wabco-Übernahme im Jahr 2020 verbesserte.

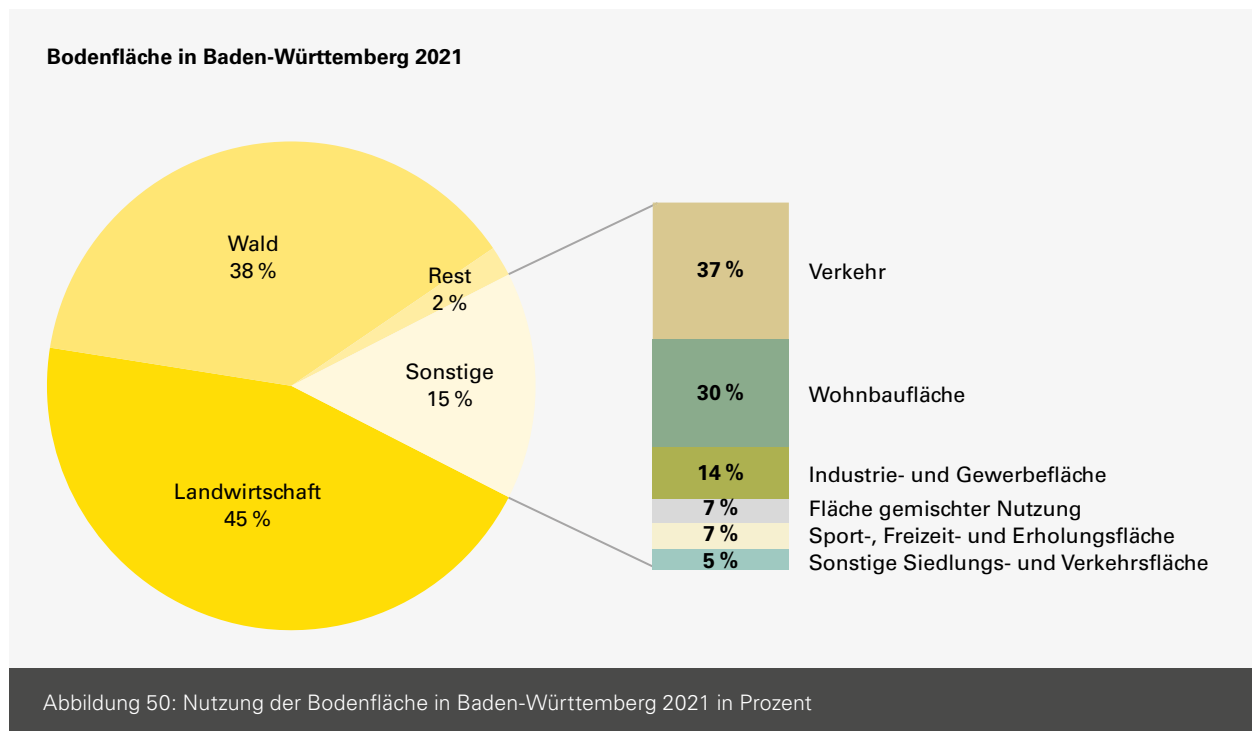
Steigende Energie- und Beschaffungskosten, Inflation und sinkender Konsum wirken sich in den nächsten Jahren auf die Umsätze der Automobilindustrie aus. Erzielen die Unternehmen niedrigere Gewinnspannen, müssen sie auch ihre Investitionen senken. Die Mercedes-Benz Group AG kündigte für 2025 eine Senkung der Fixkosten einschließlich der Sachinvestitionen und der FuE-Ausgaben um etwa ein Fünftel an (Mercedes-Benz Group AG, 2022a). Gleichzeitig senken die Unternehmen ihre Investitionen in den Verbrennungsmotor. Bei den Zulieferern zeigt sich das Dilemma, dass sie auch bei schwächerer Ertragssituation neue Investitionen finanzieren müssen. Nur so können sie vom Verbrennungsmotor unabhängiger werden und sich mit neuen Produkten in der Elektromobilität, im automatisierten Fahren oder mit neuen Services auch zukünftig erfolgreich am Markt platzieren. Eine Stabilisierung ihrer Ertragssituation ist für Automobilkonzerne und Zulieferer die Grundlage für anhaltend hohe Investitions- und Innovationstätigkeiten.

### 3.4 Flächenbedarf der Automobilindustrie

Eine wichtige Voraussetzung zum erfolgreichen Produktionsumbau bzw. zur Produktionserweiterung sowie für den Aufbau neuer Geschäftsfelder und Erfolgspotenziale ist die Verfügbarkeit entsprechender Gewerbeflächen für Unternehmen. Die schwierige Standortsuche der Cellcentric GmbH & Co. KG – des Gemeinschaftsunternehmens der Daimler Truck AG und der Volvo Group AB zum Bau von Brennstoffzellen für Nutzfahrzeuge – wurde mehrfach in baden-württembergischen Tageszeitungen und Fachzeitschriften beschrieben (siehe „Fallbeispiel Cellcentric“, Seite 98). Die Verfügbarkeit von Gewerbeflächen wird vielfach als große Herausforderung der Wirtschaftsförderung beschrieben – von der kommunalen über die regionale bis hin zur landespolitischen Ebene (z. B. DIFU, 2021; Universität St. Gallen und Wirtschaftsförderung Region Stuttgart, 2017; MVI BW, 2016). Die Verfügbarkeit nutzbarer Flächen und der Umgang mit konkurrierenden Nutzungen ist kein neues oder aktuelles Thema: Schon 2014 bildete das damals zuständige Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg gemeinsam mit drei weiteren Ministerien und 17 Verbänden/Institutionen das Aktionsbündnis „Flächen gewinnen“ (MLW BW, 2022; MVI BW, 2014).

Das Themenspektrum des (Gewerbe-)Flächenbedarfs kann in der Strukturstudie nur angerissen werden. Dabei wird unter anderem auf eine grundlegende Begriffsklärung im folgenden Text verzichtet, zudem auch in der Literatur und in den Gesprächen mit Expert:innen einige der Begriffe in ihrer umgangssprachlichen Mehrdeutigkeit (z. B. Fläche) verwendet werden. Wichtig ist jedoch eine gedankliche Trennung zwischen

- Flächen im Sinne eines Ausschnitts der Erdoberfläche (wie sie z. B. als Flächendarstellungen in den Plänen zu verstehen sind),
- Standorten (wie Gewerbegebiete) im Sinne von Flächen, die bereits unter Berücksichtigung weiterer Merkmale wie Topographie, Verkehrsanbindung, Nutzungskonkurrenzen für bestimmte Nutzungen geeignet sind, und
- (Gewerbe-)Grundstücken oder (Gewerbe-)Immobilien, die dann konkret genutzt werden (können).



### Konkrete Flächennutzung in Baden-Württemberg

In (Fach-)Veröffentlichungen häufig verwendete Begriffe wie „tägliches Flächenzuwachs“ oder „Flächengewinnung“ verdecken, dass die nutzbare Fläche begrenzt ist. Sie kann nicht vermehrt werden, sondern wird lediglich einer anderen, ertragreicheren Nutzung unterworfen. Die Landesfläche Baden-Württembergs beträgt 3.574.785 ha, davon sind insgesamt 15 % Siedlungs- und Verkehrsfläche (hier eingeschlossen Gewerbe- bzw. Industriegebiete). Die genutzte Fläche hat seit Mitte der 1990er Jahre (soweit reichen die abrufbaren Daten zurück) stetig zugenommen (s. Abbildungen 50 und 51).

Der Anteil der Siedlungs- und Verkehrsfläche ist in den Regionen bzw. Kommunen sehr unterschiedlich (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2022h): Die höchsten Anteile hatten im Jahr 2021 die Stadtkreise Mannheim (58 %), Stuttgart (52 %) und Karlsruhe (47 %). Die Stadtkreise Mannheim (24 %), Heilbronn (23 %) und Karlsruhe (22 %) haben im baden-württembergischen Vergleich die höchsten Anteile an Industrie- und Gewerbeflächen.

### Täglicher Zuwachs genutzter Fläche („Flächenverbrauch“)

Derzeit werden in Deutschland täglich etwa 45 Hektar (ha) als Siedlungs- und Verkehrsfläche neu ausgewiesen: Das schon für 2020 genannte Ziel eines bundesweiten Flächenverbrauchs von max. 30 ha pro Tag wird nicht erreicht (BMUV, 2022). In Baden-Württemberg wurde 2021 eine Fläche von 6,2 ha täglich neu für Baumaßnahmen beansprucht, das entspricht einer jährlichen Zunahme der Verkehrs- und Siedlungsfläche um rund 2.300 ha. Bezogen auf das bundesweite Ziel einer täglichen neuen Flächeninanspruchnahme von 30 ha sollte der Tageswert für Baden-Württemberg zurzeit bei 3,9 ha liegen. Im baden-württembergischen Koalitionsvertrag wird ein Maximalwert von 2,5 ha pro Tag als Ziel angegeben, das auch durch den neuen Landesentwicklungsplan (s. Abschnitt Planungsrecht, S. 103) erreicht werden soll (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2022h; Bündnis 90/Die Grünen und CDU, 2021; BWL, 2022a). Ab 2035 soll keine zusätzliche Fläche mehr für menschliche Nutzungen beansprucht werden, der Flächenzuwachs soll auf eine „Netto-Null“ reduziert werden.

Die Frage der nutzbaren Fläche wird landespolitisch eine sehr hohe Bedeutung bekommen, weil die grün-schwarze Landesregierung in ihrem Koalitionsvertrag für das Jahr 2035 eine „Netto-Null“ als Ziel bei der Flächeninanspruchnahme gesetzt hat: Ab diesem Jahr soll keine zusätzliche Fläche in Baden-Württemberg mehr in menschliche Nutzung übergehen (Bündnis 90/Die Grünen und CDU, 2021).

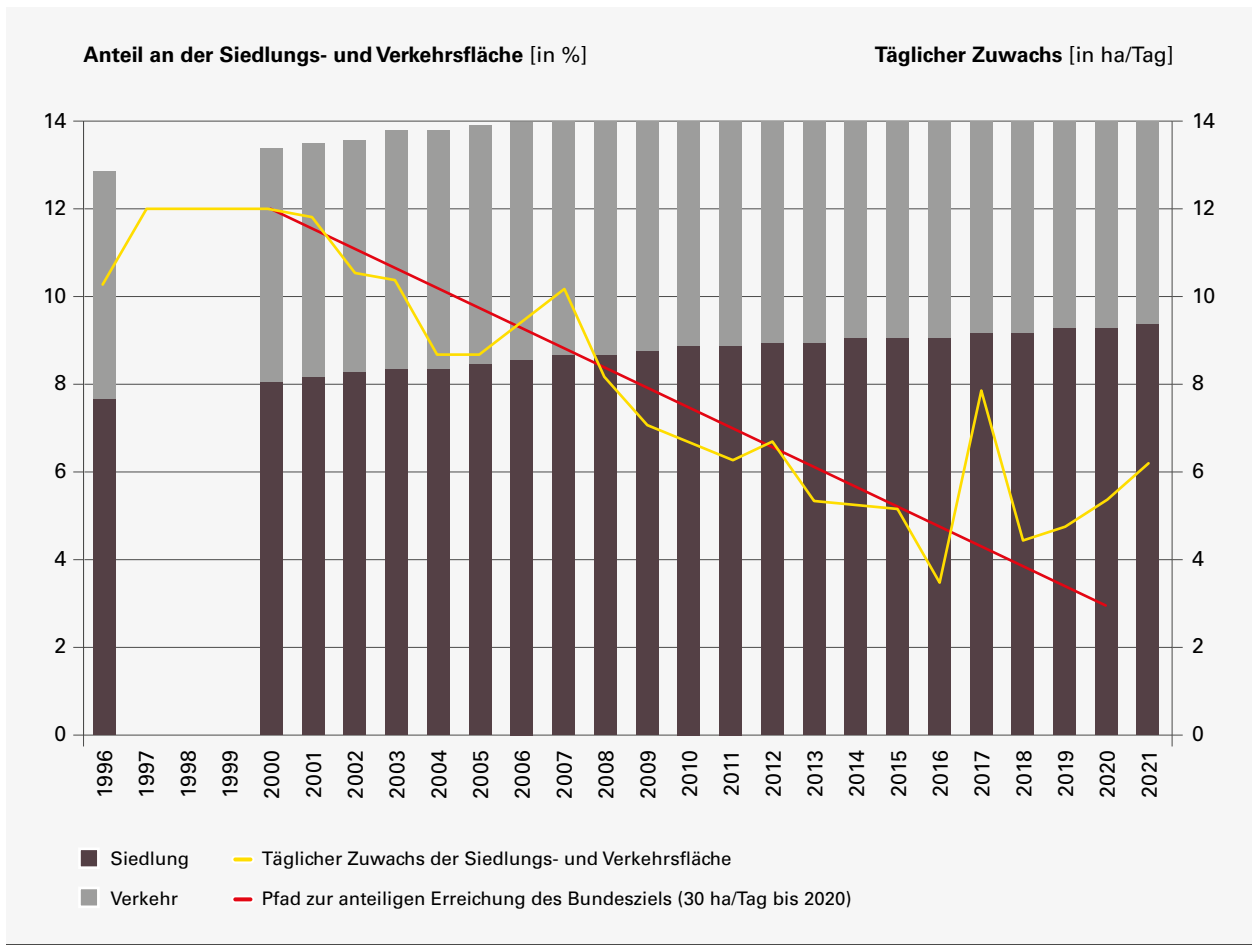


Abbildung 51: Flächennutzung und täglicher Flächenzuwachs in Baden-Württemberg sowie Pfad zur Erreichung des Bundesziels, 1996–2021

**Flächen für Gewerbestandorte**

Die nur begrenzt verfügbare Fläche im Sinne der real nutzbaren Ausschnitte der Erdoberfläche ist eine zentrale Einschränkung für die Ausweitung von Industrie- und Gewerbeflächen. Aufgrund der Topografie und der breit in der Fläche verteilten Siedlungsgebiete sind große Flächen mit mehreren hundert Hektar derzeit nicht und auch zukünftig kaum verfügbar (mehrere Exp.).

Über dieser grundsätzlichen Frage, ob Flächen – bzw. Ausschnitte der Erdoberfläche – als Gewerbe- und Industriestandort genutzt werden können, sind zwei weitere „Voraussetzungs-bündel“ zu erfüllen: Die Nutzung muss durch das Planungsrecht zulässig sein und die jeweilige Fläche muss über

die erforderliche Sachausstattung (Infrastruktur) für den gewünschten Zweck nutzbar beziehungsweise ein potenzieller Standort sein. Hierzu gehören z. B. die Anbindung an Verkehrswege (Straßen, Schienen, ggf. Erreichbarkeit mit öffentlichen Verkehrsmitteln), Breitband- und Glasfaseranschluss, Energieversorgung und Abfallentsorgung etc. Je nach Standorttyp – ob Gewerbe-, Industriegebiet, Bürostandort oder urbaner Standort mit Nutzungsmischung, Technologie- oder Sonderstandort beispielsweise für Logistik – bestehen jeweils sehr unterschiedliche Standortanforderungen im Hinblick auf die Lage und die Ausstattung mit Infrastruktur sowie mit den erforderlichen Gewerbebauten. Betrachtet werden dafür die sogenannten „harten Standortfaktoren“ wie Flächengröße, Grundstücks-, Gebäude- und gegebenenfalls Erschließungskosten, Verkehrs-, Telekommunikationsanschlüsse, bei denen Ent-



scheidungen über die Erfüllung von Anforderungen bzw. über die Kosten klar möglich sind. Ergänzend bilden die sogenannten „weichen Standortfaktoren“ wie Dienstleistungs- und Freizeitangebote (Kinderbetreuung), Wohnungen für Mitarbeiter:innen, Anbindung an den öffentlichen Verkehr oder die Attraktivität eines Standorts Unterscheidungsmerkmale für (Gewerbe-)Standorte.

Flächenansprüche von Unternehmen verändern sich durch Erweiterungen, Verlagerungen oder Neuansiedlungen. Unterschieden wird hierbei zwischen einer „endogenen Entwicklung“, also Flächenbedarfen aus dem kommunalen Unternehmensbestand heraus, und einer „exogenen Entwicklung“, bei der Unternehmen von außerhalb einen Standort nachfragen. Knappe bzw. gar nicht verfügbare freie Flächen stellen für Unternehmen einen Nachteil gegenüber anderen Wirtschaftsstandorten dar – ob jetzt im Vergleich zu anderen baden-württembergischen Kommunen, anderen Bundesländern oder in einer internationalen Standortkonkurrenz.

### Flächenbedarfe in der Transformation

Der Strukturwandel und die Transformation der Automobilindustrie wurden bereits beschrieben (Kapitel 2.3). Durch den Bedeutungsgewinn von Forschung und Entwicklung, der Software und der Tätigkeiten der Konzernzentralen setzt sich die Tertiarisierung in der Automobilindustrie fort, die Beschäftigung steigt in Dienstleistungstätigkeiten zu Lasten der Produktionstätigkeiten. Automobilhersteller und -zulieferer fragen sowohl Industrie- als auch Büroflächen nach (JLL, 2022; DIFU, 2021; Landeshauptstadt Stuttgart, 2019). Gleichzeitig suchen auch neue Unternehmen – ausländische Hersteller, Zulieferer mit Komponenten für den elektrifizierten Antriebsstrang oder für das automatisierte Fahren – nach Industrie- und Gewerbeflächen. Sie suchen gezielt die Nähe zum baden-württembergischen Automobilcluster und zu einem perspektivisch großen Markt für Elektromobilität in Deutschland. Die Spanne anfragender Unternehmen reicht von Design- oder Vertriebsstandorten mit wenigen Mitarbeiter:innen bis hin zur Produktion von Batteriezellen, Brennstoffzellen oder Chips für die Automobilindustrie. Beispielsweise hat der türkische Elektrofahrzeughersteller Togg in Stuttgart seine Importzentrale eröffnet (Exp.; kfz-betrieb, 2021). Nach solchen vergleichsweise „kleinen“ Anfragen können in der Regel schnell geeignete Standorte angeboten werden. Anders ist es zum Beispiel bei Automobilherstellern und Zulieferern, die hier Produktionsstandorte aufbauen wollen: „Schwierig werden Anfragen wie die von Northvolt oder OEM wie Tesla, da kommen Flächenanforderungen

von 100, 200 oder 400 ha. Und wir haben keine Fläche, die wir für so etwas anbieten können“ (Exp.).

In der Stadt Stuttgart hat die Automobilindustrie einen Anteil von 40 % an der Gewerbeflächennachfrage (Landeshauptstadt Stuttgart, 2019). Auch bei den Büroflächen haben Automobilunternehmen mit etwa 22 % einen relevanten Anteil an der Nachfrage und suchen vor allem große Flächen. Ebenso entfällt bei Logistikflächennachfrage ein relevanter Anteil (etwa ein Drittel) auf Automobilhersteller und -zulieferer (JLL, 2022). Der tatsächliche Flächenbedarf lässt sich allerdings nicht beziffern, wie unten erläutert wird. Insgesamt führt die Transformation zur Elektromobilität und zum automatisierten Fahren zumindest mittelfristig eher zu einer Erhöhung der Flächenbedarfe, denn im Übergang werden mehrere Antriebskonzepte parallel entwickelt und produziert, und für das autonome Fahren müssen neue Komponenten gefertigt werden (siehe dazu die Fallbeispiele Cellcentric und Northvolt, S. 98). Während also die Nachfrage nach Industrieflächen anhaltend hoch bleibt, scheint bei Büroflächen ein Rückgang der Nachfrage möglich. Zumindest einige Unternehmen werden die Ausweitung des Homeoffice während der Covid-19-Pandemie beibehalten und stellen sich auf eine Verringerung ihrer Bürofläche ein.

Nach der grundsätzlichen Frage, ob Gewerbeflächen für die geplante Nutzung verfügbar sind (Planungsrecht und Eigentumsverhältnisse), sind die Infrastrukturausstattung einschließlich der Verkehrsanbindung und die Energieversorgung ausschlaggebende Entscheidungskriterien. Die Stromversorgung aus erneuerbaren Energiequellen gewinnt zunehmend an Bedeutung, insbesondere bei Ansiedlungen der Batterieproduktion. Nicht zuletzt verlangen die Automobilhersteller von ihren Zulieferern eine Umsetzung der CO<sub>2</sub>-neutralen Produktion. Für Baden-Württemberg (und Bayern) ist diese Anforderung eine große Herausforderung, weil zurzeit der Strom aus Windenergie vor allem in Norddeutschland erzeugt wird und in Süddeutschland mit wenigen Jahren Vorlauf keine hohen Anschlussleistungen im Bereich von mehreren hundert Megawatt realisiert werden können (Exp.). Die Infrastrukturplanung gerade im Bereich der Energieversorgung hat derzeit Vorlaufzeiten von einem bis zu mehreren Jahrzehnten. Dabei werden seit zwei Jahren zunehmend höhere Anschlussleistungen verlangt, der Strombedarf der Unternehmen steigt stetig. „Wir haben schon Anfragen mit Anschlussleistungen von über 1.000 Megawatt – da könnte man gerade ein Kraftwerk hinstellen“ (Exp.). Eine weitere Herausforderung ist die Ergänzung der Energieversorgung mit grünem Wasserstoff – beispielsweise durch Wasserstoffpipelines. Weitere Standortfaktoren

sind das Potenzial an Arbeitnehmer:innen, die Anbindung an Forschungseinrichtungen oder Weiterbildungsmöglichkeiten.

Auch eine mögliche finanzielle Förderung beeinflusst Standortentscheidungen, wobei eine direkte Finanzierung von Unternehmensstandorten gerade in Baden-Württemberg stark eingeschränkt ist. Zum Ausschluss wettbewerbsverzerrender Beihilfen können in Baden-Württemberg nur niedrige Fördersummen angeboten werden, die einen Bruchteil der Investitionssummen abdecken. Ausnahmen gibt es beispielsweise für Projekte zur Zellfertigung, bei denen die EU als „Important Project of Common European Interest“ höhere Förderquoten bis zu 30 % zulässt. Für Investitionen in anderen Bundesländern oder in osteuropäischen Ländern können Unternehmen gegenüber baden-württembergischen Standorten aufgrund anderer Ausnahmeregelungen vielfach höhere Subventionen erhalten. Aktuell bieten die USA mit Förderungen aus dem Inflation Reduction Act Unternehmen attraktive Bedingungen für Ansiedlungen (Exp., Automobilwoche, 2023a). Auch asiatische Unternehmen erwarten aufgrund der Rahmenbedingungen in ihren Herkunftsländern erheblich höhere Förderquoten (20 bis 40 % der Investitionssumme), als in Baden-Württemberg möglich sind (Exp.). Die Fördergrenzen hat die Europäische Kommission im Rahmen des Temporary Crisis Transition Framework im März 2023 erweitert, hierunter fallen beispielsweise Maßnahmen zur Umsetzung der Klimaneutralität, der Ausgleich wirtschaftlicher Nachteile aus der russischen Aggression gegen die Ukraine und durch die außergewöhnlich hohen Gas- und Strompreise (Europäische Kommission, 2023a).

Ob sich aus der Transformation in größerem Umfang auch neue Nutzungen für bereits bestehende Industrieflächen ergeben, wird unterschiedlich gesehen. Bestehende Standorte werden immer wieder umgebaut, es gibt genauso den Neubau von Fabriken „auf der grünen Wiese“ (Greenfield im Unterschied zu Brownfield) – allerdings in Baden-Württemberg sehr viel seltener. Perspektivisch müssen Altstandorte für neue Nutzungen verfügbar gemacht werden, um das Ziel der „Netto-Null“ wirklich umsetzen zu können (Exp.; Universität St. Gallen und Wirtschaftsförderung Region Stuttgart, 2017). In der Praxis zeigen sich jedoch gerade bei Produktionsflächen große Schwierigkeiten bei Nachfolgenutzungen. Diese sind oft mit hohen Kosten verbunden: teilweise sehr hohen Grundstückskosten, wenn alte Industriestandorte mittlerweile zentrumsnah liegen, und Kosten für den Rück- oder Umbau von Gebäuden und die Beseitigung von Altlasten (Exp., auch MVI BW, 2014). Für den Zeitraum von 1990 bis ca. 2015 konnten

1.200 ha Fläche nach einer Altlastensanierung neu genutzt werden, umgerechnet auf den täglichen Flächenzuwachs ergäbe das einen niedrigen einstelligen Prozentwert (MVI BW, 2014; eigene Berechnungen DLR und IMU Institut). Beim Verkauf wollen private Eigentümer:innen häufig einen möglichst hohen Grundstückspreis erzielen, den sie – solange das Baurecht eingehalten wird – umsetzen können, wenn Kommunen kein Vorkaufsrecht vereinbart haben oder im Preiswettbewerb nicht mithalten können.

Zudem haben Industriestandorte in Baden-Württemberg oft eine lange, teilweise über 100-jährige Tradition (z. B. Standorte der Mercedes-Benz Group AG entlang des Neckars in Stuttgart-Bad Cannstatt und in Stuttgart-Untertürkheim neckaraufwärts bis Esslingen; der ZF Friedrichshafen AG, der Maschinenfabrik Alfing Kessler GmbH in Aalen-Wasseraffingen als Kurbelwellenhersteller). Diese Standorte werden zwar laufend umgebaut, stehen aber praktisch nicht für die Nutzung durch andere Unternehmen zur Verfügung. Nicht zuletzt durch die anhaltend hohe Nachfrage nach Gewerbeflächen und -immobilien stehen größere Gewerbeareale selten leer, werden aber möglicherweise nicht in der planungsrechtlich möglichen Intensität genutzt. So wurde in der Region Stuttgart – trotz sehr geringen Spielraums für die Neuausweisung von Gewerbeflächen – nur knapp ein Drittel der Gewerbeflächennachfrage mit Bestandsflächen bedient (Universität St. Gallen und Wirtschaftsförderung Region Stuttgart, 2017).

### **Fallbeispiel Northvolt AB: Ansiedlung in Baden-Württemberg gescheitert/nicht realisiert**

Der Batteriehersteller Northvolt AB war in den Jahren 2021 und 2022 mit mehreren Bundesländern im Gespräch, um einen Standort für eine Zellfertigung zu suchen. Geplant ist ein zweiter Standort zusätzlich zum Standort in Salzgitter, der in Kooperation mit Volkswagen aufgebaut wird. Dem Unternehmen konnte durch eine Kooperation von mehreren Landeseinrichtungen, Ministerien, Arbeitsagenturen und anderen Institutionen ein Standort angeboten werden, der zahlreiche Voraussetzungen wie Fläche, Anschluss an den Schienenverkehr, Fachkräfte erfüllte und der im bundesweiten Vergleich mit rund 70 anderen Standorten zu den besten drei gehörte. Letztlich entschied sich Northvolt für Heide in Schleswig-Holstein und gegen Baden-Württemberg, weil dort unter anderem eine Versorgung mit Strom aus erneuerbaren Energien zugesichert werden konnte.

Ob das Werk in Heide wie geplant gebaut wird, ist derzeit wieder fraglich. Möglicherweise erhält das Unternehmen in den USA das Vierfache statt der in Heide möglichen Förderung in Höhe von 200 Mio. EUR, so dass es einen Standort in den USA bevorzugt.

(Exp.; Automobilwoche, 2022b; Automobilwoche, 2021a)

### **Fallbeispiel Cellcentric GmbH & Co. KG: schwierige Standortsuche**

Die Cellcentric GmbH & Co. KG – ein im März 2021 gegründetes Gemeinschaftsunternehmen der Daimler Truck AG und der Volvo Group AB – suchte im Jahr 2022 einen Standort für die Fertigung von Brennstoffzellen für Lkw, an dem bisherige Standorte zusammengelegt und eine Serienfertigung aufgebaut werden sollen. Zusammen mit Forschung und Verwaltung könnte das Werk im Endausbau rund 400 Arbeitsplätze umfassen, die Serienproduktion soll in der zweiten Hälfte der 2020er Jahre beginnen.

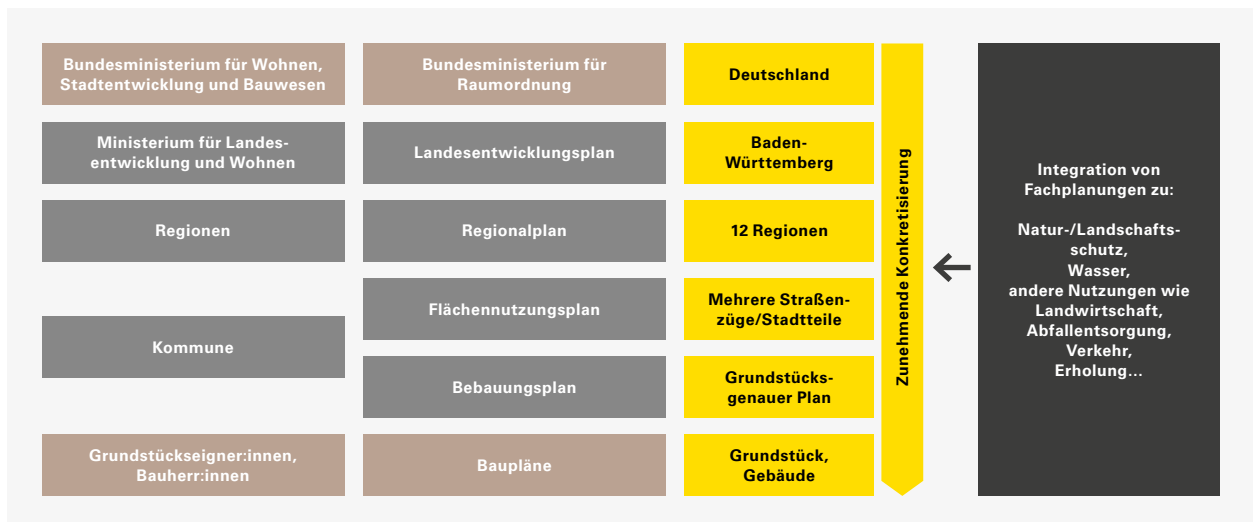
Die erste Standortsuche ist an einem Bürgerentscheid gescheitert. In Weilheim an der Teck (Landkreis Esslingen) soll jetzt ein neues Gewerbegebiet ausgewiesen werden, in dem etwa die Hälfte der vorgesehenen 30 ha für Cellcentric vorgesehen sind. Vor dem dortigen Bürgerentscheid im April 2022 warb der baden-württembergische Ministerpräsident vor Ort für die Ansiedlung. Der Bürgerentscheid fiel positiv aus, der Erwerb der Flächen von den Privateigentümern zog sich jedoch über mehrere Monate hin, so dass die Cellcentric GmbH & Co. KG Überlegungen für einen Alternativstandort veröffentlichte. Erst im November 2022 konnte die Stadtverwaltung Weilheims die Einigung mit den wichtigsten Grundstückseignern vermelden; auch bis zur Drucklegung der Studie (Juli 2023) sind noch nicht alle Verhandlungen abgeschlossen.

(Sciurti, 2022; Dekra, 2022; SWR, 2022a, Stuttgarter Zeitung, 2023a)

**Planungsrecht**

Topografisch geeignete Flächen müssen, damit sie für die Standortentwicklung in Frage kommen, sowohl topografisch als auch hinsichtlich der Mikro- und Makrolage geeignet sein. Zudem müssen sie bau- und planungsrechtlich für eine gewerbliche bzw. industrielle Nutzung vorgesehen sein. Vor dem Hintergrund des begrenzten Flächenangebots werden bei Unternehmensanfragen auch die verschiedenen Stadien der planerischen Festlegung berücksichtigt: neben bereits durch Bebauungsplan ausgewiesenen Gewerbe- bzw. Industriegebieten kommen auch im Flächennutzungsplan dargestellte, jedoch noch nicht in Bebauungsplänen festgesetzte oder noch nicht planerisch gesicherte Flächen, Potenzialflächen in Frage. Die Entscheidung über die Aufstellung oder auch Änderung der kommunalen Bauleitpläne (Flächennutzungsplan, Bebauungspläne) obliegt im Rahmen der kommunalen Planungshoheit den Städten und Gemeinden. Die Kommunen müssen aber innerhalb ihrer Planungshoheit die Ziele und Grundsätze der übergeordneten Landes- und Regionalplanung beachten beziehungsweise mindestens in ihrer planerischen Abwägung berücksichtigen. Es besteht somit ein mehrstufiges System von Regelungsebenen der räumlichen Planung mit jeweils unterschiedlicher Maßstäblichkeit und Detaillierung der Festlegungen, vgl. Abbildung 52.

Übergeordnete Prinzipien, die bei all diesen Planungsebenen zur Anwendung kommen, sind u. a. der sparsame und schonende Umgang mit Grund und Boden sowie – damit verbunden – der Vorrang der Innen- vor der Außenentwicklung (§ 1a (2) BauGB sowie Festlegung im Landesentwicklungsplan). Konkrete Vorgaben für die Bereitstellung von Gewerbeflächen in Baden-Württemberg ergeben sich aus dem Landesentwicklungsplan als Gesamtkonzept der räumlichen Entwicklung und Ordnung des Landes, den zwölf Regionalplänen mit Festlegungen zur regionalen Siedlungsstruktur und zu Gewerbe- und Industrieschwerpunkten und abschließend durch die Flächennutzungs- und Bebauungspläne der Kommunen selbst, die die planungsrechtlichen Voraussetzungen für Gewerbeansiedlungen schaffen können. Aus der Konkurrenz der Nutzungsansprüche und den gestuften Regelungsebenen ergeben sich Hemmnisse für die Ausweisung von größeren regionalen oder überregionalen Gewerbegebieten. Eine weitere Herausforderung ergibt sich aus dem Landesziel der sog. „Netto-Null“ aus dem Koalitionsvertrag, die ab 2035 für die Neuinanspruchnahme von Flächen zu beachten ist. Zum einen sind Flächenbedarfe unter anderem für Gewerbeflächen in den letzten Jahren stetig gestiegen, zum anderen kommen neue Anforderungen (1,8% der Landesfläche als Standort für Windräder, Exp.) dazu. Die Automobilindustrie gehört mit allen Segmenten der Wertschöpfungskette (von der Zellproduktion über Leichtbau bis hin zu Software und KI-Anwendungen) zu den baden-württembergischen Schlüsselindustrien, deren Transformation im neuen Landesentwicklungsplan berücksichtigt werden soll. Die Verfügbarkeit großer Industrieflächen wird eine besondere Herausforderung.



Quelle: DLR und IMU, 2023

Abbildung 52: Übersicht zur Raumplanung in Baden-Württemberg

Über diese Regelungsebenen werden bestimmte Flächennutzungen wie beispielsweise für Industrie, anderes Gewerbe oder Büroarbeitsplätze und deren Intensität zulässig bzw. werden Flächenkonkurrenzen geregelt. Ob die jeweilige Nutzung umgesetzt werden kann, entscheiden dann letztendlich die Eigentümer:innen der Flächen, die sich in Privatbesitz befinden.

Diese abgestuften Eingriffsebenen erfordern ein hohes Maß an Abstimmung und Kooperation, beides wird mit stärkerer Konkurrenz um Flächen („Netto-Null“) zunehmen. Andersherum formuliert ergeben sich daraus gerade für die Gewerbeflächenentwicklung verschiedene Hemmnisse: Verfügbarkeit passender Flächen, Vorbehalte gegenüber neuen – und insbesondere gewerblichen/industriellen – Nutzungen und der damit verbundenen Belastungen (Lärm, Verkehr, Schadstoffemissionen), abweichende Entwicklungsziele der Kommune, Konkurrenz zu bisherigen Nutzungen (wie z. B. der Landwirtschaft auf der Filderebene) und nicht zuletzt die wirtschaftliche Verwertbarkeit bzw. eigene Interessen der Eigentümer:innen (siehe dazu z. B. Universität St. Gallen und Wirtschaftsförderung Region Stuttgart, 2017). Aus Unternehmenssicht besonders kritisch sind der erforderliche zeitliche Vorlauf und die zeitliche Verfügbarkeit von Flächen: Zwar können für große Anfragen Änderungen beispielsweise im Regionalplan, im Flächennutzungs- und im Bebauungsplan parallel ablaufen. Aber das erfordert einen hohen Koordinationsaufwand, eine hohe Übereinstimmung der beteiligten Akteur:innen und der Prozess dauert durch erforderliche Offenlegungs- und Beteiligungsfristen mehrere Monate. Schon eine erste Prüfung, ob größere Flächen in Baden-Württemberg verfügbar sind, braucht oft zwei bis drei Wochen; sie läuft über mehrere Internetportale, die zwölf Regionalverbände und gegebenenfalls über mehrere Kommunen (Exp.). Besondere Aufmerksamkeit bekam deshalb auch das Genehmigungsverfahren für die Ansiedlung von Tesla in Grünheide bei Berlin: Hier hatte Tesla auf eigenes Risiko bereits parallel zum Genehmigungsverfahren mit dem Bau begonnen. So startete die Fabrik bereits im Sommer 2022 mit der Serienproduktion – etwa zweieinhalb Jahre nach Kauf des Grundstücks durch Tesla und keine drei Jahre nach Ankündigung des Fabrikbaus durch das Unternehmen (Automobilwoche, 2020b).

Darüber hinaus sind Flächenbedarf und -angebot teilweise schwierig in Übereinstimmung zu bringen:

- Durch die kommunale Planungshoheit liegt die Ausweisung von Flächen und damit auch der Überblick über mögliche Flächenpotenziale bei den 1.100 Kommunen (ggf. Planungsverbänden) in Baden-Württemberg. Zwar fassen Regionalverbände häufig den bedeutsamsten Flächenbestand und die bedeutsamsten Potenziale zusammen. Aber letztlich lassen sich zurzeit freie bzw. kurzfristig verfügbare Gewerbeflächen bzw. Flächenpotenziale nicht auf Landesebene zusammenführen (Exp., MVI BW, 2016).
- Zwar gibt es seit knapp zehn Jahren das Flächenmanagementtool „FLOO“, in dem baden-württembergische Kommunen ihre Flächenpotenziale differenziert nach Kriterien wie Baulücken, Brachflächen oder Leerständen in Gebäuden erfassen und kontinuierlich bewerten können, trotzdem gibt es noch immer keine auf Landesebene zusammengefasste Information zur Flächenverfügbarkeit (MVI BW, 2014 und Exp.).
- Noch schwieriger ist ein aktueller Überblick über Flächenbedarfe, die Unternehmen bei kommunalen und regionalen Wirtschaftsförderern oder der BW\_i (Baden-Württemberg International GmbH) als überregionale Anlaufstelle nennen. Hier wird in der Regel nicht erfasst, ob parallele Anfragen an anderen Standorten laufen, wie dringlich Bedarfe sind oder ob Anfragen zwischenzeitlich an einem anderen Ort realisiert wurden. Auch besteht oft kein regelmäßiger Austausch mit den Unternehmen in der Form, dass frühzeitig Veränderungspläne bekannt werden und darauf von Seiten der Wirtschaftsförderung oder Raumplanung frühzeitig reagiert werden kann. Der zukünftige Flächenbedarf kann nicht zuverlässig prognostiziert werden; verschiedene Modelle (z. B. Ableitung aus Bevölkerungs- oder Beschäftigungsprognosen) unter- bzw. überschätzen den Bedarf regelmäßig (MVI BW, 2016; Exp.; Landeshauptstadt Stuttgart, 2019).

### 3.5 Entwicklungsdienstleistungen

Entwicklungsdienstleistungen bilden einen wichtigen Bestandteil der automobilen Wertschöpfung, sie fließen als Vorleistungen ähnlich wie die Leistung der Zulieferer in die Produkte ein (VDA und SAC, 2020). Mit dem Bedeutungsgewinn von For-

schung und Entwicklung gegenüber der Produktion haben Entwicklungsdienstleistungen (EDL) in Industriebranchen mit niedriger Fertigungstiefe und stark segmentierten Wertschöpfungsketten ebenfalls an Bedeutung gewonnen. Dazu gehört die Automobilindustrie mit ihrem hohen FuE-Anteil, der zu einem relevanten Anteil an externe EDL geht. Aus der Branche sind die OEM und die Tier-1-Zulieferer die wichtigsten Auftraggeber (VDA und SAC, 2020; auch Blöcker, 2016, und Ball, 2021). Ball (2021) gibt aus einer Befragung von EDL-Unternehmen heraus an, dass 70 % der Aufträge aus der Automobilindustrie kommen. Sie profitieren von der steigenden Komplexität im Fahrzeug und in der Produktentwicklung, beispielsweise durch die zunehmenden Assistenzfunktionen des Fahrzeugs mit dem Zusammenspiel von Sensoren und Aktuatoren in vielen Komponenten. Durch die neuen Technologien und den starken Wandel der Fahrzeuge wird mit einem langfristigen Wachstum der FuE-Ausgaben und damit auch des Markts für Entwicklungsdienstleister gerechnet, allerdings einschließlich des Wachstums an neuen Standorten in Asien und Osteuropa (VDA und SAC, 2020). Schon jetzt sind Entwicklungsdienstleister international aufgestellt: „So werden etwa Osteuropa (z. B. Ungarn, Polen oder Rumänien) und Nordafrika (z. B. Marokko), als moderate Best-Cost-Standorte für anspruchsvolle Softwareentwicklung benutzt. Mitunter fordern die OEM in ihren Ausschreibungen bereits eine Abarbeitung an kostengünstigen Standorten (VDA und SAC, 2020). Mit der weltweiten Vereinheitlichung von Internet-Standards und -Protokollen werden auch Indien oder Vietnam als EDL-Standorte interessant. Noch sind aber große Anteile der Beschäftigten an deutschen Standorten tätig: Beispielsweise gibt die Bertrandt AG an, dass knapp 10.000 der 12.000 Mitarbeiter:innen im Inland beschäftigt sind (Bertrandt, 2022a, 2023).

Hervorgegangen sind die Entwicklungsdienstleister zum Teil in den 1960er und 1970er Jahren aus kleinen Ingenieurbüros, die vor allem in den 1980er Jahren durch die computergestützte Konstruktion ihre Position als Dienstleister der Automobilindustrie festigen konnten. Zum anderen Teil gründen Industrieunternehmen eigene Tochtergesellschaften, die sich losgelöst aus den Konzernen besser auf die Entwicklungstätigkeiten konzentrieren können (Blöcker, 2016). Heute werden sie von der Forschung und Vorentwicklung (einschließlich der Entwicklung von Plattformen) über die Konstruktion und den Bau von Prototypen bis hin zur Betreuung von Vorserien und Serien tätig (vgl. Bertrandt, 2022b; VDA und SAC, 2020). Sie integrieren neues und branchenfremdes Wissen in die Automobilindustrie, so dass deren Produkte bei Innovationen schneller wettbewerbsfähig sind.

Gleichzeitig erlaubt die Auslagerung von Tätigkeiten an Dienstleister den OEM, eine Verringerung der eigenen Wertschöpfung sowie eine Minimierung eigener Kosten und Risiken zu realisieren. Derzeit profitieren Entwicklungsdienstleister von der hohen Variantenzahl und den häufigen Änderungen bzw. Optimierungen bestehender Produkte (Derivate), die Serienentwicklung ist mit einem Anteil von rund 70 % derzeit das wichtigste Geschäftsfeld, gefolgt von Forschung und Vorentwicklung (ca. 15 %), der Serienbetreuung (8 %) sowie der Konzeptentwicklung (7 %). Zukünftig wird für Entwicklungsdienstleister mit einem größeren Anteil der Aufträge im Bereich der Forschung und Entwicklung und einem Anteilsverlust bei der Serienbetreuung gerechnet, weil OEM ihre Ressourcen in die neuen Technologien und die Parallelentwicklung der Antriebsstränge verlagern. Bis in die Anfänge der 2030er Jahre wird ein weltweites Marktwachstum erwartet, das sich jedoch bei Marktreife der anstehenden Fahrzeuginnovationen (elektrifizierter Antrieb und Advanced Driver Assistance Systems) wieder abschwächen kann (VDA und SAC, 2020).

Die Digitalisierung des Fahrzeugs (vgl. Kapitel 2) verändert die bisherigen Themen und Kompetenzen der deutschen Entwicklungsdienstleister, die sich bisher stark auf das Fahrzeug mit der Optimierung von Verbrennungsmotoren und die Entwicklung von Premiumfahrzeugen gestützt haben. Das umfasst ein breites Themenspektrum wie den Bedeutungsgewinn der Software am Fahrzeug, neue Funktionen der Vernetzung und des automatisierten Fahrens, die Kommunikation mit der Ladeinfrastruktur oder den digitalen Zwilling in der Produktion. Durch diese neuen Themen wird ein weiteres Marktwachstum für EDL erwartet (Automobil Produktion, 2021; Automobilwoche, 2021b). Allerdings bauen OEM gerade bei der Softwareentwicklung eigene Kapazitäten auf, und auch bei EDL findet eine Verlagerung von Tätigkeiten ins Ausland statt.

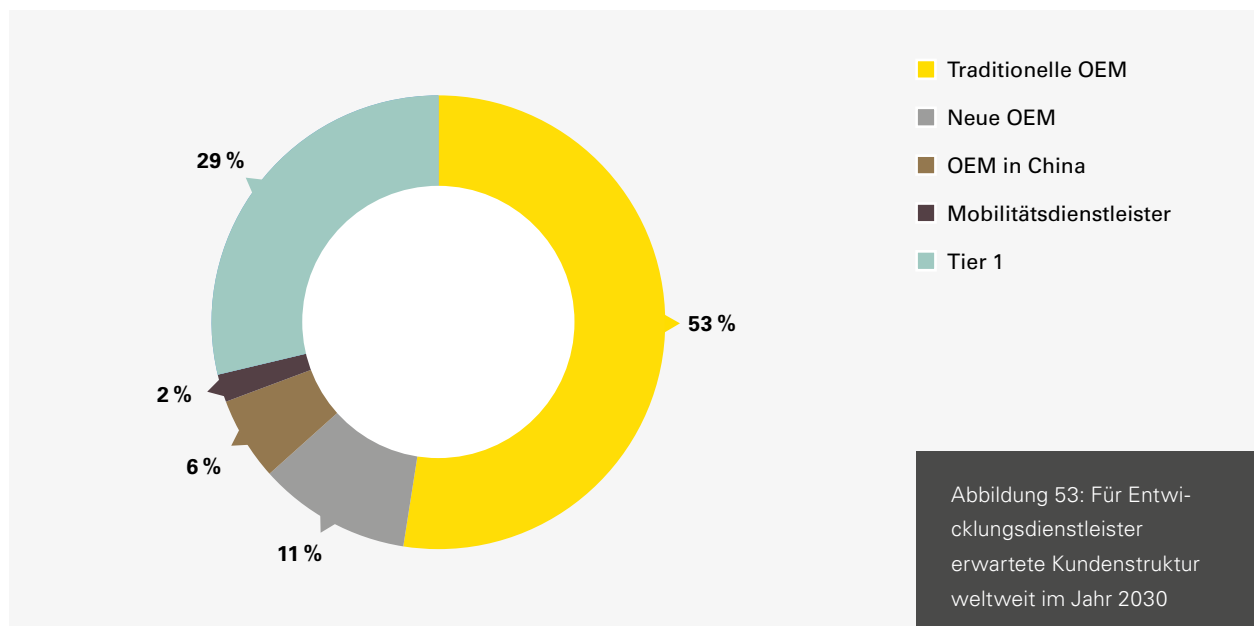
Daraus wird perspektivisch ein Nebeneinander der EDL für alte und neue Technologien sowie bisheriger und neuer Kundengruppen erwartet (Deloitte, 2022b; Automobilwoche, 2021b; VDA und SAC, 2020): Zum einen wird sich die Verlagerung von Entwicklungstätigkeiten von OEM auf die EDL in den Bereichen fortsetzen, die sich für den OEM zukünftig nicht zur Abgrenzung gegenüber anderen Herstellern und Marken eignen. Diese „Commodity-Themen“ betreffen die „Hardware“ des Fahrzeugs, die Karosserie und das Fahrwerk und mit rückläufigem Umfang die Optimierung des Verbrennungsmotors. Hier werden Kosteneffizienz im Entwicklungsaufwand und bei den Produktkosten zu zentralen Kriterien bei Vergabe an Entwicklungsdienstleister, die sie über Standorte in „Best-Cost

Countries“ und Standardisierung ihrer Tätigkeiten erfüllen können. OEM verringern ihre Ausgaben und lenken sie in den Bereich der neuen Technologien wie Advanced Driver Assistance Systems oder Software um. Diese bieten auch Entwicklungsdienstleistern Auftragschancen, weil OEM und die Tier-1-Zulieferer hier zum einen externe Kompetenzen benötigen und außerdem den in den nächsten Jahren sehr großen Entwicklungsaufwand nicht mit ihren eigenen Unternehmen abdecken werden. Durch den Ausbau weltweiter Produktionsnetzwerke fordern die OEM von den Entwicklungsdienstleistern hier eine internationale Präsenz mit Standorten in Asien und Osteuropa. Drittes Tätigkeitsfeld ist die Entwicklung von gesamten Fahrzeugen für neue Fahrzeughersteller und für neue Mobilitätsdienstleister, die ihre autonomen Shuttles durch die Zusammenarbeit von Entwicklungsdienstleistern und Auftragsfertigern herstellen lassen. Große Geschäftspotenziale werden in den Tätigkeiten für chinesische OEM gesehen.

Die Perspektive der Entwicklungsdienstleister ist eng mit der Entwicklung des weltweiten Automobilmarkts und der Stellung der OEM verbunden. Die Perspektive am Standort Deutschland wird „durchwachsen“ eingeschätzt, denn es besteht anhaltender Kostendruck mit Tätigkeitsverlagerungen ins Ausland, außerdem fehlen hochqualifizierte Beschäftigte (Exp.; VDA und SAC, 2020). Zudem könnte der Einsatz Künstlicher Intelligenz Arbeitsplätze ersetzen (Niehaus und Katzan, 2020). Mit der Erweiterung des Kundenkreises auf neue OEM sowie

chinesische OEM und auf Mobilitätsdienstleister verlieren die traditionellen OEM und Tier-1-Zulieferer etwas an Bedeutung, bleiben mit über 80 % jedoch auch in den nächsten Jahren wichtigste Auftraggeber der Entwicklungsdienstleister.

Entwicklungsdienstleister werden in der Beschäftigungs- und Wirtschaftsstatistik thematisch, nicht jedoch nach Kundengruppen differenziert (z. B. als „Informationsdienstleistungen“ [WZ 63] oder als „Forschung und Entwicklung“ [WZ 72]). Deshalb sind Angaben zu Umsatz- und Beschäftigtenzahlen schwierig. Im Jahr 2020 betragen ihre Umsätze in Deutschland knapp 5 Mrd. EUR; sie sind in der Zeit der Covid-19-Pandemie um 15 % gesunken, weil viele beauftragte Projekte von den Kunden verschoben wurden. Die Beschäftigung in Deutschland lag 2020 bei knapp 46.000 (Automobil Industrie, 2021; in ähnlicher Größenordnung Schasse et al., 2016). Der Umsatz baden-württembergischer Entwicklungsdienstleister im Automotivesektor kann nur in seiner Größenordnung eingeschätzt werden, weil die Wirtschafts- und Beschäftigungsstatistik keine Differenzierungen nach Kundengruppen (wie der Automobilindustrie) ausweist. In der Literatur wird ein Anteil von etwa einem Zehntel bis zu einem Drittel des FuE-Aufwands von OEM für externe Engineering-Anteile geschätzt, bei Tier-1-Zulieferern liegt der Anteil mit rund 15 % niedriger, bei neuen OEM wie Lynk oder Polestar liegen der Unterstützungsbedarf und damit die Vergabequote deutlich höher (VDA und SAC, 2020; Schasse et al., 2016; Blöcker, 2016). Bei weltweiten





FuE-Ausgaben der Automobilunternehmen in Höhe von etwa 124 Mrd. EUR (Stand 2018; VDA und SAC, 2020) beträgt der weltweite Markt für EDL etwa 20,5 Mrd. EUR. Wird dieses Verhältnis auf Baden-Württemberg übertragen, dann ergibt sich bei einem FuE-Aufwand der baden-württembergischen Automobilindustrie im Umfang von rund 13,3 Mrd. EUR (Stand 2019) ein Markt für EDL von etwa 2,1 Mrd. EUR. Ausgehend von früheren Abschätzungen der Beschäftigtenzahl (e-mobil BW, 2019a), aktuellen Beschäftigtenzahlen an den baden-württembergischen EDL-Standorten, der aktuellen Beschäftigungsentwicklung und dem Verhältnis zum baden-württembergischen Umsatz wird die Anzahl der Beschäftigten auf 15.500 geschätzt.

Entwicklungsdienstleister brauchen neue fachliche Kompetenzen im Kontext des autonomen Fahrens und der softwaredominierten Fahrzeuge und gleichzeitig methodisch den Wechsel zur agilen Entwicklung in Teams und zur Simulation und zur Nutzung digitaler Zwillinge anstelle bisheriger Prototypen. Weitere zukünftige Anforderungen können das Datenhandling aus dem Fahrzeugbetrieb sowie die Entwicklung von Fahrzeugen sein, die in zentralen Komponenten recycling- und kreislaufwirtschaftsfähig sind. Große Entwicklungsdienstleister müssen in Aus- und Fortbildung investieren (Deloitte, 2022b; Automobilwoche, 2021c; VDA und SCA, 2020; Automobil Produktion, 2020a).

### 3.6 Kfz-Gewerbe

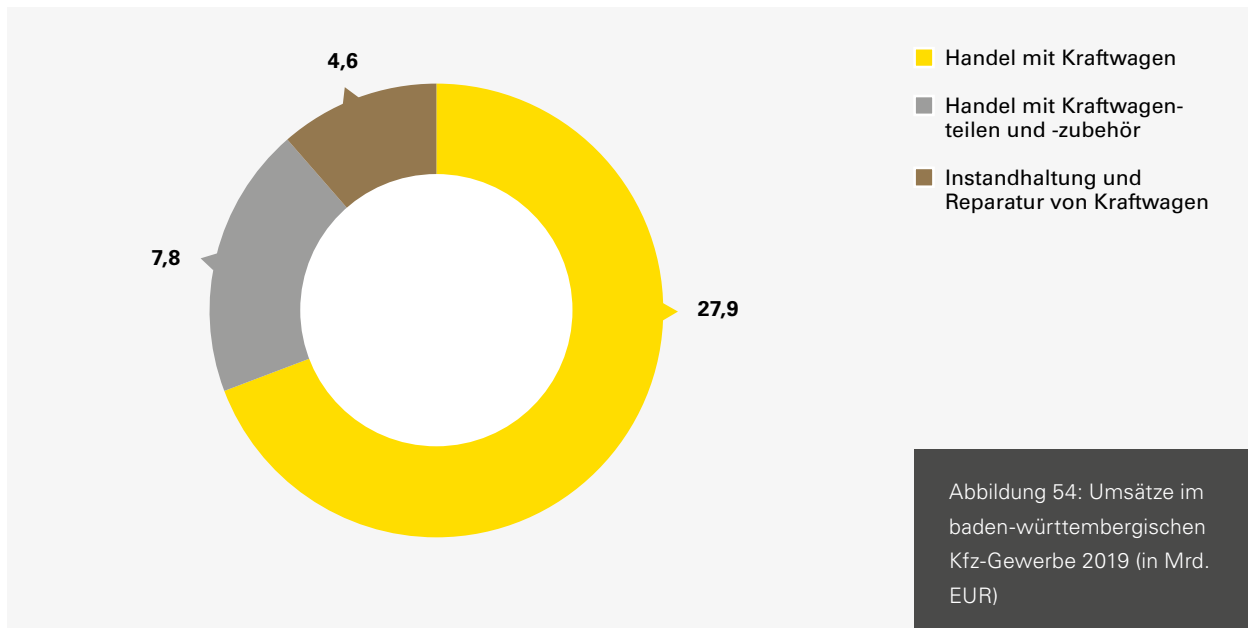
Ergänzend zur bisher beschriebenen Automobilindustrie stellt das Kfz-Gewerbe – also die Kfz-Reparatur und der Kfz-Handel – ein wichtiges Clustersegment bei einem vollständigen Blick auf die gesamte Automobilwirtschaft dar. Es ergänzt die Automobilindustrie um den Aftersales-Bereich und stellte über lange Jahre den wichtigsten Zugang der Automobilhersteller zu den Endkund:innen her, wobei hierunter sowohl Unternehmen als Geschäftskunden als auch Privatpersonen fallen. Außerdem deckt das Kfz-Gewerbe die gesamte Fahrzeugspanne ab, also Personenkraftwagen (Pkw) und Nutzfahrzeuge bis hin zu schweren Lastkraftwagen (Lkw). Die Geschäftsfelder umfassen den Neu- und Gebrauchtwagenhandel, den Fahrzeugservice und den Verkauf von Teilen und Zubehör.

Zu unterscheiden sind fabrikatsgebundene und freie Betriebe: Fabrikats- oder markengebundene Autohäuser sind vertraglich an Automobilhersteller gebunden, sie sind in der Regel in allen drei Geschäftssparten tätig (Handel mit Neu- und Gebrauchtwagen sowie Fahrzeugservice). In Deutschland machen sie knapp 40 % der Betriebe aus (Dispan, 2021; ZDK, 2022). Ergänzend – aber zum Teil auch in Konkurrenz – führen die Automobilhersteller werkseigene Niederlassungen für Handel und Service. Freie Werkstätten haben sich dagegen stärker auf den Gebrauchtwagenhandel sowie kostengünstigeren Service und auf die Reparatur älterer Fahrzeuge spezialisiert, ohne an bestimmte Hersteller oder Marken gebunden zu sein. Hierzu gehören herstellerungebundene Werkstattketten wie A.T.U. oder Pitstop, daneben haben sich viele freie Werkstätten einem Werkstattssystem eines Herstellers von Autoteilen angeschlossen, wie zum Beispiel der Bosch Car Service.

In Deutschland umfasste das Kfz-Gewerbe im Jahr 2021 rund 36.570 Betriebe mit 435.000 Beschäftigten und einem Jahresumsatz von knapp 180 Milliarden EUR (ZDK, 2022). In Baden-Württemberg gibt es ca. 4.000 Betriebe, die einen Umsatz von 40,8 Mrd. EUR verzeichneten (e-mobil BW, 2023a; Ehrhardt, 2021). Bei fast einem Drittel lag der Unternehmensschwerpunkt auf dem Handel mit Kraftwagen, bei rund 15 % auf dem Handel mit Kraftwagenteilen und -zubehör. Der größte Teil (39 %) hatte seinen Schwerpunkt bei der Instandhaltung und Reparatur von Kraftwagen. Im Kfz-Gewerbe waren 2022 in Baden-Württemberg 91.300 Personen sozialversicherungspflichtig beschäftigt (Bundesagentur für Arbeit, 2023<sup>8</sup>), es liegt – zumindest von der Beschäftigung her – fast gleichauf mit den Fahrzeugherstellern und den Zulieferern. Mit dem deutschen Teil der Emil-Frey-Gruppe und der Hahn-Gruppe haben zwei der größten deutschen Unternehmen ihren Sitz in Baden-Württemberg. Der Umsatz des deutschen Kfz-Gewerbes beruht zu ähnlichen Anteilen auf dem markengebundenen Handel mit Neu- und Gebrauchtwagen sowie auf dem freien Gebrauchtwagenhandel und dem Service (ZDK, 2022).

8 | Die Studie „Beschäftigungseffekte im Kfz-Gewerbe 2030/2040“ (e-mobil BW, 2023e) beruht auf Beschäftigendaten des Zentralverbands Deutsches Kraftfahrzeuggewerbe e. V., die für Baden-Württemberg eine höhere Beschäftigung als die Daten der Bundesagentur für Arbeit ausweisen. In der Strukturstudie basieren alle Darstellungen zur Beschäftigung und die Berechnung der Beschäftigungseffekte auf den Daten der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten der Bundesagentur für Arbeit (2023).





Der Handel mit Kraftwagen macht etwa zwei Drittel des gesamten Umsatzes aus (2019 gut 40 Mrd. EUR). Knapp 10 % stammten bereits aus dem Onlinehandel. Mit fast 50 % ist der Onlineanteil beim Handel mit Kraftwagenteilen und -zubehör besonders hoch (2009 waren es noch 11 %). Dagegen erreicht der Onlinehandel beim Kauf von Neuwagen nur knapp 1 % (Erhardt, 2021).

Zudem gilt das Kfz-Gewerbe mit bundesweit knapp 90.000 Auszubildenden als wichtige Branche der dualen Berufsausbildung, die trotz sinkender Beschäftigtenzahlen die Ausbildungsquote von rund 20 % der Beschäftigten relativ stabil hielt. Fast 80 % der Auszubildenden machen eine gewerbliche Ausbildung (v.a. Kfz-Mechatroniker:innen; Dispan, 2021; ZDK, 2022). Während jedoch in Deutschland und in Baden-Württemberg sowohl die Automobilhersteller als auch die Zulieferer langfristig Umsatz und Beschäftigung aufgebaut haben, konnte das Kfz-Gewerbe den Umsatz um knapp die Hälfte steigern (in Deutschland zwischen 2000 und 2019 von 127,2 Mrd. EUR Umsatz auf 186,1 Mrd. EUR im Jahr 2019). Die Beschäftigung hat im gleichen Zeitraum um fast ein Fünftel abgenommen (Dispan, 2021).

Digitalisierung im Sinne einer Vernetzung findet im Kfz-Gewerbe bereits seit etwa 15 bis 20 Jahren statt. Onlinehandelsplattformen wie Autoscout24.de oder Mobile.de gibt es bereits seit Ende der 1990er Jahre, auch wenn sie in ihren Anfangsjahren

das klassische Kfz-Gewerbe kaum beeinflusst haben. Ebenfalls früh wurden digitale Technologien von einzelnen Unternehmen für die Interaktion mit Kund:innen genutzt, wie Möglichkeiten zur Onlineterminvereinbarung und zur Abfrage des Service- oder Reparaturstatus. Auch geschäftlich verbundene Branchen wie Kfz-Versicherungen treiben die Digitalisierung voran, indem beispielsweise Schäden online gemeldet und automatisiert reguliert werden. Große Veränderungen wurden und werden im Bedeutungsverlust des stationären Kfz-Handels zugunsten des Direktvertriebs der Kfz-Hersteller und von Onlineportalen gesehen. Die Digitalisierung schlägt sich deutlich in allen vier Geschäftsbereichen nieder: dem Neu- und dem Gebrauchtwagengeschäft, dem Ersatzteilbereich und dem Service (e-mobil BW, 2023a; Dispan, 2021).

Gleichzeitig halten Wettbewerbsdruck und die Konzentration innerhalb der Branche an. Nicht zuletzt durch die Elektrifizierung des Antriebs und die sich ändernden Geschäftsmodelle und Vertriebswege wie beispielsweise Agentur- oder Abomodelle steht die Branche seit Jahren in einem deutlichen Strukturwandel. Produktinnovationen und neue Geschäftsmodelle kommen zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Kfz-Gewerbe an: Während sich der Handel bereits auf den elektrifizierten Antriebsstrang und vor allem neue Geschäftsmodelle (z. B. Abomodelle) eingestellt hat, ändert sich der Fahrzeugbestand erst allmählich, so dass sich Änderungen in der Kfz-Reparatur erst mit deutlichem Zeitverzug niederschlagen und

zunächst durch die zeitliche Parallelität zu einem erhöhten Aufwand (z. B. Ausstattung, Platz, aber auch breitere Qualifikationen) führen. So ist nach einer Befragung des Zentralverbands Deutsches Kraftfahrzeuggewerbe das Fahrzeug der Kund:innen im Durchschnitt neun Jahre alt und wurde in 55 % der Fälle bereits als Gebrauchtfahrzeug gekauft. Das Kraftfahrtbundesamt gibt als Pkw-Durchschnittsalter sogar 10,1 Jahre im Jahr 2021 an, es steigt seit Jahren stetig an (2010 lag es bei 8,3 Jahren; ZDK, 2022).

Die durch digitale Technologien getriebenen Veränderungen weisen im Kfz-Gewerbe im Vergleich zur Industrie Besonderheiten auf: Sie verändern gleichermaßen das Produkt „Kraftfahrzeug“, die Prozesse im Kfz-Gewerbe und die Geschäftsmodelle der Unternehmen, bisher eher getrennte Geschäftsbereiche überlagern sich. Dabei laufen sie in unterschiedlichen Zeiträumen ab – während Geschäftsprozesse schon länger umgestellt werden, verändert sich der Fahrzeugbestand deutlich langsamer

#### **Digitalisierung des Fahrzeugs, der Prozesse und der Geschäftsmodelle**

Die Digitalisierung durchdringt alle Bereiche und Abläufe des Kfz-Gewerbes: Der Aufbau elektronischer Steuerung in den Fahrzeugen mit Ergänzung und teilweisem Ersatz mechanischer Komponenten, neue Funktionen der Vernetzung und Assistenzfunktionen (mit der Perspektive des autonomen Fahrens) erfordert den Aufbau von Elektronik- und IT-Kompetenzen im Kfz-Handel und im Kfz-Service. Außerdem werden Fehler digital ausgelesen und Komponenten werden ersetzt statt repariert; der Reparaturaufwand je Fahrzeug nimmt ab. Das Beispiel der digitalen Fehlerdiagnose zeigt exemplarisch den parallelen Aufbau digitaler Prozesse auf, die von Terminvereinbarung bis hin zur Bestellung von Ersatzteilen seit langem laufen. Mit neuen Geschäftsmodellen wie Onlineplattformen zum Verkauf von Neuwagen oder Gebrauchtwagen treten neue Wettbewerber in den Markt ein, die die wichtige Interaktion mit den Kund:innen besetzen. Durch die vernetzten Fahrzeuge gehen wiederum Daten der Kund:innen direkt an die Hersteller.

Mit der Digitalisierung entsteht auch das Risiko von Cyberangriffen, das für das Kfz-Gewerbe bislang eher als gering eingeschätzt wurde. Anfang 2022 war allerdings die baden-württembergische Emil-Frey-Gruppe betroffen (Automobilwoche, 2022c). Sie ist mit dem 2020 eröffneten „digitalen Autohaus“ ein Vorreiter für den Fahrzeugverkauf über das Internet und

erwartete bis 2025 einen Anteil von 20 % des Gesamtabsatzes durch den Onlineverkauf.

#### **Aufbau Service Elektrofahrzeuge und Ausstieg aus dem Service für Verbrennungsfahrzeuge**

Der Kfz-Handel wird sich auf den Verkauf von Fahrzeugen mit Elektroantrieb umstellen müssen. Mit dem allmählich zunehmenden Anteil am Fahrzeugbestand muss der Kfz-Service nachziehen. Im ersten Schritt führt das zu einem höheren Aufwand, weil parallel Verbrenner- und Elektrofahrzeuge gewartet werden müssen, das setzt die entsprechende Werkstattausstattung und den Kompetenzaufbau bei den Beschäftigten voraus. So müssen die Werkstattbeschäftigten ihre Fachkunde für Arbeiten an Hochvoltsystemen nachweisen. Seit 2013 ist es Bestandteil der Ausbildung zum:zur Kfz-Mechatroniker:in (kfztech.de, 2022). Die Qualifikation muss unabhängig von der tatsächlichen Arbeit am Fahrzeug nachgewiesen werden. Unterschieden werden drei Stufen: von der elektrotechnisch unterwiesenen Person über diejenigen, die elektrotechnische Arbeiten an abgeschalteten bzw. von der Spannung genommenen Systemen durchführen dürfen, bis hin zu denen, die elektrotechnische Arbeiten unter Spannung durchführen dürfen. Die letzte Qualifikationsstufe ist beispielsweise erforderlich, um an Batteriesystemen oder an Unfallfahrzeugen zu arbeiten. Perspektivisch sinkt parallel zum Markthochlauf der Elektrofahrzeuge der Anteil von Verbrennerfahrzeugen im Kfz-Service; wodurch Geschäftsumfänge wegfallen, da der Wartungsaufwand für Elektrofahrzeuge geringer ist. Zudem gelten die Pkw- und Lkw-Märkte als gesättigt, so dass der Wegfall nicht durch ein weiteres Marktwachstum ausgeglichen werden kann.

#### **Anhaltender Wettbewerbsdruck**

Das Kfz-Gewerbe gehörte zu den anfangs von der Covid-19-Pandemie stark betroffenen Branchen. Zusätzlich schneidet es im Vergleich mit den Herstellern und den Zulieferern bei zentralen Strukturmerkmalen erheblich schlechter ab: Während bei den Automobilherstellern die Großunternehmen dominieren, erweitert sich bei der Zulieferindustrie das Spektrum von weltweiten Zulieferern wie der Robert Bosch GmbH oder der Mahle GmbH bis hin zum mittelständischen Unternehmen. Deutlich anders ist das Kfz-Gewerbe aufgestellt, das mit durchschnittlich zwölf Beschäftigten je Betrieb dagegen kleingewerblich wirkt (ZDK, 2022; in Baden-Württemberg liegt der Wert eher bei acht Personen, vgl. Erhardt, 2021). Dabei hat im deutschen Kfz-Gewerbe von 2000 bis 2019 die Zahl der

Beschäftigten um fast ein Fünftel abgenommen, während sich der Pro-Kopf-Umsatz mit einem Plus von 70 % fast verdoppelt hat (Dispan, 2021). Die Umsatzrendite im Pkw-Bereich liegt mit 1,6 % deutlich niedriger als bei den Automobilherstellern und -zulieferern und stagniert seit Jahren in einem Bereich unter 2 % und der Veränderungsdruck hält seit Jahren an (ZDK, 2022; Dispan, 2021; Erhardt 2021; Diez und Reindl, 2016).

Das baden-württembergische Kfz-Gewerbe investierte 2019 ca. 2 % des Umsatzes, insgesamt betragen die Bruttoinvestitionen im Geschäftsjahr 825 Mio. EUR. Für drei Viertel der Investitionen (624 Mio. EUR) wurden Maschinen, Einrichtungen und Fahrzeuge angeschafft, knapp ein Zehntel diente der Einrichtung, dem Umbau und der Erweiterung von Gebäuden (72 Mio. EUR). Erforderlich ist dies auch, um neue Herstellervorgaben (Corporate-Identity-Wellen) der Hersteller umzusetzen. Ebenso wird die Reparatur und Wartung von Gas- und Elektrofahrzeugen erwartet, die die Anschaffung neuer Prüfstände, Werkstattausrüstung für die Arbeit an Hochvoltssystemen und Ähnliches voraussetzt. Die Teilbranchen unterscheiden sich deutlich bei der Investitionsquote: Während in der Instandhaltung und Reparatur von Kraftwagen rund 5 % des Umsatzes investiert wurde, waren es im Handel mit Kraftwagen 1,8 % und im Handel mit Kraftwagenteilen und -zubehör nur knapp 1 % (Erhardt, 2021). Das Kfz-Gewerbe wird sich an weniger, dafür aber größeren Standorten konsolidieren und auf Mehrmarkenhandel und -service konzentrieren (e-mobil BW, 2023a).

### 3.7 Das baden-württembergische Automobilcluster

Die Automobilindustrie, die Entwicklungsdienstleister und das Kfz-Gewerbe sind Segmente des baden-württembergischen Automobilclusters. Hierunter werden alle Unternehmen zusammengefasst, die sich auf die Produktion, den Vertrieb, die Instandhaltung und die Reparatur sowie weitere Dienstleistungen um Kraftfahrzeuge (Pkw und Nutzfahrzeuge) ausgerichtet haben. Regionale Branchencluster gelten als Basis für erfolgreiche regionale Wirtschaftsgefüge. Der Clusterbegriff bezeichnet eine regionale Spezialisierung von Unternehmen, Forschungs- und Ausbildungseinrichtungen, politischen Akteuren und anderen auf ein Produkt und das Produkt ergänzende Dienstleistungen. Die räumliche Nähe bietet allen Akteuren, vor allem aber den Unternehmen, Wettbewerbsvorteile durch enge Kooperation, Wissenstransfer und Unterstützung durch Einrichtungen der Wirtschaftsförderung und der Politik, und auch das Arbeitskräftepotenzial spezialisiert sich. So dass im Falle Baden-Württembergs von einem auf das Kraftfahrzeug

spezialisierten Innovationssystem gesprochen werden kann. Über das Cluster induziert die Automobilindustrie in erheblichem Umfang weitere Beschäftigung. Für Deutschland schätzt der VDA, dass zu den etwa 800.000 Beschäftigten der Automobilindustrie im Jahr 2020 durch die Nachfrage nach Vorleistungen und Dienstleistungen anderer Branchen weitere 660.000 Beschäftigte und in nachgelagerten Wirtschaftsbranchen (Automobilhandel, Aftermarket) noch einmal 640.000 Beschäftigte gerechnet werden können (VDA, 2022a). Der Anteil an allen Beschäftigten würde sich dadurch von etwa 2,6 % auf mehr als 6 % erhöhen. Weltweit wird geschätzt, dass zu der Bruttowertschöpfung der deutschen Automobilindustrie in Höhe von rund 130 Mrd. EUR weitere knapp 230 Mrd. EUR für Rohstoffe und Vorprodukte entlang der weltweiten Wertschöpfungskette gerechnet werden können (BVR, 2022).

Auch für Baden-Württemberg geht die Beschäftigung im Automobilcluster deutlich über die Beschäftigung der „Automobilindustrie“ in der Abgrenzung der Wirtschaftsstatistik hinaus: Neben den Herstellern und Zulieferern erbringen weitere Branchen des Verarbeitenden Gewerbes Vorleistungen für die Automobilindustrie, beispielsweise die Glasindustrie mit Autoscheiben oder die Gummi- und Kunststoffindustrie mit Reifen und vor allem mit zahlreichen Teilen für das Interieur sowie für die Karosserien. Einige Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus liefern mit Kolben Teile für Verbrennungsmotoren, andere Unternehmen beliefern als Ausrüster die Hersteller und Zulieferer mit Maschinen zur Metallbearbeitung oder zum Wickeln von Spulen für Elektromotoren. Nach dem Grad der Spezialisierung auf das Produkt „Kraftfahrzeug“ können dabei der Clusterkern, das erweiterte Wertschöpfungscluster und die Ergänzung zum vollständigen Automobilcluster unterschieden werden (eine ausführliche Darstellung des Clusters und der Methodik in e-mobil BW, 2019a).

- Den **Clusterkern** bilden die Unternehmen, die unmittelbar an der Produktion der Kraftfahrzeuge beteiligt sind. Das sind die Fahrzeughersteller wie beispielsweise die Mercedes-Benz Group AG, Daimler Truck AG, Porsche AG und Audi AG, sowie Zulieferer der Tier-1- bis Tier-2-Wertschöpfungsstufen (z. B. die Robert Bosch GmbH, die ZF Friedrichshafen AG, die Mann + Hummel Gruppe, die ElringKlinger AG oder die Eberspächer Gruppe). In Anteilen werden weitere Branchen des Verarbeitenden Gewerbes wie die Glasindustrie, die Metallverarbeitung, die Gummi- und Kunststoffindustrie dem Clusterkern zugeordnet, deren Produkte direkt zu Teilen und Komponenten des Fahrzeugs zählen. Außerdem gehören ein

Teil des Maschinenbaus (z. B. die Kolbenproduktion), die automobilen Entwicklungsdienstleister sowie die direkt an Automobilstandorten tätigen Werksdienstleister (z. B. Sicherheitsdienste, Logistiker an Automobilstandorten) und Arbeitnehmerüberlassungen dazu.

- Das **erweiterte Wertschöpfungscluster** umfasst Unternehmen, die der Automobilindustrie zuliefern, deren Produkte aber nicht auf das Kraftfahrzeug spezialisiert sind. Hierzu zählen der als Ausrüster des Fahrzeug-

baus tätige Maschinenbau (insbesondere ein Teil des Werkzeugmaschinenbaus), aber auch weitere Materiallieferanten auf Tier-3- bis Tier-4-Ebene (Schrauben, technische Textilien u. Ä.) sowie Dienstleistungen wie Rechtsberatung, Werbeagenturen oder Großhandel.

- Das **vollständige Automobilcluster** ergänzen Branchen, die für die Nutzung der Kraftfahrzeuge erforderlich sind: das Kfz-Gewerbe sowie Tankstellen und Raffinerien, die die Versorgung mit Kraftstoff sichern.

| Clustersegment   | Beschäftigte 2022 |
|--|-------------------|
| <b>Clusterkern</b>   |                   |
| OEM (WZ 29.1)  | 96.500            |
| Hersteller von Karosserien, Aufbauten, Anhängern (WZ 29.2)   | 6.100             |
| Komponenten und Teile (Hersteller von Kraftwagenteilen und -zubehör, WZ 29.3, sowie Anteile weiterer Branchen des Verarbeitenden Gewerbes) | 175.800           |
| Entwicklungsdienstleister  | 16.100            |
| Werksdienstleistungen und Arbeitnehmerüberlassung  | 21.000            |
| <b>Erweitertes Wertschöpfungscluster</b>   |                   |
| Komponenten und Teile des sonstigen Verarbeitenden Gewerbes  | 22.100            |
| Maschinen- und Anlagenbau (als Ausrüster)  | 29.300            |
| Sonstige Dienstleistungen  | 14.700            |
| <b>Umfassendes Automobilcluster</b>  |                   |
| Kfz-Gewerbe  | 91.300            |
| Kraftstoffversorgung (Raffinerie, Tankstellen)   | 6.000             |
| <b>Clusterkern</b>   | <b>315.500</b>    |
| <b>Erweitertes Wertschöpfungscluster</b>   | <b>381.600</b>    |
| <b>Vollständiges Automobilcluster</b>  | <b>480.100</b>    |

Quelle: eigene Darstellung DLR und IMU, 2023

Tabelle 12: Beschäftigte im baden-württembergischen Automobilcluster 2022

### 3.8 Marktentwicklung und Rahmenbedingungen im internationalen Vergleich

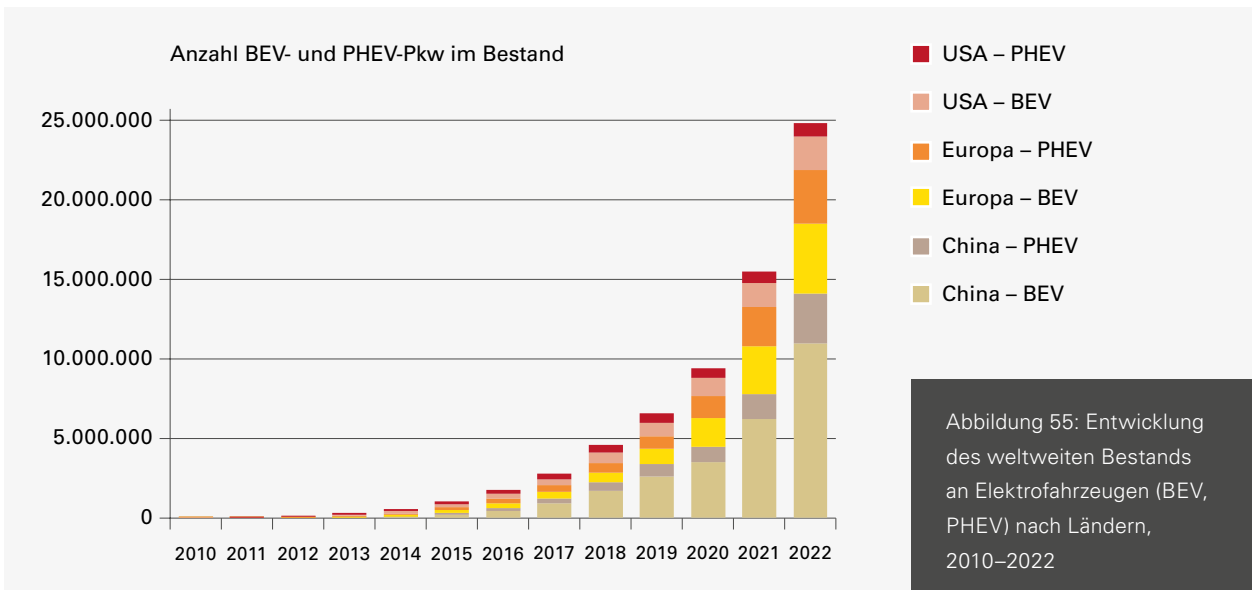
**In Kürze**

- 2022 wurden weltweit ca. 7,8 Mio. BEV und 2,8 Mio. PHEV neu zugelassen, der Bestand erreichte damit erstmals mehr als 27 Mio. elektrifizierte Pkw.
- China ist Haupttreiber der Entwicklung und besitzt über 50% aller E-Fahrzeuge, Deutschland und Baden-Württemberg liegen bei relativen Marktanteilen und absoluten Zahlen weit dahinter.
- Politische Ziele, Kaufanreize, Emissionsgrenzwerte und Infrastrukturverfügbarkeiten variieren im internationalen Vergleich erheblich.

Nach einer u. a. durch die Covid-19-Pandemie und die damit einhergehenden Lieferkettenproblematiken bedingten Stagnation bzw. einem Rückgang der weltweiten Pkw-Absatzzahlen seit 2020 wird erwartet, dass die globalen Automobilmärkte

in den nächsten Jahren wieder das Vorkrisenniveau erreichen und danach weiter anwachsen. Weltweit existieren derzeit ca. 1,3 Mrd. Pkw im Bestand (VDA, 2023b). Während in den USA, Mitteleuropa und Japan die Automobilmärkte mittlerweile zu einem großen Teil gesättigt sind (ca. 550 Pkw je 1.000 Einwohner), bieten Märkte wie China und Indien den Automobilherstellern weiterhin beträchtliche zusätzliche Absatzpotenziale. Mit ca. 120 Pkw je 1.000 Einwohner ist die Motorisierungsrate z. B. in China bei Weitem (noch) nicht auf westlichem Niveau (UBA, 2023a). China war im Jahr 2022 der größte Absatzmarkt mit insgesamt über 23,5 Mio. Pkw-Zulassungen, gefolgt von den USA mit 13,7 Mio. und Europa (inkl. UK) mit ca. 11,3 Mio. Fahrzeugen. Weltweit wurden im Jahr 2022 ca. 71,2 Mio. Pkw neu zugelassen (VDA, 2023c).

Der Anteil elektrifizierter Fahrzeuge am globalen Bestand ist derzeit und im Vergleich zu den konventionell betriebenen nach wie vor noch gering. Er rangierte 2022 mit rund 27 Mio. Fahrzeugen bei nur ca. 2,1 %. Zum Vergleich: 2017 lag die Zahl mit 3,2 Mio. Fahrzeugen und einem Anteil am Bestand von nur 0,3% aber noch weit darunter. Die Nachfrage wächst kontinuierlich und mit immer größerer Geschwindigkeit: In den letzten zehn Jahren stieg die Anzahl an E-Fahrzeugen um mehr als einen Faktor 34, 2014 lag sie noch bei nur ca. 0,76 Mio. Pkw weltweit. Vor allem dafür verantwortlich ist der chinesische Automobilmarkt, der alleine einen Anteil von ca. 14 Mio. Pkw (also über der Hälfte des weltweiten E-Fahrzeug-Bestands) ausmacht. In Deutschland sind Ende 2022 ca. 1 Mio. BEV und



0,9 Mio. PHEV in der Bestandsflotte (Schaal, 2023; ADAC, 2023; KBA, 2023b). Abbildung 55 illustriert die Entwicklung des Bestands an Elektrofahrzeugen (BEV und PHEV) der Jahre 2010 bis 2022 für ausgewählte Weltregionen im Vergleich.

Die Entwicklung der internationalen Automobilmärkte für elektrifizierte Fahrzeuge erfolgt unterschiedlich schnell, oftmals auch als direkte Folge politischer Ziele und Maßnahmen. Kritische Stellhebel sind hier beispielsweise CO<sub>2</sub>-Gesetzgebungen und Regularien für den Umwelt- und Gesundheitsschutz (die z. B. den maximalen Ausstoß von Abgasemissionen limitieren), politische Ziele und Vorgaben (z. B. eine Quote für E-Fahrzeuge), finanzielle Subventionen und Kaufanreize (z. B.

direkte monetäre Kaufzuschüsse), die Unterstützung von FuE-Aktivitäten sowie der Ausbau von Ladeinfrastruktur.

Abbildung 56 fasst wesentliche Rahmenbedingungen für Deutschland im internationalen Vergleich zusammen. Die einzelnen Märkte werden nachfolgend im Detail beschrieben, jeweils mit Fokus auf die derzeitige Marktsituation und die herrschenden Rahmenbedingungen.

| <br>2022<br>2020<br>(NZL<br>BEV und PHEV) | 833.000<br>390.000  | 365.000<br>177.000                       | 333.000<br>185.000                          | 107.000<br>88.000                        | 370.800<br>106.000                       | 998.000<br>294.000   | 91.000<br>30.000   | 6.560.000<br>1.160.000  |                                    |
|---|---|--|---|--|--|--|--|---|------------------------------------|
| <br>2021<br>(Bestand<br>BEV und PHEV)     | 1.320.000   | 750.000                                  | 720.000                                     | 390.000                                  | 630.000                                  | 2.200.000  | 340.000  | 7.800.000   |                                    |
| <br>1x                                    | BEV:<br>bis 6.750 €<br>PHEV:<br>0 €   | BEV:<br>0 €<br>PHEV:<br>0 €              | BEV:<br>bis 6.000 €<br>PHEV:<br>bis 1.000 € | BEV:<br>2.950 €<br>PHEV:<br>0 €          | -  | BEV:<br>bis 7.000 €<br>PHEV:<br>bis 7.000 €                            | BEV:<br>bis 6.200 €<br>PHEV:<br>bis 3.100 €<br>FCEV: bis<br>19.000 € | BEV:<br>0 €<br>PHEV:<br>0 €   |                                    |
| <br>2015<br>2030                          | 2015: 130 g CO <sub>2</sub> /km<br>2021: 95 g CO <sub>2</sub> /km<br>2025: 81 g CO <sub>2</sub> /km (-15 %)<br>2030: 43 g CO <sub>2</sub> /km (-55 %)<br>2035: 0 g CO <sub>2</sub> /km (-100 %) |  |   |  |  | -  | 2020:<br>121g CO <sub>2</sub> /km                                    | 2020:<br>105 g CO <sub>2</sub> /km<br>2030:<br>93 g CO <sub>2</sub> /km | 2020:<br>117 g CO <sub>2</sub> /km |
| <br>-                                     | -   | Neu-<br>zulassungs-<br>verbot<br>ab 2035 | Neu-<br>zulassungs-<br>verbot<br>ab 2040    | Neu-<br>zulassungs-<br>verbot<br>ab 2030 | Neu-<br>zulassungs-<br>verbot<br>ab 2025 | Neu-<br>zulassungs-<br>verbot ab 2035<br>in einzelnen<br>Bundesstaaten | Neu-<br>zulassungs-<br>verbot<br>ab 2030                             | Neu-<br>zulassungs-<br>verbot ab 2030<br>in einzelnen<br>Provinzen      |                                    |
| <br>2022<br>2019                          | 82.084<br>22.031  | 49.610<br>27.094                         | 76.454<br>30.001                            | 101.585<br>50.043                        | 25.255<br>9.436                          | 164.000<br>77.358  | 29.000 (2021)<br>30.394  | 1.800.000<br>515.908  |                                    |

1. Zeile: Neuzulassungen (NZL) von BEV und PHEV im Vergleich 2022 und 2020; 2. Zeile: Bestand BEV und PHEV (gesamt) im Jahr 2021;
3. Zeile: monetäre Kaufsubventionen; 4. Zeile: CO<sub>2</sub>-Zielwerte; 5. Zeile: Geplante Neuzulassungsverbote von mit fossilen Kraftstoffen betriebenen Pkw;
6. Zeile: Bestand Ladeinfrastruktur im Vergleich 2022 und 2019

Quelle: Eigene Darstellung DLR, 2023

Abbildung 56: Marktsituation und Rahmenbedingungen im internationalen Vergleich

### 3.8.1 Deutschland und Baden-Württemberg

#### Marktsituation

In der Bundesrepublik Deutschland wurden 2022 insgesamt ca. 2,65 Mio. Pkw neu zugelassen, bei einem gesamten Fahrzeugbestand von ca. 48,8 Mio. Rund 57 % der Neuzulassungen entfallen auf Fahrzeuge deutscher Hersteller. In Baden-Württemberg wurden 2022 rund 13,8 % dieser Neuzulassungen angemeldet, das entspricht ca. 367.00 Pkw (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2023b). Die Anzahl neu zugelassener BEV und PHEV stieg 2022 deutschlandweit um ca. 151.000 auf insgesamt ca. 833.000 Fahrzeuge, was einem Anteil von 31 % an den gesamten Neuzulassungen entspricht. Davon waren ca. 471.000 batterieelektrische Fahrzeuge (17,8 % Anteil an den Neuzulassungen) und ca. 362.000

Plug-in-Hybride (13,7 %) (KBA, 2023c). Werden auch weitere alternative Antriebsformen (z. B. HEV) einbezogen, so steigt der Anteil auf insgesamt 49,6 % (KBA, 2023d).

Abbildung 57 illustriert die Entwicklung der Neuzulassungen für Pkw insgesamt seit 2021 und die Entwicklung der zugehörigen Anteile alternativer Antriebskonzepte seit 2019 (Mild-HEV, Full-HEV, Plug-in-HEV, BEV, FCEV) je Jahr. Zu sehen sind die extremen Steigerungen Ende des Jahres 2022 auf über 68 %, die auch auf die Verringerung der Umweltprämie beim Kauf von Elektrofahrzeugen bzw. Plug-in-Hybriden ab 2023 zurückzuführen sind. Baden-Württemberg hatte im gesamten Jahr 2022 mit 71.328 BEV und 57.579 PHEV einen Anteil an den bundesdeutschen BEV- und PHEV-Neuzulassungen in Höhe von 15,5 % (KBA, 2023d; Luhmann, 2023).

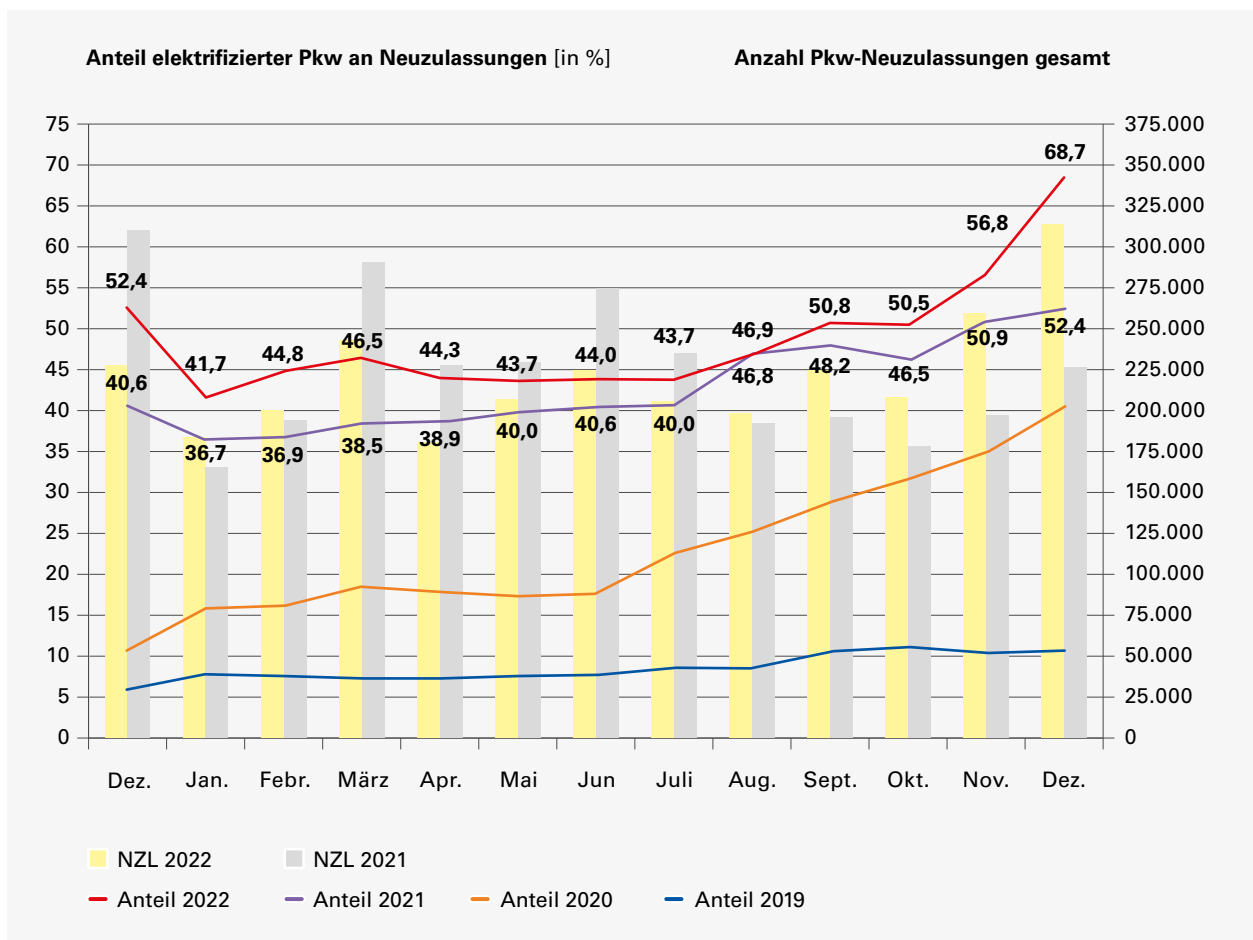


Abbildung 57: Anzahl der Neuzulassungen von Pkw in Deutschland und Anteil alternativ angetriebener Pkw, 2019–2022

Quelle: KBA, 2023d

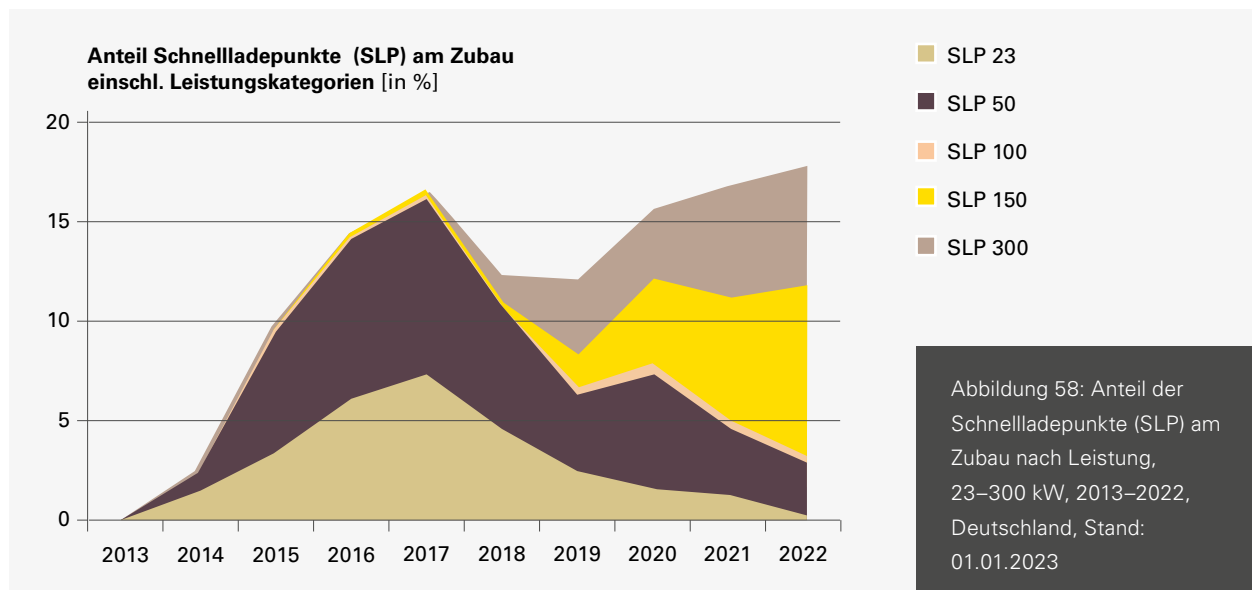
Der Aufbau einer ausreichenden Energieinfrastruktur ist essenzielle Voraussetzung für die Elektromobilität. Vor dem Hintergrund der Energiewende in Deutschland und dem damit verbundenen Ziel eines Ausbaus der erneuerbaren Energiequellen sind geeignete Konzepte zur Einbindung der Fahrzeuge in das Energiesystem zu entwickeln. Die Verfügbarkeit von privater und öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur – auch von Schnellladestationen entlang von Autobahnen – ist für den erfolgreichen Markthochlauf elektrifizierter Fahrzeuge von hoher Relevanz. Der größte Teil jedoch – ca. 85 % – wird perspektivisch im privaten Bereich zu finden sein (NPM, 2019). Generell ist davon auszugehen, dass die Anzahl öffentlich verfügbarer Ladestationen und Ladepunkte mit wachsendem Markterfolg der Elektromobilität steigt. Ziel der Bundesregierung ist es, bis zum Jahr 2030 insgesamt eine Million öffentlich zugängliche Ladepunkte zu installieren (BMU, 2019). Die Bedarfsentwicklung in Deutschland bis zum Jahr 2030 hängt von der Entwicklung unterschiedlicher Faktoren ab: der Anzahl batterieelektrischer und Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge im Bestand, der Verfügbarkeit von Lademöglichkeiten auf privaten Stellplätzen, der Verfügbarkeit von öffentlich zugänglichen Lademöglichkeiten und der Verfügbarkeit und Auslastung von Schnellladern im Vergleich zu Normalladern. Je nach Ausprägung dieser Faktoren wird im Jahr 2030 ein Bedarf in Höhe von 440.000 bis 843.000 öffentlich zugänglichen Ladepunkten errechnet, davon ca. 50.000 bis 55.000 Schnellladepunkte (Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur, 2022a).

Zum 01.01.2023 waren in Deutschland ca. 77.200 öffentliche Ladepunkte verfügbar, davon ca. 11.700 Schnellladepunkte mit Leistungen über 22 kW. Der jährliche Zubau seit 2020 lag im Schnitt bei ca. 8.800 Normal- und ca. 2.150 Schnellladern. Die Aufteilung des Zubaus nach Ladeleistung seit 2013 ist in Abbildung 58 dargestellt.

In Baden-Württemberg waren bis Januar 2023 insgesamt ca. 14.400 öffentlich zugängliche Ladepunkte verfügbar, hiervon ca. 2.200 Schnellladesysteme (Bundesnetzagentur, 2023; e-mobil BW, 2023b).

Der Ausbau der Ladeinfrastruktur wird weiterhin intensiv durch öffentliche Fördergelder unterstützt. Laut Darstellung der Nationalen Leitstelle Ladeinfrastruktur konnten von der Bundesregierung seit 2015 insgesamt fast 1,8 Mrd. EUR Fördermittel für die anteilige Finanzierung von Investitionskosten beim Aufbau privater sowie öffentlich zugänglicher Ladesäulen und für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zur Verfügung gestellt werden (Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur, 2022b),

Auch die Landesregierung Baden-Württemberg stellt zusätzliche Fördermittel für den Aufbau der Ladeinfrastruktur im Bundesland bereit. So wurde u. a. die Förderbekanntmachung „Flächendeckendes Sicherheitsladenetz für Elektrofahrzeuge (SAFE)“ vom Ministerium für Verkehr veröffentlicht, dessen Betrieb im Herbst 2019 startete. Ziel des Projektes war, in einem Raster von zehn mal zehn Kilometern mindestens eine





Lademöglichkeit mit mindestens 22 Kilowatt Ladeleistung bereitzustellen. In einem zweiten Raster von 20 mal 20 Kilometern sollte zudem mindestens eine Schnellladesäule mit 50 Kilowatt Ladeleistung installiert werden. Bis Frühjahr 2022 wurden über 250 vorhandene Normal- und 60 Schnellladestationen in das Netz integriert, zudem zusätzlich ca. 40 Schnellladestationen und 88 Normalladestationen neu errichtet. Hinzu kommt die Ertüchtigung von zwölf bestehenden Stationen (e-mobil BW, 2022e).

Das Energiesystem muss dabei jederzeit in der Lage sein, ausreichend Leistung und Kapazität bereitzustellen – eine Herausforderung v. a. angesichts in Zukunft steigender Marktdurchdringung von E-Fahrzeugen und steigender Anteile an (volatilen) erneuerbaren Energien. Sofern beispielsweise im Jahr 2030 ca. 15 Mio. elektrifizierte Pkw und Lkw in Deutschland verkauft wären, läge deren Jahresenergiebedarf bei zusätzlichen ca. 69 TWh (NPM AG 5, 2021). Dies entspricht ca. 12,5 % des deutschen Gesamtenergieverbrauchs. Zusätzlich müssten ggfs. weitere Energiebedarfe addiert werden, die durch die – ineffizientere – Nutzung von Wasserstoff und strombasierten Kraftstoffen im Verkehrssektor entstehen. Ein nicht intelligent gesteuertes Laden führt zu zusätzlichen und erhöhten Lastspitzen, was Probleme insbesondere in Verteil- und Niederspannungsnetzen bewirken könnte (Nobi und Fischhaber, 2015). Aktuelle Forschungsprojekte wie die NETZlabore Elektromobilität der Netze BW GmbH untersuchen konkrete Anforderungen an das Stromnetz und entwickeln Lösungen zur netzdienlichen Steuerung der Ladevorgänge (Netze BW, 2023).

Elektrofahrzeuge könnten entsprechend mit flexibel und bedarfsgerecht gesteuerten Lade- und Entladevorgängen integraler Bestandteil eines intelligenten zukünftigen Energiesystems sein. So können die Einbindung der Fahrzeuge und der Fahrzeugbatterien in das Energienetz als Steuerelement zur Netzstabilisierung genutzt werden. Eine intelligente Kommunikation zwischen den zukünftigen Fahrzeugen und den einzelnen Elementen der Energie- und Verkehrsinfrastruktur ist damit Voraussetzung auch für die Elektromobilität. Als Bestandteil der fortschreitenden Digitalisierung bieten Kommunikations- und Konnektivitätstechnologien aber noch viel mehr Möglichkeiten und Potenziale (siehe Kapitel 2.2).

## Rahmenbedingungen

Politisches Ziel der Bundesrepublik ist es, bis zum Jahr 2045 vollständig klimaneutral zu sein. Bis 2030 sollen die Emissionen um 65 % im Vergleich zu 1990 sinken. Hierfür ist es notwendig, die jährlichen Treibhausgasemissionen auch aus dem Verkehrssektor signifikant zu reduzieren, wobei CO<sub>2</sub> den größten Anteil ausmacht. Im Energiesektor sollen zukünftig erneuerbare Energien eine klimaneutrale und nachhaltige Energieversorgung in Deutschland sicherstellen, dabei auch CO<sub>2</sub>-intensive Kohlekraftwerke ersetzen. 2022 hatten die erneuerbaren Energien bereits einen Anteil von ca. 47 % am deutschlandweiten Stromverbrauch (BDEW, 2022). Bis 2030 sollen mindestens 80 % erreicht werden (Die Bundesregierung, 2022a).

Im Transportsektor erweist sich die Transformation zu umweltfreundlicheren Fahrzeugen als schrittweiser Prozess. Mit den strenger werdenden EU-Flottenzielgrenzwerten darf aber der durchschnittliche Ausstoß aller neu zugelassenen Fahrzeuge eines Herstellers den gesetzlich fixierten Grenzwert einer bestimmten jährlichen Menge CO<sub>2</sub> pro Kilometer nicht überschreiten. Für Pkw galt dabei das Ziel von 130 g/km für das Jahr 2015, das bis 2021 weiter auf 95 g/km abgesenkt wurde. Im Jahr 2022 bei allen verbrennungsmotorisch betriebenen Pkw im Durchschnitt erreicht wurden ca. 110 g/km, mit abnehmender Tendenz (KBA, 2023c). Die CO<sub>2</sub>-Minderungsquoten für Pkw liegen bei -15 % im Jahr 2025 und -55 % im Jahr 2030 gegenüber 2021. Leichte Nutzfahrzeuge sollen im Jahr 2030 eine Reduktion von 50 % erreichen, schwere Nutzfahrzeuge 30 %. Insgesamt sollen 15 Mio. E-Fahrzeuge (BEV) bis 2030 in Deutschland Teil des Pkw-Bestands sein (Die Bundesregierung, 2021).

Zur Unterstützung dieser Ziele wurden verschiedene Instrumente und Maßnahmen entwickelt und umgesetzt: So existieren beispielsweise eine bis 2031 gültige Kfz-Steuerbefreiung für batterieelektrische Fahrzeuge und (seit Juli 2016) direkte Kaufanreize in Form sogenannter Umweltprämien in Höhe von derzeit 6.750 EUR (bis 40.000 EUR Nettolistenpreis) bzw. 4.500 EUR (bis 65.000 EUR Nettolistenpreis). Ab 2024 wird die Förderung auf 4.500 EUR (bis 45.000 EUR Nettolistenpreis) reduziert. PHEV werden ab 2023 nicht mehr gefördert. Für Elektro- und Hybridfahrzeuge, die als Dienstwagen ab dem 01.01.2019 zugelassen werden, wird zudem die Versteuerung des geldwerten Vorteils bei privater Nutzung je nach Fahrzeugpreis auf 0,5 % bzw. 0,25 % reduziert. Neben der Schaffung monetärer Anreize wurden zudem diverse Maßnahmen zur

Privilegierung umgesetzt, z. B. kostenfreies Parken in Innenstädten oder die Freigabe von Busspuren für Elektrofahrzeuge (NPE, 2016).

### 3.8.2 Vergleich mit Europa und ausgewählten europäischen Ländern

Zur Einordnung der deutschen und baden-württembergischen Marktsituation in einen internationalen Kontext sollen in einem zweiten Schritt der europäische Markt und ausgewählte europäische Länder betrachtet werden.

### Marktsituation

Der gesamte Pkw-Bestand in Europa lag 2021 bei ca. 250 Mio. Fahrzeugen, nur 1,5 % davon waren elektrifiziert (BEV und PHEV) (ACEA, 2023a). 2022 wurden in der EU 9,3 Mio. Pkw neu zugelassen, mit 12,1 % bzw. 9,4 % ist der Anteil an Elektrofahrzeugen bzw. Plug-in-Hybriden an den Neuzulassungen (insgesamt ca. 2 Mio. Fahrzeuge) steigend. Werden weitere Hybridvarianten hinzugezählt, so beläuft sich der Neuzulassungsanteil elektrifizierter Fahrzeuge in der EU im Jahr 2022 auf ca. 44 % (ACEA, 2023b). Abbildung 59 illustriert die Neuzulassungen elektrifizierter Fahrzeuge (BEV und PHEV) für ausgewählte europäische Länder von 2010 bis 2022. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Anzahl insbesondere ab 2019 rasant ansteigt und im Jahr 2022 einen neuen Höchststand bei den Neuzulassungen erreicht hat.

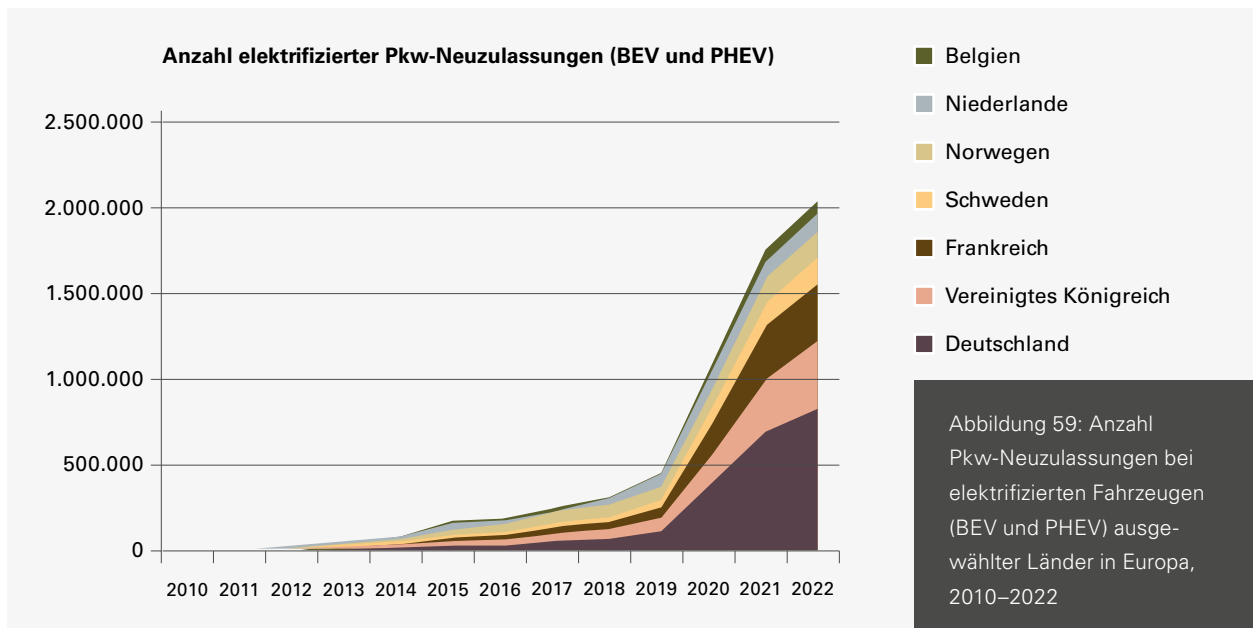


Abbildung 60 zeigt die Entwicklung der relativen Marktanteile dieser Länder bei elektrifizierten Neuzulassungen im Vergleich der Jahre 2021 und 2022. Es wird deutlich, dass Deutschland relativ gesehen hinter anderen europäischen Ländern wie den Niederlanden (34 % im Jahr 2022) und Schweden (56 %), insbesondere aber hinter Norwegen (88 %) rangiert. Erst 2017 stieg der E-Fahrzeug-Anteil an den Neuzulassungen in Deutschland auf über 1 %. In Norwegen hingegen wurden 2017 bereits nahezu 40 % Marktanteil an den Neuzulassungen erreicht.

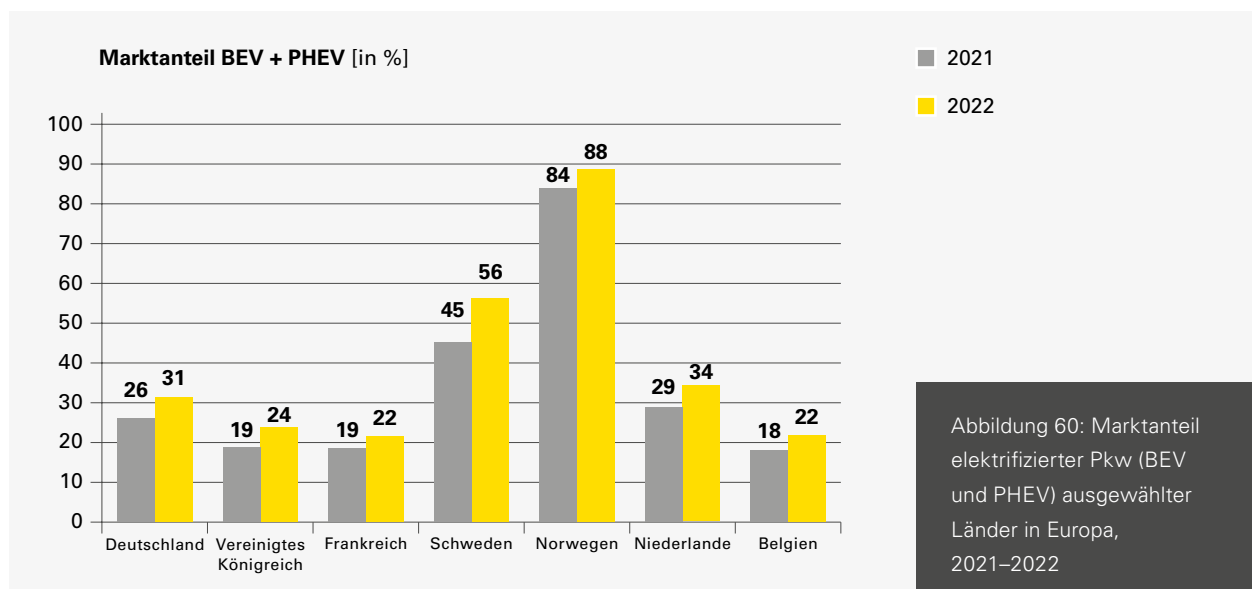
In Europa (inkl. UK, Norwegen und Türkei) existierten 2022 rund 509.000 öffentlich zugängliche Ladepunkte für Elektrofahrzeuge (Europäische Kommission, 2023b), ca. 64.000 davon mit Schnellademöglichkeit. Laut ACEA (European Automobile Manufacturers' Association) waren 2022 die Niederlande führend mit 64 Ladepunkten je 100 km Straßennetz, gefolgt von Luxemburg (59), Deutschland (26) und Schweden (12) (ACEA, 2022a). Mit ca. 101.000 Ladestationen sind die Niederlande in Europa auch absolut führend vor Deutschland (ca. 82.000) und Frankreich (ca. 76.000) (Europäische Kommission, 2023b).

### Rahmenbedingungen

Die Europäische Kommission hat im Rahmen des im Juli 2021 vorgelegten Gesetzesvorschlags zur Klimapolitik „Fit-for-55“ umfassende Ziele zur Reduktion von Treibhausgasen definiert, die sich auch auf den Verkehrssektor auswirken. Ziel ist es, bis zum Jahr 2030 eine Reduktion des Treibhausgasausstoßes in

Höhe von 55 % im Vergleich zum Basisjahr 1990 zu realisieren und 2050 vollständig klimaneutral zu werden. Unterschiedliche Maßnahmen sind notwendig, um alternativ angetriebene Fahrzeuge im Markthochlauf zu unterstützen sowie die dazugehörige Infrastruktur auszubauen. Wichtige Stellgröße sind die definierten Ziele für CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerte, die bis 2021 bei Pkw auf 95 g/km festgelegt wurden und bis 2030 um weitere 55 % reduziert werden müssen. Bei leichten Nutzfahrzeugen liegt der Grenzwert im Jahr 2021 bei 147 g/km und soll bis 2030 um 50 % reduziert werden. Eine Erhöhung des Zielwerts bei schweren Nutzfahrzeugen auf 50 % ist derzeit in Diskussion. Zusätzlich gibt die neue EU-Flottengesetzgebung für neue Pkw und leichte Nutzfahrzeuge den Weg zu null CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2035 vor (ein EU-Flottenziel zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von neuen Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen um 100 % im Vergleich zu 2021) (Rat der EU, 2022). Die Ladeinfrastruktur soll bis zum Jahr 2025 auf eine Million öffentliche Ladepunkte ausgeweitet und bis 2026 so ausgebaut sein, dass diese entlang wichtiger Verkehrsachsen mindestens alle 60 km verfügbar sind (Packroff, 2022).

Im Folgenden soll exemplarisch auf drei Länder (Vereinigtes Königreich, Frankreich und Niederlande) eingegangen werden. Das Vereinigte Königreich hat sich zum Ziel gesetzt, bis 2050 vollständig klimaneutral zu werden. Elektrofahrzeuge bis zu einem Anschaffungspreis von ca. 37.000 EUR wurden nach mehrmaliger Reduktion der Höhe monetärer Zuschüsse zuletzt mit rund 1.800 EUR subventioniert. Diese Kaufanreize aber



wurden Mitte 2022 vollständig gestrichen (Schaal, 2022). Weiterhin existieren Steuererleichterungen für Besitzer:innen von E-Fahrzeugen, die über eine Befreiung von der Kfz-Steuer und Dienstwagenprivilegien bis zu 2.250 EUR pro Jahr umfassen können (DFT UK, 2021). Die derzeit verfügbaren ca. 49.000 Ladepunkte sollen bis 2030 auf 300.000 ausgebaut werden. Des Weiteren werden Installationen privater Ladesäulen in Eigenheimen mit ca. 625 EUR bezuschusst. Elektrofahrzeuge werden zudem von der Einfahrtsbeschränkung in die Londoner Innenstadt befreit. Für 2030 ist ein komplettes Neuzulassungsverbot für Diesel- und Benzinfahrzeuge geplant, ab 2035 ebenfalls für Hybridfahrzeuge. Im Jahr 2040 sollen dann alle Verkehrsträger auf der Straße vollständig emissionsfrei sein (GTAI, 2022a). Insgesamt werden für die Transformation zu einem klimaneutralen Verkehrssystem ca. 4 Mrd. EUR Fördermittel bereitgestellt.

In Frankreich sollen Ziele zur Treibhausgasreduktion im Rahmen der europäischen „Fit-for-55“-Ziele umgesetzt werden. Im Verkehrsbereich setzt das Land auf eine Kombination aus Bonus-Malus-Systemen, so dass beispielsweise ab Überschreitung bestimmter CO<sub>2</sub>-Grenzwerte (128 g/km im Jahr 2022) Sonderabgaben erhoben werden, die spezifisch nach Einkommen, Alter der Fahrzeuge und Antriebsart definiert sind. Kaufzuschüsse (bis zu 6.000 EUR für BEV mit einem Kaufpreis von max. 45.000 EUR; PHEV: 1.000 EUR) und Abwrackprämien (max. 5.000 EUR) sollen den Markthochlauf emissionsfreier bzw. -armer Fahrzeuge unterstützen. Zudem werden einkommensschwächere Haushalte für den Kauf mit weiteren 3.000 EUR bezuschusst (Werwitzke, 2022). Weitere Steuererleichterungen (z. B. Zulassungs- und Dienstwagenbesteuerung) erzeugen Vorteile bis zu 1.800 EUR pro Jahr. Elektrofahrzeuge in Frankreich werden zudem mit reduzierten Mautgebühren subventioniert. Mittel- bis langfristig sind Neuzulassungsverbote für Diesel und Benziner angestrebt (ab 2030) sowie die Schaffung einer Einfahrverbotszone für Dieselfahrzeuge (ab 2024) in Paris. Bis 2025 sollen in Unternehmen, Wohngebieten und auf öffentlichen Parkplätzen 125.000 neue Ladepunkte entstehen, die Förderung beträgt bis zu 9.000 EUR je Station. Ca. 1 Mrd. EUR wird für den Umbau zu einem klimaneutralen Verkehrssystem bereitgestellt (GTAI, 2022b).

In den Niederlanden sollen ab 2030 alle neu zugelassenen Pkw emissionsfrei sein. Der Kauf von Elektrofahrzeugen bis zu einem Anschaffungspreis von 45.000 EUR wird ebenfalls monetär mit bis zu 2.950 EUR bezuschusst, zudem entfällt bei rein batterieelektrischen Fahrzeugen die nach dem CO<sub>2</sub>-Ausstoß gestaffelte Neuzulassungs- und Kfz-Steuer. In einigen

Regionen wird der Ladevorgang außerdem kostenlos ermöglicht (GTAI, 2023a).

### 3.8.3 Vergleich mit den USA, China und Japan

#### Marktsituation

Von den rund 1,3 Mrd. Pkw weltweit entfallen auf China und die USA über 45 %, wobei 2022 in China über 319 Mio. Pkw gezählt wurden (CEIC, 2023). Japan hatte 2022 ca. 82 Mio. Fahrzeuge im Bestand (Statista, 2023a). Insgesamt wurden im Jahr 2022 weltweit ca. 80 Mio. Pkw neu zugelassen, wobei China mit ca. 26,7 Mio. Fahrzeugen daran den Hauptanteil hatte (31 %) (CAAM, 2023). In den USA und Japan waren es mit 13,7 Mio. bzw. 3,4 Mio. Pkw bedeutend weniger (CNBC, 2023; BSC, 2023).

Die Neuzulassungen von E-Fahrzeugen ab 2016 in den USA, China und Japan veranschaulicht Abbildung 61. Besonders der chinesische Markt für batterieelektrische Fahrzeuge ist in den vergangenen Jahren deutlich gewachsen und hat im Jahr 2022 mit ca. 5 Mio. neu zugelassenen BEV und ca. 1,3 Mio. PHEV einen neuen Höchststand erreicht. Der Marktanteil an den Gesamtneuzulassungen betrug damit ca. 24 %. In den USA hat sich die Nachfrage nach BEV und PHEV ebenfalls insgesamt gesteigert – auf ca. 1 Mio. elektrifizierte Fahrzeuge im Jahr 2022 (Marktanteil: 7,3 %), in Japan hingegen stagnierten die Neuzulassungen relativ lange auf einem konstanten Niveau von ca. 40.000 Fahrzeugen jährlich. Im Jahr 2022 konnten sich aber auch dort die Neuzulassungen steigern und insgesamt ca. 91.000 Fahrzeuge (BEV und PHEV; Marktanteil: 2,7 %) erreichen.

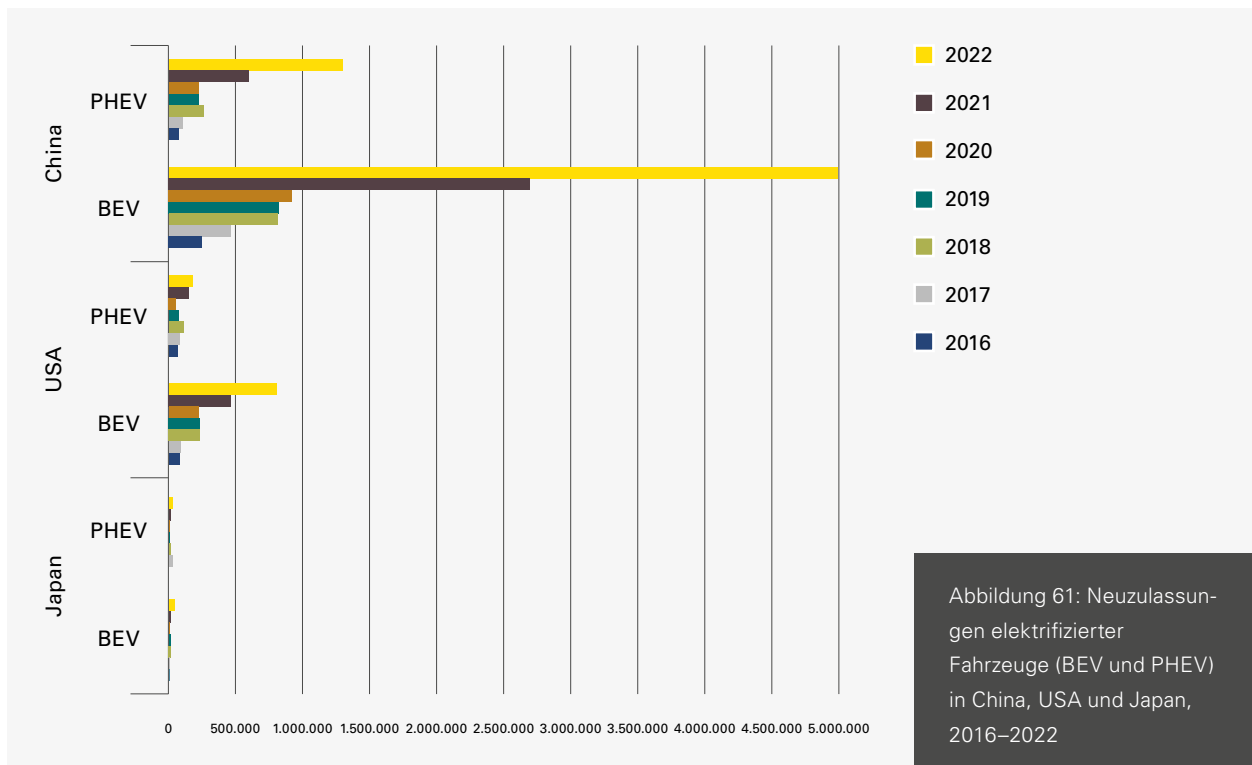


Abbildung 61: Neuzulassungen elektrifizierter Fahrzeuge (BEV und PHEV) in China, USA und Japan, 2016–2022

Der Ausbau der Ladeinfrastruktur wird in China weiterhin stark vorangetrieben. So waren im Jahr 2014 noch ca. 30.000 Ladepunkte im Land verfügbar (21.000 Normal- und 9.000 Schnellladepunkte), 2021 aber schon ca. 1,16 Mio. (davon 680.000 Normal- und 480.000 Schnellladepunkte) (IEA, 2023). Im Jahr 2022 erreichte die Zahl ca. 1,8 Mio. insgesamt, hiervon ca. 40 % Schnelllader (Grid News, 2023). Zusätzlich verfügt das Land bereits über ca. 2.000 Batteriewechselstationen (China.org, 2023). In den USA standen 2021 ca. 92.000 Normal- und rund 22.000 Schnellladepunkte zur Verfügung, im Jahr 2022 wuchs die Anzahl insgesamt auf ca. 164.000 an, davon ca. 127.000 Normal- und 37.000 Schnelllader (inkl. Tesla Supercharger) (S&P Global, 2023a). Die derzeit nur für 2021 vorliegenden Zahlen für Japan zeigen auf, dass das Land über vergleichsweise wenig Ladepunkte verfügte (29.000), darunter ca. 8.000 Schnelllader (IEA, 2023).

### Rahmenbedingungen

China will bis zum Jahr 2060 vollständig treibhausgasneutral werden. Bis 2030 soll ein Anteil elektrifizierter Fahrzeuge in Höhe von 40 % an den Neuzulassungen realisiert werden. Dabei gilt seit 2018 eine Quotenregel („Dual Credit Policy“), die

sich über die Jahre hinweg verschärft. Sie umfasst sowohl Credits für die Produktion bestimmter Mengen emissionsfreier Fahrzeuge (18 % im Jahr 2023) als auch Credits für die Erreichung von Verbrauchsreduktionszielen der Fahrzeugflotte (4 l pro 100 km im Jahr 2025) (GTAI, 2023b). Sofern Automobilhersteller definierte Credit-Vorgaben verfehlen, drohen Strafzahlungen oder eine Reduzierung der Produktionsmengen im folgenden Jahr. Zudem wurde der Kauf von Elektrofahrzeugen seit 2009 mit monetären Mitteln bezuschusst, die jedoch im Zeitverlauf reduziert wurden auf nur noch ca. 1.800 EUR im Jahr 2022. Seit 2023 werden elektrifizierte Fahrzeuge nicht mehr direkt monetär subventioniert. Insgesamt sind staatliche Mittel in Höhe von ca. 21 Mrd. EUR hierfür aufgerufen worden (DLF, 2022). Auch die uneingeschränkte Zulassung der Fahrzeuge sowie die kostenlose Bereitstellung von speziellen Nummernschildern sind in bestimmten Städten/Regionen Teil staatlicher Anreizsysteme zur Beschaffung von alternativ betriebenen Pkw, so dass beispielsweise der Zugang zu bestimmten Fahrspuren oder Stadtautobahnen ermöglicht wird (CHEManager, 2022).

In den USA wird das Ziel verfolgt, im Jahr 2030 einen Neuzulassungsanteil rein batterie-, wasserstoffelektrischer oder hy-

brider Fahrzeuge in Höhe von 50 % zu erreichen. Bis dahin sollen im Land 500.000 Ladestationen errichtet sein, deren Errichtung mit insgesamt ca. 7 Mrd. EUR gefördert wird (GTAI, 2022c). Über den ab 2023 wirkenden „Inflation Reduction Act“ wird der Kauf elektrifizierter Fahrzeuge aus (überwiegend) US-amerikanischer Produktion mit bis zu ca. 7.000 EUR bezuschusst. In einigen Bundesstaaten wurde zudem eine feste Quote gesetzt, mit der die Neuzulassung elektrifizierter Fahrzeuge geregelt wird, so z. B. in Kalifornien oder New York. Hier sollen ab 2026 35 % aller Neufahrzeuge elektrisch sein, ab 2030 werden 68 % und 2035 100 % angepeilt (Randall, 2022). Weitere Vorteile, wie z. B. die Nutzung sogenannter HOV-Lanes („High-occupancy Vehicle Lanes“) auf vielbefahrenen Straßen, sind bereits umgesetzt.

Die japanische Regierung peilt die vollständige Treibhausgasneutralität für das Jahr 2050 an und will ab 2030 keine Verbrennerfahrzeuge mehr neu zulassen (AMS, 2022). Das Land fördert den Kauf batterieelektrischer Fahrzeuge mit bis zu ca. 6.200 EUR, von wasserstoffelektrischen mit bis zu ca. 19.000 EUR und von Plug-in-Hybriden mit bis zu 3.100 EUR. Entscheidend für die Höhe der Bezuschussung sind Batteriegröße und Reichweite. Bis zum Jahr 2030 will das Land zudem die öffentlich verfügbaren Ladepunkte auf 150.000 Stück ausbauen (Schaal, 2021b).

### 3.9 Aktuelle Herausforderungen und Markthochlauf der Elektromobilität

Die internationale Staatengemeinschaft, aber auch die Bundesrepublik Deutschland und das Land Baden-Württemberg haben sich zur Einhaltung von Klimaschutzziele verpflichtet. Deutliche CO<sub>2</sub>-Einsparungen werden gerade vom Verkehrssektor erwartet. Auch die Grenzwerte bei der Feinstaubbelastung und von NO<sub>x</sub>-Emissionen werden über neue Abgasnormen reduziert.

Die Automobilhersteller und ihre Zulieferer stehen vor einer komplexen Herausforderung: Bei den klassischen Verbrennungstechnologien liegen Dieselmotoren gegenüber Benzin-/Ottomotoren beim CO<sub>2</sub>-Ausstoß niedriger, benötigen aber zur Einhaltung der NO<sub>x</sub> und ppm-Vorgaben sehr aufwendige und kostenintensive Abgasanlagen. Durch die neue – voraussichtlich ab 2025 geltende – Abgasnorm Euro 7 sind weitere Anpassungen der Motorentechnologien und damit auch intensive Forschungs- und Entwicklungsaufwände notwendig. Diese beziehen sich z. B. auf verbesserte Partikelfilter, Abgasnachbehandlungssysteme und zusätzliche Heizaggregate für Kata-

lysatoren. Elektromobilität stellt – auch im Rahmen einer hybriden Übergangsphase – eine Möglichkeit zur Reduzierung der lokalen Emissionsbelastung dar und soll zur Einhaltung von Grenzwerten sowohl für die Automobilhersteller als auch von Klimazielen auf Landes- und nationaler Ebene beitragen. Daneben können auch die Technologiepfade Wasserstoff und der Einsatz synthetischer Kraftstoffe zur Emissionsreduktion im Verkehr beitragen. Gerade H<sub>2</sub> könnte so bei schweren Nutzfahrzeugen und weiteren Verkehrsarten, die auf hohe Fahrleistungen und Reichweiten angewiesen sind, eine geeignete Technologieoption darstellen. Zurzeit jedoch sind die Kosten der Brennstoffzellen aufgrund zu geringer Stückzahlen noch sehr hoch. Auch synthetische Kraftstoffe sind derzeit noch mit hohen Kosten bei der Herstellung verbunden und nicht in ausreichender Menge verfügbar, zudem sind die Gesamtenergiebedarfe im Vergleich zur direkten Nutzung von Strom als Energieträger um ein Vielfaches höher.

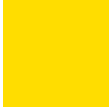
Die hier vorliegende Studie konzentriert sich im Weiteren nur auf den Technologiepfad der Elektrifizierung (inkl. mit Wasserstoff betriebener Brennstoffzellen) und analysiert dessen Effekte in ökonomischer und ökologischer Hinsicht. Die Effekte für weitere Antriebs- und Kraftstoffkombinationen – insbesondere vor dem Hintergrund synthetischer Kraftstoffe – sollten in einer weiteren Studie untersucht werden.

Auf den internationalen Automobilmärkten sind die Marktanteile elektrifizierter Fahrzeuge z. T. schon größer als in Deutschland und wachsen – insbesondere in China – mit hoher Geschwindigkeit. Bedeutende Faktoren sind entsprechend förderliche politische und gesetzliche Rahmenbedingungen, die je nach Ausprägung als kritische Stellhebel für den Markthochlauf der Elektromobilität dienen. Eine detaillierte Analyse dieser Einflussgrößen und von deren Auswirkungen auf die Verbreitung elektrifizierter Fahrzeuge bis 2030 wird im Folgenden in zwei Szenarien modelliert. Diese Szenarien bilden die Basis der späteren Analyse der Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte neuer Antriebstechnologien in der deutschen Automobilbranche – für sowohl Pkw als auch Lkw.

Zudem werden im Folgenden erstmals auch die möglicherweise zusätzlichen Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte ermittelt, die sich aus einer zunehmenden Automatisierung und Vernetzung der Fahrzeuge ergeben.

# 04

## Szenarien des Strukturwandels





# 04

## Szenarien des Strukturwandels

### In Kürze

- Die kritischen Einflussfaktoren auf die Geschwindigkeit des Markthochlaufs alternativ angetriebener Fahrzeuge sind u. a. die Batterie-kosten, die Infrastrukturverfügbarkeit, die CO<sub>2</sub>-Gesetzgebung, Neuzulassungsverbote für fossil betriebene Fahrzeuge sowie monetäre Kaufanreize.
- In den eigens simulierten Szenarien (DLR VECTOR21) für Deutschland erreichen rein batterieelektrische Pkw im Jahr 2030 je nach Ausgestaltung der Rahmenbedingungen („Business-as-usual“ vs. „Progressiv“) einen Marktanteil zwischen 34% und 57% an den Neuzulassungen.
- Rein batterieelektrische Lkw erreichen im Jahr 2030 in Deutschland Neuzulassungsanteile zwischen 31% („Business-as-usual“) und 50% („Progressiv“), jedoch mit großen Unterschieden zwischen den einzelnen Nutzfahrzeugsegmenten N1, N2 und N3. Brennstoffzellen-Lkw werden in (im Vergleich zu BEV) sehr geringen Stückzahlen bei hohen Reichweitenanforderungen und Fahrleistungen nachgefragt.
- Im Jahr 2030 befinden sich im progressiven Szenario ca. 10 Mio. batterieelektrische Pkw und ca. 0,9 Mio. Lkw im deutschen Fahrzeugbestand. Das Ziel der Bundesregierung (15 Mio. BEV) wird damit verfehlt.
- Die kumulierten Treibhausgasemissionen aus dem Pkw- und Lkw-Sektor übersteigen in beiden Szenarien die im Klimaschutzplan

genannten Meilensteine im Jahr 2030 – im progressiven Szenario um ca. 27%.

- Metaanalysen und Experteneinschätzungen zeigen die Nachfragen nach neuen Komponenten (z. B. LiDAR, Radar, Kamerasysteme) auf, die sich aus dem Markthochlauf der Fahrzeugautomatisierung ergeben. Dieser ist mit zusätzlichen Wertschöpfungspotenzialen für die Industrie verbunden.
- Im Jahr 2030 besitzen ca. 70% der Pkw-Neuzulassungen Level-2-Systeme, ca. 30% Level 3 und höher. Bei Lkw gehen Expert:innen davon aus, dass 2030 ca. 75% der Neuzulassungen Level-2-Systeme, ca. 25% Level 3 und höher installiert haben. Autonome Fahrzeuge werden ab 2033 verfügbar.

Für die Ermittlung der Auswirkungen von Elektrifizierung und Digitalisierung auf Wertschöpfung und Beschäftigung wird die Entwicklung der Nachfrage nach den zum Einsatz kommenden Komponenten benötigt. Um diese Mengen der neuen, geänderten und wegfallenden Antriebskomponenten zu quantifizieren, wurden Neuwagenmarktszenarien zur Marktdurchdringung von elektrifizierten Fahrzeugen – sowohl für Pkw als auch für Lkw – entwickelt, berechnet und analysiert. Hierbei kommt das am DLR entwickelte und wissenschaftlich verifizierte Fahrzeugszenariomodell VECTOR21 ([www.vector21.de](http://www.vector21.de)) zum Einsatz.

Darüber hinaus werden Szenarien zum Markthochlauf der Fahrzeugautomatisierung nach unterschiedlichen SAE-Leveln für Pkw und Lkw ergänzt, um Nachfragemengen auch für Komponenten wie LiDAR, Radar und Kamerasysteme ermitteln zu können. Diese Automatisierungsszenarien sind jedoch nicht

Ergebnis einer wissenschaftlich modellgestützten Marktsimulation, sondern stützen sich auf Literaturanalysen sowie Experteneinschätzungen und -erwartungen.

#### 4.1 Methodik des DLR VECTOR21-Fahrzeugszenariomodells

Das Fahrzeugszenariomodell VECTOR21 ermöglicht die Simulation des Kaufverhaltens von Kund:innen beim Neuwagenkauf unter Berücksichtigung komplexer Rahmenbedingungen. Einerseits werden im Rahmen der Simulation Kundenprofile mit unterschiedlichen Eigenschaften (z. B. Jahresfahrleistung, Fahrzeuggröße) sowie jeweils konkreten Anforderungen an das Fahrzeug generiert. Dadurch können individuelle Nutzwerte, abhängig vom Kundentyp, simuliert und z. B. Käufe umweltfreundlicher Fahrzeuge mit ggfs. im Vergleich höheren Kosten realisiert werden. Diese werden als Gesamtbesitzkosten verstanden und setzen sich aus den Anschaffungskosten sowie den Betriebskosten zusammen (TCO – Total Cost of Ownership).

Andererseits werden im Modell jährlich Fahrzeuge mit unterschiedlichen Antriebskonzepten, -technologien und Kraftstoffarten generiert und den Kund:innen angeboten. Dabei sind technologische und kostenseitige Entwicklungen der Fahrzeuge und einer Vielzahl von Komponenten berücksichtigt (z. B. Batteriesystem, Elektromotor, Leistungselektronik). Die Kaufentscheidung wird in einem modellierten Umfeld simuliert, das zum einen auf politischen Entscheidungen und Diskussionen (z. B. Kraftstoffbesteuerung, CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwert) und zum anderen auf Angaben aus der Literatur (z. B. Entwicklung der Energiekosten, Ausbau der Lade- und Betankungsinfrastruktur) basiert.

Den Kund:innen wird unterstellt, dass dasjenige Fahrzeug gekauft wird, das die individuellen Anforderungen an das Fahrzeug sowie die notwendige Infrastruktur erfüllt und die jeweils hinsichtlich der Gesamtkosten günstigste Variante darstellt. Sie sind zudem auf Basis der Informationen über die Innovations- und finanzielle Zuzahlungsbereitschaft für umweltfreundlichere Fahrzeuge in verschiedene Adoptergruppen<sup>9</sup> eingeteilt.

Die im Modell hinterlegten Fahrzeuge unterscheiden sich nach Fahrzeugsegment sowie Antriebsstrangkonzept, folglich können jedem Fahrzeug ein spezifischer Energieverbrauch sowie Kosten der verbauten Komponenten zugewiesen werden. Bei der zukünftigen Entwicklung des spezifischen Energieverbrauchs findet das Potenzial zur Verbesserung und Weiterentwicklung von Fahrzeugtechnologien Anwendung, wie z. B. Leichtbautechnologien oder auch Downsizing. Für die Ermittlung der Fahrzeug- und Komponentenkosten werden stückzahlbasierte Kostenkurven und eigene Kostenmodelle basierend auf Literatur- und Tear down-Analysen herangezogen. Im Folgenden wird zwischen den zwei Szenariomodellen eines Pkw- und Lkw-Neuwagenmarkts unterschieden.

<sup>9</sup> | Eine Adoptergruppe bezieht sich auf eine Gruppe von Personen, die ein neues Produkt, eine neue Technologie oder eine neue Idee als erste annehmen und nutzen. Diese Gruppe wird auch als Innovatoren bezeichnet. Weitere Adoptergruppen sind: frühe Adopter, frühe Mehrheit, späte Mehrheit sowie die Nachzügler.

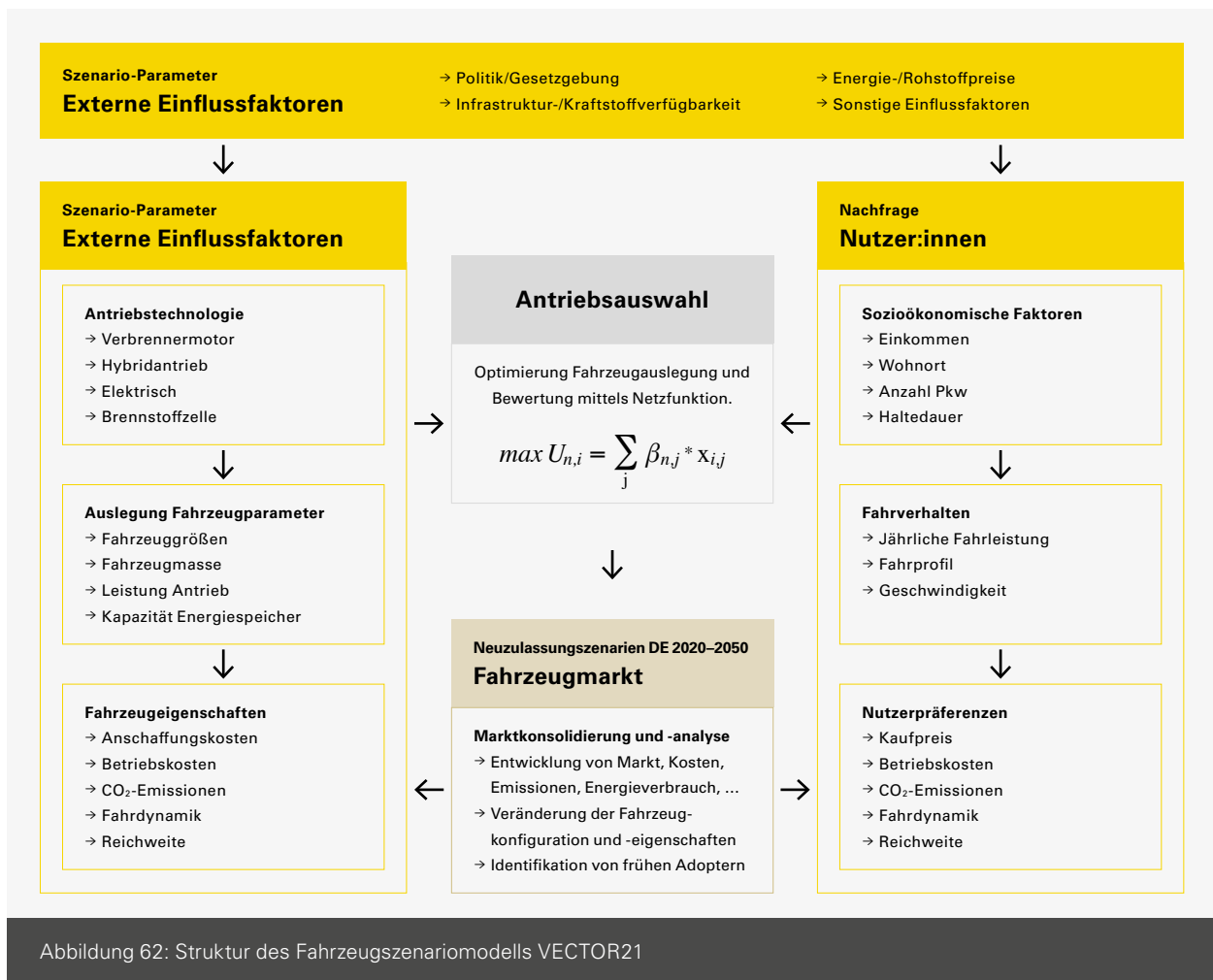


Abbildung 62: Struktur des Fahrzeugszenariomodells VECTOR21

### Pkw-Neuwagenmarkt-Szenariomodell

Im VECTOR21-Pkw-Neuwagenmarkt-Szenariomodell werden Kaufentscheidungen unterschiedlicher Kundentypen und -segmente auf dem Pkw-Markt unter variabel zu definierenden Rahmenbedingungen simuliert. Die individuellen Kaufentscheidungen der Kund:innen basieren auf einer Maximierung des persönlichen Nutzens über unterschiedliche Kriterien hinweg: Anschaffungs- und Betriebskosten, Anforderungen zur Reichweite der Fahrzeuge sowie zur Verfügbarkeit von Lade- bzw. Betankungsinfrastruktur, ökologische Aspekte (CO<sub>2</sub>-Emissionen) sowie fahrdynamische Präferenzen. Die Kundentypen unterscheiden sich u. a. nach Wohnort, Einkommen, jährlicher Fahrleistung und der Bereitschaft, höhere Preise für fortschrittliche Technologien zu zahlen (Innovationsbereitschaft). In Sum-

me ergeben sich so bis zu 900 unterschiedliche Kundentypen (sog. „Agenten“). Zudem bildet VECTOR21 insbesondere die technischen Eigenschaften und Kosten heutiger und zukünftiger Fahrzeuge, die europäische CO<sub>2</sub>-Gesetzgebung, landesspezifische Kaufanreize und Steuern sowie angebotsseitige Herstellerstrategien und Produktionskapazitäten ab. Zusammenfassend abstrahiert das Fahrzeugtechnik-Szenariomodell VECTOR21 den Pkw-Markt auf drei Modellkomponenten:

- Nachfrage, charakterisiert durch Kundengruppen und ihre jeweils spezifischen Anforderungen sowie Eigenschaften
- Angebot, charakterisiert durch die verfügbaren Fahrzeugtechnologien und Antriebsarten in den verschiedenen Segmenten, deren Verkaufspreis sowie laufende Kosten
- Exogene Einflussfaktoren: Politik, charakterisiert durch

Steuern, Subventionen, Verbote und Gebote, z. B. CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerte, Energie- und Kraftstoffpreisentwicklung, Infrastrukturverfügbarkeit

Das Modell berechnet den deutschen Neuwagenmarkt und die Bestandsentwicklung auf Basis der interaktiv und variabel zu gestaltenden Rahmenbedingungen sowie des Abgleichs des Angebots bei Fahrzeugkonzepten, Antriebskonzepten und Kraftstoffen mit der Kundennachfrage jährlich bis 2050.

Auf Basis der Rahmenbedingungen zur Entwicklung des Pkw-Neuwagenmarkts werden die technischen Fahrzeugkomponenten hinsichtlich ihrer Konfiguration und Mengen analysiert. Dabei werden auch ihre technologische Weiterentwicklung anhand verbesserter Leistungsparameter sowie die Entwicklung der Produktionskosten (z. B. für Elektromotoren, Leistungselektronik, Batterien) berücksichtigt. Die ökonomischen Auswirkungen des Markthochlaufs auf die Produktionsstückzahlen sowie auf die Kostenstruktur der Fahrzeuge können so detailliert über Bottom-up-Kostenmodelle und hinterlegte Lernkurven (Skaleneffekte in der Produktion) je Szenario berechnet und dargestellt werden.

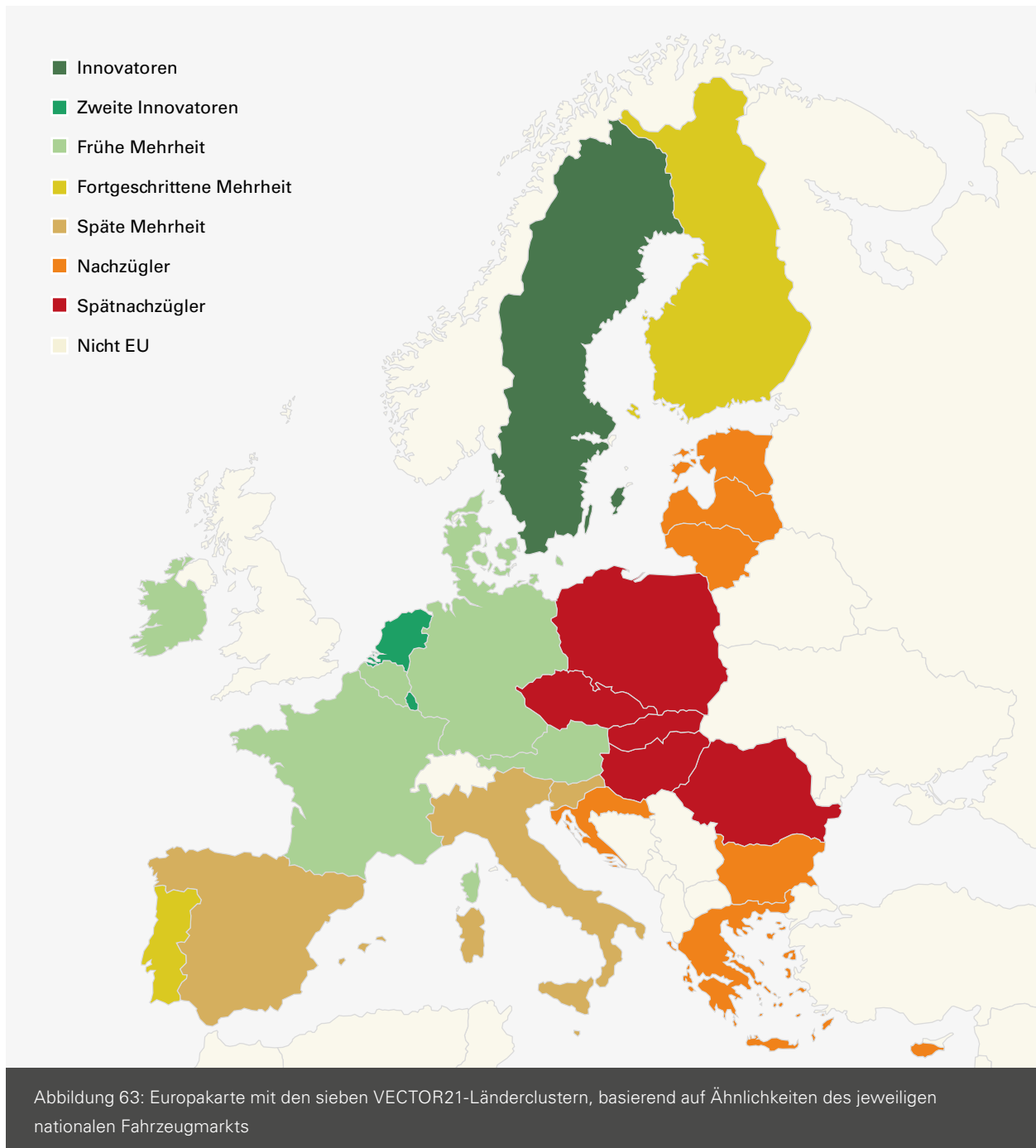
Die in VECTOR21 betrachteten Fahrzeugkonzepte im Pkw-Bereich beinhalten folgende Antriebsvarianten:

- Dieselfahrzeuge, inkl. Mild-Hybrid (D)
- Benzinfahrzeuge, inkl. Mild-Hybrid (G)
- Voll-Hybrid-Fahrzeuge (Ottomotor<sup>10</sup> und Elektromotor) (G-HEV)
- Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge (Ottomotor<sup>10</sup> und Elektromotor) (G-PHEV)
- Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV)
- Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV)
- Erdgasfahrzeuge (CNG)

Das VECTOR21-Pkw-EU-Modell simuliert den europäischen Pkw-Markt, indem es europäische Länder mit ähnlichen Eigenschaften und Spezifika identifiziert und zusammenfasst. Die insgesamt sieben Ländercluster (siehe Abbildung 63) ergeben sich aus vergleichbaren Rahmenbedingungen der jeweiligen nationalen Fahrzeugmärkte, definiert anhand von makroökonomischen Indikatoren wie dem Pro-Kopf-Bruttoinlandsprodukt (BIP), der Struktur des Fahrzeugbestands und der verfügbaren Ladeinfrastruktur, sozialen Faktoren wie dem

Umweltbewusstsein sowie politischen Maßnahmen, die auf eine Steuerung von Angebot und Nachfrage abzielen. Sie werden auf Basis detaillierter länderspezifischer Marktinformationen wie Besteuerung, Subventionen, Einkommens-, Fahrleistungs-, Segmentverteilung etc. unabhängig modelliert und auf europäischer Ebene aggregiert. Aufgrund der großen Marktrelevanz von Frankreich und Deutschland werden im sog. „Frühe Mehrheit“-Cluster beider Länder berücksichtigt.

<sup>10</sup> | Benzinbetrieben.



### Lkw-Neuwagenmarkt-Szenariomodell

Das VECTOR21-Lkw-Neuwagenmarkt-Szenariomodell ermöglicht die Simulation und Analyse des Markthochlaufs alternativer Antriebs- und Kraftstofftechnologien im Neuwagenmarkt

für leichte und schwere Nutzfahrzeuge in Deutschland bis 2050. Gegenüber Personenfahrzeugen sind die Einsatzarten und Verwendungszwecke bei Nutzfahrzeugen komplex. Es existieren viele unterschiedliche Anforderungen für einzelne Fahrzeugtypen, die zu einer hohen Variantenvielfalt bei deutlich

geringeren Stückzahlen als im Pkw-Volumenmarkt führen. Diese beeinflussen die spezifische Antriebsstrangkonfiguration und damit verbunden die Gesamtbetriebskosten im kosten-sensitiven Lkw-Markt. Im Fokus des Modells steht ein transportaufgabenbasiertes Kostenmodell (TCO – Total Cost of Ownership) zur Bewertung von konventionellen und alternativen Antriebsstrangkonzepthen für leichte und schwere Nutzfahrzeuge.

Auf der Angebotsseite bildet das Lkw-Neuwagenmarkt-Szenariomodell sämtliche Nutzfahrzeugkonzepte hinsichtlich der relevanten Fahrzeugsegmente und Antriebskonfigurationen detailliert ab. Repräsentativ für den deutschen Straßen-güterverkehr werden folgende sechs Nutzfahrzeugsegmente mit unterschiedlichem zulässigem Gesamtgewicht (zGG) unterschieden:

- Transporter/Lieferfahrzeuge bis 3,5 t zGG (Fahrzeugklasse N1)
- Leichte Lastkraftwagen zwischen 3,51 und 7,5 t zGG (Fahrzeugklasse N2)
- Schwere Lastkraftwagen zwischen 7,51 und 12 t zGG (Fahrzeugklasse N2)
- Schwere Lastkraftwagen zwischen 12,1 und 18 t zGG (Fahrzeugklasse N3)
- Schwere Lastkraftwagen zwischen 18,1 und 26 t zGG (Fahrzeugklasse N3)
- Schwere Sattelzüge bis 40/44 t zGG (Fahrzeugklasse N3)

Betrachtet werden Nutzfahrzeuge für den Gütertransport mit Antriebsachsenkonfigurationen von 4x2 und 6x2. Sonderfahrzeuge, wie Abfallsammelfahrzeuge oder Baustellenfahrzeuge, die in der Regel eine größere Anzahl angetriebener Achsen

(z. B. 6x4 oder 6x6) sowie eine höhere Motorisierung besitzen und eine größere Nutzlast transportieren, werden nicht berücksichtigt. Für jedes der betrachteten Nutzfahrzeugsegmente werden im VECTOR21-Lkw-Modell folgende Antriebskonfigurationen abgebildet:

- Dieselfahrzeuge, inkl. Mild-Hybrid (D)
- Voll-Hybrid-Fahrzeuge Diesel (D-HEV)
- Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge Diesel (D-PHEV)
- Erdgasfahrzeuge (NG – Natural Gas)
- Voll-Hybrid-Fahrzeuge Erdgas (NG-HEV)
- Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge Erdgas (NG-PHEV)
- Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV)
- Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV)

Auf der Nachfrageseite sind die Eigenschaften und Anforderungen der Lkw-Flottenbetreiber basierend auf empirischen Untersuchungen (Kleiner und Friedrich, 2017) charakterisiert und im Modell als Simulationsagenten hinterlegt. Nach dem Ansatz der agentenbasierten Modellierung mit diskreter Auswahlentscheidung steht jeder einzelne Simulationsagent für eine Kaufentscheidung einer bestimmten Anzahl von Nutzfahrzeugen. Daher repräsentieren diese Agenten einen Anteil des Gesamtmarktes. Auf der Grundlage historischer Markt- und Verkehrsstatistiken findet eine Unterteilung der Agenten in die sechs betrachteten Nutzfahrzeugsegmente und möglichen Transportaufgaben der Fahrzeuge statt. Die Transportaufgabe wird wesentlich vom Einsatzort der Fahrzeuge definiert. Es wird nach städtischer Belieferung, regionaler Belieferung und Langstreckentransport differenziert. Abhängig vom Einsatzort werden verschiedene Fahrleistungscluster unterschieden. In Tabelle 13 sind die durchschnittlichen jährlichen Fahrleistungen der Neuzulassungsflotte nach Segment und Transportaufgabe gelistet.

| Fahrzeugsegment               | Mittelwert<br>gesamt in km | Städtische<br>Blieferung in km | Regionaler<br>Verteilerverkehr in km | Transport im<br>Fernverkehr in km |
|-------------------------------|----------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>3,5 t Transporter</b>      | 19.200                     | 7.900                          | 24.400                               | 58.900                            |
| <b>7,5 t Lkw</b>              | 38.600                     | 38.400                         | 55.100                               | -                                 |
| <b>12 t Lkw</b>               | 42.700                     | 31.400                         | 48.500                               | 55.400                            |
| <b>18 t Lkw</b>               | 43.600                     | 29.300                         | 71.000                               | 98.700                            |
| <b>26 t Lkw</b>               | 42.700                     | 29.200                         | 68.200                               | 101.500                           |
| <b>40 t Sattelzugmaschine</b> | 103.900                    | 46.000                         | 95.500                               | 168.100                           |

Tabelle 13: Durchschnittliche jährliche Fahrleistung der Neuzulassungsflotte nach Segment und Transportaufgabe

Quelle: KBA, 2015 (Sonderauswertung); DLR VECTOR21

Die spezifische Transportaufgabe definiert gleichzeitig die Grundanforderungen an die im Modell bereitgestellten Fahrzeuge hinsichtlich Nutzlast, Nutzvolumen und Tagesreichweite. Zudem wird über die Charakterisierung der maximal akzeptierten Amortisationszeit die Innovationskraft und die Bereitschaft zum Kauf fortschrittlicher Fahrzeugtechnologien definiert. In der Summe werden insgesamt bis zu 772 verschiedene Flottenbetreiberagenten berücksichtigt. Unter Berücksichtigung der Szenarioannahmen (externe Einflussfaktoren) bildet der Algorithmus in VECTOR21 den Kaufentscheidungsprozess in Bezug auf Nutzfahrzeuge mit konventionellen oder alternativen Antrieben für jeden Simulationsagenten ab und rechnet damit zukünftige Marktanteile im Lkw-Neuzulassungsmarkt bis 2050

hoch. Dabei wird das Modell wesentlich von der europäischen CO<sub>2</sub>-Flottenregulierung für leichte und schwere Nutzfahrzeuge beeinflusst.

Die sich aus den Modellsimulationen ergebenden jährlichen Pkw- und Lkw-Nachfragen nach unterschiedlichen Antriebsstrangkonzepthen und entsprechenden Produktionsstückzahlen relevanter Komponenten für die Elektromobilität (z. B. Energiespeicher, Elektromotor, Brennstoffzellen) bilden die Basis zur späteren Berechnung der Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte für das baden-württembergische Automobilcluster. Diese werden in Kapitel 5 ausführlich dargestellt.



## 4.2 Rahmenbedingungen für die Fahrzeugtechnologieszzenarien

In der Strukturstudie BW<sup>e</sup> mobil 2019 wurde zur Identifikation der relevanten Treiber und Stellgrößen für den Markthochlauf elektrifizierter Fahrzeuge eine Metaanalyse existierender Fahrzeugmarktszenarien und der ihnen zugrunde liegenden Annahmen durchgeführt. Dabei wurden die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerte, der Technologiekosten (z. B. Batterie-kosten), der Produktionskapazitäten und der Infrastrukturverfügbarkeiten als kritische Einflussfaktoren identifiziert. Für die Szenariomodellierung konnten zwei generelle Entwicklungstrends abgeleitet werden, die auch in der vorliegenden Studie Anwendung finden sollen.

Szenario „Business-as-usual“ (BAU): Das grundlegende Rahmengerüst bestehender moderater Entwicklungen basiert auf der konservativen Fortschreibung aktueller regulativer Maßnahmen sowie der Annahme einer langsamen technischen und kostenseitigen Weiterentwicklung alternativer Antriebstechnologien und -konzepte.

Szenario „Progressiv“ (PROG): Bei einer progressiven Entwicklung dienen die derzeit bestehenden Regularien als Ausgangsbasis, werden aber ambitionierter in die Zukunft fortgeschrieben. Außerdem geht das progressive Szenario von einer schnelleren technischen und kostenseitigen Entwicklung alternativer Antriebstechnologien aus.

### Exkurs: simulierte Marktpotenziale ≠ tatsächliche Marktentwicklung

Ein Szenario ist per Definition ein Entwurf einer zukünftig möglichen Situation oder einer möglichen Abfolge zukünftiger Ereignisse. Grundlage jedes Szenarios ist zum einen die Analyse der aktuellen Situation, zum anderen die Untersuchung der erwartbaren Entwicklungen, Trends und Veränderungen in der Zukunft. Ein Szenario stellt damit kein gesichertes Abbild der Zukunft dar, sondern liefert die Grundlage zur objektiven Analyse eines zukünftigen Zustands und von dessen Auswirkungen (zum Beispiel auf ökonomischer und ökologischer Ebene). In Hinblick auf die Szenariomodellierung mit dem VECTOR21-Fahrzeugmarktmodell ist hervorzuheben, dass

der Fokus der Untersuchung auf der wissenschaftlichen Simulation von Kaufentscheidungen unterschiedlicher Kundengruppen für miteinander in Konkurrenz stehende Antriebsstrangkonzeppte und -technologien sowie auf der Entwicklung ihrer relativen Marktanteile (= Marktpotenziale) liegt. Diese werden im Wesentlichen durch einen definierten Entscheidungsalgorithmus (Pkw: nutzenbasierter Ansatz; Lkw: ökonomischer Ansatz) und die Berücksichtigung unterschiedlicher Rahmenbedingungen, wie die Ausgestaltung der CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerte, beeinflusst. Insbesondere die Ausgestaltung der Rahmenbedingungen bzw. Parameterannahmen ist mit einer generellen Unsicherheit behaftet. Politische Krisen oder Störungen wirtschaftlicher Strukturen, der Rohstoffverfügbarkeit oder weitere externe Effekte, die den Fahrzeugmarkt beeinflussen können, finden nicht Einzug in die Untersuchung. Des Weiteren bestehen Limitationen hinsichtlich der Ausgestaltung der Hochlaufgeschwindigkeit der Fahrzeugproduktion und damit der zukünftigen Verfügbarkeit von elektrifizierten Fahrzeugen, der Aufbaugeschwindigkeit der öffentlichen Lade- und H<sub>2</sub>-Tankinfrastruktur sowie der Abbildung der individuellen Akzeptanz neuer Technologien (als Eigenschaften der Simulationsagenten).

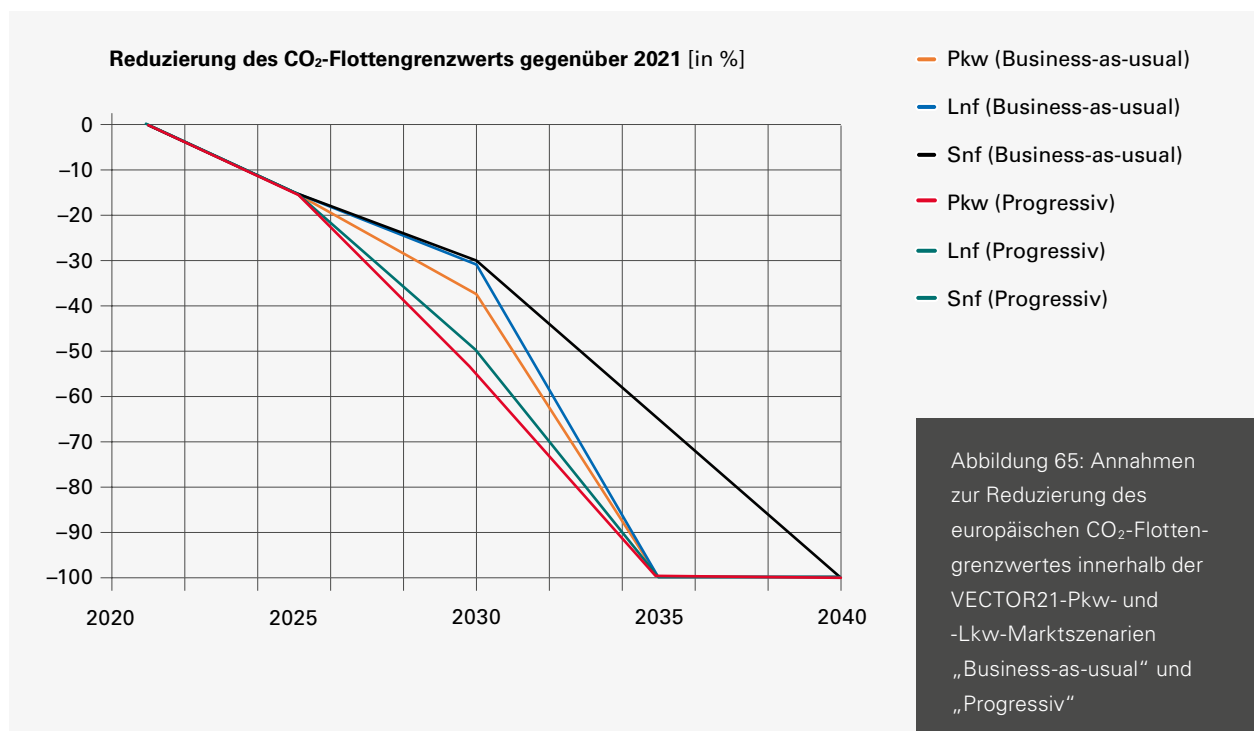
Aus diesem Grund handelt es sich bei den VECTOR21-Simulationsergebnissen explizit nicht um Prognosen der tatsächlichen Marktentwicklung. Sie stellen immer nur das auf Basis valider wissenschaftlicher Analysen und Methoden abgeleitete theoretische Marktpotenzial dar. Die Interpretation und Diskussion der Szenarioergebnisse sollte stets unter Beachtung der getroffenen Rahmenbedingungen erfolgen.

Auf Basis der beschriebenen Voruntersuchungen und Szenario-Definitionen in der Strukturstudie BW<sup>e</sup> mobil 2019 werden im Folgenden ausgewählte kritische Szenarioparameter, -einflussfaktoren und -stellgrößen, deren Ausgestaltung sowie die zugrundeliegenden Annahmen dargestellt.



Wichtigster Hebel für die Markteinführung und den Markthochlauf von emissionsarmen und -freien Antriebstechnologien im europäischen Pkw- und Lkw-Markt sind die **CO<sub>2</sub>-Emissionsnormen**, geregelt in Verordnung EU 2019/631 (für Pkw- und leichte Nutzfahrzeuge) und EU 2019/1242 (für Lkw) (Europäische Kommission, 2019a; 2019b). Dabei dient der Flottengrenzwert der Beschränkung des durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes aller in der EU in einem Jahr zugelassenen Fahrzeuge. Im „Business-as-usual“-Szenario wird für Pkw von den bereits festgeschriebenen CO<sub>2</sub>-Minderungsquoten in Höhe von 15 % im Jahr 2025 und 37,5 % im Jahr 2030 gegenüber 2021 ausgegangen. Die Regelung für leichte Nutzfahrzeuge (Lnf) weicht nur im Jahr 2030 von den Pkw-Minderungsquoten ab und ist auf 31 % im Jahr 2030 festgeschrieben. Für schwere Nutzfahrzeuge (Snf) gilt die aktuelle Minderungsquote von 30 % im Jahr 2030. Im „Progressiv“-Szenario werden die im Rahmen des „Fit-for-55“-Pakets entwickelten Minderungsquoten (siehe Vorschlag zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/631: COM/2021/556 final (Europäische Kommission, 2021)) von 55 % für Pkw und 50 % für Lnf im Jahr 2030 angenommen. Analog dazu leitet sich die eigene Annahme von 50 % CO<sub>2</sub>-Minderungsquote im Jahr 2030 für das Segment der schweren Nutzfahrzeuge ab. Für Pkw und Lnf wird im „Business-as-usual“- wie auch im „Progressiv“-Szenario nach der Ein-

gung der EU-Staaten und des Europaparlaments vom 27.10.2022 von einem Neuzulassungsverbot von mit fossilen Kraftstoffen betriebenen Verbrennerfahrzeugen ab 2035 ausgegangen (Rat der EU, 2022). Die mögliche Nutzung von synthetischen Kraftstoffen in verbrennungsmotorisch betriebenen Pkw und Lkw wird im Rahmen dieser Untersuchung nicht betrachtet. Der theoretisch vollständige Wegfall der Produktion von Verbrennerkomponenten in Baden-Württemberg ab dem Jahr 2035 und dessen Effekte auf Wertschöpfung und Beschäftigung können so berechnet werden (siehe Kapitel 5). Bei schweren Nutzfahrzeugen erfolgt das Verbot für verbrennungsmotorische Fahrzeuge im „Business-as-usual“-Szenario im Jahr 2040 auf der Grundlage einer eigenständigen Verpflichtung europäischer Nutzfahrzeughersteller zum Verkaufsstopp von mit fossilen Kraftstoffen betriebenen Fahrzeugen (ACEA, 2020a). Im „Progressiv“-Szenario wird bei Snf ebenfalls von einem Neuzulassungsverbot von mit fossilen Kraftstoffen betriebenen Verbrennerfahrzeugen im Jahr 2035 ausgegangen. Zwischen den Referenzjahren (2025, 2030, 2035, 2040) wird eine lineare Verringerung der CO<sub>2</sub>-Minderungsquoten, wie in Abbildung 65 dargestellt, angenommen.



Der **CO<sub>2</sub>-Preis** im Straßenverkehr liegt in Deutschland gemäß des ersten Gesetzes zur Änderung des Brennstoffemissions-handelsgesetzes (BGBL 2020, 2022) vom 03.11.2020 im Jahr 2022 bei 30 EUR und steigt bis 2025 auf 45 EUR an. Von 2026 an soll der Preis innerhalb eines Preiskorridors von 55–65 EUR vom Markt bestimmt werden. Bis 2026 werden im „Business-as-usual“- und im „Progressiv“-Szenario die im BEHG vom 03.11.2020 festgeschriebenen Werte angenommen. Im Anschluss erfolgt im „Business-as-usual“-Szenario eine moderate Steigerung auf 65 EUR im Jahr 2030 und bis 2050 ein linearer Anstieg auf 100 EUR pro Tonne CO<sub>2</sub>. Im „Progressiv“-Szenario beträgt der Preis im Jahr 2030 100 EUR pro Tonne, der CO<sub>2</sub>-Preis wird bis 2050 linear auf 300 EUR angehoben. Dabei gilt der gleiche CO<sub>2</sub>-Preis für den Pkw- wie auch für den Lkw-Sektor. Der Beschluss des neuen europäischen Emissionshandels-system II (engl. Emissions Trading System, ETS), welches einen europaweiten CO<sub>2</sub>-Preis von 45 EUR für den Transportsektor ab 2027 festlegt, erfolgte nach der Finalisierung der Rahmenannahmen und ist daher nicht im V21 EU Modell berücksichtigt (Europäisches Parlament, 2022a).

**Monetäre Kaufanreize** wie „Umweltprämien“ oder Steuerbefreiungen auf elektrifizierte Fahrzeuge und weitere ökonomische Fördermaßnahmen sind im Pkw- und Lkw-Sektor länderspezifisch implementiert. Im Folgenden soll beispielhaft auf die Ausgestaltung der Parameter in Deutschland eingegangen werden. Auf Basis der Neufassung der Förderrichtlinie zum Umweltbonus für Pkw (Bundesanzeiger, 2022) werden BEVs und FCEVs bis 40.000 EUR Nettolistenpreis im Jahr 2023 mit 6.750 EUR und Fahrzeuge zwischen 40.000 EUR und 65.000 EUR mit 4.500 EUR gefördert (Summe aus Bundes- und Herstelleranteil). Ab dem 01.01.2024 wird die Förderung weiter auf 4.500 EUR reduziert und erfolgt dann lediglich für Nullemissionsfahrzeuge bis 45.000 EUR Nettolistenpreis. PHEV, die im Jahr 2022 je nach Listenpreis noch mit bis zu 6.750 EUR gefördert wurden, fallen ab 2023 aus der Förderrichtlinie heraus. Auf Basis der „Richtlinie zur Förderung von Nutzfahrzeugen mit alternativen, klimaschonenden Antrieben und dazugehöriger Tank und Ladeinfrastruktur“ (BMVI, 2021a) werden die Investitionsmehrausgaben für die Anschaffung von leichten und schweren Nutzfahrzeugen mit Plug-in-Hybrid-, Batterie- und Brennstoffzellenantrieb sowie der betriebsnotwendigen Tank- und Ladeinfrastruktur zu 80 % bezuschusst. Das Förderprogramm wurde von Ende 2024 bis Ende 2026 verlängert. Zusätzlich werden Plug-in-Hybride, batterie- und brennstoffzellenelektrische Lkw zunächst unbefristet vollständig von der Lkw-Maut befreit. Am 01.01.2023 traten nach dem „Fünften Gesetz zur Änderung des Bundesfernstraßenmaut-

gesetzes“ neue Lkw-Mautsätze ein. Die lediglich durch die Änderung des Bundesfernstraßenmautgesetzes höhere Mautsätze vorschreiben. Die Einführung der im Koalitionsvertrag definierten CO<sub>2</sub>-differenzierten Mautsatzberechnung ist auf Anfang 2024 verschoben worden (Die Bundesregierung, 2022b). Eine Doppelbelastung durch zusätzliche Abgaben sowohl über den CO<sub>2</sub>-Preis als auch durch eine CO<sub>2</sub>-Maut soll jedoch verhindert werden, weshalb für die folgenden Szenario-untersuchungen keine CO<sub>2</sub>-Differenzierung bei den angenommenen Lkw-Mautsätzen vorgenommen wurde. Zudem gilt für batterieelektrische Fahrzeuge eine Befreiung von der Kfz-Steuer bis zum 31.12.2030. Im „Business-as-usual“- sowie im „Progressiv“-Szenario wurden die monetären Kaufanreize und weitere ökonomische Fördermaßnahmen nach derzeitigem Stand übernommen und teilweise weiter in die Zukunft verlängert. Insbesondere wird angenommen, dass der Pkw-Umweltbonus in Deutschland bis einschließlich 2025 gilt und ab dann aber nicht mehr zur Verfügung steht.

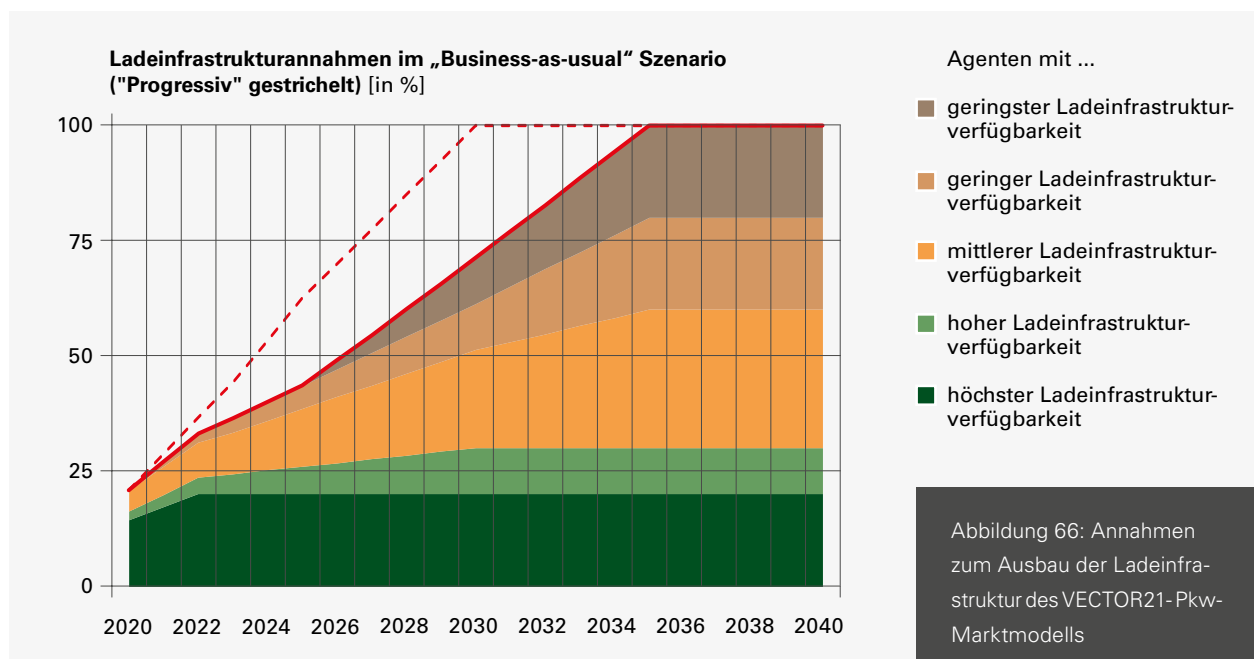
**Technologiekosten** für Batteriepack und Brennstoffzelle haben einen starken Einfluss auf die Marktentwicklung, da sie maßgeblich den Kaufpreis aller elektrifizierten Fahrzeuge bestimmen. Aktuell liegen die Kosten für ein Lithium-Ionen-Batteriepack bei etwa 143 EUR/kWh (Bloomberg, 2022). Für Snf-Applikationen (N2- und N3-Klasse) wird mit einem Kostenaufschlag für die Traktionsbatterie in Höhe eines Faktors 1,2 ausgegangen, um Mehrkosten für die aufwändigere Batterieintegration im Nutzfahrzeugsegment abzudecken (IEA, 2022b). Basierend auf den aktuellen Kosten wurde eine Kostendegression des Batteriesystems variierend nach moderaten und progressiven Entwicklungen und angelehnt an die Kostentrajektorie der Metaanalyse von Mauler et al. entwickelt (Mauler et al., 2021). Für das „Business-as-usual“-Szenario resultiert die angenommene eher moderate technologische Weiterentwicklung in Preisen unter 100 EUR/kWh auf Pack-Ebene im Jahr 2030. Durch Skalen- und Lernkurveneffekte sinken diese Preise anschließend weiter und erreichen 62 EUR/kWh im Jahr 2050. Im „Progressiv“-Szenario werden hingegen höhere Forschungsaufwendungen und Investitionen in effizientere Produktionstechniken angenommen, so dass die Kostenschwelle von 100 EUR/kWh schon im Jahr 2025 unterschritten wird. 2030 werden Batteriekosten in Höhe von 81 EUR/kWh angenommen und die Minimalkosten von 62 EUR/kWh bereits im Jahr 2040 erreicht.

Aktuell liegen die Kosten für ein Brennstoffzellensystem bei etwa 297 EUR pro kW bei geringer Stückzahlgröße (bis 1.000 Stück/Jahr). Angelehnt an die Studie von Strategic Analysis für das U.S. Department of Energy (DOE, 2022), führen eine moderate technologische Weiterentwicklung und der Anstieg der jährlichen Produktionsstückzahlen zu sinkenden Brennstoffzellenkosten bis 76 EUR/kW im Jahr 2030. Im progressiven Szenario wird eine deutlich stärkere Investitionsleistung in effizientere Produktionstechniken angenommen, so dass bereits ab 2030 Kosten von unter 58 EUR/kW erreicht werden. Die Studie geht von Minimalkosten in Höhe von 53 EUR/kW aus, die in beiden Szenarien im Jahr 2050 erreicht werden.

Die Verfügbarkeit von **Ladeinfrastruktur** ist für Kund:innen ein ausschlaggebendes Kriterium beim Kauf von Elektrofahrzeugen. Bei nicht ausreichender Verfügbarkeit wird eine signifikante Marktdurchdringung elektrifizierter Pkw (insbesondere BEV) nicht erreicht, sie stellt ebenfalls für den Nfz-Bereich ein großes Hindernis dar. In der VECTOR21-Fahrzeugmarkt-Szenariountersuchung werden die Einflüsse der Ladeinfrastruktur auf den Fahrzeugmarkthochlauf folgendermaßen berücksichtigt.

Die Ladeinfrastruktur wird bei der Pkw-Marktmodellierung mit VECTOR21 über den Abgleich der Nutzeranforderung der Simulationsagenten mit einer definierten Infrastrukturverfügbarkeit

keit je Wohnsituation berücksichtigt. Agenten mit hoher Infrastrukturverfügbarkeit verfügen beispielsweise über einen privaten Fahrzeugstellplatz, der vergleichsweise einfach mit einer Wallbox ausgestattet werden kann. Agenten mit geringer Infrastrukturverfügbarkeit hingegen sind vollständig auf den Ausbau öffentlicher Ladeinfrastruktur angewiesen. Dabei erfolgt der Zeitpunkt des Ausbaus der Ladeinfrastruktur differenziert nach Clustern. Im progressiven Szenario wird – angelehnt an den Masterplan Ladeinfrastruktur II (Die Bundesregierung, 2022c) – davon ausgegangen, dass die Ladeinfrastruktur im Jahr 2030 den Bedürfnissen entsprechend ausreichend ausgebaut ist. Im „Business-as-usual“-Szenario erfolgt der Ausbau analog, allerdings mit zeitlicher Verzögerung bei Clustern mit geringer Infrastrukturverfügbarkeit, wie in Abbildung 66 dargestellt.



Nach dem Masterplan soll der Aufbau eines öffentlichen Lade-netzes für elektrische Lkw ab 2023 initiiert werden. Hierbei sollen insbesondere für den Fernverkehr relevante Standorte mit besonders hohen Ladeleistungen (z. B. über Megawatt-Charging-Systeme) aufgebaut werden. Auch der Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur wird vom Staat bezuschusst (BMDV, 2022a). Der größte Wasserstofftankstellenbetreiber in Deutschland „H2 Mobility“ strebt bis 2030 an, etwa 200 für schwere Lkw geeignete Stationen aufzubauen (H2 Mobility, 2022). Zudem sind Bestrebungen von OEM wie z. B. Daimler Truck in Kooperation mit Akteuren aus dem Energiesektor bekannt, die parallel zur Markteinführung von Wasserstoff-Lkw (geplant für die zweite Hälfte der 2020er Jahre) mit dem Aufbau einer bedarfsgerechten Wasserstofftankstelleninfrastruktur beginnen wollen (Daimler Truck AG, 2021). In Baden-Württemberg fördert die Landesregierung mit dem Projekt „PiLaTēs – Pilotlade- und Wasserstofftankstelle Lkw BW“ u. a. den Aufbau einer Pilottankstelle, die kombiniert sowohl die Wasserstoffbetankung als auch das Hochleistungsschnellladen an geeigneten Standorten ermöglichen soll (SDA, 2022).

Neben einer unzureichenden Infrastrukturverfügbarkeit stellt bei Nutzfahrzeugen auch die Integration des elektrischen Ladevorgangs in den täglichen Betrieb eine Herausforderung dar. In der Lkw-Marktmodellierung mit VECTOR21 wird angenommen, dass neben dem Aufbau des öffentlichen Ladenetzes auch die Möglichkeit bestehen wird, elektrische Lkw über Nacht, gegebenenfalls im eigenen Betriebshof (Depot) der Unternehmen, wieder vollständig aufzuladen. Der Kaufentscheidungsalgorithmus vergleicht die durchschnittliche tägliche Tagesroute der Agenten mit der elektrischen Fahrzeugreichweite, um mögliche Nutzungseinschränkung durch höhere Ladezeiten auszuschließen. Zudem werden die Investitions- und Betriebskosten für „Electric Vehicle Supply Equipment“ (als private Ladestation) in die Gesamtbetriebskostenberechnungen mit einbezogen.

Die Metauntersuchung zu den relevanten Einflussfaktoren in der Vorgängerstudie zeigte, dass unterschiedliche **Energiepreise** für sowohl Kraftstoffe als auch Strom unabhängig von der Szenariokategorie („Business-as-usual“/„Progressiv“) variieren. Zudem ist beispielsweise in Deutschland eine hohe Dynamik bei den Kraftstoffpreisen im historischen Verlauf zu erkennen. Diese hängen von komplexen makroökonomischen Effekten (z. B. als Folge politischer Krisen) ab, die nicht Bestandteil dieser Untersuchung sind. Für beide Szenarien gelten somit übereinstimmende Annahmen in Bezug auf die Entwicklung der Energiepreise (Öl, Benzin, Diesel, CNG,

Strom, Wasserstoff) sowie der Benzin-/Diesel- und CNG-Infrastrukturverfügbarkeit. Zwischen dem Ölpreis und dem Tankstellenpreis für Benzin und Diesel lässt sich eine enge Korrelation feststellen (RSM, 2022). Daher kann die Entwicklung der zukünftigen Benzin- und Dieselpreise im Modell durch eine lineare Regressionsanalyse in Abhängigkeit vom Ölpreis abgebildet werden. Der für die Jahre 2030 und 2050 angenommene Ölpreis basiert auf dem „Stated Policies“-Szenario der International Energy Agency IEA (IEA, 2021). Zur Bestimmung der Kraftstoffpreise wurde der zukünftige Ölpreis entsprechend interpoliert und für die Jahre von 2020 bis 2022 in Abhängigkeit von der tatsächlichen Ölpreisentwicklung ermittelt. Die so entstandenen Preisfunktionen ermöglichen die Berechnung der Benzin- und Dieselpreise bis 2050. Aufgrund des hohen Biogasanteils an CNG in Deutschland und Europa (gibgas, 2020) wird davon ausgegangen, dass der CNG-Preis real konstant bleibt und zukünftig ebenfalls nicht vom CO<sub>2</sub>-Preis beeinflusst ist. Allerdings wird die Ermäßigung der Energiesteuer auf CNG in Deutschland bis Ende 2026 stufenweise wieder zurückgenommen (BMJ, 2017). Für den LNG-Preis wird ebenfalls eine konstante Preisentwicklung unterstellt. Der durchschnittliche Haushaltsstrompreis in Deutschland im Jahr 2020 lag bei 0,33 EUR/kWh (inkl. Mehrwertsteuer). In der Pkw-Marktmodellierung wird für das öffentliche Laden mit einem höheren Strompreis gerechnet, der Aufschlag beträgt ca. 23 %.

Seit Dezember 2021 sind erhebliche Preissteigerungen von Strom und Gas zu verzeichnen. Zusätzlich hat der Krieg in der Ukraine seit Februar 2022 zu einem starken Anstieg von Diesel- und Benzinpreisen geführt, deren Dauer nicht absehbar sind. Energiepreise bilden sich jedoch nicht nur durch Angebot und Nachfrage, sondern sind größtenteils auch staatlich gesteuert (über Steuern, Abgaben, Netzentgelte etc.). So wurden die steigenden Energiepreise durch Bundeszuschüsse aus dem Konjunktur- und Zukunftspaket bereits teilweise kompensiert (BFM, 2022). Aus diesem Grund wird davon ausgegangen, dass sich die Preise langfristig wieder stabilisieren werden. Der Wasserstoffpreis lag im Jahr 2020 bei 9,50 EUR/kg (H2 Mobility, 2020). Es wird angenommen, dass mit dem Ausbau der Produktionskapazitäten günstigerer (grüner) Wasserstoff angeboten werden kann (Prognos, 2020). Für die Lkw-Marktmodellierung entfällt für alle Energiepreise die Mehrwertsteuer. Die Preisentwicklungen der Energieträger werden wie in Tabelle 14 dargestellt verwendet.

Die Tankstelleninfrastruktur für konventionelle Kraftstoffe ist flächendeckend zu 100 % verfügbar. Aufgrund eines stagnierenden Ausbaus bei CNG- und LNG-Tankstellen innerhalb der letzten zehn Jahre (Statista, 2023b) wird von keinem weiteren Ausbau dieser Infrastruktur ausgegangen. Basierend auf der Aussage von H2 Mobility Deutschland, das H<sub>2</sub>-Tankstellennetz von derzeit 95 bis 2030 auf 300 Stationen erweitern zu wollen (H2 Mobility, 2023; Schäfer, 2022), folgt die Annahme eines moderaten Ausbaus dieser Infrastruktur.

### 4.3 Szenariomodellierung für den deutschen Pkw-Neuwagenmarkt bis 2050

Nach der Identifikation kritischer Stellgrößen, ihrer Ausprägungen und ihres Einflusses auf die Marktdurchdringung elektrifizierter Fahrzeuge können die so gewonnenen Daten für die Simulation eigener konsistenter Markthochlaufszenerarien verwendet werden. Sie liefern die Basis zur Simulation der deutschen und europäischen Pkw-Marktentwicklung und damit auch der Nachfrage nach konventionellen und alternativen Antriebsstrangkomponenten sowie ihrer Umsatzentwicklungen. Auf dieser Grundlage werden in Kapitel 5 die Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte modelliert.

|   | Parameter  | Einheit    | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 | Quelle                                   |
|---|--|------------|------|------|------|------|--|
| <b>Energiepreise<br/>(inkl. MwSt.,<br/>Energiesteuer,<br/>CO<sub>2</sub>-Preis)</b> | Ölpreis  | EUR/Barrel | 36,1 | 67,8 | 72,6 | 77,4 | (IEA, 2021)                              |
|   | Benzinpreis                                      | EUR/l      | 1,22 | 1,50 | 1,51 | 1,92 | Eigene Berechnung                        |
|   | Dieselpreis                                      | EUR/l      | 1,11 | 1,39 | 1,44 | 1,91 | Eigene Berechnung                        |
|   | CNG-Preis  | EUR /kg    | 1,10 | 1,33 | 1,26 | 1,20 | (CNG Club, 2023),<br>eigene Berechnung   |
|   | LNG-Preis  | EUR /kg    | 0,83 | 1,0  | 0,95 | 0,9  | (Flüssiggas, 2020), eigene<br>Berechnung |
|   | Strompreis                                       | EUR /kWh   | 0,33 | 0,33 | 0,33 | 0,33 | (BMW i, 2020)                            |
|   | H <sub>2</sub> -Preis                            | EUR /kg    | 9,5  | 6,8  | 5,5  | 5,5  | (H2 Mobility, 2020;<br>Prognos, 2020)    |
| <b>Infrastruktur-<br/>verfügbarkeit</b>   | Benzin-/<br>Dieseltankstellen                    | %          | 100  | 100  | 100  | 100  | Modellannahme                            |
|   | CNG-Tankstellen                                  | %          | 7    | 7    | 7    | 7    | Modellannahme                            |
|   | H <sub>2</sub> -Tankstellen                      | %          | 1    | 4    | 9    | 9    | Modellannahme                            |
| <b>„Business-as-<br/>usual“-Szenario</b>  | Ladeinfrastruktur (Pkw)                          | %          | 20   | 70   | 100  | 100  | Modellannahme                            |
|   | CO <sub>2</sub> -Flottengrenzwert<br>(Pkw; WLTP) | g/km       | 119  | 72   | 0    | 0    | (Europäische Kommission,<br>2019a)       |
| <b>„Progressiv“-<br/>Szenario</b>   | Ladeinfrastruktur (Pkw)                          | %          | 20   | 100  | 100  | 100  | Modellannahme                            |
|   | CO <sub>2</sub> -Flottengrenzwert<br>(Pkw; WLTP) | g/km       | 119  | 52   | 0    | 0    | (Europäische Kommission,<br>2021)        |

Quelle: Eigene Darstellung DLR, 2023

Tabelle 14: Übersicht der Rahmenparameter für die Erstellung der Szenarien (hier beispielhaft für Deutschland)

### 4.3.1 Entwicklung des Pkw-Markthochlaufs im „Business-as-usual“-Szenario

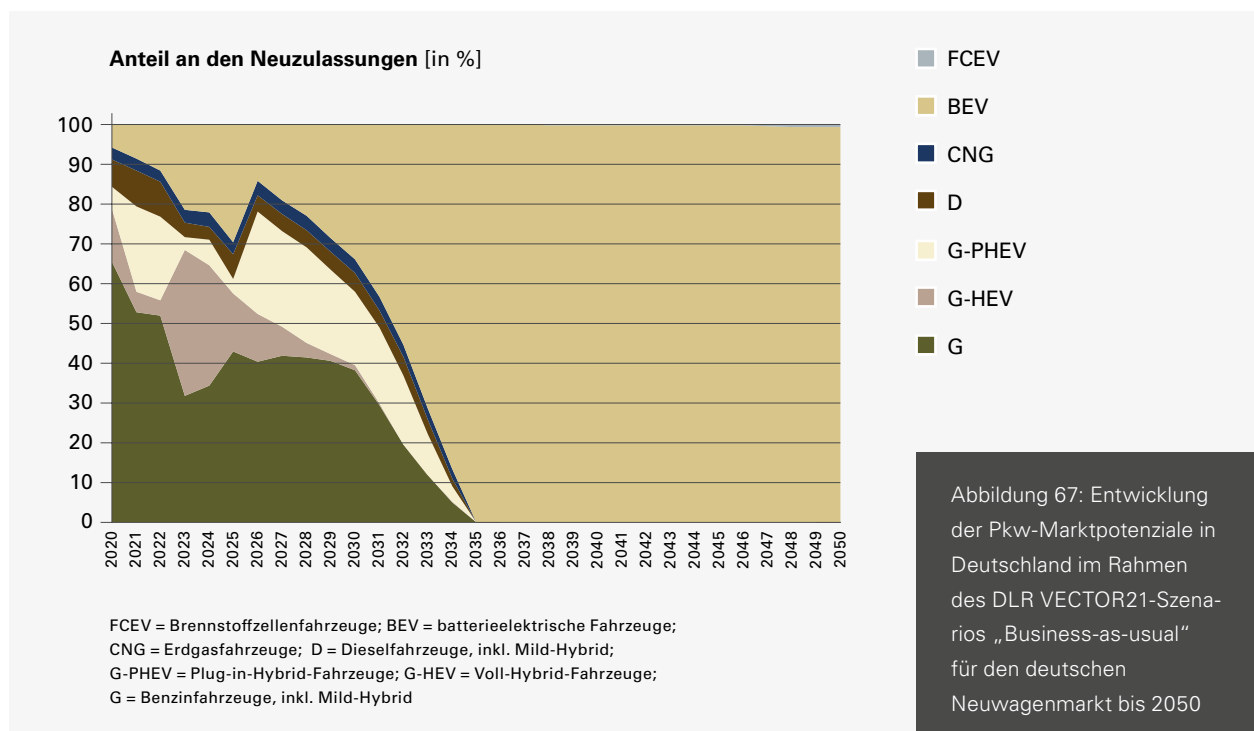
Abbildung 67 illustriert, wie sich die Marktpotenziale der einzelnen Antriebskonzepte im deutschen Pkw-Markt von 2020 bis 2050 unter den definierten, moderat in die Zukunft fortgeschriebenen, Rahmenbedingungen entwickeln.

Zu erkennen ist, dass die Neuzulassungen batterieelektrischer Fahrzeuge (BEV) vor allem aufgrund der CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerte und der damit verbundenen Strafzahlungen für verbrennungsmotorische Fahrzeuge bis 2035 kontinuierlich ansteigen. Auch hat die Umweltprämie direkten und signifikanten Einfluss auf die unmittelbaren Neuzulassungsanteile batterieelektrischer Fahrzeuge (Bundesanzeiger, 2022).

Im „Business-as-usual“-Szenario können im Jahr 2025 im kleinen und mittleren Fahrzeugsegment BEV-Marktanteile in Höhe von bis zu 30 % erreicht werden. Im selben Jahr liegen Neuzulassungsanteile für Fahrzeuge mit rein verbrennungsmotorischem Antriebsstrang (G – Gasoline/Benzin; D – Diesel) bei 52 %, für Hybridfahrzeuge (HEV) bei 15 % und für Plug-in-Hybride (PHEV) bei 4 %. Nach definiertem Wegfall der direkten monetären Kaufanreize im Jahr 2026 erfolgt im mittleren Fahr-

zeugsegment eine temporäre Verschiebung der Nachfrage weg von BEV und hin zu PHEV. Das kleine Fahrzeugsegment wird dann, aufgrund der deutlich geringeren Anschaffungskosten, wieder von Benzinfahrzeugen dominiert. Ein vergleichbarer Effekt zeigt sich ebenfalls nach dem Wegfall der Kaufprämien für Plug-in-Hybridmodelle im Jahr 2023. Hier verschieben sich die Marktanteile temporär zugunsten batterieelektrischer und vollhybrider Fahrzeuge. Käufer:innen mit einer geringen Reichweitenanforderung und bereits ausreichender Infrastrukturverfügbarkeit entscheiden sich an dieser Stelle eher für ein BEV, während Agenten mit hoher Reichweitenanforderung oder noch zu geringer Infrastrukturverfügbarkeit eher zu HEV tendieren.

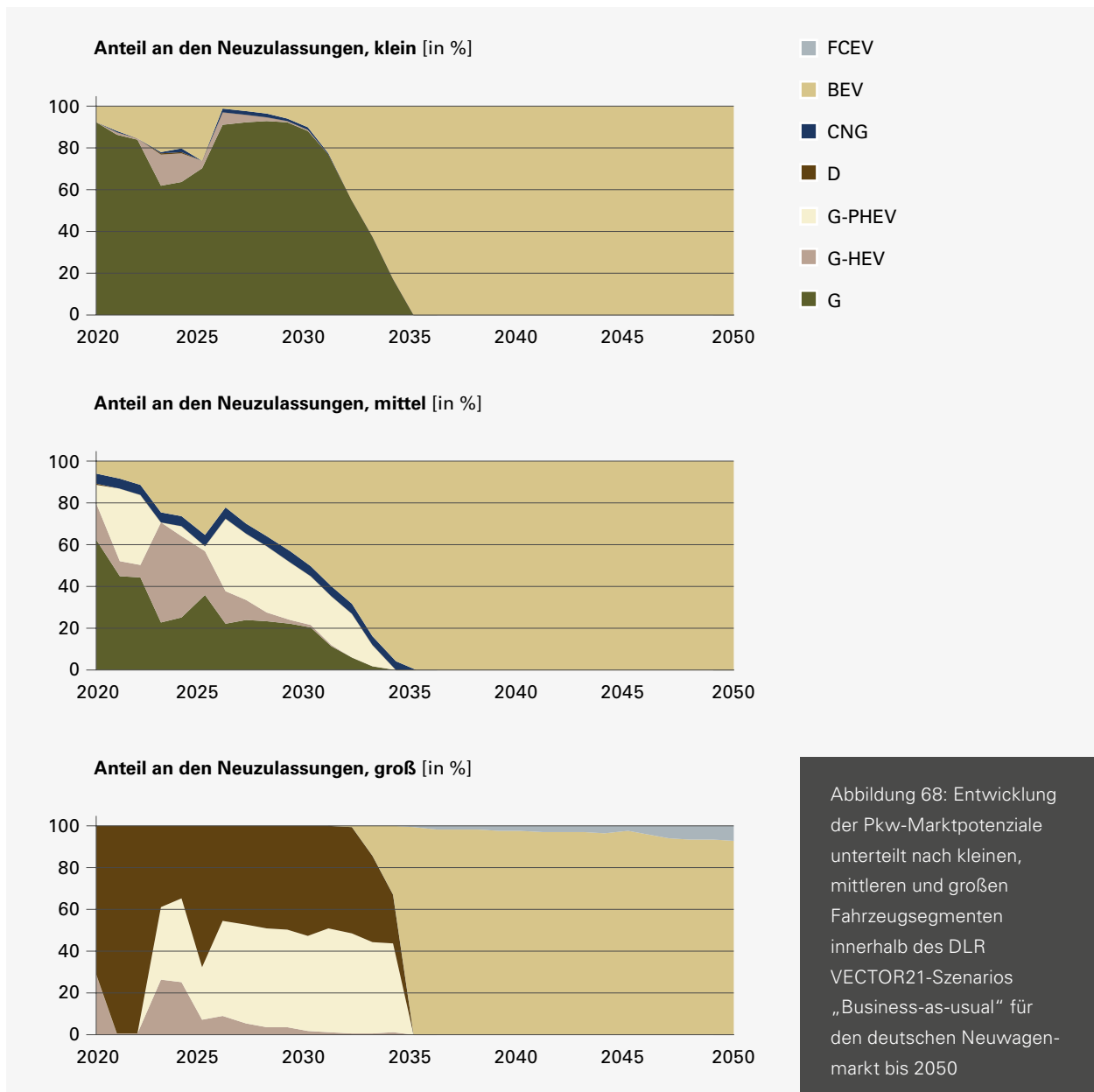
Im Jahr 2030 steigt das Marktpotenzial für Plug-in-Hybridfahrzeuge auf 18 % an. Batterieelektrische Fahrzeuge liegen dann bei 34 %, verbrennungsmotorische bei 46 % und Hybridfahrzeuge besitzen Marktanteile von nur noch 1 %. Mittelfristig bleiben Diesel- und CNG-Fahrzeuge mit Biogas für Kund:innen mit hoher Jahresfahrleistung und Reichweitenanforderung aufgrund der günstigen Betriebskosten weiterhin attraktiv, werden aber im Verlauf immer strengerer CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerte von PHEV und BEV ersetzt (siehe Abbildung 65 zur Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwertes in Kapitel 4.2).



Durch die bis 2035 fallenden CO<sub>2</sub>-Grenzwerte bilden langfristig batterieelektrische Fahrzeuge über alle Segmente hinweg die dominante Antriebsoption. Da die mögliche Nutzung von synthetischen Kraftstoffen in verbrennungsmotorisch betriebenen Pkw im Rahmen dieser Studie nicht berücksichtigt wurde, liegen die Marktanteile bei BEV nach dem Erreichen des Flottengrenzwert von 0 gCO<sub>2</sub>/km im Jahr 2035 bei bis zu 100%. Brennstoffzellenfahrzeuge im großen Fahrzeugsegment stellen für Agenten mit hoher Reichweitenanforderung nach 2035 und

bei starkem Rückgang der Brennstoffzellenkosten eine weitere Antriebsoption dar.

Abbildung 68 zeigt die Entwicklung der Pkw-Neuzulassungen im deutschen Markt je Fahrzeugsegment (klein, mittel, groß) für das „Business-as-usual“-Szenario auf. Im Fahrzeugsegment „klein“ sind alle Fahrzeuge der Kompaktklasse (z. B. Smart, Renault Twingo, VW Polo) enthalten. Das mittlere Segment ist mit einem Anteil von 62 % das volumenstärkste und





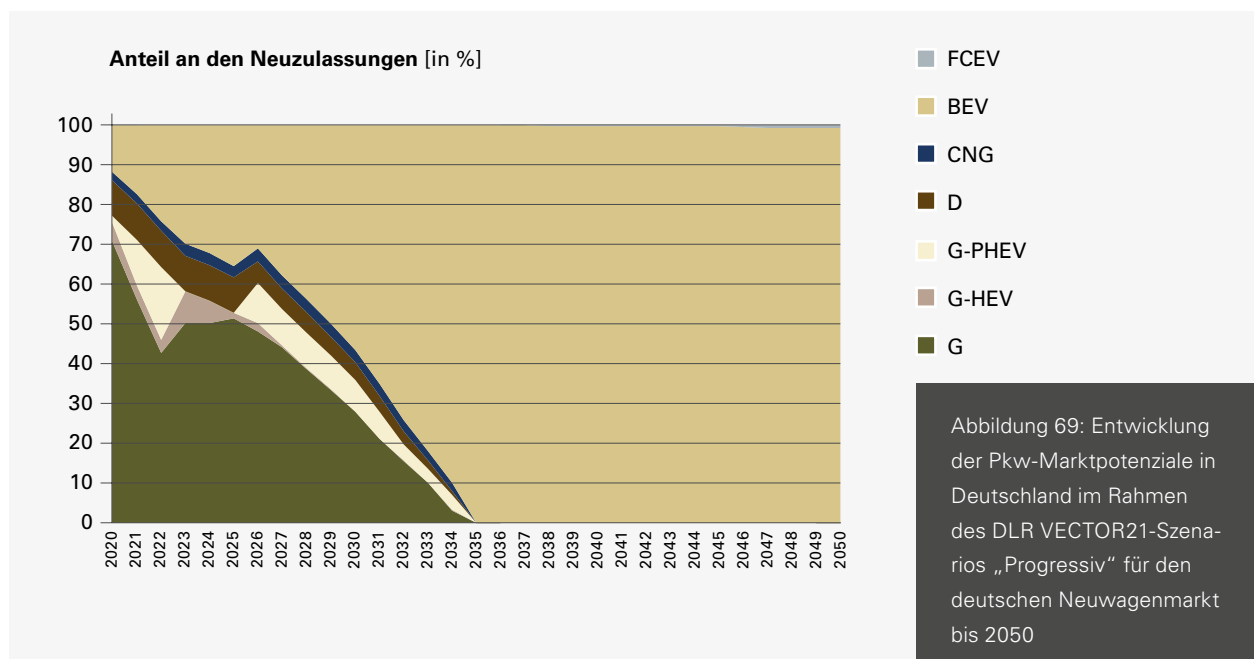
berücksichtigt die untere Mittelklasse sowie die Modelle der Mittelklasse (z. B. VW Golf, BMW 3er, Tesla Model Y). Das große Segment schließlich umfasst Fahrzeugmodelle der oberen Mittelklasse (z. B. Skoda Superb, Mercedes E-Klasse, Audi Q7) sowie der Luxusklasse (z. B. Mercedes S-Klasse, Porsche 911), mit oftmals hohen Anforderungen an Jahresfahrleistungen und Fahrzeugreichweiten. Dabei wird deutlich, dass vor allem durch die hohe Reichweitenanforderung und die geringeren Fahrzeugkosten im großen Fahrzeugsegment Diesel- und Plug-in-Hybride bis zum Eintreten des „Verbrennerverbots“ dominierend bleiben. Anschließend werden diese Antriebskonzepte aufgrund der strengeren CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerte von batterieelektrischen und langfristig teilweise auch Brennstoffzellenfahrzeugen verdrängt. Im kleinen Fahrzeugsegment stellt das Benzinfahrzeug aufgrund des günstigsten Antriebsstranges die attraktivste Option dar, während sich im volumenstärksten mittleren Fahrzeugsegment je nach Anwendungsfall und sozioökonomischen Faktoren ein Mix aus verschiedenen Antriebskonzepten abzeichnet.

#### 4.3.2 Entwicklung des Pkw-Markthochlaufs im „Progressiv“-Szenario

Für das progressive Szenario stellt Abbildung 69 die Marktpotenziale für alternative Antriebsstränge im deutschen Pkw-Markt dar.

Aufgrund der günstigeren Batteriekosten, des schnelleren Ausbaus der Ladeinfrastruktur und des strikteren CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerts im Jahr 2030 liegen die Neuzulassungsanteile rein batterieelektrischer Fahrzeuge in allen Fahrzeugsegmenten im „Progressiv“-Szenario höher als im vorherigen, gleichzeitig ist der Einfluss direkter monetärer Kaufanreize auf die Kaufentscheidung geringer.

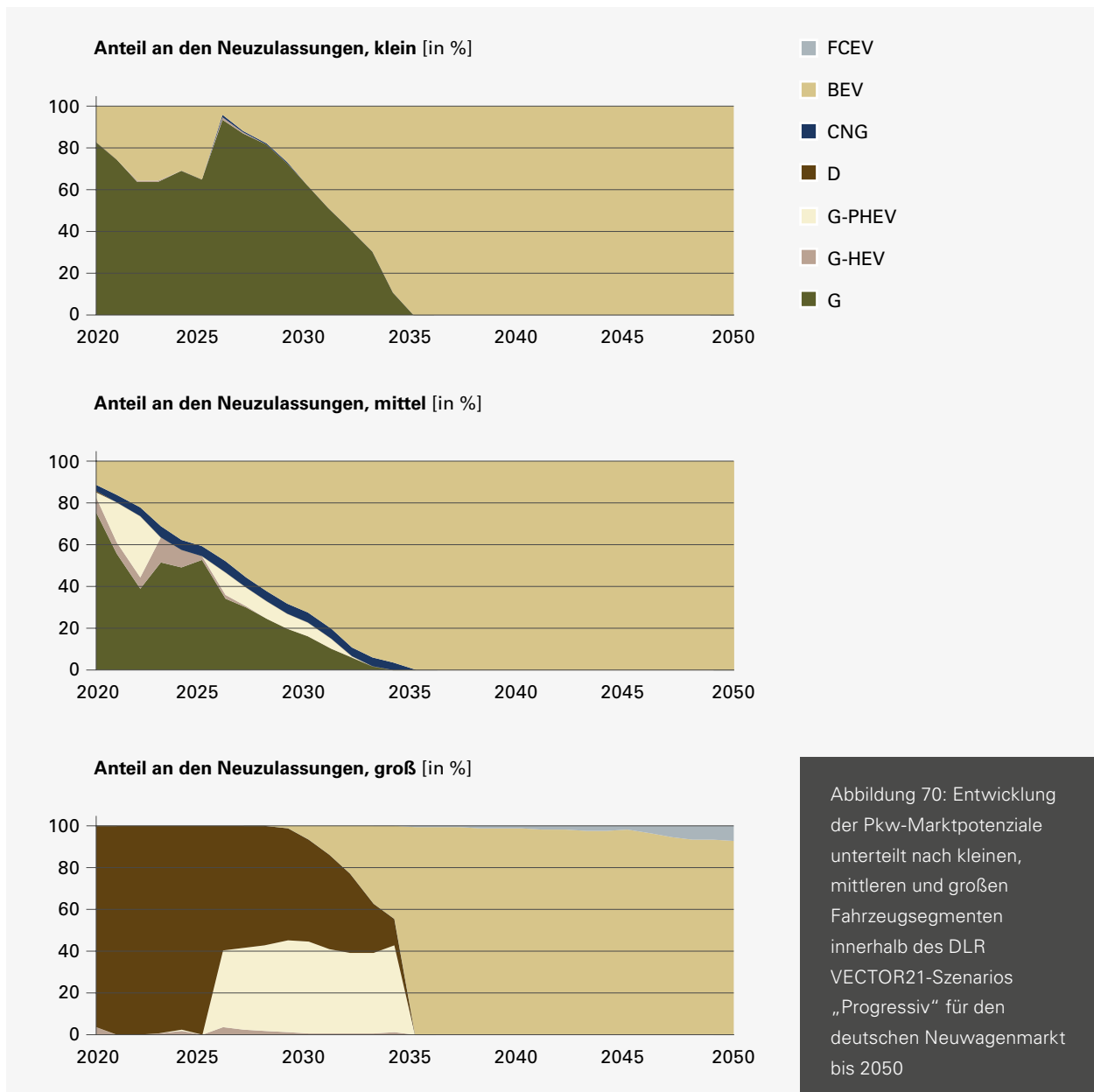
Auch bei sehr optimistischer Annahme der Entwicklung von Batteriekosten sind kleine Benzinfahrzeuge in diesem Szenario weiterhin günstiger als rein batterieelektrische Fahrzeuge, weshalb nach Wegfall der Umweltprämie ein leichter Rückgang der BEV-Neuzulassungsanteile von 35 % im Jahr 2025 auf 30 % im Jahr 2026 erfolgt. Im mittleren Fahrzeugsegment sind BEV bei den angenommenen Batterie- und Strompreisen ökonomisch konkurrenzfähig. Die Erreichung der CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerte erfolgt überwiegend durch hohe Anteile batterieelektrischer Pkw, so dass die Marktanteile bei HEV und PHEV im Vergleich zum „Business-as-usual“-Szenario zugunsten reiner Benzinfahrzeuge deutlich geringer ausfallen. 2025 liegen die Neuzulassungsanteile für BEV bei 35 %, für HEV bei 1 % und für Fahrzeuge mit rein verbrennungsmotorischem Antriebsstrang sogar bei 63 %. Es wird davon ausgegangen, dass bis zum Jahr 2030 alle verbrennungsmotorischen Fahrzeuge eine Mild-Hybridisierung und dementsprechende Verbrauchsverbesserungen besitzen.





Höhere Potenziale für PHEV und Dieselfahrzeuge liegen vor allem im großen Fahrzeugsegment mit hohen Reichweitenanforderungen, auch Brennstoffzellenfahrzeuge besitzen dort ab 2035 kleinere Neuzulassungsanteile. Langfristig stellen batterieelektrische Fahrzeuge aber die dominante Antriebsoption dar. Trotz des hohen BEV-Anteils von 57 % an den Neuzulassungen im Jahr 2030 wird das Zwischenziel der Bundesregierung von 15 Mio. batterieelektrischen Fahrzeugen in Deutschland selbst im progressiven Szenario voraussichtlich

erst nach 2030 erreicht (siehe auch Kapitel 4.7). Abbildung 70 stellt die Entwicklung der Pkw-Neuzulassungen im deutschen Markt je Fahrzeugsegment (klein, mittel, groß) für das „Progressiv“-Szenario dar.



#### 4.4 Szenariomodellierung für den deutschen Lkw-Neuwagenmarkt bis 2050

Im Folgenden werden die Ergebnisse der DLR VECTOR21-Marktsimulation für den deutschen Lkw-Neuwagenmarkt auf Basis der beschriebenen Einflussgrößen für die Szenarien „Business-as-usual“ sowie „Progressiv“ beschrieben. Diese fließen ebenfalls in die in Kapitel 5 zu quantifizierenden Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte in der Automobilindustrie ein.

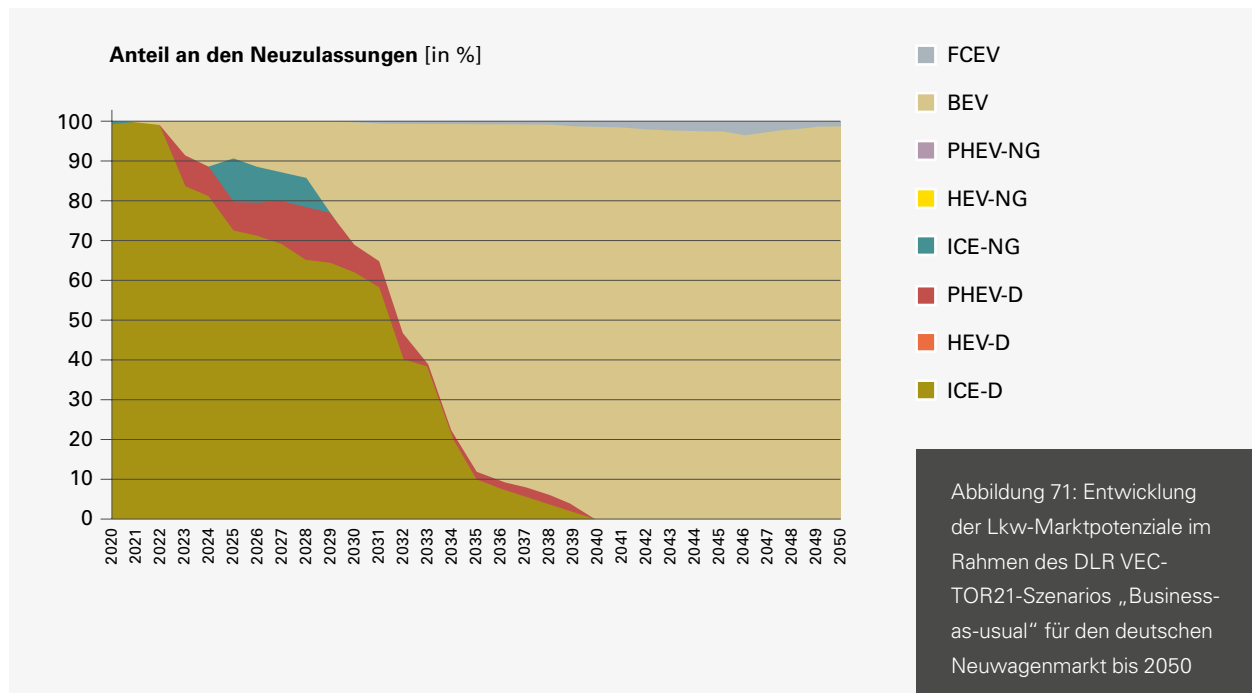
##### 4.4.1 Entwicklung des Lkw-Markthochlaufs im „Business-as-usual“-Szenario

Abbildung 71 illustriert, wie sich die Marktpotenziale der einzelnen Antriebskonzepte im deutschen Lkw-Markt von 2020 bis 2050 unter den definierten, moderat in die Zukunft fortgeschriebenen, Rahmenbedingungen entwickeln.

Ausgehend von einem von Dieselfahrzeugen dominierten Markt, steigt bei Betrachtung der kurzfristigen Entwicklung im „Business-as-usual“-Szenario bis 2025 der Anteil vor allem batterieelektrischer Fahrzeuge im Segment der leichten Nutzfahrzeuge (ca. 10 % Marktanteil) und schweren Nutzfahrzeuge, die für städtische oder regionale Verteilerverkehre vorgesehen

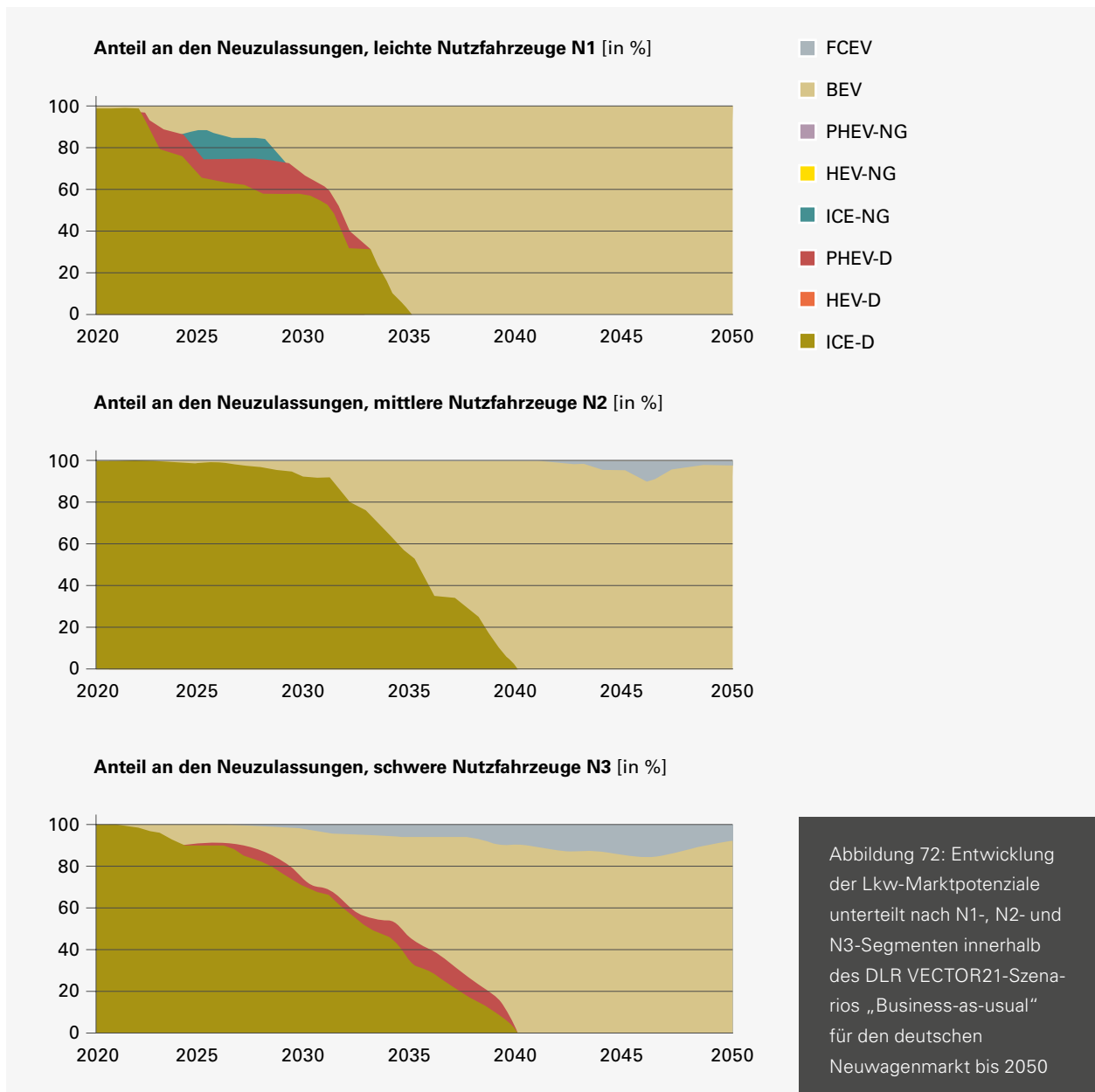
sind, an. Ebenso ist eine steigende Nachfrage nach Diesel-PHEV im Lnf-Segment (ca. 8 % Marktanteil; für Langstreckentransporte und Fahrleistungen ab ca. 55.000 km/Jahr) zu erkennen. Entscheidend für den Markthochlauf alternativer Antriebskonfigurationen sind die CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerte, die damit verbundenen Strafzahlungen für verbrennungsmotorische Fahrzeuge sowie das staatliche Förderprogramm, das 80 % der zusätzlichen Investitionskosten bezuschusst und insbesondere für schwere Nutzfahrzeuge notwendig sein wird. Alle rein dieselmotorischen Nutzfahrzeuge werden bis 2025 eine Mild-Hybridisierung und dementsprechende Verbrauchsverbesserungen besitzen. Über alle Nutzfahrzeugsegmente hinweg besitzen batterieelektrisch angetriebene Lkw in Deutschland im Jahr 2025 einen Neuzulassungsanteil in Höhe von ca. 9,4 %.

Mittelfristig steigen bis 2030 die Marktanteile bei BEV (ca. 26 %) und Diesel-PHEV (ca. 12 %) im Lnf-Segment weiter an. Interessant ist der ab 2024 kurzzeitig ansteigende Marktanteil bei NG-Fahrzeugen (mit Biogas) im Lnf-Segment, welche im Pkw-Markt von Agenten mit hoher Reichweitenanforderung insbesondere aufgrund der günstigen Betriebskosten nachgefragt werden. Diese werden aber im Verlauf von weiter limitierenden CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerten immer stärker von PHEV und BEV kompensiert. Damit können CNG-Fahrzeuge in der



Gesamtentwicklung als Übergangstechnologie bezeichnet werden. Unter Berücksichtigung der Kostenreduktionspotenziale in der Batterietechnologie und der Strompreisentwicklung werden BEV auch in weiteren Snf-Segmenten (insb. N2-Fahrzeuge) ab dem Jahr 2030 vermehrt nachgefragt. Im N3-Segment treten ab 2027 PHEV und erstmals ab 2031 auch FCEV in den Markt ein, insbesondere für Transportaufgaben mit höheren Tages- und Jahresfahrleistungen (über 95.000 km/Jahr). Insgesamt erreichen BEV-Lkw in Deutschland im Jahr

2030 ca. 31 % Anteil an den Neuzulassungen, im Jahr 2035 ca. 87 %. Langfristig steigen in allen Nutzfahrzeugsegmenten die Marktanteile für BEV, spätestens jedoch mit Eintritt des Flottengrenzwerts von 0 gCO<sub>2</sub>/km, so dass batterieelektrische Fahrzeuge als dominierende Antriebstechnologie auch im Lkw-Markt etabliert werden. Für viele Transportaufgaben und Einsatzzwecke erreichen BEV Kostenparität gegenüber Diesel-ICE bei Erfüllung der betrieblichen Eignung für den Gütertransport. Mit sinkenden Preisen bei (grünem) Wasserstoff sowie ab-



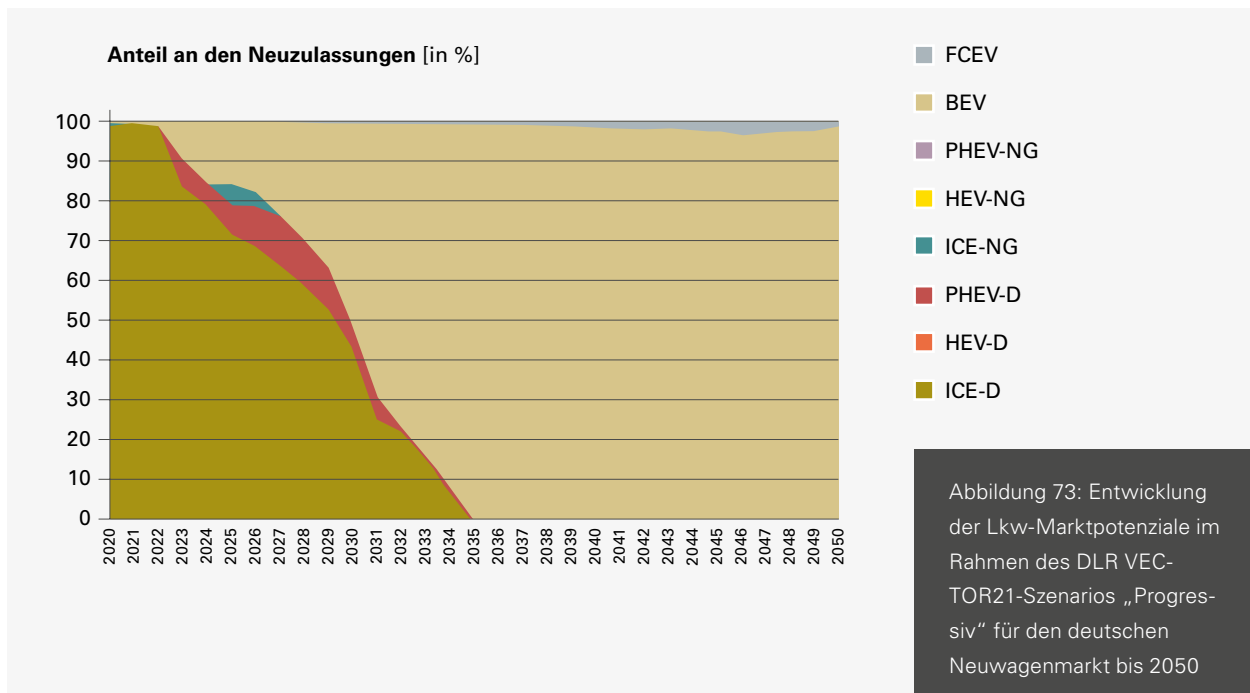
nehmenden Herstellkosten des Brennstoffzellen- und Tank-systems steigt die Nachfrage für FCEV im N3-Segment weiter an. Mit Brennstoffzelle betriebene Fahrzeuge können dann perspektivisch auch im N2-Segment (für den Fernverkehr) Marktanteile gewinnen. Im urbanen Einsatz sind FCEV im vorliegenden Szenario gegenüber BEV preislich nicht konkurrenz-fähig. Der Nachfragerückgang ab 2045 für FCEV ist insbesondere dadurch bedingt, dass der H<sub>2</sub>-Preis aufgrund eines voraussichtlichen Wegfalls der Energiesteuer-Befreiung wieder ansteigt. Die Marktpotenziale von strombasierten Kraftstoffen wurden nicht in der Szenarioanalyse berücksichtigt, da für diese bislang keine besondere Anrechnung vorgesehen ist.

Abbildung 72 illustriert, wie sich die Marktpotenziale der einzelnen Antriebskonzepte jeweils in den Segmenten N1, N2 und N3 im deutschen Lkw-Markt von 2020 bis 2050 unter den definierten, moderat in die Zukunft fortgeschriebenen Rahmenbedingungen entwickeln. Zu beachten ist, dass das N1-Segment ca. 75 % des Gesamtmarkts bei Lkw ausmacht.

### 4.4.2 Entwicklung des Lkw-Markthochlaufs im „Progressiv“-Szenario

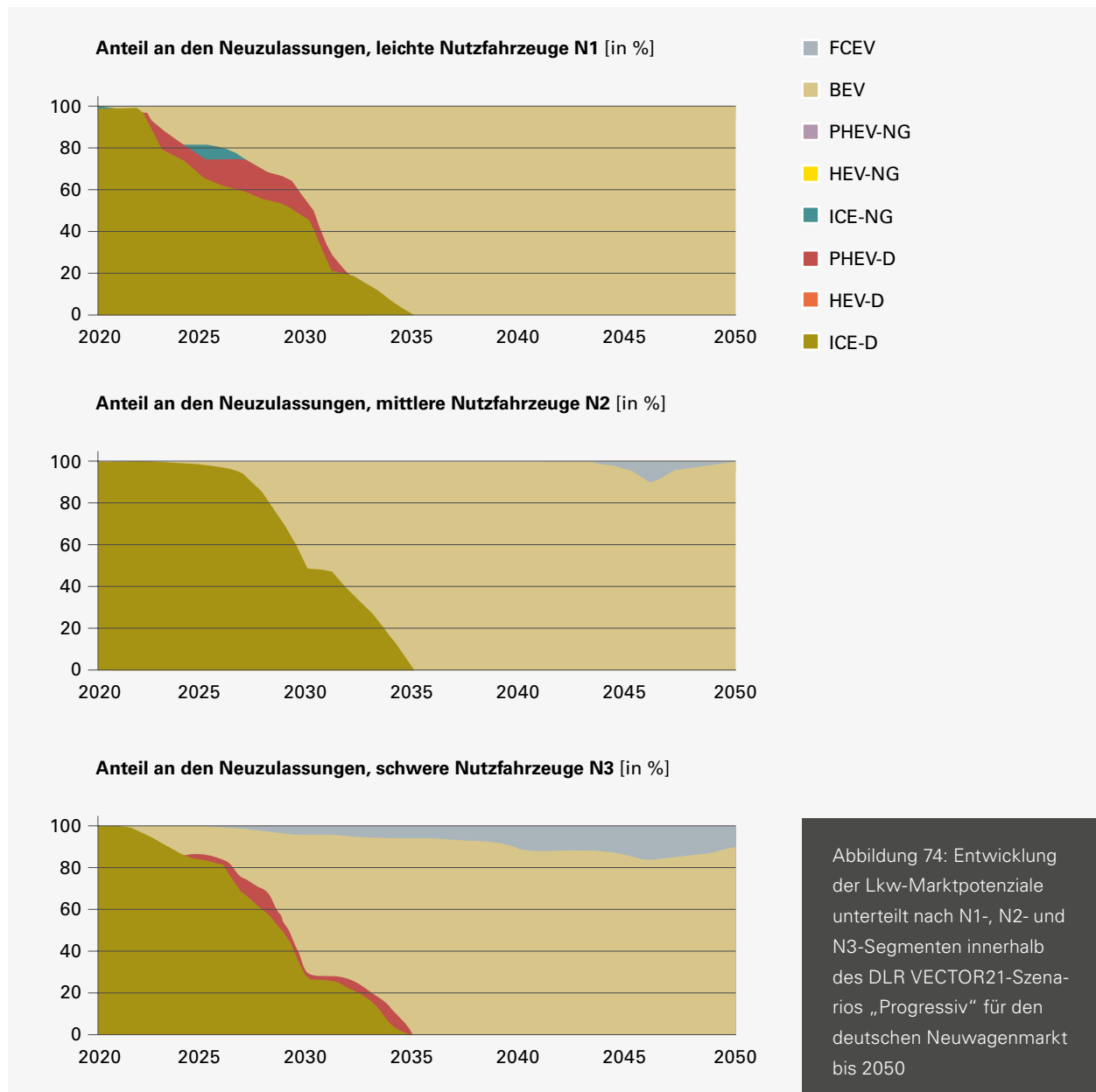
Für das progressive Szenario stellt Abbildung 73 die Entwicklung der deutschen Lkw-Marktanteile dar.

Im Vergleich zum „Business-as-usual“- ist im „Progressiv“-Szenario im kurz- und mittelfristigen Verlauf bis 2035 ein schnellerer Markthochlauf von BEV in allen Segmenten zu erkennen (2025: 17 %; 2030: 50 %; 2035: 99 %). Dies ist insbesondere auf die Annahmen einer stärkeren Kostendegression bei Batteriesystemen, strikterer Zwischenziele für CO<sub>2</sub>-Flottenverbräuche sowie eines früheren Verbots von mit fossilen Kraftstoffen betriebenen verbrennungsmotorischen Fahrzeugen im Snf-Segment (N2 und N3) zurückzuführen. Die Erreichung der CO<sub>2</sub>-Ziele erfolgt überwiegend durch hohe Neuzulassungszahlen batterieelektrischer Lkw, so dass das Marktpotenzial für PHEV und CNG im Lnf-Segment im Vergleich zum „Business as usual“-Szenario geringer ausfällt. FCEV treten in diesem Szenario früher (2029) in den Snf-Markt ein, was neben den strikteren CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerten auch auf progressive Kostendegressionsannahmen für das Brennstoffzellensystem zurückzuführen ist. Nach dem Neuzulas-



sungsverbot von mit fossilen Kraftstoffen betriebenen Verbrenner-Lkw ab 2035 in allen Nutzfahrzeugsegment zeigen sich ähnliche Marktstrukturen wie im „Business-as-usual“-Szenario ab 2040.

Abbildung 74 illustriert, wie sich die Marktpotenziale der einzelnen Antriebskonzepte jeweils in den Segmenten N1, N2 und N3 im deutschen Lkw-Markt von 2020 bis 2050 unter den progressiv in die Zukunft fortgeschriebenen Rahmenbedingungen entwickeln.



## 4.5 Szenariomodellierung für den europäischen Pkw- und Lkw-Neuwagenmarkt bis 2050

Das VECTOR21-Pkw-EU-Modell simuliert den europäischen Pkw-Markt mit Hilfe unterschiedlicher Ländercluster, wie in Kapitel 4.1 beschrieben. Dabei bilden die acht einzeln modellierten Länder ca. 70 % des europäischen Marktanteils ab (Deutschland: 26,6 %; Frankreich: 16,8 %; Italien: 14,8 %; Polen; 4,5 %; Niederlande: 3,3 %; Norwegen: 1,8 %; Finnland: 1 %; Griechenland: 1 %). Nach der Simulation des Markthochlaufs der einzelnen Ländercluster werden die Verkäufe pro Land gewichtet, wobei davon ausgegangen wird, dass die relativen Verkäufe in Bezug auf Antriebsstrang- und Segmentverteilung innerhalb jedes Clusters konstant sind. Unter dieser Annahme können 100 % der EU-Verkäufe bis zum Jahr 2050 modelliert werden.

Während die Pkw-Neuzulassungen in der Europäischen Union im Jahr 2019 noch bei 13 Mio. Fahrzeugen lagen (ACEA, 2020b), ging die Anzahl neu zugelassener Pkw im Jahr 2020 in Folge der Coronakrise auf 9,9 Mio. und im Jahr 2022 ebenfalls beeinflusst durch den Krieg in der Ukraine auf nur noch 9,3 Mio. Fahrzeuge zurück (ACEA, 2021; ACEA, 2022b). Aufgrund der hohen Unsicherheit bezüglich der Erholung von den Corona-, und Energiekriseneffekten sind Prognosen zur zukünftigen Erholung des Fahrzeugmarktes in der Literatur breit gestreut. Mehrere Studien gehen allerdings von einer – zumindest teilweisen – Erholung des Markts bis Mitte (Deloitte, 2022a und 2023; S&P, 2023b) bzw. Ende des Jahrzehnts aus (CAM, 2021). Da der Verlauf der historischen Pkw-Neuzulassungen in der EU einen relativ konstanten Trend zeigt (Statista, 2023c), wird für diese Studie davon ausgegangen, dass sich die absoluten Neuzulassungen bis zum Jahr 2025 auf Vorkrisenniveau erholen und im Anschluss angelehnt an den historischen Verlauf konstant weiterentwickeln (Deloitte, 2022a).

2020 lag die Anzahl der Lkw-Neuzulassungen in Europa bei rund 1,7 Mio. Fahrzeugen und war damit 19 % geringer als vor der Krise im Jahr 2019 (ca. 2,1 Mio. Fahrzeuge). Im Jahr 2021 stiegen die Lkw-Neuzulassungen in Europa auf rund 1,85 Mio. Fahrzeuge an, was in etwa dem Neuzulassungsniveau im Jahr 2016 entspricht. Als Rahmenannahme für die zukünftige absolute Entwicklung der Lkw-Neuzulassungszahlen in Europa wird in Anlehnung an eine Prognose zur Entwicklung der Güterverkehrsleistung (BMDV, 2022b) nach dem kurzfristigen Rückgang der Neuzulassungen wieder von einem moderat linearen Anstieg ausgegangen, so dass insgesamt rund 2,2 Mio. Fahr-

zeuge in der EU im Jahr 2050 neuzugelassen werden. Die Lkw-Neuzulassungen in Europa werden derzeit von Dieselfahrzeugen dominiert, mit ca. 90 % Anteil im leichten (N1) und ca. 96 % im schweren Nutzfahrzeugsegment (N2 und N3). Hybrid- und batterieelektrische Fahrzeuge haben im leichten Nutzfahrzeugsegment einen Anteil von etwa 4,6 %, bei den schweren Nutzfahrzeugen werden lediglich alternative Kraftstoffe wie CNG/LNG und Biodiesel eingesetzt (ACEA, 2022c).

Zur Modellierung der europäischen Lkw-Neuzulassungen und -Marktanteile werden die Ergebnisse aus der Szenariounter-suchung für den deutschen Lkw-Markt (siehe Kapitel 4.4) genutzt und auf die europäischen Neuzulassungszahlen hochskaliert. Unterschiedliche Hochlaufgeschwindigkeiten in den einzelnen EU-Ländern werden über die nationalen Emissionsreduktionsziele für den Straßenverkehr und weitere Sektoren, die in der Lastenteilungsverordnung im Jahr 2018 festgelegt wurden, berücksichtigt (Europäische Kommission, 2022). Ländern innerhalb eines Clusters sind dabei gleiche Diffusionsgeschwindigkeiten unterstellt. Höhere Adoptionsraten haben die Länder Österreich, Belgien, Dänemark, Finnland, Frankreich, Deutschland, Irland, Italien, Luxemburg, Niederlande und Schweden (alle mit Emissionsreduktionszielen von über 30 % für den Straßenverkehrssektor zwischen 2005 und 2030), dies entspricht 64 % der EU-Neuzulassungen bzw. 1,18 Mio. Lkw im Jahr 2021. Mittlere Adoptionsraten besitzen Spanien, Portugal, Tschechien, Slowakei, Estland und Zypern (Emissionsreduktionsziel zwischen 10 % und 29 %; 24 % der EU-Neuzulassungen bzw. 436.000 Fahrzeuge im Jahr 2021). Diese Länder haben eine um ca. drei Jahre verzögerte Adoptionsrate im Vergleich zum vorherigen Cluster. Niedrige Adoptionsraten sind den Ländern Polen, Ungarn, Kroatien, Bulgarien, Rumänien, Litauen, Lettland und Griechenland (Emissionsreduktionsziel unter 9 % oder nicht definiert) zugeordnet. Ihr Anteil umfasst 13 % an den EU-Neuzulassungen im Jahr 2021 (234.000 Fahrzeuge), gekennzeichnet durch ca. sechs Jahre Verzögerung.

Differierende Anteile der Fahrzeugsegmente N1, N2 und N3 in den jeweiligen Ländern am Gesamtmarkt sind berücksichtigt, werden jedoch im Zeitverlauf nicht variiert. Länderspezifische Anreizsysteme für alternativ betriebene Nutzfahrzeuge oder variiere Rahmenbedingungen, wie etwa Veränderungen bei der Besteuerung von Energiepreisen, können ebenfalls die Szenarioergebnisse beeinflussen, sind aber nicht Bestandteil des Modellierungsansatzes und damit im Hinblick auf die Ergebnisinterpretation zu berücksichtigen.

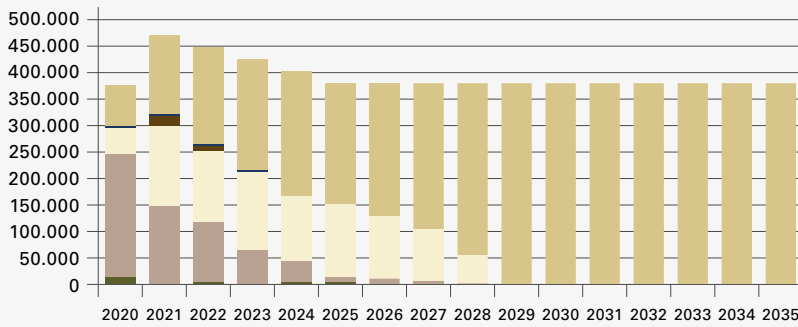
#### 4.5.1 Entwicklung des Markthochlaufs im „Business-as-usual“-Szenario

Abbildung 75 und 76 illustrieren, wie sich die Marktpotenziale der einzelnen Pkw-Antriebskonzepte in den verschiedenen europäischen Ländern von 2020 bis 2035 unter den definierten, moderat in die Zukunft fortgeschriebenen Rahmenbedingungen im VECTOR21-Pkw-EU-Modell entwickeln.

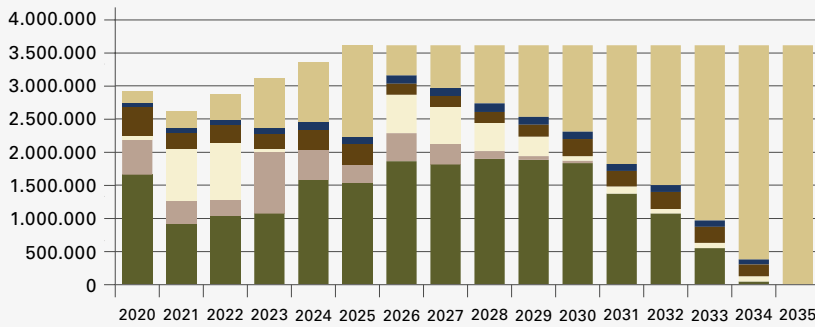
Da die individuell modellierten europäischen Länder jeweils verschiedene Strategien zur Elektrifizierung der Fahrzeugflotte verfolgen, zeigt sich ein unterschiedlicher Markthochlauf elektrifizierter Fahrzeuge je Ländercluster. Auch auf europäischer Ebene wird der Absatz von Elektrofahrzeugen finanziell gefördert. Dabei zeigen sich vor allem im Rückgang der BEV-Marktpotenziale von Frankreich, Italien, Finnland und Polen, wie auch bei der Detailbetrachtung der deutschen Neuzulassungsentwicklungen (siehe Kapitel 4.3.1), direkte Effekte der Reduzierung bzw. Einstellung nationaler Förderprogramme und Kaufanreize.

Deutschland und Frankreich sind Teil desselben Clusters, weisen aber unterschiedliche Marktanteile und Neuzulassungszahlen bei Elektrofahrzeugen auf. Der Unterschied ist neben differierenden Energiekosten und Infrastrukturannahmen insbesondere auf Unterschiede im Subventionssystem zurückzuführen: Deutschland fördert den Kauf von Elektrofahrzeugen durch die Umweltprämie, die gemäß getroffenen Annahmen im Jahr 2025 endet, während Anreizsysteme in Frankreich u. a. auf einer hohen Zulassungssteuer für verbrennungsmotorische Fahrzeuge basieren. In Italien und Polen ist der Absatz von Elektrofahrzeugen sehr gering, was sich hauptsächlich auf die schlechtere Infrastrukturverfügbarkeit, das geringere Haushaltseinkommen und die spezifischen Steuerregelungen zurückführen lässt. Griechenland hat bei einer vergleichbaren Infrastrukturverfügbarkeit eine günstigere Besteuerung für elektrifizierte Fahrzeuge, was zu höheren Marktanteilen vor allem von Plug-in-Hybridfahrzeugen führt.

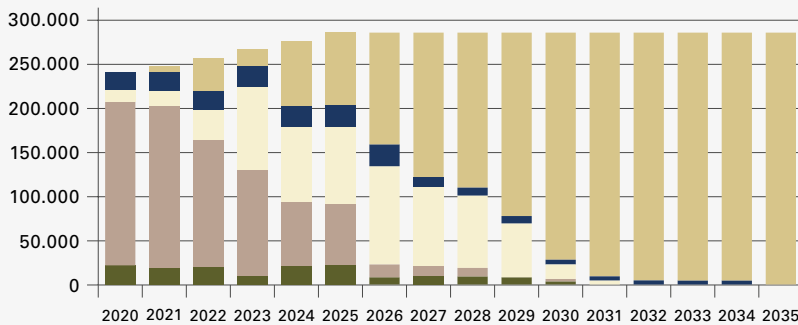
Norwegen [in Stück]



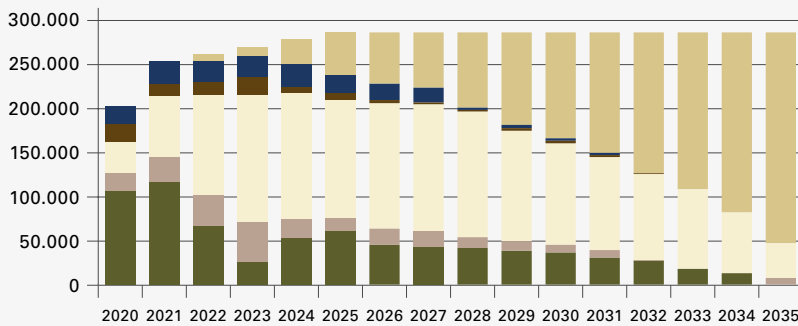
Deutschland [in Stück]



Finnland [in Stück]



Griechenland [in Stück]



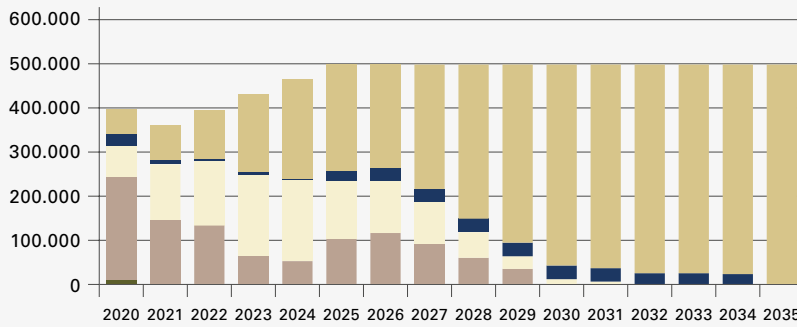
- FCEV
- BEV
- CNG
- D
- G-PHEV
- G-HEV
- G

Quelle: Eigene Darstellung DLR, 2023

Abbildung 75: Entwicklung der Pkw-Marktpotenziale im Rahmen des DLR VECTOR21-Szenarios „Business-as-usual“ für ausgewählte Länder des europäischen Markts bis 2035

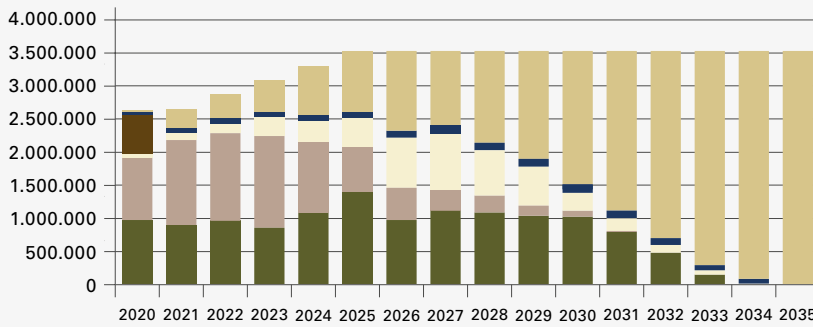


Niederlande [in Stück]

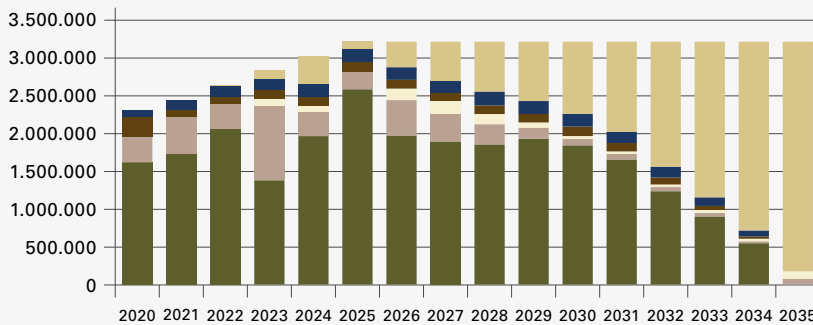


- FCEV
- BEV
- CNG
- D
- G-PHEV
- G-HEV
- G

Frankreich [in Stück]



Italien [in Stück]



Polen [in Stück]

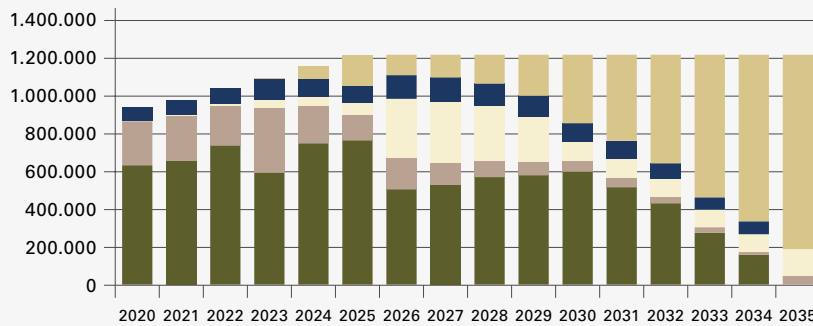


Abbildung 76: Entwicklung der Pkw-Marktpotenziale im Rahmen des DLR VECTOR21-Szenarios „Business-as-usual“ für ausgewählte Länder des europäischen Markts bis 2035

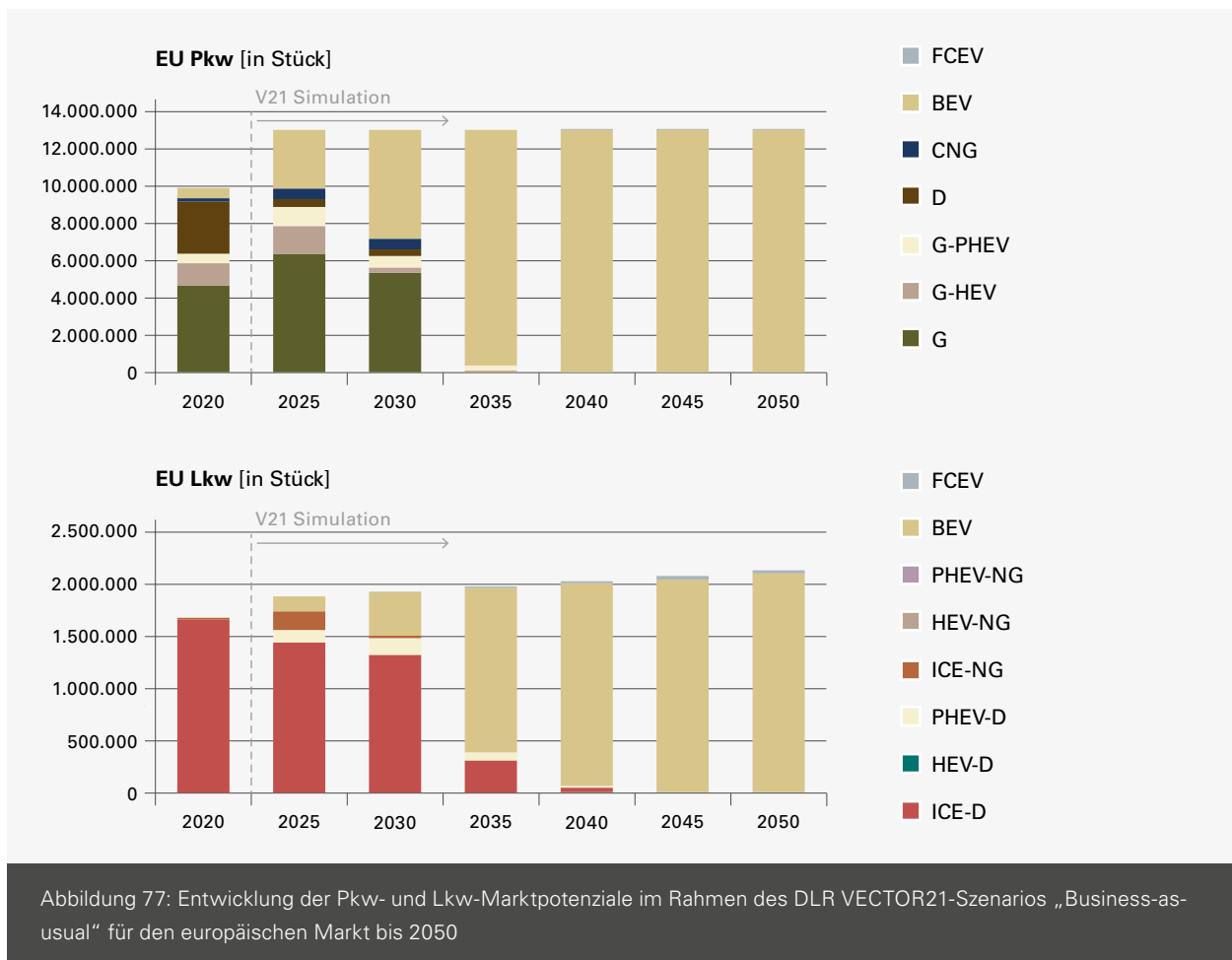
Quelle: Eigene Darstellung DLR, 2023

Die Entwicklung der Marktpotenziale auf dem europäischen Gesamtmarkt für sowohl Pkw als auch Lkw ist in Abbildung 77 dargestellt. Im Rahmen des „Business-as-usual“-Szenarios ergeben sich Neuzulassungszahlen von über 3,4 Mio. batterieelektrischen Fahrzeugen im Jahr 2025 insgesamt (Pkw: 3,1 Mio.; Lkw: 0,3 Mio.) sowie 6,4 Mio. im Jahr 2030 (Pkw: 5,8 Mio.; Lkw: 0,6 Mio.). 2035 wird aufgrund des CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerts von 0 g CO<sub>2</sub>/km (gilt für Pkw und N1-Nutzfahrzeuge) von rein batterieelektrischen Fahrzeugen dominiert. Allerdings bestehen in ausgewählten Pkw- und Lkw-Märkten kurz- und mittelfristig noch Potenziale für hybride Fahrzeuge, was sich auf den zeitlich verzögerten Infrastrukturausbau in den entsprechenden Länderclustern zurückführen lässt. In langfristiger Perspektive können auch Brennstoffzellenfahrzeuge Marktanteile gewinnen, insbesondere im Lkw- und Pkw-Bereich jeweils bei Fahrzeugen mit hoher Reichweitenanforderung.

### 4.5.2 Entwicklung des Markthochlaufs im „Progressiv“-Szenario

Im progressiven Szenario ergeben sich in der EU im Jahr 2025 Neuzulassungszahlen in Höhe von 4,5 Mio. batterieelektrischer Fahrzeuge (Pkw: 4,2 Mio.; Lkw: 0,3 Mio.). Aufgrund des strikteren CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerts im Jahr 2030 verdoppeln sich die Neuzulassungszahlen für BEV dann auf 9,1 Mio. Fahrzeuge (Pkw: 8 Mio.; Lkw: 1,1 Mio.).

Unter der progressiven Annahme, dass bis 2035 die Ladeinfrastruktur europaweit vollständig ausgebaut ist, wird der Fahrzeugmarkt dann fast ausschließlich von batterieelektrischen Fahrzeugen dominiert. Lediglich für einige wenige Nutzergruppen (hauptsächlich im Lkw-Markt) besteht langfristig Potenzial für Brennstoffzellenfahrzeuge, wie in Abbildung 78 illustriert ist.



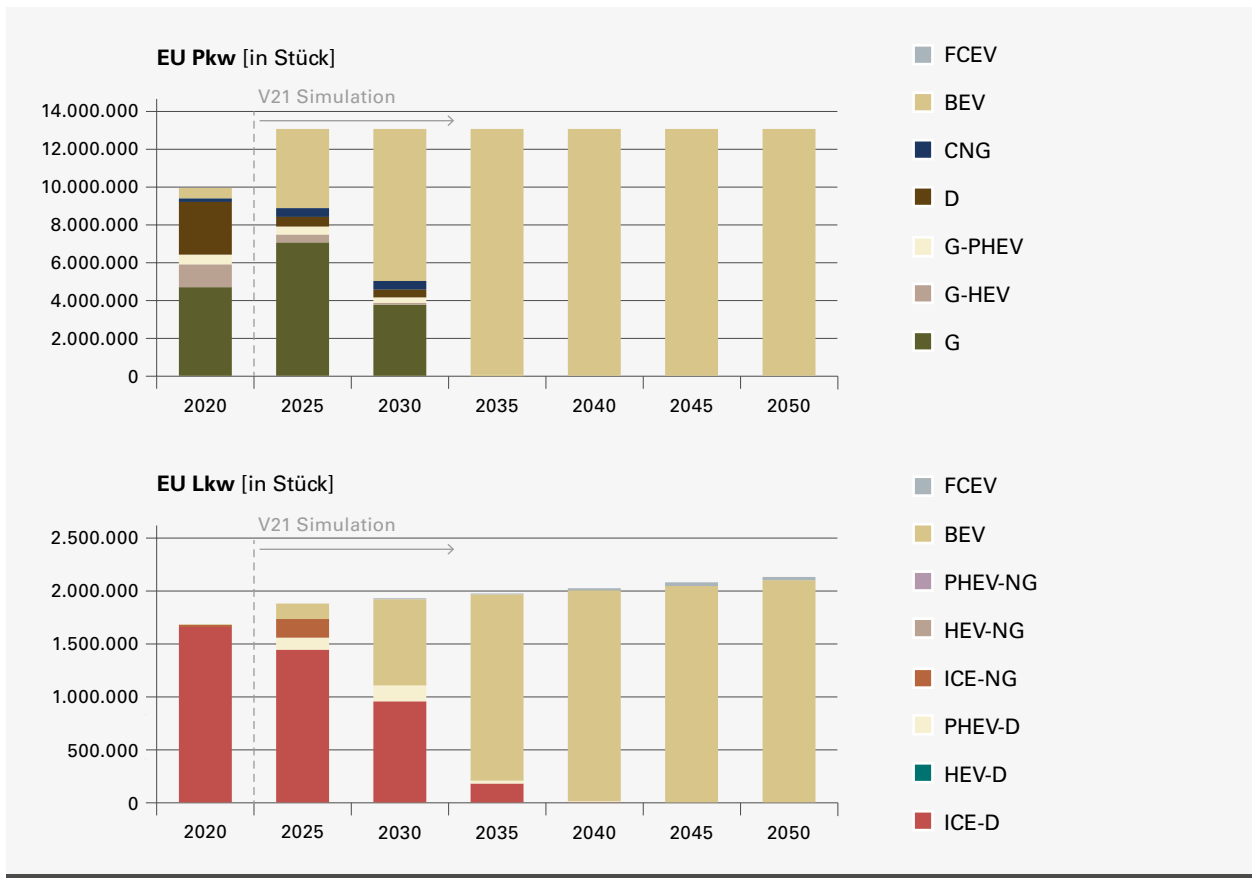


Abbildung 78: Entwicklung der Pkw- und Lkw-Marktpotenziale im Rahmen des DLR VECTOR21-Szenarios „Progressiv“ für den europäischen Markt bis 2050

#### 4.6 Ökonomische Auswirkungen des Markthochlaufs

Die Szenarioergebnisse zeigen deutlich, dass sich die Marktanteile elektrifizierter Antriebsstränge auch im Volumensegment relativ zeitnah erhöhen werden. Bereits heute stellen verbrennungsmotorische Fahrzeuge mit Start-Stopp-Systemen den Stand der Technik dar. Ebenfalls steigt der Anteil der Mild-Hybridfahrzeuge, die durch zusätzlich verfügbare Rekuperations- und Boost-Funktionen sowie elektrifizierte Nebenaggregate im Vergleich zum Mikro-Hybrid weiteres Effizienzpotenzial besitzen (McKinsey & Company, 2020). Es wird angenommen, dass verbrennungsmotorische Fahrzeuge ab 2030 im Zuge weiterer Verbrauchsoptimierungen sowie zur Erfüllung der Euro-7-Abgasnorm ausschließlich als Mild-Hybride verfügbar sein werden. Somit nimmt die Anzahl an Fahrzeugen mit elektrifizierten Antriebskomponenten auch durch

das steigende Marktpotenzial an Voll- und Plug-in-Hybriden bis zum Jahr 2030 kontinuierlich zu. Im Jahr 2030 sind dann alle Pkw-Neuzulassungen zumindest teilelektrifiziert, im „Business-as-usual“-Szenario werden 2030 zudem bereits ca. 45 % der Pkw gänzlich ohne Verbrennungsmotor verkauft. Entsprechend ändern sich auch die Wertschöpfungsanteile am Fahrzeug über die Jahre immer stärker in Richtung der elektrifizierten Komponenten.

Auch die Nachfrage nach Hochenergiebatterien steigt bis 2030 stark an, so dass im progressiven Szenario 62 % der in diesem Jahr verkauften Pkw mit dieser Komponente ausgestattet sind. Hochenergiebatterien kommen dabei meist als Traktionsbatterien für reine Elektrofahrzeuge zum Einsatz. Im Gegensatz zur Hochleistungsbatterie folgt die größere Speicherkapazität der Hochenergiebatterien aus dem Einsatz von größeren und dichterem Elektroden sowie anderen Zellchemien. Hochleis-

tungsbatterien verwenden dagegen Materialien mit höherer Leitfähigkeit und haben eine größere Elektrodenoberfläche, so dass Ladungsträger schneller transportiert werden können. Da in diesem Szenario der CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwert vorwiegend über vollelektrisch betriebene Fahrzeuge erreicht wird, liegt der Bedarf an Hochleistungsbatterien für hybride Fahrzeuge im progressiven Szenario niedriger als im „Business-as-usual“-Szenario. Tabelle 15 gibt eine Übersicht über die Produktionsstückzahlentwicklung relevanter Komponenten im Vergleich beider Markthochlaufszszenarien. Dabei wird angelehnt an die Analysen aus Kapitel 2 berücksichtigt, dass in batterieelektrischen Fahrzeugen des mittleren und großen Fahrzeugsegments teilweise zwei oder mehr Elektromotoren verbaut sind.

Abbildung 79 illustriert die exemplarischen Kostenentwicklungen (netto) für Mittelklassefahrzeuge mit den Antriebssträngen „verbrennungsmotorisch“ (ICE), PHEV und BEV im progressiven Szenario im Vergleich der Jahre 2020 und 2030. Besonders auffällig ist die Entwicklung der Differenzkosten zwischen ICE und BEV: Während im Jahr 2020 die Anschaffungskosten eines konventionellen Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor noch etwa 8.500 EUR unter denen eines BEV liegen, reduzieren sich diese Mehrkosten unter den getroffenen progressiven Rahmenannahmen bis zum Jahr 2030 auf etwa 700 EUR (exkl. MwSt. und Kaufprämien). Dies liegt vor allem an sinkenden Batterie-kosten, aber auch an steigenden Kosten für verbrennungsmotorische Effizienztechnologien, die beim ICE zur Einhaltung gesetzlicher Emissionsgrenzwerte notwendig sind und gleichzeitig zu einer Verbrauchsreduktion führen.

|                                     | Komponenten                           | 2020 | 2025  | 2030  | 2040  | 2050  |
|-------------------------------------|---------------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|
| <b>„Business-as-usual“-Szenario</b> | Verbrennungsmotor                     | 9,39 | 9,90  | 7,21  | -     | -     |
|                                     | Elektromotor, Leistungselektronik     | 2,23 | 10,19 | 13,90 | 15,94 | 15,90 |
|                                     | Hochleistungsbatterie <sup>[1]</sup>  | 1,69 | 6,33  | 6,66  | -     | -     |
|                                     | Hochenergiebatterie <sup>[2]</sup>    | 0,54 | 3,14  | 5,84  | 13,04 | 13,02 |
|                                     | Brennstoffzellensystem <sup>[3]</sup> | -    | -     | -     | 0,001 | 0,02  |
| <b>„Progressiv“-Szenario</b>        | Verbrennungsmotor                     | 9,39 | 8,86  | 5,02  | -     | -     |
|                                     | Elektromotor, Leistungselektronik     | 2,23 | 10,22 | 14,50 | 15,94 | 15,90 |
|                                     | Hochleistungsbatterie                 | 1,69 | 5,10  | 4,55  | -     | -     |
|                                     | Hochenergiebatterie                   | 0,54 | 4,18  | 8,03  | 13,04 | 13,02 |
|                                     | Brennstoffzelle                       | -    | -     | -     | 0,001 | 0,02  |

[1] Brutto-Batteriekapazität nach Fahrzeugsegment bei HEV: „klein“ und „mittel“ = 2 kWh/Batterie; „groß“ = 2,5 kWh/Batterie; bei PHEV: „mittel“ = 13 kWh/Batterie, „groß“ = 16 kWh/Batterie  
 [2] Brutto-Batteriekapazität nach Fahrzeugsegment bei BEV: „klein“ = 45 kWh/Batterie, „mittel“ = 60 kWh/Batterie, „groß“ = 90 kWh/Batterie  
 [3] Brennstoffzelle inkl. Wasserstofftanks, Leitungen, Ventile etc.

Quelle: Eigene Darstellung DLR, 2023; eigene Berechnung auf Basis der DLR VECTOR21-Szenarien

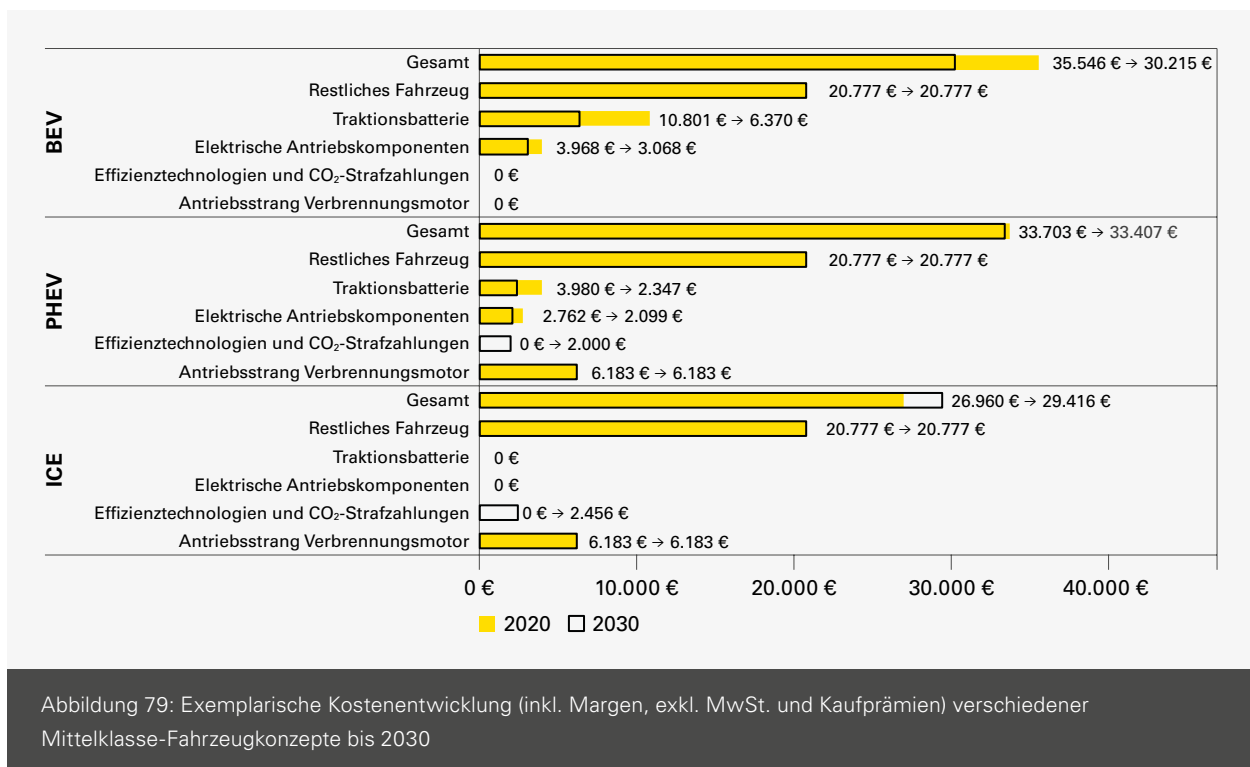
Tabelle 15: Stückzahlentwicklung relevanter Pkw-Antriebskomponenten [in Mio. Stück]

Dabei wird davon ausgegangen, dass die rein verbrennungsmotorischen Antriebsstränge eine Mild-Hybridisierung erfahren und ein CO<sub>2</sub>-Reduktionspotenzial von 10 % bis 2030 erzielt werden kann (McKinsey & Company, 2020). Da diese Effizienzsteigerungen allerdings nicht ausreichen werden, um den spezifischen CO<sub>2</sub>-Grenzwert der verbrennungsmotorischen Fahrzeuge im Jahr 2030 zu erfüllen, wird modellintern angenommen, dass die für den Hersteller anfallenden CO<sub>2</sub>-Strafzahlungen von 95 EUR pro g/km Emissionsüberschreitung (Europäische Kommission, 2021) direkt auf die Fahrzeugpreise umgelegt werden. In Kombination mit den niedrigeren Betriebskosten stellt das BEV dann für viele Käufer:innen die attraktivere Fahrzeugoption dar.

Unter den getroffenen Annahmen nehmen die Batteriekosten im Betrachtungszeitraum bis 2030 um ca. 40 % ab. Dies ist hauptsächlich zurückzuführen auf die bei progressiver Entwicklung wirkenden Skaleneffekte durch höhere Produktionsvolumina, aber auch auf technologische Verbesserungen im Batteriesystem und Weiterentwicklungen in den Zellchemien selbst. Neben den Batteriesystemen kommt es auch bei der Leistungselektronik und dem Elektromotor (in Abbildung 79 als elektrische Antriebskomponenten zusammengefasst) zu

weiteren Kostenreduktionen, allerdings mit weit geringeren absoluten Auswirkungen auf den Kaufpreis.

Die Szenarioergebnisse im Lkw-Segment haben aufgezeigt, dass erst nach 2030 signifikante Marktanteile bei elektrifizierten Antriebssträngen erreicht werden. Im Jahr 2025 liegt der Anteil von verbrennungsmotorisch betriebenen Lkw an den europäischen Neuzulassungen noch bei rund 88 %. Diese Antriebsvarianten besitzen zu diesem Zeitpunkt aber ebenfalls schon teilelektrifizierte Systeme, z.B. Start-Stopp-Systeme, elektrifizierte Nebenaggregate oder 48-V-Systeme. Erst ab 2034 im „Business-as-usual“- und ab 2031 im „Progressiv“-Szenario überwiegen rein elektrisch betriebene Lkw. Dies sind vor allem batterieelektrische leichte Nutzfahrzeuge mit einem zulässigen Gesamtgewicht bis 3,5 t (N1), die vorrangig für den Stadtverkehr und den regionalen Verteilerverkehr ausgelegt sind. In den darauffolgenden Jahren bis 2040 im „Business-as-usual“- und bis 2035 im „Progressiv“-Szenario steigen sukzessive die BEV- und FCEV-Marktanteile auch in den schweren Nutzfahrzeugsegmenten (N2 und N3). Entsprechend ändern sich auch die Wertschöpfungsanteile am Fahrzeug über die Jahre immer stärker in Richtung der elektrifizierten Komponenten.



Quelle: Eigene Darstellung DLR, 2023

Abbildung 79: Exemplarische Kostenentwicklung (inkl. Margen, exkl. MwSt. und Kaufprämien) verschiedener Mittelklasse-Fahrzeugkonzepte bis 2030

Im Jahr 2030 sind die abgeleiteten Stückzahlen für die Schlüsselkomponenten Elektromotoren, Leistungselektronik, Batterie (insb. Hochenergiebatterie) und Brennstoffzelle im progressiven Szenario zum Teil doppelt so hoch wie im „Business-as-usual“-Szenario. Tabelle 16 gibt eine Übersicht über die Produktionsstückzahlentwicklung relevanter Komponenten in beiden Szenarien. Zu beachten ist dabei, dass im Modell aufgrund der Annahme unterschiedlicher Geschwindigkeiten und Adoptionsraten der Technologiediffusion in den EU-Ländern auch im Jahr 2040 noch vereinzelt verbrennungsmotorische Komponenten nachgefragt werden (siehe Kapitel 4.5).

2020 und 2030. Im Betrachtungszeitraum sinken die berechneten Fahrzeugkosten beim batterieelektrischen Fahrzeug um 27 %, beim brennstoffzellenelektrischen um 24 %. Ausschlaggebend für die Kostenentwicklung beim BEV sind insbesondere die sinkenden Kosten für die Hochenergiebatterie, die im untersuchten Zeitraum um mehr als 40 % abnehmen. Für die Kostenreduktion beim FCEV sind sinkende Herstellungskosten für das Brennstoffzellensystem und das H<sub>2</sub>-Tanksystem ausschlaggebend, die im untersuchten Zeitraum bis 2030 um etwa 35 % abnehmen.

Abbildung 80 illustriert exemplarische Kostenentwicklungen (netto) für eine Sattelzugmaschine, ausgelegt für den Sattelzugbetrieb mit Sattelanhänger und einem Gesamtfahrzeuggewicht von bis zu 40 t, jeweils für die Antriebsstränge ICE, BEV und FCEV im progressiven Szenario im Vergleich der Jahre

|                                     | Komponenten                          | 2020      | 2025      | 2030      | 2040      | 2050      |
|-------------------------------------|--------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>„Business-as-usual“-Szenario</b> | Verbrennungsmotor                    | 1,68 Mio. | 1,74 Mio. | 1,51 Mio. | 68 Tsd.   | -         |
|                                     | Elektromotor, Leistungselektronik    | 2.300     | 265 Tsd.  | 586 Tsd.  | 1,98 Mio. | 2,14 Mio. |
|                                     | Hochleistungsbatterie <sup>[1]</sup> | 70        | 265 Tsd.  | 165 Tsd.  | 34 Tsd.   | 29 Tsd.   |
|                                     | Hochenergiebatterie <sup>[2]</sup>   | 2.225     | 120 Tsd.  | 421 Tsd.  | 1,95 Mio. | 2,11 Mio. |
|                                     | Brennstoffzellensystem               | -         | 144 Tsd.  | 4 Tsd.    | 22 Tsd.   | 29 Tsd.   |
| <b>„Progressiv“-Szenario</b>        | Verbrennungsmotor                    | 1,68 Mio. | -         | 1,12 Mio. | 19 Tsd.   | -         |
|                                     | Elektromotor, Leistungselektronik    | 2.300     | 1,74 Mio. | 976 Tsd.  | 2,02 Mio. | 2,14 Mio. |
|                                     | Hochleistungsbatterie                | 70        | 117 Tsd.  | 162 Tsd.  | 29 Tsd.   | 30 Tsd.   |
|                                     | Hochenergiebatterie                  | 2.225     | 265 Tsd.  | 814 Tsd.  | 1,99 Mio. | 2,11 Mio. |
|                                     | Brennstoffzelle                      | -         | 117 Tsd.  | 7 Tsd.    | 24 Tsd.   | 29 Tsd.   |

[1] Batteriegrößen: 3,5-t-Segment = 44 KWh/Batterie; 7,5-t-Segment = 53 KWh/Batterie; 12-t-Segment = 60 KWh/Batterie; 18-t-Segment = 101 KWh/Batterie; 26-t-Segment = 110 KWh/Batterie; 40-t-Segment = 178 KWh/Batterie  
 [2] Batteriegrößen: 3,5-t-Segment = 91 KWh/Batterie; 7,5 t-Segment = 158 KWh/Batterie; 12-t-Segment = 186 Wh/Batterie; 18-t-Segment = 325 KWh/Batterie; 26-t-Segment = 460 KWh/Batterie; 40-t-Segment = 836 KWh/Batterie

Quelle: eigene Berechnung auf Basis der VECTOR21-Szenarien

Tabelle 16: Stückzahlentwicklung relevanter Lkw-Antriebskomponenten [in Stück]

Die Kosten für die Diesel-Sattelzugmaschine steigen im betrachteten Zeitraum um etwa 5 % an. Dies liegt unter anderem an steigenden Kosten für Effizienztechnologien, die beim ICE zur Einhaltung gesetzlicher Emissionsgrenzwerte notwendig sind und gleichzeitig zu einer deutlichen Verbrauchsreduktion führen. Im Vergleich der drei Antriebsoptionen zeigt sich, dass im Jahr 2020 die Herstellungskosten für die elektrischen Alternativen (BEV und FCEV) höher als die für die Diesel-Sattelzugmaschine sind, bis 2030 die Kostendifferenzen jedoch um ca. ein Drittel reduziert werden können. Daher werden die elektrischen Alternativen im betrachteten Zeitraum – in Bezug auf den Anschaffungspreis – voraussichtlich nicht günstiger als ein Dieselfahrzeug sein.

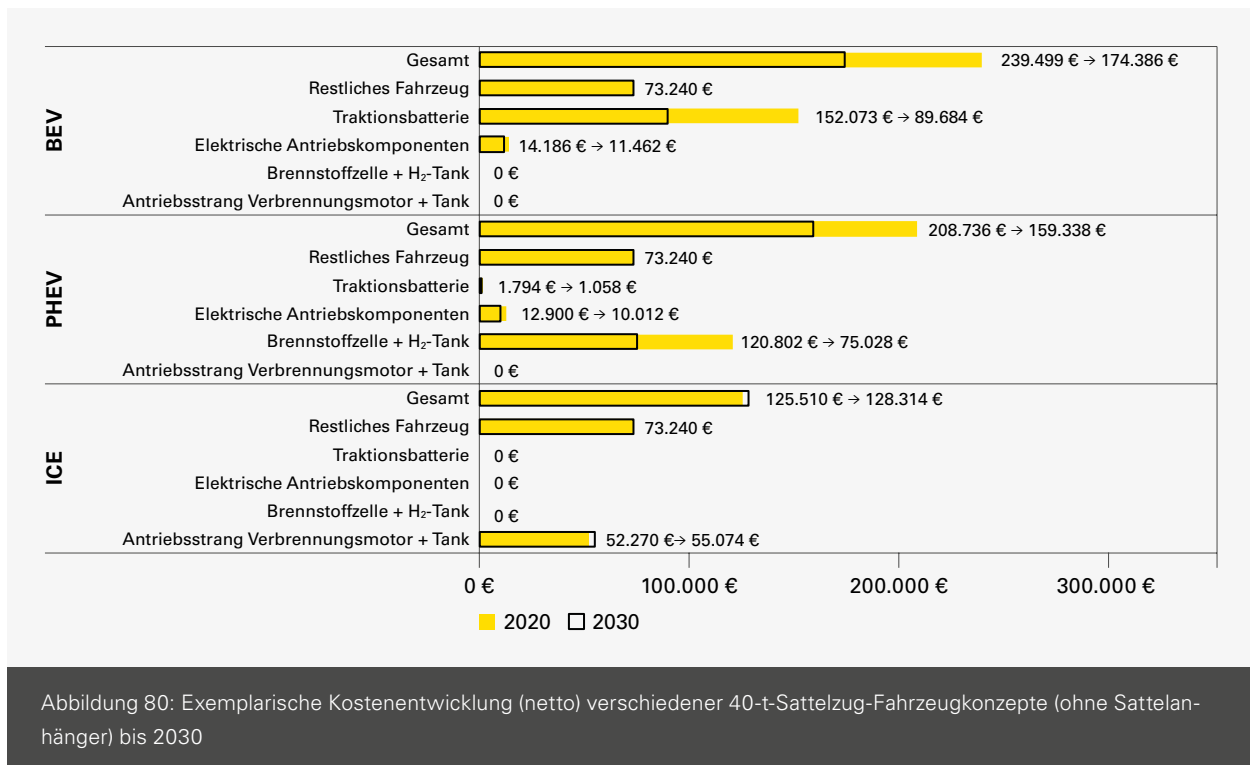
Diese Kostenreduktionen wirken sich letztlich auch aus Perspektive des Staats positiv auf die Höhe der förderrelevanten Mehrkosten aus. Über das Förderprogramm „klimafreundliche Nutzfahrzeuge“ werden 80 % der Mehrkosten für elektrische Nutzfahrzeuge vom Staat übernommen. Die exemplarische Kostenberechnung zeigt, dass eine batterieelektrische Sattelzugmaschine im Jahr 2020 etwa 91.000 EUR und im Jahr 2030

noch rund 37.000 EUR Zuschuss erhalten würde.<sup>11</sup> Für FCEV würde der Zuschlag im Jahr 2020 67.000 EUR und 2030 noch ca. 25.000 EUR betragen. Aus Sicht der Lkw-Betreiber sind jedoch nicht alleine die Anschaffungskosten, sondern vielmehr die Gesamtbetriebskosten relevant.

#### 4.7 Einordnung der Szenarien vor dem Hintergrund des Klimaschutzgesetzes und der Sektorziele Verkehr

Mit der Änderung des Klimaschutzgesetzes hat die Bundesregierung bestehende Klimaschutzvorgaben verschärft und das Ziel definiert, bis 2045 netto-treibhausgasneutral zu werden. Als Zwischenziel sollen die deutschen Treibhausgasemissionen bis 2030 um 65 % gegenüber 1990 verringert werden. Hierfür wurden Meilensteine und Ziele für alle Sektoren (z. B. Energiewirtschaft, Gebäude, Verkehr und Industrie) bis 2030 definiert. Im folgenden Abschnitt wird insbesondere auf die Sektorziele für den Verkehr eingegangen, um eine Einordnung der VECTOR21-Szenarien vor dem Hintergrund der definierten Prämissen vorzunehmen.

11 | Unter der Voraussetzung, dass das Förderprogramm „Klimafreundliche Nutzfahrzeuge“ bis 2030 verfügbar wäre, bisher bis 2026 begrenzt.



Quelle: eigene Berechnung auf Basis von VECTOR21-Simulationen

Abbildung 80: Exemplarische Kostenentwicklung (netto) verschiedener 40-t-Sattelzug-Fahrzeugkonzepte (ohne Sattelanhänger) bis 2030

Auf Basis der in den vorangegangenen Kapiteln detailliert beschriebenen möglichen Entwicklungen der Neuwagenmärkte lässt sich mit Hilfe des VECTOR21-Bestandsmodells der zukünftige Pkw- und Lkw-Fahrzeugbestand Deutschlands bis 2050 modellieren. Dabei wird der Eintritt von Neufahrzeugen in die Bestandsflotte im Modell ergänzt um einen kontinuierlichen Austritt älterer Fahrzeuge, so dass nach und nach eine Erneuerung der Gesamtflotte stattfindet. Hinsichtlich der resultierenden Bestandsflotte lassen sich mit Hilfe der hinterlegten spezifischen Energieverbräuche, der angenommenen Fahrleistungen für den Pkw- und Lkw-Verkehr sowie der Emissionsfaktoren die CO<sub>2</sub>-Emissionen des deutschen Straßenverkehrs<sup>12</sup> abschätzen. Die Modellierung der Flottenzusammensetzung und der resultierende Endenergiebedarf unterliegen einer Reihe grundlegender Annahmen, die nachfolgend erläutert werden.

**Fahrzeualter:** In Deutschland beträgt das durchschnittliche Pkw-Alter 10,1 Jahre, das Lkw-Alter 8,5 Jahre (KBA, 2022a). Obwohl derzeitige Trends insgesamt auf eine in Zukunft möglicherweise längere Nutzungsdauer von Pkw hinweisen, wird aus modelltechnischen Gründen für die nachfolgende Simulation von einer gegenüber 2022 gleichbleibenden Austrittswahrscheinlichkeit ausgegangen.

**Fahrleistung:** Im Rahmen der Bestandsmodellierung der Pkw-Flotte wird angelehnt an die Intraplan-Consult-Studie von einer Erholung der Fahrleistung auf 648 Mrd. km ausgegangen und statisch in die Zukunft fortgeschrieben (Intraplan Consult, 2021). In Deutschland lag die jährliche Fahrzeug-Gesamtfahrleistung<sup>13</sup> aller Lkw im Jahr 2020 bei 95 Mrd. km (BMDV, 2022b). Im Rahmen der Bestandsmodellierung der Lkw-Flotte wird angelehnt an die Verkehrsverflechtungsprognose 2030 von einer Erholung und einem anschließenden Anstieg der Fahrleistung auf 112 Mrd. km im Jahr 2050 (+15 % ggb. 2020) ausgegangen (BMDV, 2022b).

**Fahrzeuggröße/Fahrzeugklasse:** In Deutschland ist aktuell ein Trend zu immer größeren und damit oft auch schwereren Pkw zu erkennen. Insbesondere SUV konnten in den letzten Jahren große Anteile am Neuwagenmarkt gewinnen, so dass eine Verschiebung innerhalb der Fahrzeugsegmente zu beobachten ist. Die Fortschreibung dieses Trends ist jedoch nicht

wissenschaftlich gesichert und von markt- und nutzerspezifischen Präferenzen abhängig. Im Rahmen der Pkw-Flottenmodellierung wird deshalb die Segmentverteilung des Jahres 2020 übernommen und für die folgenden Jahre fortgeschrieben. Gleiches wird für die Lkw-Flottenmodellierung angenommen.

Weiterhin wird für die Bestandsmodellierung keine **Verkehrsverlagerung** (auch: Modal-Shift) hin zu anderen Verkehrsmitteln wie dem öffentlichen Personennahverkehr oder den Schienengüterverkehr angenommen. Die Anteile von **Bio-Kraftstoff**, die dem fossilen Benzin und Diesel aktuell hinzugemischt werden, bleiben konstant und es wird keine Zumischung von **synthetischen Kraftstoffen** angenommen. Die bei der Stromherstellung zudem anfallenden CO<sub>2</sub>-Emissionen werden nach dem **Verursacherprinzip** dem Energiesektor und nicht dem Verkehrssektor zugeschrieben („Tank-to-Wheel“-Ansatz).

1990 nahm der Sektor Verkehr mit 164 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten rund 13% der Gesamtemissionen in Deutschland ein. Da die Emissionsreduktion des Verkehrs im Vergleich zu den anderen Sektoren langsamer erfolgt, stieg der Anteil im Jahr 2021 sogar auf rund 19% der Gesamtemissionen in Deutschland an, was 148 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. entspricht (BMWK, 2022). Als Meilenstein für das Jahr 2030 wird eine Minderung von 48% gegenüber 1990 auf 85 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. angestrebt (BMU, 2021).

Zur Einordnung:

Dieser Zielwert entspricht derzeit den jährlichen Gesamtemissionen nur der deutschen Pkw-Flotte. Über alle Sektoren hinweg soll bis 2030 eine Reduktion der deutschen Treibhausgasemissionen von mindestens 60% erzielt werden. 2040 soll die Reduktion mindestens 88% betragen, damit Deutschland spätestens 2045 netto-treibhausgasneutral ist (BMWK, 2022).

<sup>12</sup> | Es handelt sich hierbei nur um den Pkw- und Lkw-Bestand. Die Emissionen von Motorrädern und Bussen sind nicht berücksichtigt.

<sup>13</sup> | Im Straßengüterverkehr wird die Transportleistung in Tonnenkilometern als Bemessungsgröße herangezogen. Für die Modellierung der verkehrsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen sind hier jedoch die Fahrzeug-Fahrleistungen in km relevant.



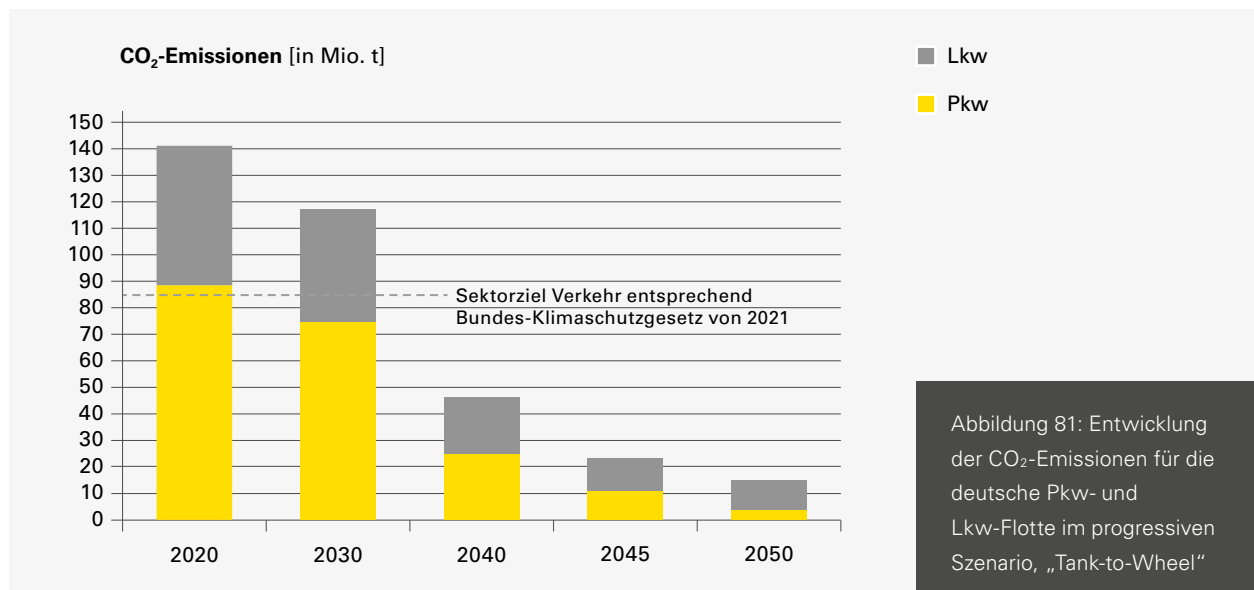
In Abbildung 81 werden die während der Fahrt ausgestoßenen CO<sub>2</sub>-Emissionen der deutschen Pkw- und Lkw-Flotte im progressiven Szenario dargestellt („Tank-to-Wheel“). Hierfür werden die ermittelten Energiebedarfe mit den spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren je Energieträger multipliziert. Die Modellergebnisse für den deutschen Verkehr zeigen, dass die Pkw-Flotte im Jahr 2020 für rund 89 Mio. t und die Lkw-Flotte für rund 52 Mio. CO<sub>2</sub>-Äq. verantwortlich war. Trotz der relativ schnell steigenden Neuzulassungszahlen von batterieelektrischen Fahrzeugen im progressiven Szenario erfolgt die Erneuerung der Bestandsflotte mit zeitlicher Verzögerung. Im Jahr 2030 sind so erst ca. 10 Mio. batterieelektrische Pkw und 0,9 Mio. batterieelektrische Nutzfahrzeuge im Bestand vorhanden. Schließlich wird das Sektorziel des Verkehrs von 85 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2030 im betrachteten progressiven Szenario allein aufgrund der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Pkw- und Lkw-Sektor um etwa 27 % überschritten. Wird der Anteil des Straßenverkehrs an den Gesamtemissionen des Verkehrssektors von 96,3 % im Vorkrisenjahr 2019 (BMU, 2021) berücksichtigt, so müsste die Emissionsentwicklung der Pkw- und Lkw-Flotte zum Jahr 2030 sogar um insgesamt 30 % sinken, um bei gleichbleibender Emissionsverteilung das Sektorziel Verkehr erreichen zu können. Weitere Reduktionen der verkehrsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen können dabei über verschiedene Hebel wie eine noch schnellere Elektrifizierung der Flotte, eine Verringerung der Gesamtfahrleistung, eine stärkere Verkehrsverlagerung hin zu umweltfreundlicheren Verkehrsmitteln oder weitere politische Maßnahmen erfolgen (UBA, 2022).

Zudem müssen die restlichen Transportmodi (Luft-, Schifffahrt und Schienenverkehr) ebenfalls eine Reduktion erzielen.

Neben der (technologischen) Erneuerung des Flottenbestands und weiteren (politischen) Möglichkeiten zur Reduktion von Treibhausgasen im Verkehr darf das Sektorziel der Energiewirtschaft nicht aus den Augen verloren werden, besonders bei strombetriebenen Fahrzeugen, die im Verkehr keine (direkten) Emissionen haben. Durch einen wachsenden Anteil batterieelektrischer Fahrzeuge in der Flotte nimmt der Strombedarf weiter zu, der ebenfalls treibhausgasneutral produziert werden soll bzw. muss.

#### 4.8 Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen Pkw und Lkw

Zusätzlich zu den mit dem DLR VECTOR21-Szenariomodell simulierten Antriebsstrangszenerarien werden im Folgenden zwei weitere Szenarien zur Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen bei Pkw und Lkw beschrieben. Hieraus abgeleitet werden damit erstmals zusätzliche Nachfragen für Komponenten der Fahrzeugautomatisierung, wie z. B. LiDAR, Radar und Kamerasysteme, und so werden weitere Wertschöpfungspotenziale für die Automobilindustrie auf europäischer Ebene ermittelt und quantifiziert.



Diese Automatisierungsszenarien sind nicht Ergebnis eigener modellgestützter Simulationen, sondern basieren auf Literatur- und Metaanalysen zur erwarteten Geschwindigkeit des Markthochlaufs unterschiedlicher automatisierter Fahrfunktionen im Pkw- und Lkw-Bereich sowie auf Experteneinschätzungen und -erwartungen. Unsicherheiten bestehen dabei hinsichtlich des Zeitpunkts der tatsächlichen technologischen und marktlichen Verfügbarkeit der unterschiedlichen SAE-Level im Fahrzeug, der Entwicklung der politischen und gesetzlichen Rahmenbedingungen für das automatisierte und autonome Fahren, der Komponenten- und Kostenentwicklung sowie des resultierenden Marktanteils in den verschiedenen Fahrzeugsegmenten bei Pkw und Lkw in Europa. Ein weiterer Unsicherheitsfaktor sind die Auswirkungen von vollautomatisierten oder autonom fahrenden Systemen auf das Mobilitätssystem insgesamt: Die zunehmende Marktdurchdringung dieser Systeme könnte dazu führen, dass durch vermehrte Nutzung von „Mobility-as-a-Service“-Angeboten die Anzahl der verkauften Fahrzeuge pro Jahr in der Zukunft fällt und damit das potenzielle Marktvolumen bzw. Wertschöpfungspotenziale geringer ausfallen als dargestellt. In dieser Studie wird diese mögliche Entwicklung nicht berücksichtigt, sondern analog der DLR VECTOR21-Antriebsstrangszszenarien von konstanten bzw. leicht steigenden Absatzzahlen in Europa bis 2050 ausgegangen. Die folgende Analyse stellt somit eine Annäherung an eine wissenschaftlich fundierte Modellanalyse dar. Sie hat vorrangig zum Ziel, zusätz-

liche Potenziale aus der Fahrzeugautomatisierung und -vernetzung für Wertschöpfung und Beschäftigung abzuschätzen. In einem ersten Schritt werden die möglichen Zeitpunkte der technologischen und marktlichen Verfügbarkeit der unterschiedlichen SAE-Level anhand von Metaanalysen untersucht. Hierfür herangezogen wurden insgesamt 67 nationale und internationale Studien und Veröffentlichungen im Zeitraum von 2013 bis 2021. Ca. 200 Datenpunkte zur zeitlichen Verfügbarkeit automatisierter Fahrfunktionen inkl. der jeweiligen Bandbreiten je SAE-Level 2 bis 5 konnten generiert werden. Diese sind als sog. „Boxplots“ in Abbildung 82 dargestellt.

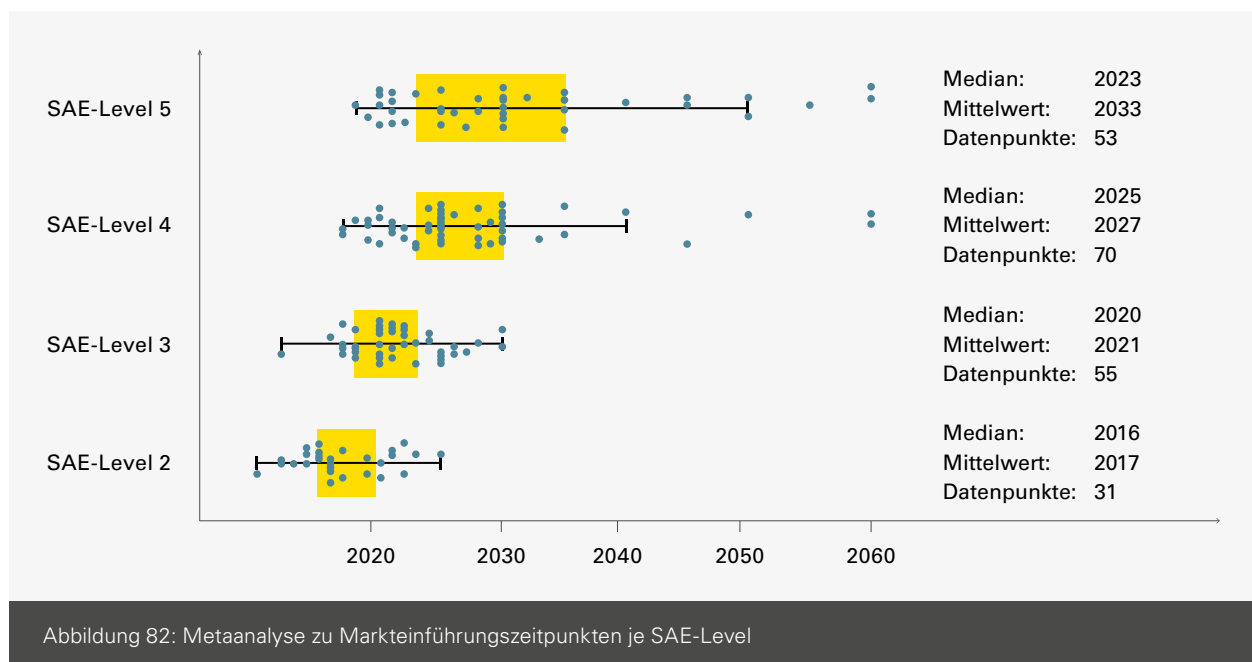


Abbildung 82: Metaanalyse zu Markteinführungszeitpunkten je SAE-Level

Zu erkennen sind die mit steigendem SAE-Level zunehmenden Abweichungen der Aussagen zu Zeitpunkten der Marktverfügbarkeit. Insbesondere bei SAE-Level 5 gibt es einige extreme Angaben, die sogar die Jahre 2075 und 2100 umfassen (diese sind in o. g. Abbildung nicht mehr dargestellt). Die Einführung von SAE-Level 3 wurde in o. g. Studien für das Jahr 2020 (Median) bzw. 2021 (Mittelwert) erwartet, die reale Einführung fand im Jahr 2022 statt. Die Zeitpunkte der Marktverfügbarkeit der weiteren SAE-Level 4 und 5 werden an die Mittelwerte der Auswertung angelehnt und umfassen so für die folgenden Automatisierungsszenarien für Pkw und Lkw die Jahre 2027 (SAE-Level 4) bzw. 2033 (SAE-Level 5).

In einem weiteren Schritt wurde die zeitliche Entwicklung der Marktanteile je Automatisierungsfunktion für jeweils den segmentspezifischen Pkw- und Lkw-Markt ermittelt. Hierzu sind die in der Metaanalyse ermittelten Angaben aus aktuellen Veröffentlichungen und Studien mit Experteneinschätzungen und -erwartungen kombiniert worden. Die Darstellungen im Folgenden bauen laut Expertenaussagen auf eher progressiven Entwicklungen der Rahmenbedingungen für das automatisierte und vernetzte Fahren in Europa auf.

Im Pkw-Segment wurden im Jahr 2020 noch ca. 20 % nicht-assistierte (Level 0) und ca. 66 % assistierte Fahrzeuge (Level 1) zugelassen. Die Erwartung ist, dass diese ab 2024 aufgrund

EU-Verordnung komplett von teilautomatisierten Pkw ersetzt werden. Alle Pkw-Neuzulassungen ab diesem Zeitpunkt entsprechen dann mindestens SAE-Level 2 und nutzen u. a. adaptive Geschwindigkeits-, Notbrems- sowie Spurhalteassistenten (BMDV, 2023). Diese teilautomatisierten Fahrzeuge werden im dargestellten Sensitivitätsszenario über den gesamten Zeitraum bis 2050 – jedoch mit abnehmender Tendenz – nachgefragt, insbesondere im kleinen Fahrzeugsegment aufgrund kostensensitiver Kundengruppen. Im Jahr 2025 haben ca. 86 % der Pkw-Neuzulassungen Level-2- und ca. 14 % Level-3-Systeme installiert. SAE-Level 3 (ab 2023 verfügbar) spielt im kleinen Segment kaum eine Rolle und wird auch nur teilweise im mittleren Segment relevant, dort insbesondere in der gehobenen Mittelklasse. Größere Anteile kann das hoch automatisierte Fahren v. a. im großen Fahrzeugsegment gewinnen, wird aber auch dort relativ schnell durch Level 4 ersetzt. Dieses ist ab 2027 im L-Segment, dann mit je zwei Jahren Verzögerung auch im M- und S-Segment verfügbar.

Im Jahr 2030 besitzen ca. 70 % der Neuzulassungen Level-2-, ca. 25 % Level-3- und ca. 5 % Level-4-Systeme. Vollständig autonom fahrende Fahrzeuge sind im Markt ab 2033 verfügbar, sie erreichen 2040 einen Anteil von ca. 17 % (Level 4: 38 %; Level 3: 5 %; Level 2: 40 %). Im Jahr 2050 haben sie dann in diesem Szenario einen Anteil von 30 % an den Pkw-Neuzulassungen (Level 4: 40 %, Level 2: 30 %).

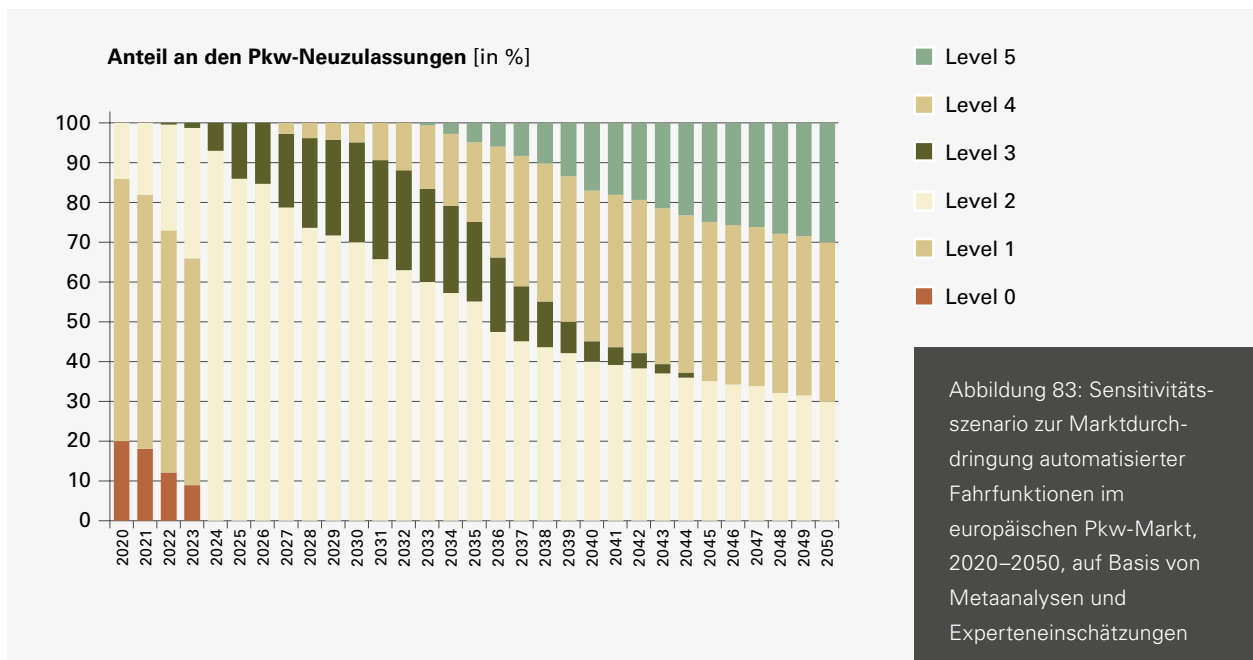
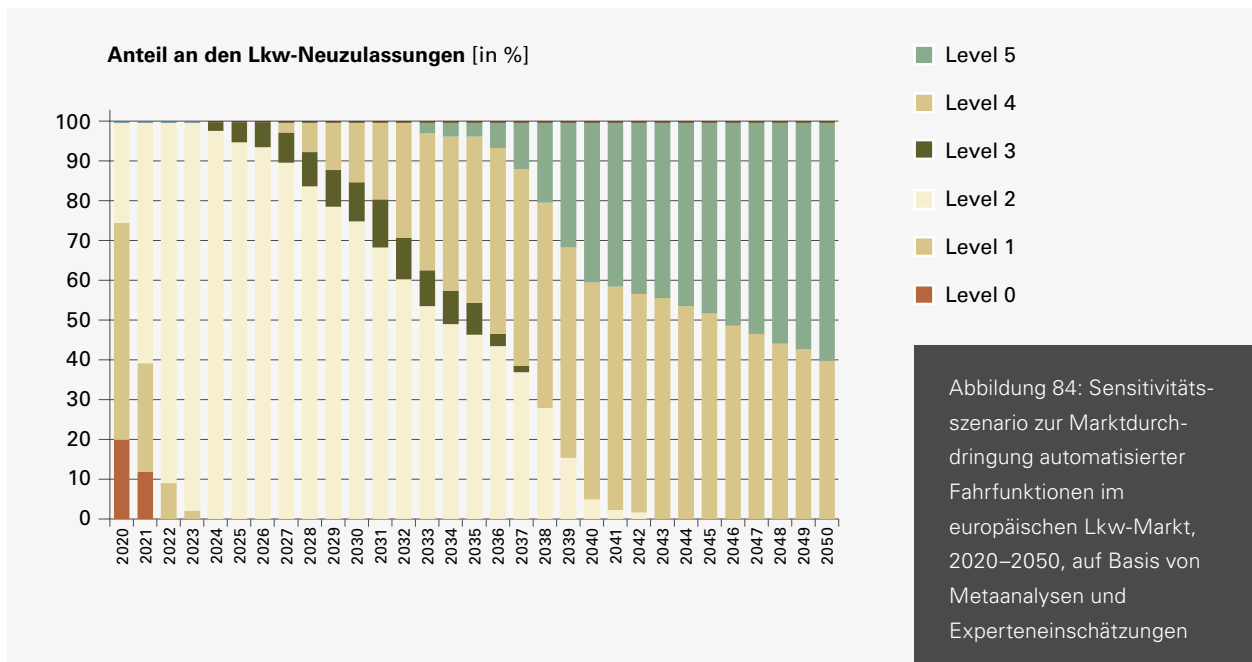


Abbildung 83: Sensitivitätsszenario zur Marktdurchdringung automatisierter Fahrfunktionen im europäischen Pkw-Markt, 2020–2050, auf Basis von Metaanalysen und Experteneinschätzungen

Quelle: Eigene Darstellung DLR, 2023



Im Lkw-Segment werden alle Neuzulassungen bis zum Jahr 2024 ebenfalls teilautomatisiert sein und damit mindestens Level 2 umfassen. Aufgrund der kürzeren Produktzyklen im Nutzfahrzeugbereich setzen sich diese Systeme in größeren Anteilen und frühzeitiger als im Pkw-Bereich durch und dominieren den Markt bis ca. 2030. In diesem Jahr haben ca. 75 % der Lkw-Neuzulassungen Level-2-, ca. 10 % Level-3- und bereits ca. 15 % Level-4-Systeme installiert. In der wettbewerbsintensiven und kostensensitiven Nutzfahrzeugbranche wird davon ausgegangen, dass hoch automatisierte Fahrzeuge (Level 3) sich in nur geringem Umfang durchsetzen können und relativ schnell durch vollautomatisierte Fahrzeuge (Level 4) ersetzt werden. Dieses ist ab 2027 im N3- und N2-Segment („Autobahn-pilot“) verfügbar und kommt in diesem Szenario ab 2033 auch im N1-Segment („City-pilot“) zum Einsatz.

Im Jahr 2035 besitzen ca. 3 % der Neuzulassungen Level 5-, ca. 42 % Level-4-, ca. 8 % Level-3- und ca. 47 % Level-2-Systeme. Vollständig autonom fahrende Fahrzeuge sind im Markt ab 2033 verfügbar, sie erreichen 2050 einen Anteil von ca. 60 % (Level 4: 40 %). Das Lkw-Segment wäre damit in diesem Sensitivitätsszenario ab diesem Zeitpunkt potenziell vollständig automatisiert.

Für die Ableitung von Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekten aus diesen Sensitivitätsszenarien (siehe Kapitel 5) ist es notwendig, die Komponentenstückzahlen zu ermitteln, die sich aus dem Markthochlauf automatisierter Fahrfunktionen im Pkw- und Lkw-Segment ergeben. Diese werden im Folgenden kumuliert für die Jahre 2020, 2025, 2030, 2040 und 2050 dargestellt. Die theoretische Nachfrage auf Basis des Bedarfs des europäischen Markts kumuliert für Pkw und Lkw ist in Tabelle 17 dargestellt.

|                                     | Komponenten                      | 2020  | 2025  | 2030  | 2040  | 2050  |
|-------------------------------------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Automatisierungsszenario Pkw</b> | Ultraschallsensoren              | 71,49 | 94,23 | 93,45 | 92,73 | 92,24 |
|                                     | Radarsysteme                     | 18,67 | 41,88 | 43,61 | 63,88 | 69,72 |
|                                     | LiDAR-Systeme                    | -     | 1,47  | 3,12  | 6,18  | 7,18  |
|                                     | Kamerasysteme                    | 2,78  | 25,34 | 30,11 | 39,15 | 42,04 |
|                                     | Kommunikationsmodule (DSRC, V2X) | 15,89 | 20,94 | 20,76 | 34,62 | 45,11 |
|                                     | Positionierungsmodule (GNSS)     | 7,94  | 10,47 | 10,38 | 17,31 | 22,56 |
|                                     | Steuergeräte/CPU                 | 7,94  | 10,47 | 10,38 | 17,31 | 22,56 |
| <b>Automatisierungsszenario Lkw</b> | Ultraschallsensoren              | 13,57 | 17,40 | 17,84 | 18,78 | 19,71 |
|                                     | Radarsysteme                     | 3,97  | 7,73  | 9,12  | 16,28 | 17,52 |
|                                     | LiDAR-Systeme                    | -     | 0,1   | 0,5   | 1,98  | 2,19  |
|                                     | Kamerasysteme                    | 0,96  | 4,16  | 5,45  | 10,12 | 10,95 |
|                                     | Kommunikationsmodule (DSRC, V2X) | 3,02  | 3,87  | 3,96  | 10,90 | 14,89 |
|                                     | Positionierungsmodule (GNSS)     | 1,51  | 1,93  | 1,98  | 5,44  | 7,45  |
|                                     | Steuergeräte/CPU                 | 1,51  | 1,93  | 1,98  | 5,44  | 7,45  |

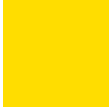
Quelle: Eigene Darstellung DLR, 2023

Tabelle 17: Stückzahlentwicklung relevanter Pkw- und Lkw-Automatisierungskomponenten [in Mio. Stück]



# 05

## **Beschäftigungseffekte der Elektromobilität und des automatisierten Fahrens**





# 05

## Beschäftigungseffekte der Elektromobilität und des automatisierten Fahrens

### In Kürze

- Der Wegfall von Komponenten des verbrennungsmotorischen Antriebsstrangs (Fade-out) und der Markthochlauf von Komponenten für Elektromobilität sowie für das automatisierte Fahren (Fade-in) haben auf das Automobilcluster in Baden-Württemberg einen deutlichen Effekt: Im Szenario „Business-as-usual“ ergibt sich für 2030 ein Beschäftigungsrückgang um ca. 8%, im Szenario „Progressiv“ um ca. 14%. Bis 2040 fällt der Beschäftigungseffekt durch den vollständigen Wegfall des Verbrennungsmotors rechnerisch sehr viel stärker aus (über -30%).
- Die Auswirkungen auf das gesamte Cluster können nur dann als beherrschbar angesehen werden, wenn die Fade-in-Effekte in vollem Umfang realisiert werden. Das bedarf jedoch gemeinsamer und erheblicher Anstrengungen von Unternehmen, Politik und Gesellschaft in Bezug auf Investitionen in Standorte, den Umbau von FuE und der Produktion auf neue Technologien sowie in großem Umfang den Aufbau neuer Kompetenzen bei den Beschäftigten mit passenden Qualifizierungsangeboten.
- Die detaillierte Betrachtung einzelner Clustersegmente macht jedoch deutlich, dass die Produktionsstandorte für Komponenten und Teile sowie Forschung und Entwicklung in sehr viel stärkerem Maß vom Beschäftigungsrückgang betroffen sind – schon im Szenario „Business-as-usual“ entfällt die Hälfte des

Arbeitsvolumens. Insbesondere an den Produktionsstandorten des Antriebsstrangs führen erwartbare Rationalisierungseffekte und Standortverlagerungen zu noch größeren Beschäftigungsverlusten. Damit sind zentrale Segmente des baden-württembergischen Innovationsclusters gefährdet.

Die in Kapitel 4 entwickelten DLR VECTOR21-Szenarien modellieren für unterschiedliche politische, gesetzliche und technologische Rahmenbedingungen zwei Pfade eines Markthochlaufs verschiedener Pkw- und Lkw-Antriebstechniken im zeitlichen Verlauf bis 2050 in Europa. Zum Stand 2030 wird zwischen beiden Szenarien „Business-as-usual“ und „Progressiv“ die unterschiedliche Geschwindigkeit im Markthochlauf batterieelektrischer Fahrzeuge und die Abnahme von Pkw mit Verbrennungsmotor deutlich. Im März 2023 haben die Mitgliedsstaaten der Europäischen Union einem Nullemissionsziel für neue Pkw und leichte Nutzfahrzeuge bis zum Jahr 2035 zugestimmt. Dies kann als Verbot der Neuzulassung von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor angesehen werden. Ausgenommen werden Verbrennungsmotoren, die nur mit CO<sub>2</sub>-neutralen synthetischen Kraftstoffen betrieben werden können. In den Szenarien dominieren dann sowohl bei Pkw als auch bei Lkw die batterieelektrischen Antriebe, allerdings gewinnt die Brennstoffzelle insbesondere im Lkw-Segment Bedeutung. Auf den Stückzahlen dieser beiden Szenarien aufbauend werden zusätzlich Marktpotenziale in Europa für Komponenten des automatisierten Fahrens dargestellt. Die beiden Szenarien stellen mögliche Pfade für die Marktentwicklung in Europa bis 2040 dar. Die Ausgestaltung der zugrundeliegenden Annahmen kann in großen Teilen von der Politik beeinflusst werden. Allerdings liegen die meisten Einflussmöglichkeiten in für Baden-Württemberg exogenen, also von

außen bestimmten Faktoren. Auf Basis der modellierten Szenarien zur Elektromobilität und der Experteneinschätzung zur Marktentwicklung des automatisierten Fahrens werden im Folgenden die daraus resultierenden Beschäftigungs- und Wertschöpfungseffekte im baden-württembergischen Automobilcluster untersucht. Betrachtet werden Fade-out- und Fade-in-Effekte, also ein Rückgang von Beschäftigung und Wertschöpfung, insbesondere durch die Abnahme beim verbrennungsmotorischen Antriebsstrang und den Aufbau von Beschäftigung durch die Zunahme batterieelektrischer Fahrzeuge, durch zusätzliches Wertschöpfungs- und Beschäftigungsvolumen mit Komponenten des automatisierten Fahrens und durch den Aufbau einer Energieversorgung und der Ladeinfrastruktur für Elektromobilität. Die Beschäftigungschancen und -risiken werden für die Jahre 2030 und 2040 für das im dritten Kapitel beschriebene Automobilcluster dargestellt. Dadurch wird die unterschiedliche Betroffenheit der Clustersegmente und zentraler Beschäftigtengruppen durch den Wandel des Antriebsstrangs deutlich.

Die hier dargestellte Betroffenheit von Beschäftigten darf jedoch nicht als Prognose im Sinne einer Voraussage der tatsächlichen Beschäftigung in den Jahren 2030 und 2040 verstanden werden, sondern als Ableitung einer plausiblen Entwicklung aus Marktpotenzialen, die für betriebliche und politische Entscheidungen Orientierung gibt. Über die zukünftigen Beschäftigungs- und Wertschöpfungspotenziale in Baden-Württemberg wird betriebswirtschaftlich von den Unternehmen der Automobilindustrie entschieden, die stärker oder schwächer durch weitere Stakeholder und Rahmenbedingungen beeinflusst werden können. Diese sehr komplexen Einflüsse lassen sich nicht in dem verwendeten Modell abbilden. Sie stellen jedoch für das Eintreten der dargestellten Beschäftigungs- und Wertschöpfungseffekte wichtige Voraussetzungen und mögliche Stellgrößen dar und werden in einer quali-

tativen Bewertung dargestellt. Ergänzend werden für die Beschäftigungseffekte der Elektromobilität und für die Effekte der Komponenten des automatisierten Fahrens Sensitivitätsbetrachtungen für Verschiebungen der Marktanteile baden-württembergischer Unternehmen am europäischen Gesamtmarkt berechnet. Der europäische Markt wird mit der Ausdifferenzierung in weitgehend eigenständige Produktionsnetzwerke in den drei Weltmärkten zum Bezugsraum der baden-württembergischen Produktion, die Strategie „local for local“ ist bis 2030 weitgehend umgesetzt. Die Modellannahmen treffen bis 2030 mit hoher Wahrscheinlichkeit zu. Für den erheblich längeren Zeitraum bis 2040 werden die Berechnungen fortgeführt, um die Größenordnungen der Veränderungen darzustellen. Inwieweit sich durch Änderungen der Rahmenbedingungen die Plausibilität der Annahmen bis dahin fortsetzt, lässt sich heute nicht sagen. Hier steigen Unsicherheiten in den Berechnungen gerade bei einem kleinräumigen Zuschnitt wie Baden-Württemberg an. Für Standortentscheidungen und damit für die Beschäftigungsentwicklung in Baden-Württemberg gibt es drei wichtige Prämissen.

**Einbindung in Auslandsaktivitäten:** Viele Unternehmen der baden-württembergischen Automobilindustrie sind weltweit tätig – sowohl Großunternehmen als auch Mittelständler beziehungsweise in der Zulieferindustrie auch Unternehmen der Tier-2- und Tier-3-Ebene. Die Covid-19-Pandemie in den Jahren 2020 und 2021 und die seitdem anhaltenden Störungen in Lieferketten haben sich in den letzten drei Jahren in merklichen Produktionsrückgängen niedergeschlagen. Die Unternehmen haben ihre Resilienz mit betrieblichen Maßnahmen erhöht, müssen deren Umfang jedoch gegen Maßnahmen zur Kostensenkung abwägen. Außerdem besteht bei einigen Rohstoffen und Komponenten eine erhebliche Abhängigkeit von anderen Ländern. Auch werden nach einer langen Phase mit einer – aus europäischer Sicht – Ausweitung des Welthandels erhebliche

Handelsrisiken in Bezug auf China oder die USA, aber auch andere Länder erwartet. Jedoch sind auf europäischer Ebene einige Initiativen angestoßen worden, um Abhängigkeiten beispielsweise bei Rohstoffen und Teilen (Chips, Batteriezellen) zu verringern und um Handelsbeziehungen zu stabilisieren. Trotzdem wird auch zukünftig eine anhaltende und möglicherweise zunehmende Unsicherheit für Unternehmen erwartet. Die Beschäftigung kann bei diesen Störungen mit Arbeitsmarktinstrumenten wie Kurzarbeit befristet relativ stabil gehalten werden, wie sich in der Pandemie gezeigt hat. Bei anhaltenden Unsicherheiten können in den Unternehmen andere Maßnahmen umgesetzt werden, beispielsweise die schon in den 2000er Jahren diskutierte Aufspaltung der Beschäftigten in Stamm- und Randbelegschaften (Blien et al., 2012; Flecker und Holtgrewe, 2008). Unter anderem zur Verringerung betrieblicher Risiken treiben die OEM die Differenzierung von drei Produktionsnetzwerken in den Kernmärkten EU, USA und Asien/China voran, die die Zulieferer nachvollziehen müssen (e-mobil BW, 2022a).

**Anhaltender Druck zur Kostenoptimierung:** Die Automobilindustrie steht vor einem Investitionsdilemma, in dem hohe Ausgaben für die Transformation niedrigeren Margen aus den neuen Produkten gegenüberstehen. Das gilt vor allem für die Zulieferindustrie, die weiterhin gezwungen ist, die Kosten laufend zu optimieren. Darauf zielen beispielsweise die von zahlreichen Unternehmen derzeit geplanten oder umgesetzten Verlagerungen von Produktion vor allem nach Osteuropa ab, mit denen Personalkosten, aber auch Energiekosten eingespart werden sollen. Auch die Verringerung der Variantenvielfalt dient der Verringerung des FuE- sowie des Produktionsaufwands. Dabei zeigen sich zwei aktuell für baden-württembergische Standorte relevante Trends: Zum einen betreffen Verlagerungspläne in Konzernstrategien mittlerweile auch Standorte bzw. Bereiche, die zwar rentabel sind, aus deren Verlagerung aber noch höhere Gewinnmargen erwartet werden. Das gilt auch für die von einigen Unternehmen verfolgte Strategie des „Last Man Standing“, nach der Marktführer darauf bauen, bis zuletzt von Produkten für den Verbrennungsmotor zu profitieren. Im anhaltenden Preisdruck wird diese möglicherweise für die Unternehmen insgesamt erfolgversprechende Strategie eher von ausländischen Standorten bedient. Zum anderen umfassen Verlagerungspläne schon seit einigen Jahren Verwaltungsbereiche und aktuell auch Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten. Das bedeutet, dass realistische Verlagerungsoptionen nicht mehr nur in Produktionsbereichen bestehen, sondern praktisch alle Unternehmensbereiche umfassen.

### **Kein Automatismus bei einem Produktionsaufbau für neue Komponenten:**

Die Stärke des baden-württembergischen Automobilclusters im Antriebsstrang des Verbrennungsmotors und in den Premiumfahrzeugen überträgt sich nicht automatisch auf Elektrofahrzeuge und automatisiertes Fahren. In Konkurrenz mit neuen Wettbewerbern müssen die baden-württembergischen Hersteller auch bei Elektrofahrzeugen und hoch automatisierten Fahrzeugen technologisch mindestens konkurrenzfähig bleiben, um ähnliche Marktanteile und Gewinnmargen wie bei Komponenten des verbrennungsmotorischen Antriebsstrangs generieren zu können. Auch bei den Zulieferern sind große Anstrengungen erforderlich, um mit neuen Konkurrenten und in den neuen Technologien Schritt zu halten. Zudem werden Konzernserfolge nicht zwangsläufig an baden-württembergischen Standorten umgesetzt, sondern an Orten der erwarteten Marktpotenziale. Diese werden bei der Elektromobilität und beim automatisierten Fahren neben Europa auch stark in Asien gesehen. Durch die Dominanz asiatischer Hersteller bei der Fertigung von Batteriezellen hat sich ein relevanter Anteil der Wertschöpfung für batterieelektrische Fahrzeuge nach Asien verschoben (im Vergleich von Golf VIII und ID.3 hat sich ein Anteil von ca. 20 % der deutschen bzw. europäischen Wertschöpfung im Antriebsstrang nach Asien verlagert, im Vergleich der S-Klasse und des EQS ist es sogar ein Anteil von ca. 40 %; e-mobil BW, 2022a).

### **Aufbau von Batterieproduktion in Deutschland**

In Deutschland sollen in den nächsten Jahren Produktionskapazitäten für Batterien (im Umfang von mehr als 545,5 GWh) aufgebaut werden. Auch Standorte in Baden-Württemberg sind darunter: Ellwangen (Aufbau einer Pilotlinie durch Varta), Willstätt (kleine Zellproduktion durch Leclanché, Ausbau mit der polnischen Eneris Group) und Tübingen (Cellforce für Porsche). Als Kapazitäten sind zusammen mindestens 6,5 GWh geplant.

Die Automobilhersteller sind außerdem bei der Zusammenführung einzelner Komponenten zu Batteriesystemen tätig, so baut die Mercedes-Benz Group ein Produktionsnetzwerk für Batteriesysteme in Stuttgart-Hedelfingen, Brühl und Sindelfingen auf.

Während die Standorte für Batterieproduktion in Deutschland etwa 20 % der in Europa

**vorgesehenen Gesamtkapazität ausmachen, beträgt der Anteil Baden-Württembergs nur etwa 2 % und liegt damit deutlich unter den bisherigen Umsatz- und Beschäftigungsanteilen des Bundeslands an der europäischen Automobilindustrie.**

**(Battery-News, 2023a; AMS, 2023)**

Zusätzlich zu den dargestellten Voraussetzungen haben die Prämissen der Strukturstudie 2019 weiter Bestand: Ein Rückgang bei den Neuzulassungen von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor um ca. 23 % (z. B. im Szenario „Business-as-usual“ bis 2030) kann zu einer vollständigen Standortschließung führen, wenn durch den Rückgang betriebswirtschaftliche Schwellenwerte wie Fixkosten oder die Rentabilitätsschwelle unterschritten werden. Die erheblichen Kostensteigerungen bei den Energie- oder den Materialkosten im Jahr 2022 und in der ersten Hälfte des Jahres 2023 verstärken diese Auswirkungen von Umsatzrückgängen. So kann eine Kostensteigerung um 4 bis 5 % in der Zulieferindustrie bei einer bislang noch auskömmlichen Gewinnmarge von 3 bis 4 % ein Unternehmen bereits in die Verlustzone bringen. Diese möglichen Schließungen führen zu Marktberäuberungen, die aber auch – zumindest kurzfristig – zu einem Anstieg von Umsatz und Beschäftigung an anderen Standorten in Baden-Württemberg führen können.

Dieses Paradox war in den letzten Jahren an einigen Produktionsstandorten zu beobachten, die Komponenten für Verbrennungsmotoren herstellen: Einige baden-württembergische Standorte haben von der Verringerung der Variantenvielfalt, dem Stopp von Neuentwicklungen und der Verlängerung von Produktlaufzeiten profitiert, weil ihre Produkte nicht von den Streichungen betroffen waren. Durch die Kürzungen bei anderen ergaben sich für sie höhere Stückzahlen oder längere Projektlaufzeiten und oft sehr hohe Auslastungen.

Außerdem wird die Umstellung auf Elektrofahrzeuge zumindest in den nächsten Jahren noch zu einer neuen Aufteilung der Wertschöpfungskette zwischen OEM und der Zulieferindustrie führen. Die Zulieferer leisten derzeit etwa 80 % der Branchenwertschöpfung, ihr Anteil ist über Jahrzehnte stetig gewachsen (e-mobil BW, 2022a; Schwarz-Kocher und Stieler, 2019). Sie können durch die Produktionsverlagerung nach Osteuropa Systeme und Komponenten deutlich kostengünstiger als die OEM anbieten und besitzen das Know-how für

Produkt- und Produktionsinnovationen. Es wird aber deutlich, dass OEM wie die Mercedes-Benz Group AG oder die Volkswagen AG in der Transformation bisherige Wertschöpfungsanteile von Zulieferern wieder selbst übernehmen, um eigene Kompetenzen aufzubauen und Beschäftigung an ihren Standorten abzusichern. Damit verlieren allerdings die Zulieferer bisherige Geschäftsfelder.

Schon diese Prämissen machen deutlich, dass der Erhalt von Wertschöpfung und Beschäftigung im baden-württembergischen Automobilcluster erheblicher Anstrengungen bedarf. Darüber hinaus zeigt die detaillierte Analyse der Beschäftigungseffekte durch Elektromobilität und automatisiertes Fahren weitere Impulse für die Absicherung von Wertschöpfung und Beschäftigung durch die Industriepolitik in Baden-Württemberg auf.

#### **Methodisches Vorgehen und Erweiterungen gegenüber der Strukturstudie 2019**

Die Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte aus der Elektromobilität leiten sich aus den Markthochlaufszszenarien des DLR VECTOR21-Szenariomodells ab und werden durch spezifische Annahmen zur Betroffenheit für verschiedene Clustersegmente von allgemeinen Branchentrends und vom Wandel zur Elektromobilität ergänzt und in rechnerische Beschäftigungseffekte übersetzt. Diese quantitative Darstellung wird um eine qualitative Darstellung der Chancen und Risiken sowie der Gestaltungsoptionen ergänzt.

Am Ende werden die Beschäftigungseffekte für das gesamte Cluster zusammengefasst. Die Betroffenheit von der Transformation hängt dabei insbesondere von der Spezialisierung auf den Antriebsstrang und vom Zeitverzug bei der Umsetzung der Elektromobilität im Nutzfahrzeugsektor gegenüber dem Pkw-Sektor ab.

Neu ist gegenüber der Darstellung in der Strukturstudie 2019 die Änderung einiger zentraler Annahmen zum Branchenwachstum und zur Marktentwicklung, die getrennte Darstellung für Pkw und Lkw, die Aufnahme der Energieversorgung und der Ladeinfrastruktur in die Clusterdarstellung sowie die erstmalige

### Abschätzung von Beschäftigungseffekten durch Komponenten des automatisierten Fahrens.

Durch diese Änderungen, aber auch durch einen Wechsel der Zuordnung von Beschäftigten zwischen Herstellern (WZ 29.1) und Zulieferern (WZ 29.3) (Bezeichnungen der Wirtschaftsstatistik, siehe Kapitel 3), ist keine direkte Fortschreibung der Clusterdarstellung aus der Strukturstudie 2019 möglich.

## 5.1 Aktueller Forschungsstand

Seit über zehn Jahren befassen sich Studien mit den Auswirkungen der Elektromobilität auf die Beschäftigung an deutschen Automobilstandorten. Die jeweils ermittelten Beschäftigungseffekte hängen wesentlich vom zeitlichen Markthochlauf der Elektrofahrzeuge und vom jeweils zugrundeliegenden Verhältnis von batterieelektrischen und anderen Antriebskonzepten ab. Außerdem sind die Studien und damit die Aussagefähigkeit der Ergebnisse auf unterschiedliche Ausschnitte der Wertschöpfungskette bzw. Beschäftigtengruppen sowie Bezugsgebiete zugeschnitten und berücksichtigen in unterschiedlichem Umfang Rationalisierungseffekte. Die Branchengrenzen sind nicht statisch und verändern sich durch neue Geschäftsmodelle und neue Marktteilnehmer. Studien mit Daten aus der Zeit vor 2020 sind schwer auf die aktuelle Situation zu übertragen, gleichzeitig gibt es aus den Jahren 2021 und 2022 nur sehr wenige Studien und Veröffentlichungen zu den Beschäftigungseffekten in der Branche.

In den frühen Studien wurde eher ein Beschäftigungsaufbau erwartet, der sich aus höheren Anteilen von Hybridfahrzeugen mit höheren Beschäftigungseffekten ggb. Fahrzeugen mit Benzin-Verbrennungsmotor (G-ICE) oder BEV ergeben sollte (z. B. ELAB 1 von Fhg IAO, DLR FK und IMU, 2012; Schade et al., 2014). Dagegen gehen Studien der letzten Jahre von einem Rückgang der Beschäftigung aus.

Für Deutschland kommt die Studie „Autojobs unter Strom“ bis 2030 zu einem Wachstum um 25.000 Beschäftigte, was einem Beschäftigungsaufbau um wenige Prozent entspräche. Dabei kompensieren Zuwächse insbesondere aus steigendem Marktvolumen und einem geänderten Produktmix Beschäftigungsverluste aus Produktivitätssteigerungen, Elektromobilität und der Verlagerung von Arbeitsplätzen. Durch autonomes und vernetztes Fahren könnten 20.000 Arbeitsplätze aufgebaut

werden, davon 14.000 bei den OEM und 6.000 bei den Zulieferern (Agora Verkehrswende, 2021a).

IW Consult identifiziert in der Studie „Wirtschaftliche Bedeutung regionaler Automobilnetzwerke in Deutschland“ 118 von 401 Kreisen und kreisfreien Städten Deutschlands als „besonders durch die Automobilindustrie geprägt“, dort arbeitet knapp ein Viertel der mit der Automobilwirtschaft assoziierten Beschäftigten. 40 Regionen mit ca. 260.000 Beschäftigten sind in besonderem Ausmaß durch den konventionellen Antriebsstrang des Verbrennungsmotors geprägt. Die Studie gibt die Transformationsbetroffenheit für Regionen an, nicht jedoch für Beschäftigtenzahlen. Als „besonders betroffen“ werden in Baden-Württemberg der Landkreis Rastatt (Rang 7), der Stadtkreis Stuttgart (Rang 18), der Landkreis Calw (Rang 21), die Stadt Pforzheim (Rang 22), der Hohenlohekreis (Rang 26), die Stadt Mannheim (Rang 31), der Landkreis Rottweil (Rang 32), der Landkreis Ludwigsburg (Rang 33), der Landkreis Heilbronn (Rang 35) und der Bodenseekreis (Rang 37) genannt (IW Consult und Fraunhofer IAO, 2021).

Die Studie „Electric Vehicle Transition Impact Assessment Report 2020-2040“ (CLEPA und strategy&, 2021) prognostiziert für Deutschland einen Verlust von Arbeitsplätzen in der Antriebsstrang-abhängigen Zulieferindustrie von rund 14 % bis 2030, gefolgt von einem deutlichen Rückgang der Beschäftigung um 60 % bis 2040, wenn zu diesem Zeitpunkt rund 84 % der Beschäftigten für die Produktion von Elektrofahrzeugen zuständig sind. Aufgrund hoher Personalkosten sei Deutschland für eine „Last Man Standing“-Strategie ein unattraktiver Standort. Die wachsende Beschäftigung im Bereich der Elektromobilität beruht auch auf der großen Erfahrung in der Automobilproduktion.

Für Volkswagen kommt die Studie „Beschäftigung 2030. Auswirkungen von Elektromobilität und Digitalisierung auf die Qualität und Quantität der Beschäftigung bei Volkswagen“ zu einem Rückgang um 12 % in der Fahrzeugfertigung und einem Beschäftigungserhalt bzw. moderaten Beschäftigungsverlusten in den internen Dienstleistungen sowie einem Beschäftigungsaufbau (bis zu 7 %) durch den Ausbau der IT-Bereiche. Die Autor:innen schreiben der Elektromobilität nur einen geringen Beschäftigungseffekt zu, stärker wirken sich Optimierungen der Arbeitsprozesse aus. Herausfordernder als die quantitativen Beschäftigungseffekte sind die Verschiebungen der Tätigkeiten, die einen hohen Qualifizierungsbedarf auslösen (Hermann et al., 2020).

Außerdem liegt aus dem Jahr 2018 die Studie „ELAB 2.0 – Wirkungen der Fahrzeugelektrifizierung auf die Beschäftigung am Standort Deutschland“ (Fhg IAO, 2018) vor. Ohne Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen geht die Studie bis 2030 von einem Beschäftigungsrückgang zwischen –11 % und –35 % der vom Antriebsstrang abhängigen Beschäftigten aus, je nachdem wie hoch der erwartete BEV-Anteil ist. Unter Berücksichtigung der Produktivitätssteigerung fällt der Beschäftigungsrückgang noch deutlicher aus (–37 % bis –53 %) (Fhg IAO, 2018, S. 7).

Ausdrücklich auf Baden-Württemberg beziehen sich drei Studien: Das Projekt „Mobiles Baden-Württemberg – Wege der Transformation zu einer nachhaltigen Mobilität“ sieht bis zum Jahr 2030 einen möglichen Beschäftigungsrückgang zwischen 50.000 und 160.000 Arbeitsplätzen vor – je nach Szenario mit unterschiedlicher Anzahl von Neuzulassungen bzw. abgesetzten Fahrzeugen und unterschiedlichen Anteilen elektrischer Antriebe (Baden-Württemberg Stiftung, 2017). In „Strukturanalyse und Perspektiven des Wirtschaftsstandortes Baden-Württemberg im nationalen und internationalen Vergleich“ kommen Berger et al. (2017) zu folgendem Ergebnis: „23 % der Beschäftigten in der baden-württembergischen Automobilproduktion sind mit der Herstellung von Produkten befasst, die potenziell von einem Wandel zur Elektromobilität negativ betroffen sind. [...] Der Anteil der Beschäftigten, die potenziell positiv von der Elektromobilität betroffene Produkte herstellen, ist deutlich geringer und liegt in Baden-Württemberg bei 3,3 % der gesamten im Bereich Automobilproduktion Beschäftigten.“ Damit könnten in Baden-Württemberg bis zu 61.000 Beschäftigte negativ von Elektromobilität betroffen sein, potenziell positiv betroffen sind bis zu 8.700 Beschäftigte. Die „Strukturstudie BW<sup>e</sup> mobil 2019 – Transformation durch Elektromobilität und Perspektiven der Digitalisierung“ (e-mobil BW, 2019a) sieht je nach Szenario bis 2030 einen moderaten Beschäftigungsverlust von 7 % im gesamten Automobilcluster, der jedoch in den Antriebsstrang-abhängigen Produktionsstandorten erheblich größer ausfällt (bis zu 56 %) und damit das Cluster in seinem Wertschöpfungskern bedroht.

In Fortschreibung der „Strukturstudie 2019“ bezieht sich auch die „Strukturstudie 2023“ ausdrücklich auf das baden-württembergische Automobilcluster und berücksichtigt hier neben der Automobilindustrie (entsprechend der WZ 29) auch Zulieferer aus anderen Branchen des Verarbeitenden Gewerbes und aus Dienstleistungsbranchen, indem ihre Vorleistungen über eine Input-Output-Analyse erfasst werden. Durch diesen Zuschnitt leistet sie einen besonderen Beitrag zur Ableitung

der regionalisierten Betroffenheit, zur Frage nach Standortstrategien und industriepolitischen Handlungsansätzen. Dazu werden im folgenden Text zunächst die Beschäftigungseffekte der Elektromobilität (Kapitel 5.2) und des automatisierten Fahrens (Kapitel 5.3) dargestellt. Kapitel 5.4 fasst die Effekte für das ganze Cluster zusammen.

## 5.2 Beschäftigungseffekte der Elektromobilität

In der Transformation überlagert sich der Beschäftigungsverlust durch den Rückgang konventioneller, verbrennungsmotorbasierter Komponenten (Fade-out) mit einem Beschäftigungszuwachs bei neuen Komponenten der Elektromobilität und des automatisierten Fahrens (Fade-in). Die Beschäftigungseffekte bis 2030 und 2040 müssen für die relevanten Wertschöpfungsgruppen differenziert beurteilt werden. Deshalb wird in einer mehrstufigen Abschätzung ermittelt, in welcher Größenordnung sich die Beschäftigung verändern kann. Zunächst wird für die nicht-Antriebsstrang-abhängigen Clustersegmente die Veränderung bis 2030 bzw. 2040 aufgrund aktueller und langfristiger Branchentrends abgeschätzt (Kapitel 5.2.1). Für den Clusterkern und das Wertschöpfungscluster wird danach in mehreren Schritten dargestellt, welche Beschäftigtengruppen vom Wandel zur Elektromobilität in welchem Umfang betroffen sind (Kapitel 5.2.2), hier treffen Fade-out- und Fade-in-Effekte aufeinander. Betrachtet wird der direkte Beschäftigungseffekt durch Veränderungen bei den Komponentenzahlen, ein indirekter Effekt z. B. aufgrund des Verlustes von Marktanteilen oder aufgrund von verändertem Mobilitätsverhalten bleibt außen vor. Den Blick auf das vollständige Automobilcluster mit Kfz-Gewerbe und Energieversorgung/Ladeinfrastruktur vervollständigen dann Kapitel 5.2.3 und 5.2.4. Dort werden Ergebnisse aus aktuellen Studien der e-mobil BW zum Kfz-Gewerbe und zur Energieversorgung bzw. Ladeinfrastruktur übernommen (e-mobil BW, 2023a; e-mobil BW, 2021a). Zusätzlich werden rechnerische, das heißt theoretisch mögliche, Beschäftigungseffekte in Baden-Württemberg durch die Partizipation am Marktwachstum für Komponenten des automatisierten Fahrens abgeschätzt und in Kapitel 5.3 beschrieben. Eine Zusammenfassung der Beschäftigungseffekte mit einer einordnenden Gegenüberstellung anderer Trends, wie beispielsweise des demografischen Wandels, schließt diesen Abschnitt als Kapitel 5.4 ab.



Für die detaillierten Berechnungen und Ableitung von Handlungsempfehlungen wird das Cluster weiter in einzelne Segmente unterteilt, die sich jedoch teilweise überlagern. Basis hierfür ist die Clusterdarstellung am Ende von Kapitel 3. Für die weitere Betrachtung sind vor allem die folgenden Segmente von Bedeutung.

- Eine wesentliche Unterscheidung im Clusterkern und im Wertschöpfungscluster betrifft die Antriebsstrang-Abhängigkeit der Beschäftigten (genauer dazu Kapitel 5.2.2). Etwa ein Drittel der Beschäftigten ist in dieser Betrachtung direkt vom Antriebsstrang und damit vom Wandel zur Elektromobilität betroffen (ca. 120.000 Beschäftigte).<sup>14</sup>

- Die Identifikation von FuE-Beschäftigten bei den OEM sowie den anderen Branchen des Verarbeitenden Gewerbes im Clusterkern (ca. 66.000 Beschäftigte, davon fast die Hälfte bei den Automobilzulieferern) zuzüglich 16.100 Beschäftigte bei Entwicklungsdienstleistern ist wichtig für Hinweise auf den Qualifizierungsbedarf.

- Mit der Trennung zwischen Pkw- und Lkw-Beschäftigten im Verhältnis des jeweiligen Beschäftigtenanteils bei den Herstellern (WZ 29.101 und 29.102) werden etwa 345.200 Beschäftigte des Clusterkerns und des Wertschöpfungsclusters dem Pkw-Segment und 47.100 Beschäftigte dem Lkw-Segment zugeordnet. Diese Annahme wird mit

14 | Zur besseren Lesbarkeit werden die Zahlen im Text gerundet, detailliert werden die Veränderungen in Kapitel 5.4 und hier in den Tabellen 26, 27 und 28 dargestellt.

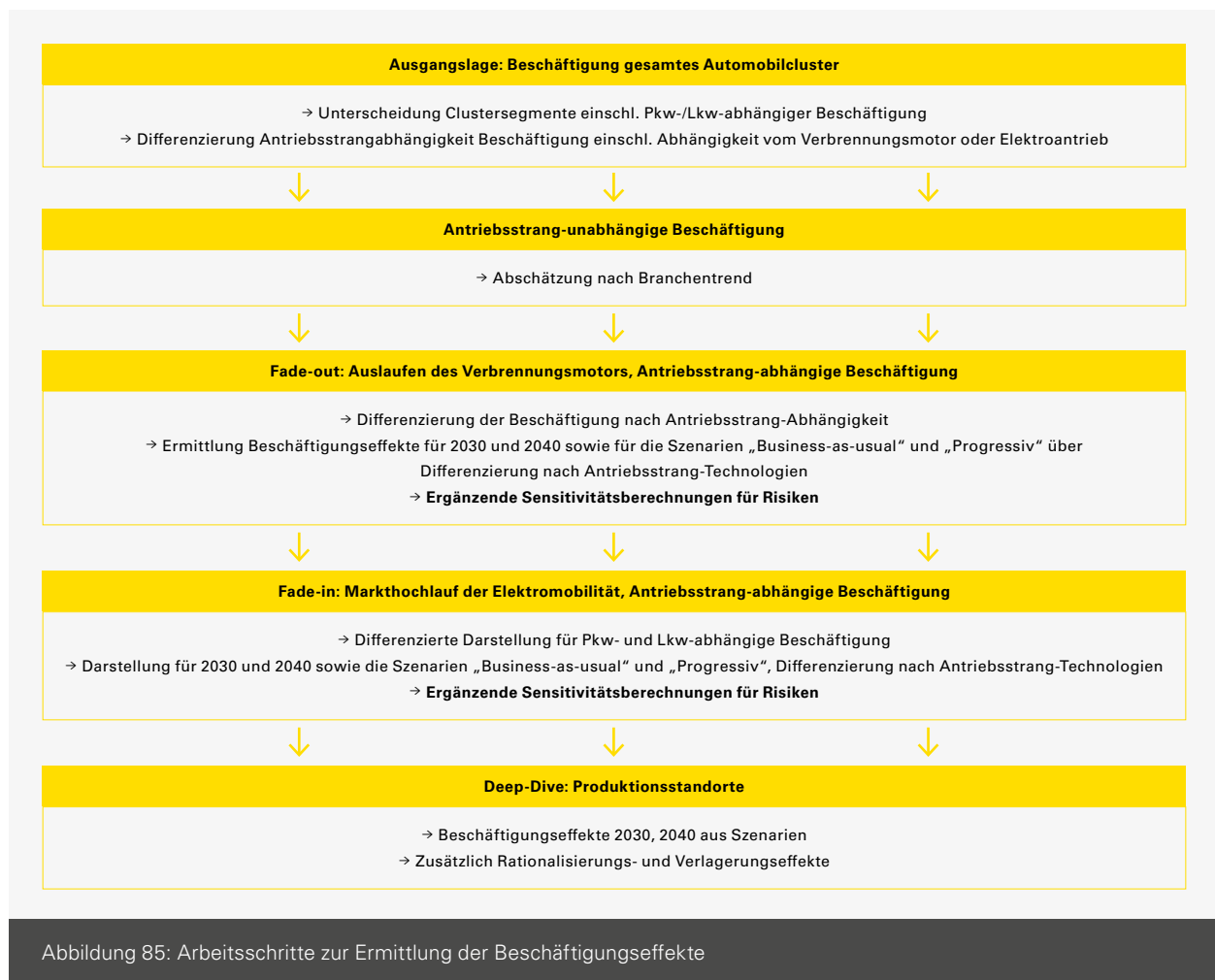


Abbildung 85: Arbeitsschritte zur Ermittlung der Beschäftigungseffekte

Datenauswertungen der Exportwerte für Neufahrzeuge des VDA (2022a) gestützt. Damit können für diese Beschäftigtengruppen unterschiedliche Annahmen bei der Marktdurchdringung neuer Antriebskonzepte berücksichtigt werden.

### 5.2.1 Auswirkungen grundlegender Branchentrends auf das baden-württembergische Automobilcluster

Die Perspektive der Gesamtbranche ist im dritten Jahr nach der Pandemie schwierig einzuschätzen. In Kapitel 3 wurde bereits beschrieben, dass die Pkw-Produktion in Deutschland von 2010 mit fast 6 Mio. Fahrzeugen bis 2019 auf 4,5 Mio. Fahrzeuge zurückging. Im Jahr 2022 wurden dann 3,2 Mio. Fahrzeuge in Deutschland produziert – nach einem drastischen, aber kurzen Einbruch in der Pandemie und anhaltenden Schwierigkeiten bei der Teileversorgung. So hat die Mercedes-Benz Group AG noch im März 2023 in Bremen und im Motorenwerk Untertürkheim Kurzarbeit angemeldet (Automobilwoche, 2023b). Im Jahr 2022 lag die Produktion in Deutschland etwa ein Viertel unter der von 2019. Im Gegensatz zur Inlandsproduktion haben die deutschen Hersteller ihre Produktionskapazitäten im Ausland erheblich auf mittlerweile 75 % ihrer Gesamtkapazität ausgebaut. Dabei haben die Mercedes-Benz Group mit 40 % und Porsche mit fast 80 % noch relativ hohe Produktionsanteile in Deutschland.

Trotz der starken Einbrüche bei den Produktionszahlen ist der Umsatz sehr schnell wieder auf den baden-württembergischen Rekordwert von 135 Mrd. EUR angestiegen, der zu etwa zwei Dritteln bei den OEM entstanden ist. Und auch die Beschäftigung zeichnet die starken Schwankungen bei der Produktion nicht nach: Der langjährige Beschäftigungsaufbau scheint seit 2019 gestoppt, nach zwei Jahren mit stabiler Beschäftigung zeigt sich in den Jahren 2021 und 2022 ein leichter Rückgang, der eine Trendwende in der Beschäftigungsentwicklung in Baden-Württemberg markieren kann (NPM, 2020).

Als Erstes werden daher Auswirkungen grundlegender Branchentrends auf die nicht-Antriebsstrang-abhängigen Beschäftigten im Clusterkern und im Wertschöpfungscluster ermittelt. Die Zahl der Beschäftigten, deren Tätigkeit nicht direkt dem Antriebsstrang zuzuordnen ist, beläuft sich im Jahr 2022 auf rund 255.000 Beschäftigte bei Herstellern (Montagewerke, Verwaltung), Teilen der Zulieferer (WZ 29.3 und sonstige Branchen des Verarbeitenden Gewerbes) sowie Dienstleistern. Für die allgemeine Entwicklung dieser Clustersegmente wird bis

2030/2040 folgender Trend zugrunde gelegt: Der seit 2021 beobachtete langsame Beschäftigungsabbau in Baden-Württemberg wird sich bei den nicht-Antriebsstrang-abhängigen Beschäftigten im Clusterkern und im Wertschöpfungscluster fortsetzen.

Die zugrundeliegenden Szenarien gehen bis 2030 bzw. 2040 zwar von einem erneuten Zuwachs des Pkw-Markts in Europa auf etwas über 13 Mio. Fahrzeuge im Jahr 2025 aus, von dem deutsche OEM mit ihrem Umsatzanteil in Europa von etwa 40 % (ca. 5,2 Mio. Fahrzeuge) profitieren werden. Außerdem gibt es einen Trend zu teureren Fahrzeugen (z. B. Agora Verkehrswende, 2021a), von dem zumindest die Hersteller mit höheren Gewinnmargen profitieren können. Für die Zulieferer führen teurere Fahrzeuge mit höherwertigerer Ausstattung auch zu einem Umsatzwachstum, geringere Stückzahlen schränken jedoch ihre Wertschöpfung stärker als die der Hersteller ein, weil ihre Umsätze stärker stückzahlabhängig sind.

Allerdings hat die relativ stabile Beschäftigung in den Pandemie-jahren gezeigt, dass sich kurzfristige Personalanpassungen in der Automobilindustrie nicht zwingend in einem raschen Beschäftigungsabbau niederschlagen müssen, beispielsweise durch den Abbau von Arbeitszeitguthaben oder betrieblichen Flexkonten. Der erwartete Produktionsaufbau auf ein Niveau von vor der Pandemie wird mit großer Wahrscheinlichkeit nicht mit einem Personalaufbau in Baden-Württemberg umgesetzt, hier wird in weitere Effizienzsteigerungen investiert und Personalaufbau findet stattdessen an anderen Standorten statt. Das entspricht den Erwartungen von Betriebsräten aus einer aktuellen Betriebsbefragung bei Automobilzulieferern in Baden-Württemberg (Team Transformation, 2023). Bis 2030 wird der Aufbau von Produktionsnetzwerken in allen drei Weltmarktregionen weitgehend abgeschlossen sein, so dass lokale Produktionsnetzwerke die jeweiligen Märkte versorgen. Bereits in der Strukturstudie 2019 wurde beschrieben, dass das außereuropäische Wachstum zum großen Teil durch den Aufbau von Standorten vor Ort bedient wird (e-mobil BW, 2019a). Damit fällt auch der dort angesetzte Wachstumseffekt weg, und die baden-württembergische Automobilindustrie profitiert in den Jahren 2030 und 2040 nicht länger von einem zusätzlichen Wachstum durch Exporte in außereuropäische Länder (vgl. VDA, 2021). Auch im Maschinen- und Anlagenbau als Ausrüster der Automobilindustrie wird kein deutliches Wachstum erwartet (VDMA, 2023).

Vielmehr werden bis 2030 Rationalisierungseffekte aus der fortgesetzten Digitalisierung der Produktion und in der Ver-



waltung wirksam, die in Summe auch nicht durch einen Beschäftigungszuwachs in manchen Unternehmensbereichen wie der IT ausgeglichen werden. Deshalb wird bis zu den Betrachtungszeitpunkten 2030 und 2040 mit einem Beschäftigungsrückgang um 1 % pro Jahr gerechnet. Dieser Effekt hängt nicht unmittelbar vom Wandel der Antriebstechnologien ab, so dass diese Beschäftigungseffekte szenariounabhängig sind. Der dargestellte Beschäftigungsrückgang geht jedoch von der Prämisse aus, dass baden-württembergische Automobilunternehmen ihre derzeit weltweit führende technologische Position in ähnliche Marktanteile übersetzen können und neue Wertschöpfung an baden-württembergischen Standorten realisiert wird. Ein optionaler Entwicklungspfad kann zu einem stärkeren Beschäftigungsrückgang führen: So empfehlen Hermann et al. (2020) für Volkswagen einen ehrgeizigeren Zeitplan bei der digitalen Transformation als ihn das Unternehmen selbst vorgesehen hat. Dadurch werden früher Rationalisierungseffekte wirksam.

Eine Sensitivitätsrechnung mit einem stärkeren Rückgang (-2%/Jahr) lässt die nicht-Antriebsstrang-abhängige Beschäftigung im Jahr 2030 auf 214.000 und im Jahr 2040 auf 151.500 Beschäftigte zurückgehen.

Qualitative Bewertung

- Ein Rückgang um 1 % jährlich (ca. 2.500 Beschäftigte) ist eine sehr gemäßigte Annahme, die auf einer anhaltend starken Wettbewerbsposition der beschäftigungsstarken baden-württembergischen Unternehmen (insbesondere Mercedes-Benz Group AG, Porsche AG, Robert Bosch GmbH und ZF Friedrichshafen AG) und Unternehmensentscheidungen zum Beschäftigungserhalt in Baden-Württemberg aufsetzt. Auch schlagen sich in dieser Annahme nur niedrige Rationalisierungseffekte nieder.

- Ein Beschäftigungsrückgang kann auch in größerem Umfang eintreten, wenn die deutschen Hersteller insbesondere bei Elektrofahrzeugen deutlich Marktanteile an ausländische Hersteller verlieren (Automobilwoche, 2023c). Möglich ist auch ein merklicher Nachfragerückgang infolge weiterer Krisen oder eine politische Einflussnahme zulasten eines motorisierten Individualverkehrs mit privaten Fahrzeugen. In diesen Fällen ist denkbar, dass im Sinne eines „sozialverträglichen Beschäftigungsabbaus“ vor allem der demografisch bedingte Rückgang des Erwerbspersonenpotenzials von den Unternehmen genutzt wird, indem die Stellen altersgemäß ausscheidender Beschäftigter nicht nachbesetzt werden. Ein Beschäftigungsabbau in dieser Form kann ein Mehrfaches der hier beschriebenen Veränderung umfassen. Die Beschäftigungseffekte des demografischen Wandels werden in der zusammenfassenden Darstellung der Beschäftigungseffekte (Kapitel 5.3) beschrieben.

**5.2.2 Beschäftigungseffekte durch die Elektromobilität (Fade-in und Fade-out)**

Der Ausgangswert der Antriebsstrang-abhängigen Beschäftigten wird in den verschiedenen Clustersegmenten ermittelt. Das Modell berechnet die Beschäftigungseffekte, indem bei der Neuwagenproduktion durch den Rückgang bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor in Forschung und Entwicklung sowie in der Produktion dieser Fahrzeuge Arbeit wegfällt (Fade-out) und daraus folgend die Beschäftigten ihre Arbeit verlieren. Im Gegenzug wird Beschäftigung für Produktionssteigerungen bei Elektrofahrzeugen aufgebaut (Fade-in). Die rein quantitative Betrachtung im Modell lässt den Wechsel der Beschäftigten von der „alten“ in die „neue“ Produktion zunächst außer Betracht. Der Übergang der Beschäftigten in die neue Produktion sollte der Normalfall sein, tritt aber – wie die qualitative Bewertung zum Ende zeigen wird – nicht zwingend ein.

| Clustersegment                                      | Beschäftigung 2022 | Beschäftigung 2030 | Beschäftigung 2040 |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Nicht-Antriebsstrang-abhängige Beschäftigung</b> | Ca. 255.000        | Ca. 234.000        | Ca. 210.000        |

Tabelle 18: Quantifizierte Beschäftigung im Clustersegment „nicht-Antriebsstrang-abhängige Beschäftigung“ in den Jahren 2030 und 2040

Quelle: eigene Berechnungen DLR und IMU, 2023

Zunächst wird die Beschäftigung zwischen Pkw und Lkw aufgeteilt, um hier Beschäftigungseffekte unterscheiden zu können. In den Beschäftigungsstatistiken der Bundesagentur für Arbeit werden bei den Herstellern 88 % der Beschäftigten der Pkw- und 12 % der Beschäftigten der Lkw- bzw. Nutzfahrzeugproduktion zugeordnet, auf ein ähnliches Verhältnis weisen Statistiken des VDA (2022a) hin. Diese Richtgröße wird für die Aufteilung der Clustersegmente angesetzt. Damit werden im Clusterkern und im Wertschöpfungscluster etwa 47.000 Beschäftigte dem Lkw- und 345.000 Beschäftigten dem Pkw-Bereich zugeordnet.

Nicht alle Beschäftigten der Automobilbranche fertigen Teile und Komponenten für den Antriebsstrang im Pkw. Das verwendete Modell differenziert danach, dass die Wertschöpfung vieler Pkw-Komponenten (z. B. Karosserie, Interieur und Ähnliches) nicht unmittelbar vom Wandel zur Elektromobilität betroffen ist, sondern nur die Wertschöpfungsanteile des Antriebsstrangs. So ergeben sich für die Beschäftigten im Montagewerk der OEM durch die Umstellung auf BEV nur geringfügige negative Beschäftigungseffekte in der Montage der Antriebsstränge, während Presswerk, Rohbau und Lackierstraße unverändert bleiben.<sup>15</sup> Auch für Zulieferer aus den Bereichen der Karosserie, des Interieurs oder des Exterieurs ändert sich durch den Wechsel des Antriebskonzepts wenig. Deshalb wurden in Kapitel 5.2.1 bereits für die nicht-Antriebsstrang-abhängigen Beschäftigten im Clusterkern und im Wertschöpfungscluster Beschäftigungseffekte aus allgemeinen Branchentrends berechnet.

Jetzt werden die Beschäftigungseffekte der Elektromobilität auf die Antriebsstrang-abhängigen Beschäftigten ermittelt. Hier bestehen für unterschiedliche Wertschöpfungssegmente unterschiedliche Annahmen. Bei den OEM besteht in den Komponentenwerken eine sehr hohe Abhängigkeit, z. B. im Motorenbau der Mercedes-Benz Group in Untertürkheim oder bei der Motorenfertigung von Porsche in Zuffenhausen. Sie fließen vollständig in die Antriebsstrang-abhängige Beschäftigung ein. Andere Segmente wie die Zulieferer oder die Arbeitnehmerüberlassung im Clusterkern sind nur zum Teil Antriebsstrang-abhängig. Die Abschätzung für diese Segmente des Clusterkerns und des Wertschöpfungsclusters stützen sich auf mehrere Datenquellen: Die Annahme zum Anteil basierte in

der alten Strukturstudie auf Betriebsrätebefragungen und Auswertungen der Produktionsstatistik bei Antriebsstrang-abhängigen Produktgruppen. Auf Basis einer aktuellen Betriebsbefragung (Januar 2022) durch das Team Transformation der IG Metall und Auswertungen von Daten des VDA wird für die Zulieferindustrie sowie für Entwicklungsdienstleister und Arbeitnehmerüberlassungen im Clusterkern mit einer etwas niedrigeren Antriebsstrangabhängigkeit als 2019 gerechnet. Damit wird berücksichtigt, dass die Unternehmen schon ihre Abhängigkeit von Produkten des Verbrennungsmotors reduziert haben. Die Annahmen differenzieren darüber hinaus die Besonderheit des Maschinenbaus, der dem Clusterkern zugeordnet wird: Hierzu gehören Unternehmen, die Kolben und Kurbelwellen herstellen und wie die Komponentenwerke der OEM eine sehr hohe Abhängigkeit vom Antriebsstrang haben.

Über diesen Weg werden ca. 120.000 Beschäftigte des aktuellen Clusters als Antriebsstrang-abhängig identifiziert, davon ca. 105.000 Beschäftigte im Pkw- und 15.000 Beschäftigte im Lkw-Bereich. Das sind etwa 30 % der Beschäftigten im Clusterkern und im Wertschöpfungscluster, der Wert weicht kaum von dem der Strukturstudie 2019 ab. Die Studie von IW-Consult (2021) kommt mit 28 % Antriebsstrang-abhängiger Beschäftigter in den produktionsnahen Bereichen auf einen ähnlichen Wert. Dieser Anteil zeigt die hohe Spezialisierung des baden-württembergischen Automobilclusters auf den Antriebsstrang. Für ganz Europa liegt der Beschäftigtenanteil bei ca. 9 % (CLEPA und strategy&, 2021).

Diese Beschäftigten teilen sich heute bereits auf Fahrzeuge und Komponenten für Verbrenner- und für Elektrofahrzeuge auf, hier hat sich die Ausgangslage gegenüber der vorherigen Studie geändert. Noch dominieren im Basisjahr der Szenarien (2020) Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor den europäischen Markt (Diesel-Pkw 28 %, Benziner 47 %, Hybridfahrzeuge 17 %), aber batterieelektrische Pkw machen mittlerweile einen Anteil von 5 % des europäischen Neuwagenmarkts aus. In der Ausgangslage der vorherigen Strukturstudie betrug der Anteil der batterieelektrischen Fahrzeuge an den Neuzulassungen in Deutschland unter 1 %, in Europa lagen BEV und PHEV zusammen bei 1,5 % des Neuwagenmarkts (vgl. KBA, 2017; ACEA, 2018). Deshalb werden die Antriebsstrang-abhängigen

15 | Die ELAB-2.0-Studie weist für den Einbau des Antriebsstrangs bei batterieelektrischen Fahrzeugen einen etwa ein Fünftel niedrigeren Personalaufwand aus als bei einem Fahrzeug mit Verbrennungsmotor (Bauer et al., 2019), und dies betrifft wiederum nur einen geringen Teil der ca. 42.400 Beschäftigten in der Montage der OEM. Eine Berücksichtigung dieses Beschäftigungseffektes in den Szenarien hätte Änderungen im niedrigen einstelligen Hunderterbereich zur Folge und wird in der weiteren Betrachtung vernachlässigt.

Beschäftigten den Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor (hier einschließlich Hybridfahrzeugen) und den batterieelektrischen Fahrzeugen zugeordnet. Der Arbeitsschritt ist methodisch erforderlich, um Beschäftigungseffekte durch den Rückgang von Verbrennerfahrzeugen und den Aufbau bei Elektrofahrzeugen möglichst plausibel abzuschätzen. Diese Trennung spiegelt die Unternehmensstrategie wider, Standorte auf einen der beiden Antriebsstränge zu spezialisieren. Bei flexiblen Produktionskonzepten gibt es dagegen einen fließenden Übergang der beiden Beschäftigungsfelder.

Die Zuordnung folgt nicht dem Verhältnis der Produktionszahlen für ICE und BEV. Denn bei den niedrigeren Stückzahlen für batterieelektrische Fahrzeuge ist der Automatisierungsgrad deutlich niedriger als bei den Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. Zugrunde gelegt wird dagegen eine Aufteilung zwischen Beschäftigten im ICE- und im BEV-Antriebsstrang, den die CLEPA in einer aktuellen Studie ermittelt hat. Hiernach beträgt der Anteil der Beschäftigten für batterieelektrische Fahrzeuge in Deutschland 11,9%, er liegt deutlich über den für die acht größten Automobilnationen Europas mit 7,2% (CLEPA und strategy&, 2021). Mit 17.900 Beschäftigten im BEV-Antriebsstrang entfällt damit auf Deutschland etwa die Hälfte der europäischen Beschäftigten.

Mit dieser Aufteilung werden in Baden-Württemberg aktuell ca. 92.000 Beschäftigte im Antriebsstrang des Pkw-Bereichs den Verbrennungsmotoren zugeordnet und etwa 13.000 Beschäftigte den Elektrofahrzeugen. Im Antriebsstrang des Lkw-Bereichs teilt sich die Beschäftigung auf in ca. 13.000 Beschäftigte bei den verbrennungsmotorischen Antriebssträngen und 2.000 Beschäftigte bei den elektrifizierten Antriebssträngen.

Auf dieser Basis können die Beschäftigungseffekte durch den Rückgang von Verbrennungsmotoren (Fade-out) und den Aufbau von Elektromobilität im Clusterkern und im Wertschöpfungscluster berechnet werden. Der Umfang und der zeitliche Verlauf des Arbeitsplatzabbaus richten sich nach den Annahmen zum Marktrückgang aus den zugrundeliegenden Szenarien.

Zunächst wird der Rückgang des Arbeitsvolumens durch den Wegfall von Pkw mit Verbrennungsmotor berechnet: Bei einer vollständigen Umstellung auf batterieelektrische Antriebe würden die Arbeitsplätze im Clusterkern und im Wertschöpfungscluster vollständig entfallen. In der Realität verringert sich der Anteil von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor zugunsten der

Fahrzeuge mit elektrifiziertem Antrieb allmählich: Entsprechend den Szenarien haben im Jahr 2030 ICE (vor allem Benzin) im Szenario „Business-as-usual“ noch einen Marktanteil von 55% und im progressiven Szenario einen Anteil von 38%; die Stückzahl fällt von 2020 bis 2030 auf 75% im Szenario „Business-as-usual“ auf 53% im Szenario „Progressiv“. Dieser Rückgang wird auf die Beschäftigung übertragen. Erst beim Blick auf das Jahr 2040 besteht keine Beschäftigung mehr für den verbrennungsmotorischen Antriebsstrang.

Die Ermittlung der Beschäftigungseffekte orientiert sich an den Veränderungen des europäischen Neuwagenmarkts, weil diese für die Zulieferindustrie mit dem größeren Anteil an den Antriebsstrang-abhängigen Beschäftigten maßgeblich sind. Während die Beschäftigung im Jahr 2022 noch eine breite Spanne bei den Antriebskonzepten abdeckt, schränkt sich dies in beiden Szenarien für 2030 bereits deutlich ein und läuft auf Benzin-Verbrennungsmotoren und batterieelektrische Antriebe als dominierende Antriebstechnologien hinaus. Im Jahr 2040 – nach dem Verbot von Verbrennungsmotoren für Pkw im Jahr 2035 – werden nur noch batterieelektrische und brennstoffzellenbasierte Antriebe produziert. Da in den Szenarien für 2030 bei den Verbrennungsmotoren der Benzinmotor deutlich dominiert (ca. 75%), orientiert sich die Berechnung der Beschäftigungseffekte an dessen Rückgang. Der so ermittelte Beschäftigungseffekt beläuft sich bis 2030 im Szenario „Business-as-usual“ auf ca. 20.500 Beschäftigte, im Szenario „Progressiv“ auf ca. 42.000 Beschäftigte, deren Arbeitsplätze durch den Rückgang von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor verloren gehen könnten.

Die verschiedenen Antriebskonzepte sind unterschiedlich personalintensiv, Hybridantriebe mit Verbrennungs- und Elektromotor sowie die Antriebsstränge mit Dieselmotoren haben gegenüber Antriebssträngen mit Benzinmotoren einen um 21% bzw. 27% höheren Personalaufwand (Bauer et al., 2019). Hier wurde eine zweite Sensitivitätsrechnung für die Beschäftigungseffekte unterschiedlicher Antriebskonzepte durchgeführt. Im Ergebnis führt die Einschränkung der Antriebskonzepte in den Szenarien „Business-as-usual“ und „Progressiv“ auf BEV und G-ICE gegenüber dem Mix an Antriebstechnologien im Ausgangsjahr zu einer um ca. 2.000 Personen geringeren Beschäftigung.

| Clustersegment  | Beschäftigung 2022 | Beschäftigung 2030      |                         | Beschäftigung 2040<br>„Business-as-usual“ und<br>„Progressiv“ |
|---|--------------------|-------------------------|-------------------------|---|
|   |                    | „Business-as-usual“     | „Progressiv“            |   |
| <b>Antriebsstrang-abhängige Beschäftigung für Pkw mit Verbrennungsmotor</b> | Ca. 92.000         | Ca. 71.500 Beschäftigte | Ca. 50.000 Beschäftigte | Keine Beschäftigten   |

Tabelle 19: Quantifizierte Beschäftigung im Clustersegment „Antriebsstrang-abhängige Beschäftigung für Pkw mit Verbrennungsmotor“ in den Jahren 2030 und 2040 und den Szenarien „Business-as-usual“ und „Progressiv“

Quelle: eigene Berechnungen DLR und IMU, 2023

#### Qualitative Bewertung

- In der Ausgangslage 2022 könnte der den Verbrennungsmotoren zugeordnete Beschäftigtenanteil unterschätzt werden, wenn die für Europa ermittelte Verteilung (88 % nach CLEPA und strategy&, 2021) die baden-württembergische Verteilung zu niedrig abbildet. Wären mehr Beschäftigte als hier hinterlegt für den Antriebsstrang mit Verbrennungsmotoren tätig, würden die negativen Beschäftigungseffekte etwas höher ausfallen – in der Größenordnung eines niedrigen dreistelligen Bereichs.
- Für die Strukturstudie 2019 wurde die im Antriebsstrang verbleibende Beschäftigung für Verbrennungsmotoren differenzierter daraufhin ermittelt, welche Marktanteile Benzin-, Diesel- und Hybridfahrzeuge hatten. Die ELAB-2.0-Studie (Bauer et al., 2019; aktuellere Gegenüberstellungen des Personalaufwands für verschiedene Antriebskonzepte liegen nicht vor) hat detailliert aufgezeigt, dass hinter den Antriebskonzepten unterschiedlich hohe Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte stehen. In der damaligen Diskussion wurde vor allem Hybridfahrzeugen mit einem hohen Beschäftigungsaufwand bei möglichem CO<sub>2</sub>-freiem Fahren eine hohe Bedeutung als Übergangstechnologie eingeräumt. Die Sensitivitätsrechnung zu den Beschäftigungseffekten verschiedener Antriebstechnologien zeigt, dass Diesel- und Hybridtechnologien die Beschäftigung im Automobilcluster leicht stabilisiert hätten. Die Szenarien für Fahrzeuge der Mittel- und der Oberklasse weisen höhere Anteile an Hybrid- und Dieselfahrzeugen aus. Insofern wirkt sich die Spezialisierung der baden-württembergischen Hersteller auf diese Fahrzeuge in den nächsten Jahren beschäftigungssichernd aus.

- Insbesondere für die OEM stellt die parallele Fertigung von Fahrzeugen mit Elektroantrieb und mit Verbrennungsmotor einen hohen Aufwand dar. Volumenproduzenten wie VW bauen derzeit Werke speziell auf die Produktion von Elektrofahrzeugen um, während Hersteller mit niedrigeren Stückzahlen auf eine flexible Produktion setzen, in deren Linien Fahrzeuge mit unterschiedlichen Antriebstechnologien gefertigt werden können. Mit einem schnellen Hochlauf batterieelektrischer Fahrzeuge kann es für die Unternehmen aus betriebswirtschaftlicher Sicht sinnvoll sein, die Variantenvielfalt bei Antrieben und weitere Investitionen in Verbrenner schneller als bisher vorgesehen zurückzufahren (Automobilwoche, 2023d; Automobilwoche, 2021d). Gleichwohl ist es möglich, dass der Ausstieg aus den Verbrennungsfahrzeugen schneller als in den Szenarien abgebildet vollzogen wird. Dann verringert sich die Zahl der in der Technologie verbliebenen Beschäftigten entsprechend stärker als hier dargestellt. Ein um 10 Prozentpunkte höherer Marktanteil der Elektrofahrzeuge bzw. ein entsprechend niedrigerer Marktanteil der Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor entspricht etwa 8.500 Beschäftigten in Baden-Württemberg, deren Arbeitsplätze zusätzlich verloren gehen.

Analog zum Vorgehen bei Pkw werden Beschäftigungseffekte bei Lkw abgeschätzt. Derzeit werden bei Lkw praktisch nur Dieselmotoren eingesetzt, Antriebe mit Erdgas und batterieelektrische Antriebe machen weniger als 1 % aus. Im Gegensatz zu den Pkw öffnet sich die Spanne in den betrachteten Szenarien im Jahr 2030, es kommen batterieelektrische Antriebe, aber auch Plug-in-Hybride auf Dieselmotorbasis (D-PHEV) und – allerdings in sehr geringen Anteilen – Fahrzeuge mit Brennstoffzellen dazu. Da derzeit nur eine Antriebsart vorherrscht, werden hier die Beschäftigungsrückgänge analog zu

| Clustersegment  | Beschäftigung 2022 | Beschäftigung 2030     |                        | Beschäftigung 2040<br>„Business-as-usual“ und<br>„Progressiv“ |
|---|--------------------|------------------------|------------------------|---|
|   |                    | „Business-as-usual“    | „Progressiv“           |   |
| <b>Antriebsstrang-abhängige Beschäftigung für Lkw mit Verbrennungsmotor</b> | Ca. 13.000         | Ca. 8.000 Beschäftigte | Ca. 4.000 Beschäftigte | Keine Beschäftigten   |

Tabelle 20: Quantifizierte Beschäftigung im Clustersegment „Antriebsstrang-abhängige Beschäftigung für Pkw mit Verbrennungsmotor“ in den Jahren 2030 und 2040 und den Szenarien „Business-as-usual“ und „Progressiv“

Quelle: eigene Berechnungen DLR und IMU, 2023

den Stückzahl-Veränderungen der zugrundeliegenden Szenarien berechnet. Sie betragen im „Business-as-usual“-Szenario ca. 5.000, im „Progressiv“-Szenario ca. 9.000 Beschäftigte. Gegenüber den Beschäftigungseffekten im Pkw-Bereich machen die Arbeitsplatzrückgänge im Lkw-Bereich etwa ein Sechstel der absoluten Zahlen aus.

#### Qualitative Bewertung

- Inwieweit dieser rechnerische Beschäftigungseffekt tatsächlich eintritt, hängt im Lkw-Segment sehr viel stärker von betrieblichen Entscheidungen ab als bei den Pkw. Gegenüber der Pkw-Produktion mit einer fast fünffach höheren Stückzahl bestehen hier die Produktionsnetzwerke von Herstellern und Zulieferern aus sehr viel weniger Standorten. Ein Ausbau oder eine Schließung von einzelnen Standorten wirkt sich deutlich auf die Beschäftigung dieses Clustersegments aus. Dies kann aber – wie in den Prämissen beschrieben – nicht in dem Modell abgebildet werden.
- Aufgrund höherer Margen bot das Lkw-Segment zumindest für Zulieferer vor der Pandemie eine Option neben dem kostengetriebenen Pkw-Segment, die Beschäftigung an deutschen und an baden-württembergischen Standorten sicherte (Schwarz-Kocher und Stieler, 2019). Doch aktuell macht die im März 2023 abgeschlossene Vereinbarung zur Standortsicherung für den Evobus-Standort Mannheim der Daimler Truck AG deutlich, dass auch hier Verlagerungsdruck in osteuropäische Länder besteht. Etwa 500 Arbeitsplätze im Karosseriebau werden nach Tschechien verlegt, im Gegenzug werden 10 Mio. EUR bis 2030 in die Standorte Mannheim und Neu-Ulm investiert (Daimler Truck AG, 2023).

Dem Beschäftigungsverlust steht der Beschäftigungsaufbau durch Elektrofahrzeuge (Fade-in) gegenüber. Hier beschreiben die zugrundeliegenden Szenarien für den europäischen Pkw-Markt für BEV bis 2030 eine Verzehnfachung („Business-as-usual“) bzw. fast eine Verfünffachung („Progressiv“) der Neuzulassungen in Europa, bis 2040 bei einem Komplettumstieg auf BEV sogar das Vierundzwanzigfache (es gibt neben BEV nur wenige hundert Fahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb). Dieses extreme Marktwachstum ergibt sich aus den derzeit verhältnismäßig niedrigen Stückzahlen. Das Modell berücksichtigt dieses starke Wachstum und die sich derzeit noch im Aufbau befindliche großmaßstäbliche Produktion durch den spezifischen Rechenweg des Fade-in. Der in der Strukturstudie 2019 gesetzte Zielwert von 8 % Anteil an der europäischen Produktion wird beibehalten. Änderungen werden über Sensitivitätsrechnungen dargestellt.

Durch einen möglichen Aufbau der Elektromobilität im Wertschöpfungscluster einschließlich des Wertschöpfungskerns entsteht im Szenario „Business-as-usual“ im Jahr 2030 ein zusätzliches Beschäftigungspotenzial von ca. 3.300 Stellen und im Szenario „Progressiv“ von ca. 4.100 Stellen. Im Jahr 2040 mit der klaren Dominanz batterieelektrischer Fahrzeuge beläuft sich die zusätzliche Beschäftigung auf ca. 7.700 Stellen. Das Ergebnis aus der Fortschreibung der bestehenden Beschäftigung ist in Tabelle 21 dargestellt.

| Clustersegment  | Beschäftigung 2022 | Beschäftigung 2030      |                         | Beschäftigung 2040<br>„Business-as-usual“ und<br>„Progressiv“ |
|---|--------------------|-------------------------|-------------------------|---|
|   |                    | „Business-as-usual“     | „Progressiv“            |   |
| <b>Antriebsstrang-abhängige Beschäftigung für elektrifizierte Pkw</b> | Ca. 13.000         | Ca. 16.300 Beschäftigte | Ca. 17.100 Beschäftigte | Ca. 20.700 Beschäftigte                                       |

Tabelle 21: Quantifizierte Beschäftigung im Clustersegment „Antriebsstrang-abhängige Beschäftigung für elektrifizierte Pkw“ in den Jahren 2030 und 2040 und den Szenarien „Business-as-usual“ und „Progressiv“

Quelle: eigene Berechnungen DLR und IMU, 2023

Mit einer Vergleichsrechnung wird die Plausibilität der Ergebnisse geprüft.

Die Studie zu Volkswagen (Hermann et al., 2020) weist in ihrem aktuellen Vergleich zum Personalaufwand für den Antriebsstrang eines ICE und eines BEV einen um 70% niedrigeren Personalaufwand für den BEV aus. Wird diese Reduzierung auf die Beschäftigtenzahlen in Baden-Württemberg übertragen, bestätigt sich die Größenordnung der Beschäftigungseffekte aus der Modellrechnung für die Strukturstudie.

Auch eine Übertragung der Ergebnisse anderer Studien auf Baden-Württemberg führt zu einem Beschäftigungspotenzial durch Elektromobilität im fünfstelligen Bereich: Die CLEPA-Studie (CLEPA und strategy&, 2021) erwartet für Deutschland eine Beschäftigung durch Elektromobilität von 39.600 Beschäftigten im Jahr 2030 und 57.300 Beschäftigten im Jahr 2040. Daraus können für Baden-Württemberg Beschäftigungseffekte von 9.200 Beschäftigten für 2030 und 14.300 Beschäftigten für 2040 abgeleitet werden.

In Sensitivitätsrechnungen können unterschiedliche Marktanteile der baden-württembergischen Unternehmen am europäischen Markt berücksichtigt werden: Könnte die baden-württembergische Automobilindustrie ihre starke Wettbewerbsposition am europäischen Markt auch in der Elektromobilität erreichen, dann würde sich die zusätzliche Beschäftigung um 5.800 im Szenario „Business-as-usual“ und um

8.000 Beschäftigte (12 %) im Szenario „Progressiv“ erhöhen. Im Jahr 2040 ergeben sich positive Beschäftigungseffekte in Höhe von 13.500. Der Effekt wirkt sich im gesamten Cluster lediglich um einen einstelligen Prozentbetrag aus, im zentralen Clustersegment des Antriebsstrangs fiele bei dem höheren Marktanteil der Beschäftigungszuwachs jedoch im Jahr 2030 um 15 bis 22 % höher und im Jahr 2040 sogar um 28 % höher aus. Ein Verlust von Marktanteilen um 3 Prozentpunkte gegenüber dem Zielwert (8 %) verringert die zusätzliche Beschäftigung auf 2.100 (2030, „Business-as-usual“), 2.900 (2030, „Progressiv“) und 4.800 (2040), damit reduziert sich die Beschäftigung in der Antriebsstrang-abhängigen Beschäftigung um 8 % (2030) und um 14 % (2040).

#### Qualitative Bewertung

- Das starke Marktwachstum bei BEV lässt bei der tatsächlichen Entwicklung noch eine breite Spanne zu. Veränderungen in den Größenordnungen der Szenarien können nicht in ein proportionales Beschäftigungswachstum übernommen werden, weil sich mit höheren Stückzahlen Skaleneffekte durch erheblich höhere Automatisierungsgrade in einem deutlich geringeren Beschäftigungswachstum niederschlagen werden. Hier handelt es sich auch nicht um einen niedrigen jährlichen Rationalisierungseffekt in einer Größenordnung von 1 bis 2 %, den viele Studien (Hermann et al., 2020; Agora Verkehrswende, 2021a) hinterlegen. Der Aufbau hochautomatisierter Produktionslinien wird zu deutlichen Effizienzsprüngen führen, beispielsweise hat Volkswagen beim Umbau des Werks in Zwickau die Automatisierung in der Endmontage von 17 auf 28 % und im Karosseriebau von 85 auf 89 % erhöht. Die aktuelle Studie zu den Beschäftigungseffekten bei Volkswagen sieht bei

Stückzahlen um 600.000 Stück bei Elektrofahrzeugen etwa eine Halbierung des Beschäftigungsaufwands; Agora Verkehrswende gibt für neue Komponenten jährliche Produktivitätszuwächse um 3 bis 5 % an (Automobil Produktion, 2020b; Herrmann et al., 2020; Agora Verkehrswende, 2021a). Bei einem Betrachtungszeitraum bis 2030 bzw. bis 2040 können sich diese jährlichen Effekte zu einer Halbierung des Personalaufwands summieren. Auch in Baden-Württemberg würde eine Produktion von Komponenten im Antriebsstrang hochautomatisiert sein.

- Der Beschäftigungsaufbau setzt die anhaltende Wettbewerbsfähigkeit der baden-württembergischen Zulieferer und Dienstleister voraus. Sie stehen bei der Elektromobilität vor allem in Konkurrenz zu US-amerikanischen und asiatischen Unternehmen, die derzeit auch in den deutschen Markt verstärkt mit technologisch und kostentechnisch konkurrenzfähigen oder z. T. überlegenen Produkten sowohl in Premium- als auch Mittel- und Kompaktwagensegmente eintreten. Bei der Umsetzung der Unternehmensstrategien in Strategien für baden-württembergische Standorte gibt es derzeit widersprüchliche Anzeichen: Einige Unternehmen äußern die Absicht, an den baden-württembergischen Standorten die Beschäftigung zu erhalten. Andere planen dagegen, die Beschäftigung für neue Komponenten an ausländischen Standorten aufzubauen (beispielsweise bei der Robert Bosch GmbH, siehe Stuttgarter Zeitung, 2023b). Dieser Unsicherheit wird in den dargestellten Sensitivitätsbetrachtungen mittels der Variation des zukünftigen Produktionsanteils baden-württembergischer Unternehmen am europäischen Gesamtmarkt Rechnung getragen.

- Eine höhere Beschäftigung kann sich aus der Steigerung der Wertschöpfungsumfänge baden-württembergischer Standorte ergeben, der Aufbau der Batteriezellenproduktion in Europa soll z. B. dazu beitragen, Wertschöpfungsumfänge aus Asien nach Europa zu holen (vgl. e-mobil BW, 2022a).
- Der Aufbau lokaler Wertschöpfung an baden-württembergischen Standorten setzt sowohl von den Unternehmen als auch von der Politik und der Gesellschaft ein hohes Engagement für neue Industriearbeitsplätze voraus. Genannt werden kann hier beispielsweise die Förderung der Batteriezellenfertigung, die politisch unterstützt wird und die hier in wenigen Jahren zu einer deutlichen Abkehr von einer auf Asien gerichteten Beschaffungsstrategie führte (noch 2016 wurden in Deutschland keine Batteriezellen gefertigt und der Aufbau einer eigenen Produktion wurde unter anderem von Betriebsräten gefordert) (Automobilwoche, 2016). Bei den mehrjährigen Planungszeiträumen der Automobilindustrie müssen jetzt Investitionsentscheidungen für einen deutlichen Arbeitsplatzaufbau bis 2030 getroffen werden. Letztlich hängen Standortentscheidungen von Unternehmen aber an betriebswirtschaftlichen Entscheidungskriterien und können auch gegen Standorte in Baden-Württemberg ausfallen. Zurückhaltende Investitionen baden-württembergischer Unternehmen für die deutschen Standorte (vgl. Kapitel 3.5) können als Indikator für einen ebenfalls zurückhaltenden Aufbau von Industriearbeitsplätzen gesehen werden.

Bei den Lkw findet ebenfalls ein starker Aufbau alternativer Antriebe statt, der allerdings im Vergleich zum Pkw-Markt zeitverzögert ist und der im Jahr 2040 mit 1,7 % einen kleinen

| Clustersegment  | Beschäftigung 2022 | Beschäftigung 2030     |                        | Beschäftigung 2040<br>„Business-as-usual“ und<br>„Progressiv“ |
|---|--------------------|------------------------|------------------------|---|
|   |                    | „Business-as-usual“    | „Progressiv“           |   |
| <b>Aufbau Antriebsstrang-abhängiger Beschäftigung für elektrifizierte Lkw</b> | Ca. 2.000          | Ca. 2.400 Beschäftigte | Ca. 2.400 Beschäftigte | Ca. 2.500 Beschäftigte  |

Tabelle 22: Quantifizierte Beschäftigung im Clustersegment „Antriebsstrang-abhängige Beschäftigung für elektrifizierte Lkw“ in den Jahren 2030 und 2040 und den Szenarien „Business-as-usual“ und „Progressiv“

Quelle: eigene Berechnungen DLR und IMU, 2023



Anteil von Brennstoffzellenfahrzeugen enthält. Die baden-württembergischen Lkw-Standorte werden vom Wachstum des europäischen Markts profitieren. Das wird in ein Beschäftigungswachstum in Baden-Württemberg übertragen. Ausgehend von 2.000 Beschäftigten wird für das Antriebsstrang-abhängige Wertschöpfungscluster einschließlich des Clusterkerns bis 2030 mit zusätzlichen 400 Beschäftigten und bis 2040 mit zusätzlichen 500 Beschäftigten gerechnet. Andere Studien zur Einordnung des Wachstumseffekts im Lkw-Segment liegen noch nicht vor.

#### Qualitative Bewertung

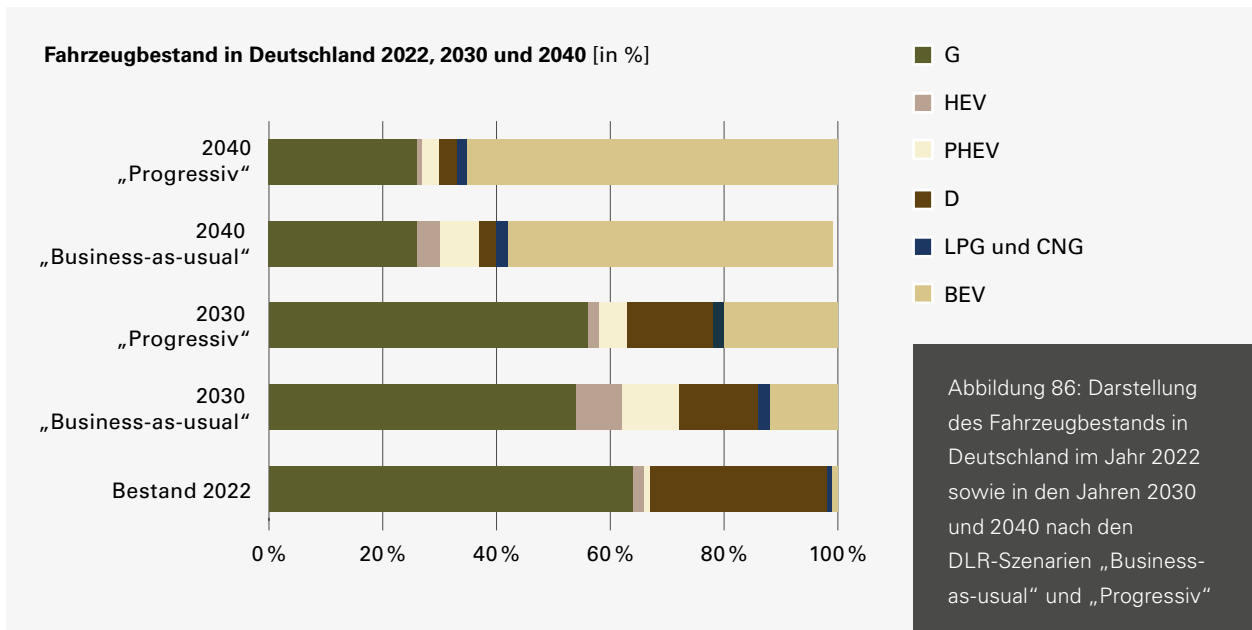
- Dieser Beschäftigungszuwachs im Modell um 400 bzw. 500 Beschäftigte liegt in der Größenordnung des allein für Cellcentric angekündigten Beschäftigungsaufbaus. Mit zahlreichen Standorten der Daimler Truck AG in Baden-Württemberg und der geplanten Produktion von Brennstoffzellen-Trucks durch Iveco in Ulm ist ein höherer Beschäftigungsaufbau in Baden-Württemberg wahrscheinlich.
- Das Modell fokussiert bei Beschäftigungseffekten durch Elektromobilität auf die Antriebsstrang-abhängige Beschäftigung. Die zugrunde gelegten Trends der Branchenentwicklung werden vom Pkw-Segment dominiert. Das günstigere Marktwachstum der betrachteten Szenarien kann über den Fokus Antriebsstrang hinaus auf das ganze Lkw-Segment übertragen werden. Dann würde sich die Beschäftigung hier im Jahr 2030 in beiden Szenarien um 7.500 Beschäftigte auf insgesamt 54.600 und im Jahr 2040 um 10.400 auf 57.500 Beschäftigte erhöhen.

### 5.2.3 Beschäftigungseffekte im Kfz-Gewerbe (Fade-out)

Ein Blick auf ein umfassendes Automobilcluster schließt neben der Fahrzeugproduktion auch den Fahrzeugbetrieb ein. Das Kfz-Gewerbe mit seinen Teilbereichen des Handels und der Werkstätten stellt ein wichtiges Clustersegment dar, das mit über 91.000 sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in Baden-Württemberg fast so beschäftigungsstark ist, wie es Hersteller oder Zulieferer sind. Im gesamten Cluster gehört fast ein Fünftel der Beschäftigung zum Kfz-Gewerbe. Wie in Kapitel 3.8 beschrieben, sind alle Geschäftsfelder des Kfz-Gewerbes von dem Umstieg auf die Elektromobilität und dem Wandel zum automatisierten Fahren betroffen: der Neu- und

Gebrauchtwagenverkauf, der Teile- und Zubehörverkauf sowie das Servicegeschäft, also die Wertschöpfung und Beschäftigung in allen Bereichen. Allerdings muss das Kfz-Gewerbe unterschiedliche Geschwindigkeiten im Übergang von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren zu elektrifizierten Antrieben bewältigen: Im Neuwagenhandel findet der Umstieg bereits statt, 17,8 % der Neuzulassungen sind mittlerweile batterieelektrische Fahrzeuge. Im Service und in der Instandhaltung findet die Verschiebung dagegen mit deutlichem Zeitverzug statt, weil in Deutschland Fahrzeuge durchschnittlich zehn Jahre im Bestand sind (KBA, 2023e; e-mobil BW, 2023a). Gleichwohl müssen die Kfz-Werkstätten schon jetzt in der Werkstattausrüstung und mit den Qualifikationen ihrer Mitarbeiter:innen auf Elektrofahrzeuge eingestellt sein. Hier fallen vor allem bei BEV um etwa 30 bis 50 % niedrigere Wartungs- und Reparaturumfänge sowie ein signifikant niedrigerer Teilebedarf an: Bei BEV entfallen sämtliche verbrennungsmotorischen Bauteile sowie der mechanische Antriebsstrang, dafür sind im Wesentlichen ein Elektromotor, eine Traktionsbatterie und die Leistungselektronik verbaut. Gegenüber konventionellen Fahrzeugantrieben sinkt das Arbeitsvolumen deutlich, weil Elektromotoren gegenüber Verbrennungsmotoren verschleißärmer und weniger komplex aufgebaut sind, zudem werden vor allem bei Elektrofahrzeugen häufiger komplette Module ausgetauscht statt repariert (e-mobil BW, 2023a; Dispan, 2017; e-mobil, 2014).





Die Darstellung der Beschäftigungseffekte baut auf Ergebnissen einer aktuellen Studie zum baden-württembergischen Kfz-Gewerbe (e-mobil BW, 2023e) auf, in der detailliert Beschäftigungseffekte für die Jahre 2030 und 2040 in drei verschiedenen Zukunftsbildern dargestellt werden. Allerdings

stützen sich die Berechnungen der Strukturstudie 2023 auf die Daten zur sozialversicherungspflichtigen Beschäftigung (Bundesagentur für Arbeit, 2023), die im Kfz-Gewerbe höher ausfallen als die in der anderen Studie verwendeten Beschäftigten-daten des Zentralverbands des deutschen Kfz-Gewerbes.<sup>16</sup>

16 | Die Clusterdarstellung in der Strukturstudie basiert auf Daten der Bundesagentur für Arbeit (2023) zu den sozialversicherungspflichtig Beschäftigten, der Ausgangswert für die Beschäftigung im Kfz-Gewerbe liegt damit 16% über dem Ausgangswert der Studie zum Kfz-Gewerbe (e-mobil BW, 2023e). Für die Darstellung der Beschäftigungseffekte in der Strukturstudie werden die Werte der jeweiligen Zukunftsbilder aus der Studie zum Kfz-Gewerbe entsprechend angepasst.

| Clustersegment     | Beschäftigung 2022 | Beschäftigung 2030                       |                                  | Beschäftigung 2040                      |                                  |
|--------------------|--------------------|--|----------------------------------|---|----------------------------------|
|                    |                    | „Business-as-usual“*<br>(Zukunftsbild 1) | „Progressiv“<br>(Zukunftsbild 2) | „Business-as-usual“<br>(Zukunftsbild 1) | „Progressiv“<br>(Zukunftsbild 2) |
| <b>Kfz-Gewerbe</b> | 91.300             | 82.300                                   | 74.200                           | 77.700                                  | 63.800                           |

\*Die drei „Zukunftsbilder“ aus der Studie zum Kfz-Gewerbe (e-mobil BW, 2023e) und die Szenarien des DLR für die Strukturstudie 2023 sind nicht vollständig miteinander vergleichbar. Ausgehend von BEV-Neuzulassungen entspricht das „Zukunftsbild 1“ dem „Business-as-usual“-Szenario und das Zukunftsbild 2 (bzw. das wahrscheinlichste Zukunftsbild) dem progressiven Szenario am besten. Daher werden die Beschäftigungseffekte dieser beiden Szenarien für die Strukturstudie übernommen.

Tabelle 23: Quantitative Beschäftigung im Clustersegment „Kfz-Gewerbe“ in den Jahren 2030 und 2040 und den Szenarien „Business-as-usual“ und „Progressiv“

Quelle: e-mobil BW, 2023e, eigene Berechnungen DLR und IMU, 2023

In den Zukunftsbildern werden unter anderem der Fahrzeugbestand differenziert nach verschiedenen Antriebstechnologien und die für die Werkstattbereiche wichtige Reparatur- und Wartungshäufigkeit berücksichtigt. Allerdings sind die Zukunftsbilder nicht direkt mit den Szenarien der Strukturstudie vergleichbar, weil neben der Elektromobilität weitere Effekte wie Änderungen bei Vertriebsmodellen, Digitalisierung der Geschäftsprozesse oder die Verbreitung automatisierter Fahrfunktionen in die Abschätzung der zukünftigen Beschäftigung einfließen. In allen drei Zukunftsbildern geht das Arbeitsvolumen in fast allen untersuchten Jobfamilien im Handelsbereich, im Werkstatt- und Teilebereich sowie in den Zentralabteilungen zurück, Ausnahmen sind das Gebäudemanagement und die Personalverwaltung mit stabiler Beschäftigung und die IT-Dienste, für die ein Zuwachs des Arbeitsvolumens gesehen wird, das aber auch leicht ausgelagert werden kann.

#### Qualitative Bewertung

- Im Gegensatz zur bisher betrachteten Automobilindustrie ist das Kfz-Gewerbe sehr stark an die Standorte in Baden-Württemberg gebunden, Risiken durch eine Auslandsverlagerung sind sehr gering. Der Beschäftigungsverlust im Kfz-Gewerbe resultiert unter anderem aus der zunehmenden Konkurrenz bei den Vertriebswegen im Kfz-Handel und aus dem Rückgang des Reparatur- und Wartungsaufwands bei batterieelektrischen Fahrzeugen gegenüber Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor, und er kann stärker als in den hier dargestellten Szenarien ausfallen. Bei einem schnelleren Markthochlauf batterieelektrischer Fahrzeuge sinken das Arbeitsvolumen und damit die Beschäftigung schneller als im hier dargestellten progressiven Szenario. Die Autor:innen der Studie zum Kfz-Gewerbe haben hierzu ein drittes Zukunftsbild formuliert, in dem bei 2,6 Mio. BEV unter den Neuwagen im Jahr 2040 der Personalbedarf um weitere 20 bis 24 % unter dem Personalbedarf des zweiten Zukunftsbildes liegt (e-mobil BW, 2023e). Die Gestaltungsmöglichkeiten durch die Unternehmen des Kfz-Gewerbes selbst werden als schwierig angesehen, weil das Marktumfeld zunehmend von den Herstellern dominiert wird und eine weitere Konsolidierung im Sinne einer Abnahme der Unternehmenszahl erwartet wird (e-mobil BW, 2023e).
- In der Studie zum Kfz-Gewerbe wird private Ladeinfrastruktur als Geschäftsfeld bei Beratung, Verkauf und Service gesehen, das entfallende Wertschöpfung durch Elektromobilität etwas kompensieren kann. Hier konkur-

riert das Kfz-Gewerbe jedoch auch mit Angeboten der Hersteller und Zulieferer sowie mit den Energieversorgern (siehe Kapitel 5.2.4). Dadurch werden die Beschäftigungsverluste im Kfz-Gewerbe möglicherweise etwas geringer dargestellt, als tatsächlich realisiert werden kann.

#### 5.2.4 Beschäftigungseffekte in der Energieversorgung und der Ladeinfrastruktur (Fade-out und Fade-in)

Mit der Verschiebung zur Elektromobilität ändert sich auch die Versorgung mit der Antriebsenergie. Die über Jahrzehnte gewachsene Infrastruktur mit Tankstellen zur Versorgung mit Benzin- und Dieselmotorkraftstoff wird zurückgehen, während Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge ausgebaut wird und damit zumindest mittelfristig für einen Beschäftigungszuwachs sorgt (e-mobil BW, 2021b).

Die Beschäftigung in diesem Clustersegment in Baden-Württemberg wird auf ca. 6.000 Beschäftigte in der Versorgung mit Benzin- und Dieselmotorkraftstoff geschätzt, hierzu zählen Beschäftigte an Tankstellen und anteilig zum Produktionsvolumen auch Beschäftigte der Mineralö Raffinerie Oberrhein in Karlsruhe. Dazu können schon etwa 1.200 Beschäftigte in der Stromversorgung und im Aufbau der Ladeinfrastruktur gerechnet werden (e-mobil BW, 2021b). Für die Beschäftigung in der Kraftstoffversorgung wird angenommen, dass sie sich entsprechend dem abnehmenden Anteil von Verbrennerfahrzeugen weiter verringern wird.

Für die Energieversorgung batterieelektrischer Fahrzeuge und den Ausbau der Ladeinfrastruktur werden die größten Wertschöpfungs- und Beschäftigungspotenziale kurz- bis mittelfristig im Hardwareverkauf und in den Installationsdienstleistungen für Ladepunkte gesehen. Auf längere Sicht bzw. nach erfolgtem Aufbau der Ladeinfrastruktur wird der Stromverkauf das höchste Wertschöpfungspotenzial haben. Im Stromverkauf und im Betrieb öffentlicher Ladeinfrastruktur sind vor allem die regionalen Energieversorgungsunternehmen tätig. Ein weiterer, breit aufgestellter Akteur in Baden-Württemberg ist die EnBW. Sie hat für ihre Tätigkeiten im Jahr 2020 mit der EnBW mobility+ AG & Co. KG dafür ein eigenes Unternehmen gegründet. Auch Automobilhersteller sind in diesem Geschäftsfeld aktiv (e-mobil BW, 2021b), zudem erweitert das Elektrohandwerk mit der Installation von Ladepunkten sein Geschäftsfeld.

Für Baden-Württemberg sieht eine aktuelle Studie (e-mobil BW, 2021b) im Jahr 2030 ein Wertschöpfungspotenzial zwischen 1,8 und 4,8 Mrd. EUR am weltweiten Lademarkt (Stromverkauf 44 %, Installation und Inbetriebnahme 23 %, Hardware 21 %), aus dem Beschäftigungseffekte 2030 zwischen 4.800 und 10.200 Beschäftigten resultieren. Zumindest bis 2030 übertrifft der Beschäftigungsaufbau für die Energieversorgung und die Ladeinfrastruktur von Elektrofahrzeugen also voraussichtlich den Rückgang der Beschäftigung in der Versorgung von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. Der Effekt ist im Vergleich zur Automobilindustrie oder zum gesamten Wirtschaftsstandort Baden-Württemberg eher niedrig, gilt aber als eine wesentliche Voraussetzung für eine Mobilitätswende. In der Strukturstudie 2023 orientieren sich die Prognosen für Beschäftigungseffekte bei der Stromversorgung und dem Ausbau der Ladeinfrastruktur am Leitszenario (moderater Ausbau der derzeitigen Marktanteile entsprechend dem prognostizierten Marktwachstum) für das Szenario „Business-as-usual“ und am progressiven Szenario (konsequenter Ausbau der Wertschöpfungsanteile und Expansion baden-württembergischer Unternehmen in den europäischen Markt) für das Szenario „Progressiv“ (vgl. e-mobil BW, 2021b).

Qualitative Bewertung

- Für die Abnahme der Beschäftigung bei der Versorgung mit Benzin-/Dieselkraftstoff wird eine Größenordnung entsprechend dem Rückgang der Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor im Bestand angenommen. Wie schon in den Prämissen für die Beschäftigungseffekte aufgeführt, können betriebswirtschaftlich begründete Entscheidungen bei Umsatzrückgängen um 10 bis 20 % zu einer vollständigen Aufgabe von Standorten statt zu einer proportionalen Verkleinerung führen. Es kann daher zu einer schnelleren Abnahme der Tankstellenzahl und damit auch zu einem schnelleren Beschäftigungsrückgang kommen. Dessen Verlauf ist jedoch mit dem hier zugrundeliegenden Modell nicht darstellbar. Ebenfalls ist hier nicht berücksichtigt, dass synthetische Kraftstoffe ggf. über das bestehende Tankstellennetz verkauft werden und dies zu einer Stabilisierung der Beschäftigung führen kann.<sup>17</sup>

17 | Die Priorität dieses Kraftstoffs wird bei anderen Verkehrsmitteln gesehen (Flugzeuge, Schiffe), so dass hier kein beschäftigungsstabilisierender Effekt im Pkw- und Lkw-Verkehr erwartet wird.

| Clustersegment                                   | Beschäftigung 2022 | Beschäftigung 2030  |              | Beschäftigung 2040  |              |
|--|--------------------|---------------------|--------------|---------------------|--------------|
|  |                    | „Business-as-usual“ | „Progressiv“ | „Business-as-usual“ | „Progressiv“ |
| Versorgung mit Benzin-/Dieselkraftstoff          | 6.000              | 4.900               | 2.400        | 4.500               | 1.900        |
| Stromversorgung und Ausbau der Ladeinfrastruktur | 1.500              | 7.300               | 10.200       | 7.300*              | 10.200       |

\*Die Studie zum Ausbau der Ladeinfrastruktur für Baden-Württemberg weist Beschäftigungseffekte nur für das Jahr 2030 aus (e-mobil BW, 2021b). Da der größte Ausbau und damit auch der größte Beschäftigungsaufbau mittelfristig erwartet werden, werden die Beschäftigungsangaben hier auch für die Szenarien 2040 übernommen. Zusätzliche Annahmen zu weiterem Wachstum bzw. zu Rationalisierungs- oder Verlagerungseffekte sind für den Zeitraum 2030 bis 2040 mit zu großen Unsicherheiten für eigene Berechnungen verbunden.

Tabelle 24: Quantitative Beschäftigung in den Clustersegmenten „Versorgung mit Benzin-/Dieselkraftstoff“ und Stromversorgung und Ausbau der Ladeinfrastruktur in den Jahren 2030 und 2040 und den Szenarien „Business-as-usual“ und „Progressiv“

Quelle: e-mobil BW, 2021b, eigene Berechnungen DLR und IMU, 2023

■ Um die Beschäftigungspotenziale der Stromversorgung und des Ausbaus der Ladeinfrastruktur in möglichst hohem Maß umzusetzen, ist ein schneller und stabiler Markthochlauf von batterieelektrischen Fahrzeugen in Baden-Württemberg und – um die angesetzten Exportchancen zu öffnen – in Europa unerlässlich. Dieser würde jedoch zu höheren Beschäftigungsverlusten in der Automobilindustrie und im Kfz-Gewerbe führen. Zudem hängt die Gestaltung der Ladeinfrastruktur stark von der Fahrzeugflotte ab: Die Anforderungen an Ladepunkte und die über sie abrufbare Ladeleistung unterscheidet sich stark zwischen beispielsweise im Stadtverkehr genutzten BEV mit kleinerer Batteriekapazität um 40 kWh und Langstrecken-BEV mit einer Batteriekapazität um 100 kWh. Wieder andere Anforderungen stellen Nutzfahrzeuge an die Infrastruktur. Marktchancen sehen die Autor:innen der bereits angeführten Studie (e-mobil BW, 2021b) vor allem bei DC-Wallboxen und Ladepunkten bei Nutzfahrzeugen, die eher für Fahrzeuge mit höherer Batteriekapazität genutzt werden. Risiken werden im konservativen Szenario beschrieben, das im Jahr 2030 auf eine Beschäftigung von unter 5.000 Beschäftigten kommt, womit die Verluste bei Tankstellen und in der Kraftstoffherzeugung kaum ausgeglichen werden. Die hier hinterlegten Annahmen hinsichtlich einer starken Konkurrenz bei der Ladehardware durch asiatische Anbieter und eines starken Preis- und Kostendrucks können jedoch realistisch eintreten. Zudem müssen bei der Hardwareproduktion erhebliche Skaleneffekte ähnlich wie bei der Steigerung der Produktion von Elektrofahrzeugen eingerechnet werden.

### 5.3 Beschäftigungseffekte durch automatisiertes Fahren (Fade-in)

Derzeit liegen kaum Abschätzungen für Beschäftigungseffekte durch automatisiertes Fahren vor. Das Marktpotenzial einer Digitalisierung wird häufig in Verbindung mit neuen Geschäftsmodellen wie Mobilitätsdienstleistungen dargestellt und wird beispielsweise für Baden-Württemberg auf ein Umsatzpotenzial von 42 Mrd. EUR im Jahr 2030 geschätzt, das im Umfang 37 % des Umsatzpotenzials aus Verkäufen von Fahrzeugen und Fahrzeugteilen der Automobilindustrie entspricht (z. B. Cluster Elektromobilität Süd-West, 2020b). Im Gegensatz dazu werden

in der Strukturstudie 2023 Beschäftigungseffekte aus der Produktion von Komponenten für das automatisierte Fahren ermittelt. Der Aufbau von Beschäftigung (Fade-in) wird aus den Metaanalysen und Experteneinschätzungen zum Markthochlauf ermittelt, in denen unterschiedliche Automatisierungsgrade und die jeweils hinterlegten Automatisierungs- und Vernetzungskomponenten (wie z. B. Radar, LiDAR, Kamerasysteme) im Pkw und Lkw-Sektor berücksichtigt wurden. Hieraus ergeben sich die aus der Nachfrage abgeleiteten Stückzahlen für den europäischen Markt und das theoretische Marktpotenzial. In mehreren Schritten werden dann die möglichen Beschäftigungseffekte für die Jahre 2030 und 2040 ermittelt und ihre Plausibilität wird durch Gegenrechnungen geprüft.

Zuerst werden aus den Szenarien zu automatisierten Fahrfunktionen Stückzahlen für Komponenten und ein den Stückzahlen entsprechendes Marktpotenzial für Pkw und Lkw dargestellt (siehe Kapitel 4.8). Für das Jahr 2030 liegt das Marktpotenzial automatisierter Fahrfunktionen im Pkw-Segment bei ca. 12,6 Mrd. EUR und für 2040 bei ca. 17 Mrd. EUR; im Lkw-Segment für das Jahr 2030 bei 2,5 Mrd. EUR und für 2040 bei ca. 5 Mrd. EUR.

Es wird jedoch nur ein Teil der neuen Komponenten in Baden-Württemberg produziert, daher müssen mögliche Marktanteile der baden-württembergischen Produktionsstätten realistisch beurteilt werden. Dazu wurden aktuelle Produktions- und Umsatzstatistiken (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2023b; Eurostat, 2023) ausgewertet. Dabei zeigt sich, dass Baden-Württemberg in der Elektronikindustrie (Datenverarbeitungsgeräte, elektronische und optische Erzeugnisse, WZ 26) einen Anteil von 8,9 % an der europäischen Produktion hat, der jedoch in Teilbranchen wie der Herstellung von Mess-, Kontroll- und Navigationsinstrumenten (WZ 26.5) mit 5,5 % deutlich darunter liegt. Die Produktionsanteile der baden-württembergischen Automobilindustrie an der europäischen Produktion liegen mit 13,2 % deutlich darüber (Hersteller [WZ 29.1] 15,3 %, Zulieferer [WZ 29.3] 8,2 %<sup>18</sup>). Noch deutlich niedriger als aktuell bei der Elektronikindustrie lagen die für die Strukturstudie 2019 ermittelten Produktionsanteile Baden-Württembergs bei Komponenten für Elektroantriebe (um 5 %) (e-mobil BW, 2019a).

18 | In der Strukturstudie 2019 wurde für die klassischen Automobilzulieferteile ein Anteil von 9 % an der europäischen Produktion zugrunde gelegt. Mit den aktuellen Werten zeichnet sich ein möglicher Bedeutungsverlust der baden-württembergischen Zulieferindustrie ab, der jedoch im Rahmen der Strukturstudie 2023 nicht vertieft untersucht werden kann.

Die Werte aus der Elektronikbranche sind nicht eins zu eins auf die Zulieferindustrie übertragbar, weil Anforderungen an Pkw-Komponenten erheblich von Anforderungen an andere elektronische Produktgruppen abweichen: Sie sind während der Fahrt erheblichen mechanischen Belastungen und Witterungseinflüssen ausgesetzt, und insbesondere in der Perspektive des hoch automatisierten Fahrens müssen sie sehr hohe Qualitäts- und Sicherheitsanforderungen erfüllen. Aber der Vergleich veranschaulicht die Spanne, in der Produktionsanteile in Baden-Württemberg umgesetzt werden können. Erforderlich dazu wären optimale Rahmenbedingungen für die Schaffung dieser Industriearbeitsplätze und das Marktumfeld für die jeweiligen Produkte. Nur dann könnten bei den Komponenten für das automatisierte Fahren ähnlich hohe Produktionsanteile wie bei klassischen Zulieferkomponenten erreichbar sein. Realistischer ist dagegen ein Zielwert für den baden-württembergischen Anteil am Produktionswert bzw. Marktpotenzial von 9 %, der den derzeitigen Produktionsanteilen der Zulieferindustrie und der Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen entspricht, und der in den weiteren Berechnungen hinterlegt wird. Dieser Wert richtet sich daran aus, dass die derzeitige starke Stellung der baden-württembergischen Automobilindustrie auch mit den Komponenten automatisierten Fahrens erhalten bleiben soll, auch wenn dieser Produktionsaufbau erhebliche Anstrengungen von Unternehmen, Beschäftigten und Politik erfordert wird. Damit ergibt sich für Baden-Württemberg ein Wertschöpfungspotenzial von rund 1,36 Mrd. EUR im Jahr 2030 und 1,97 Mrd. EUR im Jahr 2040.

Jetzt lassen sich rechnerische Beschäftigungseffekte durch die neuen Komponenten für das automatisierte Fahren ermitteln und auf einzelne Wertschöpfungssegmente (OEM, Zulieferer, FuE, Leiharbeit und Dienstleistungen) aufteilen. Diese Effekte sind in mehreren Clustersegmenten möglich: bei den OEM und den Zulieferern des Clusterkerns, aber auch bei Entwicklungsdienstleistern oder der Arbeitnehmerüberlassung.

Zudem könnte der Maschinen- und Anlagenbau als Ausrüster von den neuen Geschäftsfeldern profitieren. Dabei wird berücksichtigt, dass bei der Entwicklung neuer Produkte und bei Produkten mit geringen Stückzahlen ein höherer Anteil auf die Entwicklung entfällt, als dies bei der Produktion etablierter Produkte der Fall ist. Schwierig abzuschätzen sind die Beschäftigungseffekte im Maschinen- und Anlagenbau als Ausrüster der Automobilindustrie, weil auch hier neue Kompetenzen erforderlich werden. Aus dem Wertschöpfungspotenzial für Baden-Württemberg kann über die Pro-Kopf-Wertschöpfung vergleichbarer Branchen (WZ 26 und WZ 29.3, Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2023b) der Umfang der rechnerisch möglichen Beschäftigung ermittelt werden.

Im Vergleich dieser Ergebnisse mit anderen Studien kommt beispielsweise Agora Verkehrswende (2021a) auf ein Beschäftigungspotenzial von bis zu 20.000 Arbeitsplätzen in Deutschland im Jahr 2030, davon entfallen 14.000 auf die Hersteller und 6.000 auf Zulieferer. Auf Baden-Württemberg mit einem Viertel der deutschen Arbeitsplätze entfielen demnach 5.000, also eine vergleichbare Größenordnung wie die Abschätzung der Strukturstudie 2023.

Das Wertschöpfungspotenzial hängt vom erreichbaren Marktanteil baden-württembergischer Unternehmen ab und unterscheidet sich deutlich je nach betrachteter Branche. Dient die baden-württembergische Zulieferindustrie als Orientierung, sind es 1,2 Mrd. EUR (2030) und 1,8 Mrd. EUR (2040), dienen die OEM mit einem europäischen Marktanteil von über 10 % als Maßstab, kann der Umfang auf 2,1 Mrd. EUR (2030) bzw. 3,1 Mrd. EUR (2040) steigen. Hier hängt es auch von den Rahmenbedingungen in Baden-Württemberg ab, in welchem Umfang dieses Potenzial genutzt werden kann.

| Clustersegment                               | Beschäftigung 2022  | Beschäftigung 2030 | Beschäftigung 2040 |
|--|---------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Clusterkern und Wertschöpfungscluster</b> | Nicht quantifiziert | 5.200              | 7.300              |

Tabelle 25: Quantitative Beschäftigung im Cluster durch Komponenten für das automatisierte Fahren in den Jahren 2030 und 2040

Quelle: eigene Berechnungen DLR und IMU, 2023

Einen weiteren Einfluss auf die Beschäftigungseffekte hat die als Vergleichsmaßstab herangezogene Branche (Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen, WZ 26) durch die jeweiligen Pro-Kopf-Umsätze, die Aufschluss über die proportional zum Umsatz aufgebaute Beschäftigung gibt. Auch hier gibt es eine breite Spanne zwischen den Branchen: Während in Baden-Württemberg der Pro-Kopf-Umsatz 2022 bei den OEM (WZ 29.1) bei ca. 800.000 EUR lag, erreichten die Zulieferer (WZ 29.3), aber auch die Branche Datenverarbeitungsgeräte, elektronische und optische Erzeugnisse (WZ 26) nur ca. 330.000 bis 350.000 EUR. Werden hier in Sensitivitätsrechnungen Marktanteil und Pro-Kopf-Umsatz (bei dem betrachteten Wertschöpfungspotenzial genauer der Pro-Kopf-Umsatz aus eigenen Erzeugnissen) der OEM zugrunde gelegt, entsteht eine zusätzliche Beschäftigung von 4.400 Beschäftigten im Jahr 2030 bzw. 6.500 Beschäftigten im Jahr 2040. Orientiert an den Branchenwerten der Zulieferer beträgt die zusätzliche Beschäftigung 4.500 (2030) bzw. 6.800 (2040) Personen.

#### Qualitative Bewertung

- Zu den Beschäftigungs- und Wertschöpfungseffekten durch Komponenten des automatisierten Fahrens sind noch keine konkreten Zahlen verfügbar. Andere Studien geben Marktpotenziale der Digitalisierung in erheblich größerem Umfang an, allerdings werden hier auch Potenziale aus neuen Dienstleistungen eingerechnet (z. B. für Baden-Württemberg ein zusätzliches Umsatzpotenzial von 42 Mrd. EUR im Jahr 2030, das zu Umsätzen von 113 Mrd. EUR durch den Fahrzeugverkauf und 34 Mrd. EUR durch Aftersales dazu kommt; vgl. Cluster Elektromobilität Südwest, 2020b). In diesen Darstellungen überwiegen in qualitativen Darstellungen die Effekte, die zu einem höheren Arbeitsvolumen führen.
- Derzeit sind baden-württembergische Unternehmen an der Forschung und Entwicklung zum automatisierten Fahren beteiligt. Offen ist jedoch, ob sich dies auch im Ausbau von Produktionsarbeitsplätzen niederschlägt. Das hängt stark davon ab, ob sich in Europa ein schneller Markthochlauf für automatisiertes Fahren ergibt, und ob die Produktion der benötigten Komponenten dann in Baden-Württemberg oder in Deutschland aufgebaut wird.

Entsteht in anderen Weltmarktregionen wie Asien eine höhere Nachfrage, dann bauen deutsche Unternehmen die Produktion dort auf.

## 5.4 Zusammenfassung der Beschäftigungseffekte

Die auf Basis der Entwicklung relevanter Rahmenbedingungen simulierten Markthochlaufszenerarien aus Kapitel 4 beschreiben den resultierenden Anteil der einzelnen Antriebsstrangarten in der gesamten europäischen Neuproduktion in den Jahren 2030 und 2040 mit der Verdrängung der Verbrennungsmotoren durch elektrische Antriebe. Im Jahr 2030 teilt sich der Markt auf zwei Antriebstechnologien auf: benzinbetriebene Verbrennungsmotoren und batterieelektrische Antriebe. Dadurch ist der zentrale Einfluss auf die Beschäftigung der gegenüber einem Verbrennungsmotor deutlich niedrigere Personalaufwand bei batterieelektrischen Antrieben (ca. -70 %).<sup>19</sup> ICE werden bis 2030 weiter elektrifiziert (48 Volt-Technologie, zweites Bordnetz, zusätzliche elektrische Funktionen auch für Fahrassistenz). Dadurch fallen bisher mechanische Nebenggregate weg. Im Modell heben sich die Beschäftigungseffekte durch zusätzliche elektronische Komponenten und der Wegfall mechanischer Komponenten fast vollständig auf.

In der Zusammenfassung werden die Effekte auf die einzelnen Clustersegmente noch einmal dargestellt. Vorweg wird noch einmal darauf hingewiesen, dass hier aufgrund plausibler Annahmen Beschäftigungseffekte gerechnet werden. Sie dienen im Sinne von Szenarien als Darstellung möglicher Entwicklungspfade unter gegebenen Rahmenbedingungen. Sie treffen nicht zwangsläufig ein, sondern stellen eine Entscheidungsgrundlage für die Gestaltung dieser Entwicklungspfade durch Unternehmen und Beschäftigte, durch politische Akteur:innen und durch die Gesellschaft im Sinne der Lebensführung jedes und jeder Einzelnen dar. Weil zusätzlich die Ergebnisse für das Jahr 2040 mit Unsicherheiten über den Fortbestand der gesetzten Annahmen behaftet sind, wird in der Zusammenfassung nur das progressive Szenario dargestellt. Es stellt das zur Erreichung der Klimaziele relevantere Szenario dar (siehe auch Kapitel 7). Das Szenario für 2040 kann auch als Orientierung für Beschäftigungseffekte bei einem schnelleren Hochlauf der Elektromobilität bis 2030 dienen.

19 | Inwieweit sich aus unterschiedlichen Antriebstechnologien (insb. Diesel und HEV/PHEV) unterschiedlich hohe Beschäftigungspotenziale ergeben, wurde in einer Sensitivitätsrechnung untersucht. Durch die Dominanz von G-ICE und BEV in den Szenarien für 2030 sind sie in ihrer Größenordnung im Modell jedoch vernachlässigbar.

| Clustersegment  | 2022                    | Effekte Elektromobilität einschließlich allgemeiner Branchenentwicklungen |                    |                | Effekte automatisiertes Fahren |              |              |
|---|-------------------------|---|--------------------|----------------|--------------------------------|--------------|--------------|
|   |                         | 2030 Szenario BAU   | 2030 Szenario PROG | 2040           | 2030                           | 2040         |              |
| <b>Clusterkern – direkt vom Automobil abhängige Wertschöpfung</b>                           |                         |   |                    |                |                                |              |              |
| OEM   | Komponenten             | 21.200  | 17.400             | 13.000         | 3.900                          | 500          | 710          |
|   | FuE                     | 19.300  | 17.500             | 15.800         | 11.200                         | 500          | 600          |
|   | Montage                 | 42.500  | 39.400             | 39.400         | 35.500                         | 1.000        | 1.400        |
|   | Verwaltung              | 13.500  | 12.600             | 12.600         | 11.300                         |              |              |
| Herst. von Karosserien, Aufbauten, Anhängern  |                         | 6.100   | 5.700              | 5.700          | 5.100                          |              |              |
| Automobilzulieferer   | Komponenten und Teile   | 91.500  | 99.800             | 91.600         | 68.300                         | 2.100        | 3.100        |
|   | FuE                     | 30.500  | 27.600             | 24.900         | 17.700                         | 700          | 1.000        |
| Sonstige Branchen des Verarbeitenden Gewerbes   | Komponenten und Teile   | 37.700  | 38.300             | 36.200         | 28.900                         |              |              |
|   | FuE                     | 16.100  | 12.600             | 11.700         | 8.900                          |              |              |
| Entwicklungsdienstleister   |                         | 16.100  | 14.600             | 13.200         | 9.300                          | 400          | 500          |
| Leiharbeiter:innen  | Allg.                   | 8.600   | 8.000              | 8.000          | 7.200                          |              |              |
|   | Antriebsstrang-abhängig | 10.900  | 4.600              | 3.800          | 2.200                          |              |              |
| Werksinterne Dienstleistungen   |                         | 1.500   | 1.400              | 1.400          | 1.300                          |              |              |
| <b>Summe Clusterkern</b>  |                         | <b>315.000</b>  | <b>299.500</b>     | <b>277.300</b> | <b>210.800</b>                 | <b>5.200</b> | <b>7.310</b> |
| <b>Erweitertes Wertschöpfungscluster – mittelbar vom Automobil induzierte Wertschöpfung</b> |                         |   |                    |                |                                |              |              |
| Sonstiges Verarbeitendes Gewerbe  | Komponenten und Teile   | 22.100  | 20.500             | 20.500         | 18.400                         |              |              |
| Maschinenbau als Ausrüster  |                         | 29.300  | 26.500             | 23.900         | 17.000                         |              |              |
| Nicht produktspezifische Dienstleistungen für OEM und Zulieferer                            |                         | 14.700  | 13.700             | 13.700         | 12.300                         |              |              |
| <b>Summe Wertschöpfungscluster</b>  |                         | <b>381.600</b>  | <b>360.200</b>     | <b>335.400</b> | <b>258.500</b>                 |              |              |
| <b>Umfassendes Automobilcluster – weitere vom Automobil abhängige Beschäftigung</b>         |                         |   |                    |                |                                |              |              |
| Kfz-Gewerbe   |                         | 91.300  | 71.000             | 64.000         | 55.000                         |              |              |
| Kraftstoffversorgung  |                         | 6.000   | 4.900              | 4.500          | 1.900                          |              |              |
| Ladeinfrastruktur und Stromversorgung   |                         | 1.200   | 7.300              | 10.200         | 10.200                         |              |              |
| <b>Baden-württembergisches Automobilcluster</b>   |                         | <b>480.100</b>  | <b>443.400</b>     | <b>414.100</b> | <b>325.600</b>                 | <b>5.200</b> | <b>7.310</b> |

Quelle: eigene Berechnungen DLF und IMU, 2023

Tabelle 26: Quantifizierte Beschäftigungseffekte im gesamten Cluster



Durch die Elektromobilität verringert sich die Gesamtbeschäftigung im Cluster im Szenario „Business-as-usual“ bis 2030 um 8 %, im Szenario „Progressiv“ mit dem schnelleren Hochlauf der Elektromobilität um deutliche 14 %. Bis 2040 beträgt der Beschäftigungsrückgang im gesamten Cluster – unter den gesetzten Annahmen – ca. 32 %. Zu diesem großen Sprung tragen bei den einzelnen Rechenschritten der Wegfall des ICE Mitte der 2030er Jahre (ca. –90.000 Beschäftigte gegenüber heute) und der Trend einer insgesamt leicht schrumpfenden Branche (–21.000 Beschäftigte bis 2030 und –45.000 Beschäftigte bis 2040) bei. Agora Verkehrswende weist in ihrer Studie (2021a) für die gesamte Automobilindustrie für das Jahr 2030 einen Wert für Beschäftigungsabbau und -aufbau durch Elektromobilität aus, der für Deutschland bei -173.000 Beschäftigten liegt, das wären ca. –43.500 Beschäftigte in Baden-Württemberg. Das entspricht der Größenordnung der Modellrechnung für das gesamte Automobilcluster.

Der Beschäftigungsrückgang im Szenario „Business-as-usual“ für die Gesamtbranche und deren Bedeutung in der baden-württembergischen Wirtschaft kann durch strategische Maßnahmen gedämpft werden. Wie die Sensitivitätsrechnung und die Beschäftigungseffekte durch Komponenten des automatisierten Fahrens zeigen, gibt es Kompensationsoptionen innerhalb des Clusters. Im Szenario „Progressiv“ könnte bis 2030 etwa ein Drittel des Rückgangs durch einen Beschäftigungsaufbau ausgeglichen werden: bei Produktion und FuE im Wertschöpfungscluster und im Clusterkern für Elektromobilität bei Pkw und Nfz (4.100 Beschäftigte 2030 [„Progressiv“] und 7.700 Beschäftigte 2040). Zusätzliche Beschäftigung ergibt sich durch Komponenten für das automatisierte Fahren (5.200 Beschäftigte 2030, 7.300 Beschäftigte 2040) sowie durch einen Beschäftigungsaufbau bei der Ladeinfrastruktur und der Stromversorgung (auf bis zu 10.200 Beschäftigte), der auch den Beschäftigungsabbau bei der Kraftstoffversorgung kompensiert.

#### **Einordnung der Effekte vor dem Hintergrund des demografischen Wandels**

Die aktuelle Bevölkerungsprognose des Statistischen Landesamts geht bis zum Jahr 2040 von einer deutlichen Abnahme der Bevölkerung im erwerbsfähigen Alter (20- bis unter 65-Jährige) aus. In ihrem relevantesten Szenario („Hauptvariante“) geht dieser Bevölkerungsanteil von 6,7 Mio. Personen

(2020) um 6,5 % auf 6,36 Mio. Personen im Jahr 2030 und auf 6 Mio. Personen (–8,7%) im Jahr 2040 zurück.

Bezogen auf das gesamte Automobilcluster entspräche das einem Rückgang bis 2030 um ca. 29.500 Personen, das liegt in der Größenordnung des „Business-as-usual“-Szenarios. Bis 2040 ginge die Beschäftigung im Cluster gegenüber heute um 39.400 auf ca. 413.800 Personen zurück. Hier fallen die Fade-out-Effekte durch die Elektromobilität erheblich größer aus als der Effekt des demografischen Wandels (Rückgang im Modell auf ca. 330.000 Personen). Das Ausscheiden stark besetzter Alterskohorten in den nächsten Jahren wird als eine Option gesehen, einen Beschäftigungsrückgang in der Automobilindustrie „sozialverträglich“, also ohne betriebsbedingte Kündigungen zu gestalten.

(Brachat-Schwarz und Böhm, 2022; Automobilwoche, 2019b)

Der differenzierte Blick zeigt jedoch die starken Unterschiede in der Betroffenheit einzelner Clustersegmente, die noch stärker als das Cluster insgesamt gefährdet sind. Deshalb werden zwei besonders betroffene Segmente des Clusterkerns hier noch einmal herausgehoben: die Antriebsstrang-abhängige Produktion von Komponenten und Teilen sowie Forschung und Entwicklung.

Wie in Kapitel 3 bei der Darstellung des Automobilclusters erläutert wurde, wirkt sich der Wandel zur Elektromobilität vor allem auf die Antriebsstrang-abhängigen Produktionsstandorte im Clusterkern aus. Das Modell stellt für dieses Clustersegment die Fade-out- sowie die Fade-in-Effekte gesondert dar. 2030 entfallen im Szenario „Business-as-usual“ 26 % und im Szenario „Progressiv“ 47 % der ICE-Anteile bei Pkw, im Jahr 2040 100 %. Das wirkt sich in diesem Clustersegment direkt auf die Beschäftigten aus. Außerdem führen hier regelmäßige Produktivitätssteigerungen bereits seit Jahren zu Beschäftigungsverlusten, und Produktionsanteile in den europäischen Produktionsnetzen werden in „Low-Cost Countries“ nach Osteuropa verlagert (zur Betrachtung für die übrigen Clustersegmente siehe Kapitel 5.2.1).



Das Szenario „Business-as-usual“ zeigt mit einem Rückgang um 6 % nur scheinbar einen beherrschbaren Entwicklungspfad auf. Hier steht geringeren Beschäftigungsverlusten durch den Wegfall des ICE bereits Beschäftigungsaufbau für elektrifizierte Fahrzeuge gegenüber. Dagegen entstehen im Szenario „Progressiv“ für 2030 und noch stärker im Jahr 2040 deutliche Beschäftigungsverluste durch die Elektromobilität. Mit dem Marktrückgang des Verbrennungsmotors entfällt jedoch das Arbeitsvolumen von derzeit ca. 92.000 diesem Antriebsstrang im Pkw-Segment zugeordneten Beschäftigten, das sind ca. 19 % des gesamten Clusters. Das zeigt den großen Handlungsdruck beim Erhalt von Beschäftigung in Baden-Württemberg auf.

Sollten hier positive Beschäftigungseffekte des Fade-in bei Elektromobilität und automatisiertem Fahren ausbleiben, kann dieses Segment bis 2040 im Clusterkern auf ca. ein Drittel schrumpfen. Dieses Clustersegment ist aber sowohl für die

Beschäftigung als auch für die Innovationskraft des Clusters (siehe Kapitel 6.2) zentral! Fließen für dieses Clustersegment zusätzliche Verlagerungs- und Rationalisierungseffekte in die Betrachtung ein, werden das hohe Beschäftigungsrisiko und die entsprechend geringere Kompensationswirkung der Fade-in-Effekte deutlich.

Im „Business-as-usual“-Szenario werden durch den Wegfall der Komponenten und Teile für den Verbrennungsmotor (Fade-out) etwa 23.500 Beschäftigte (–33 %) betroffen sein. Wenn die für Produktionsstandorte zu erwartenden Produktivitätssteigerungen und Standortverlagerungen in Low-Cost Countries umgesetzt werden, könnten weitere 18.900 Beschäftigte (27 % der Beschäftigten 2022) betroffen sein. Gefährdet sind also bis zu 60 % der Antriebsstrang-abhängigen Beschäftigten im Clusterkern im Szenario „Business-as-usual“ und bis zu 81 % im Szenario „Progressiv“. Selbst wenn mit großen Anstrengungen alle Fade-in-Effekte für Elektromobilität und auto-

| Clustersegment  | Antriebsstrang-abhängige Beschäftigte 2022 | Szenario „Business-as-usual“<br>Fade-out |                       | Szenario „Progressiv“<br>Fade-out      |                       |
|---|--|--|-----------------------|--|-----------------------|
|   |  | Anzahl 2030;<br>Differenz ggb.<br>2022   | Rückgang ggb.<br>2022 | Anzahl 2030;<br>Differenz ggb.<br>2022 | Rückgang ggb.<br>2022 |
| <b>OEM Komponenten</b>  | 21.300                                     | 14.200<br>–7.100                         | –33%                  | 9.700<br>–11.600                       | –54%                  |
| <b>Zulieferer (29.3) Komponenten</b>  | 39.200                                     | 26.200<br>–13.000                        | –33%                  | 17.700<br>–21.500                      | –54%                  |
| <b>Zulieferer sonstiges VG:<br/>nur Maschinenbau<br/>(Motorteile) Komponenten</b> | 10.200                                     | 6.800<br>–3.400                          | –33%                  | 4.700<br>–5.500                        | –54%                  |
| <b>Fade-out Antriebsstrang-abhängige Produktion</b>                               | 70.700                                     | –23.500                                  | –33%                  | –38.600                                | –54%                  |
| <b>Produktivitätssteigerung<br/>und Low-Cost-Country-<br/>Strategien</b>          |  | –18.900                                  | –27%                  | –18.900                                | –27%                  |
| <b>Entwicklung ohne Fade-in</b>   |  | 28.300<br>–42.400                        | –60%                  | 13.200<br>–57.500                      | –81%                  |
| <b>Fade-in-Potenziale<br/>Elektromobilität</b>                                    |  | 10.500                                   | +15%                  | 11.000                                 | +16%                  |
| <b>Fade-in Potenziale<br/>automatisiertes Fahren</b>                              |  | 2.600                                    | +4%                   | 3.800                                  | +5%                   |
| <b>Gesamteffekt</b>   |  | –29.300                                  | –41%                  | –42.700                                | –60%                  |

Tabelle 27: Deep-Dive Beschäftigungseffekte in der Antriebsstrang-abhängigen Produktion von Komponenten und Teilen im Clusterkern für Pkw und Lkw im Jahr 2030

Quelle: eigene Darstellung DLR und IMU, 2023

matisiertes Fahren in Baden-Württemberg realisiert werden, bleibt im Clusterkern ein Beschäftigungsverlust von 29.300 (Szenario „Business-as-usual“) bzw. 42.700 (Szenario „Progressiv“), die alleine einen Beschäftigungsrückgang um 6 % bzw. 9 % im gesamten Cluster bewirken. Damit sind selbst im „Business-as-usual“-Szenario große Anstrengungen aller Branchenakteure nötig, um die Transformation an möglichst vielen Standorten zu meistern. Im progressiven Szenario werden sich die Arbeitsplätze von vier Fünfteln der Beschäftigten durch die Transformation ändern oder sogar wegfallen, wenn nur die Fade-out-Effekte betrachtet werden. Je schneller der Hochlauf der Elektromobilität stattfindet, desto größer werden die Herausforderungen, zusammen mit den Branchenunternehmen alle Clustersegmente in Baden-Württemberg zu erhalten.

Auch bei den Beschäftigten in Forschungs- und Entwicklungsbereichen im Clusterkern zeigen sich drastische Veränderungen bei den OEM, den Automobilzulieferern sowie den Zulieferern aus anderen Branchen des Verarbeitenden Gewerbes. Zunächst fallen – je nach Szenario – Tätigkeiten von 9.700 bis

34.900 (2040) Beschäftigten weg. Der Blick auf den Beschäftigungseffekt 2040 alarmiert, denn er spitzt die Perspektive der FuE-Beschäftigten im Wandel zur Elektromobilität zu: Von den ca. 66.000 FuE-Beschäftigten sind über 50 % vom Wegfall des Verbrenners betroffen, davon wiederum etwa die Hälfte bei den Automobilzulieferern. Hinzu kommen ca. 40 % der Beschäftigten bei Entwicklungsdienstleistern und weitere 4.400 Entwickler:innen bei dem als Ausrüster der Automobilindustrie tätigen Maschinen- und Anlagenbau im Wertschöpfungscluster, die im Modell ebenfalls als Antriebsstrang-abhängig eingestuft werden. Als Ausrüster sind sie zwar nur mittelbar vom Kraftfahrzeug abhängig, doch mit seiner starken Spezialisierung auf den Antriebsstrang muss sich auch der baden-württembergische Maschinenbau (insbesondere der Werkzeugmaschinenbau) auf neue Produkte einstellen. Gleichzeitig entsteht auch durch den chinesischen Maschinenbau neue Konkurrenz in Feldern der Elektromobilität (z. B. Zellfertigung, Recycling).

| Clustersegment  | Antriebsstrang-abhängige Beschäftigte 2022 | Szenario „Business-as-usual“<br>Fade-out |                       | Szenario „Progressiv“<br>Fade-out      |                       |
|---|--|--|-----------------------|--|-----------------------|
|   |  | Anzahl 2030;<br>Differenz ggb.<br>2022   | Rückgang ggb.<br>2022 | Anzahl 2030;<br>Differenz ggb.<br>2022 | Rückgang ggb.<br>2022 |
| <b>OEM FuE</b>  | 8.300                                      | 5.500<br>-2.800                          | -33%                  | 3.700<br>-4.600                        | -54%                  |
| <b>Zulieferer (29.3) FuE</b>  | 13.100                                     | 8.700<br>-4.400                          | -33%                  | 5.900<br>-7.200                        | -54%                  |
| <b>Zulieferer sonstiges VG:<br/>nur Maschinenbau<br/>(Motorteile) FuE</b> | 4.400                                      | 2.600<br>-1.800                          | -33%                  | 2.000<br>-2.400                        | -54%                  |
| <b>Entwicklungsdienstleister</b>  | 6.900                                      | 3.900<br>-3.000                          | -45%                  | 3.100<br>-3.800                        | -54%                  |
| <b>Fade-out Antriebsstrang-abhängige Produktion</b>                       | 32.700                                     | -12.000                                  | -45%                  | -18.000                                | -54%                  |
| <b>Fade-in-Potenziale<br/>Elektromobilität</b>                            |  | 4.900                                    | +15%                  | 5.000                                  | +15%                  |
| <b>Fade-in Potenziale<br/>automatisiertes Fahren</b>                      |  | 1.500                                    | +5%                   | 2.200                                  | +7%                   |
| <b>Gesamteffekt</b>   |  | -6.400                                   | -19%                  | -10.800                                | -33%                  |

Tabelle 28: Deep-Dive Beschäftigungseffekte in der Forschung und Entwicklung im Clusterkern für Pkw und Lkw im Jahr 2030

Quelle: eigene Darstellung DLR und IMU, 2023

In Forschung und Entwicklung ordnet das Modell 32.700 FuE-Beschäftigte als Antriebsstrang-abhängig ein, die Mehrheit davon noch auf Verbrennertechnologien ausgerichtet. In den Szenarien sind 12.000 bzw. 18.000 Beschäftigte bis 2030 vom Wegfall ihres Arbeitsvolumens betroffen, die Fade-in-Effekte durch Elektromobilität und automatisiertes Fahren kompensieren rechnerisch etwa die Hälfte des Rückgangs. In der Praxis bedeutet das, dass diese Kompensation nur durch Qualifizierung der Beschäftigten stattfinden kann. Das betrifft jetzt schon mehrere Tausend Beschäftigte, und mit Blick auf einen vollständigen Entfall des Verbrennungsmotors sind in den nächsten zehn bis 15 Jahren über 30.000 Beschäftigte auf neue Technologien zu qualifizieren. Der schon in der Strukturstudie 2019 identifizierte hohe Qualifizierungsbedarf besteht weiterhin. Diese Erkenntnis konnte auch in anderen wissenschaftlichen Untersuchungen herausgearbeitet werden. (e-mobil BW, 2023a; Agora Verkehrswende, 2021a; Hermann et al., 2020).

Damit die Verschiebung der Aufgabengebiete so weit wie möglich mit den aktuell beschäftigten Mitarbeiter:innen realisiert werden kann, sind umfangreiche Qualifizierungskonzepte einer akademischen Weiterbildung erforderlich, die mit einer Perspektive bis 2030 sehr schnell ca. 15 bis 20 % der rund 65.900 FuE-Beschäftigten erreichen. Diese Herausforderung muss angenommen werden, um die Stärke Baden-Württembergs als Standort industrieller Innovationen zu erhalten.

Der Wandel zur Elektromobilität soll im Verkehrssektor die Einhaltung der Klimaziele ermöglichen. Die Berechnungen zeigen die mit dem Wandel zur Elektromobilität verbundenen Beschäftigungsverluste im baden-württembergischen Automobilcluster auf, die zu wirtschaftlichen und sozialen Verwerfungen führen können. Gerade die auf den Antriebsstrang spezialisierten Produktionsstandorte in Baden-Württemberg geraten dadurch in Schwierigkeiten. Die sich zumindest in Teilen ausgleichenden positiven und negativen Beschäftigungseffekte in der Gesamtbranche lassen sich nicht immer in einem Unternehmen und am gleichen Standort realisieren, zudem stehen die einzelnen Standorte untereinander in Konkurrenz. Der Erhalt von Wertschöpfung und Beschäftigung in der baden-württembergischen Automobilindustrie wird in einer Abwägung zwischen betriebswirtschaftlichen Kriterien und (betriebs-)politischer Einflussnahme für jeden einzelnen Standort neu entschieden. Das gilt für das Bundesland, aber auch für einzelne Landkreise mit besonders hoher Bedeutung der Automobilindustrie. Außerdem ist ein Beschäftigungserhalt mit einem deutlichen Wechsel der Tätigkeiten und dem Aufbau neuer Qualifikationen verbunden. Das erfordert in der Praxis erhebliche Anstrengungen, damit der Wechsel tatsächlich gelingt.



# 06

## **Megatrends und ihr Einfluss auf Baden-Württembergs Automobilindustrie als industrielles Innovationscluster**



# 06

## Megatrends und ihr Einfluss auf Baden-Württembergs Automobilindustrie als industrielles Innovationscluster

### In Kürze

Die gesamte Automobilindustrie unterliegt langanhaltenden Megatrends, die für die baden-württembergischen Standorte gleichermaßen Chancen und Risiken bedeuten.

- Die anhaltende Optimierung der Produktion und in den letzten Jahren auch von Verwaltungs- sowie FuE-Tätigkeiten sichert die hohe Wettbewerbsfähigkeit baden-württembergischer Unternehmen. Insbesondere in der Produktion haben diese Produktivitätseffekte über die Jahre hinweg zu einem spürbaren Beschäftigungsabbau geführt.
- Insbesondere digitale Technologien könnten jetzt auch in Verwaltungs- sowie FuE-Bereichen deutliche Rationalisierungseffekte bewirken, die die Unternehmen in den nächsten Jahren unter anhaltendem Kostendruck realisieren wollen.
- Der Aufbau von unabhängigen Produktionsnetzwerken in den drei großen Weltmärkten Europa, Nordamerika und Asien wird weiter vorangetrieben, die Covid-19-Pandemie hat diesen Umbau beschleunigt.

In diesem Kapitel wird die Transformation zur Elektromobilität und zum automatisierten Fahren in der baden-württembergischen Automobilindustrie in die allgemeine Entwicklung der baden-württembergischen Wirtschaftsstruktur eingeordnet. Dabei wird deutlich, dass beide Transformationen nur zwei von

mehreren Megatrends sind, durch die sich die Automobilindustrie und die anderen Branchen in Baden-Württemberg verändern. Im Folgenden werden die Auswirkungen von Produktivitätsentwicklung einschließlich der Digitalisierung der Produktion (Industrie 4.0) sowie die anhaltende Globalisierung durch den Aufbau von Produktionsnetzwerken betrachtet. Abschließend wird geklärt, welche Auswirkungen insgesamt auf die Wirtschaftskraft des Landes Baden-Württemberg zu erwarten sind.

### 6.1 Anhaltende Optimierung und Produktivitätseffekte

Unabhängig von der Transformation zur Elektromobilität und zum automatisierten Fahren wird die Arbeitsproduktivität kontinuierlich steigen. Einer der Treiber dafür sind die hohen Personalkosten. Während in der längerfristigen Vergangenheit vor allem die Produktion im Fokus von Automatisierung und Optimierung stand, sind in den letzten Jahren zunehmend auch Verwaltungs- und Entwicklungsbereiche in Effizienzprogramme einbezogen worden (Stieler und Schwarz-Kocher, 2022; Automobil Produktion, 2022d; Automobilwoche, 2019c). Durch die Weiterentwicklung von Produktionstechnologien, -verfahren und -organisation stieg das Bruttoinlandsprodukt je Erwerbsperson als eine Kennzahl der Arbeitsproduktivität zwischen 1991 und 2021 um 15,8 Prozentpunkte (das Maximum lag 2018 bei 17,7 Prozentpunkten), das drückt aus, dass der Personalbedarf pro Produktionseinheit sinkt und weniger Beschäftigte für die Produktion gleicher Stückzahlen benötigt werden. Zwischen Branchen bestehen deutliche Produktivitätsunterschiede, die sich über den Pro-Kopf-Umsatz darstellen lassen: Der im Jahr 2022 hohe Pro-Kopf-Umsatz von ca. 630.000 EUR in der Automobilindustrie beruht stark auf den OEM (ca. 801.000 EUR), während die Zulieferer auf einen Pro-Kopf-Umsatz von 330.000 EUR kamen. Zum Vergleich dazu liegt beispielsweise

das Kfz-Gewerbe bei ca. 425.000 EUR, das Verarbeitende Gewerbe Baden-Württembergs bei 358.000 EUR und die Branche Datenverarbeitungsgeräte, elektronische und optische Erzeugnisse (WZ 26) bei 371.000 EUR (Statistisches Landesamt, 2023b, und eigene Berechnungen; Dispan, 2021). In der Covid-19-Pandemie haben sich die Produktivitätskennzahlen durch Produktions- und Umsatzrückgänge in der Covid-19-Pandemie verschlechtert (Automobilwoche, 2020c).

Diese Produktivitätseffekte wirken sich nicht zwangsläufig in Beschäftigungseffekten aus, deshalb wurden sie in den Analysen des Kapitels 5 nicht in der Gesamtbranche berücksichtigt. Zwar reduzieren die Produktivitätssteigerungen den Personaleinsatz pro Produkteinheit. Aber durch Einsparungen bei den Personalkosten können die Produkte zu wettbewerbsfähigeren Preisen angeboten und damit Absatzsteigerungen erzielt werden. Höhere Stückzahlen gleichen dann Beschäftigungsverluste zumindest teilweise wieder aus. Außerdem ist bei den Fahrzeugen eine deutliche Wertschöpfungssteigerung durch hochwertigere Ausstattung zu sehen, beispielsweise mit leistungsfähigeren und zunehmend elektrifizierten Motoren, Fahrassistenzfunktionen oder zunehmender Vernetzung. Beide Effekte haben – auch bei deutlicher Steigerung der Produktivität – den jahrzehntelangen Personalaufbau in der baden-württembergischen Automobilindustrie gestützt.

Zudem kann ein weiterer Kompensationseffekt in Baden-Württemberg und in Deutschland beobachtet werden: An den Standorten global tätiger Konzerne der Automobilindustrie steigt mit immer höheren FuE-Anteilen und steigendem Aufwand bei der Steuerung der internationalen Produktion der Anteil der Overheadbeschäftigten in den OEM- und Zulieferkonzernen kontinuierlich an. Von diesem Beschäftigungswachstum profitiert Deutschland in Europa am stärksten (Schwarz-Kocher und Stieler 2022, 2019).

Beide Effekte führen dazu, dass sich Produktivitätsentwicklung und Beschäftigungswirkungen in der deutschen Automobilindustrie entkoppelt haben. Die deutsche Automobilindustrie hat 2007 in Deutschland ca. 5,7 Mio. Pkw produziert, 2018 waren es mit ca. 5,1 Mio. Pkw ca. 11 %, 2022 mit 3,4 Mio. Pkw sogar ca. 40 % weniger. Trotzdem ist die Beschäftigtenzahl bei den deutschen Herstellern zwischen 2007 und 2018 um 16 % gestiegen und auch 2022 noch 7 % höher als 2007.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sich Produktivitätseffekte negativ auf die Beschäftigungsentwicklung in der Branche auswirken. Deren lineare Überleitung in entsprechenden Beschäftigungsabbau ist jedoch nicht möglich. Allerdings gilt das nicht für alle Beschäftigtengruppen: Produktivitätseffekte gehen eher zulasten der Produktionsbeschäftigten, während die positiven Kompensationseffekte eher zugunsten anderer Beschäftigter in FuE, Vertrieb und Verwaltung wirken. Diese „funktionale Tertiarisierung“ beschreiben Dispan et al. regelmäßig in den Strukturberichten für die Region Stuttgart (z. B. Dispan et al., 2021). In der quantitativen Modellierung wurden deshalb Produktivitätseffekte bei der Bewertung der Beschäftigungseffekte in der Gesamtbranche nicht eingerechnet, wohingegen sie bei der Analyse des Strukturwandels in den Produktionswerken und beim Produktionsaufbau für neue Komponenten als Faktor berücksichtigt wurden (siehe Kapitel 5).

## 6.2 Industrie 4.0 und Digitalisierung der Arbeitsprozesse

Die mit der Digitalisierung einhergehenden Änderungen in der Arbeitsorganisation besitzen großes Potenzial für weitere Rationalisierungen. Ihre Beschäftigungseffekte sind schwer abschätzbar, weil sich Tätigkeitsanteile, aber keine vollständigen Arbeitsplätze substituieren lassen. Frühere Digitalisierungs-



szenarien kamen auf Beschäftigungsanteile um 50 %, die durch die Digitalisierung bedroht sind (Frey und Osborne, 2013; Brzeski und Burk, 2015; Bonin et. al, 2015).

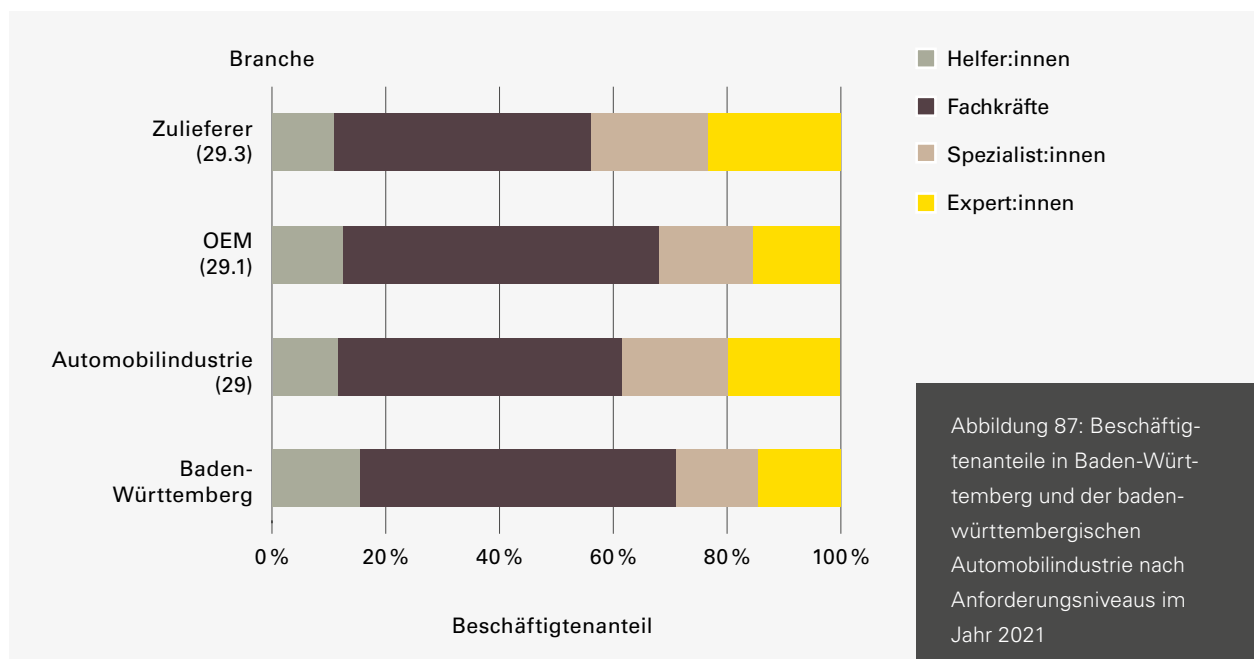
Aus Werten von Dengler und Matthes (2015a, 2015b) ergibt sich ein Anteil von ca. 15 % der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in Deutschland, die einen Beruf mit hohem Substituierungspotenzial ausüben. Hafenrichter et al. (2016) übertragen diese Bewertungen auf das Land Baden-Württemberg und kommen auf einen Anteil von 17,4 % der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten, die in Berufen mit hohem Substituierungspotenzial arbeiten.

Auch die fortschreibenden Studien des Instituts für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB) konstatieren für Baden-Württemberg ein verhältnismäßig hohes „Substituierbarkeitspotenzial“ über dem bundesdeutschen Durchschnitt (IAB, 2021), das mit dem in Baden-Württemberg deutlich höheren Anteil an Beschäftigten in der gewerblichen Wirtschaft und den hier vor allem betroffenen Fertigungs- und fertigungstechnischen Berufen erklärt wird. Diese umfassen mit über 70 % einen hohen Anteil von Tätigkeiten, die „schon heute potenziell von Computern erledigt werden können“ (IAB, 2021). In Bezug auf Anforderungsniveaus sind Helfer- und Fachkraftberufe mit Substituierbarkeitspotenzialen von jeweils über 58 % besonders betroffen. Diese Potenziale steigen für alle Berufsseg-

mente sowie für alle Anforderungsniveaus seit Beginn der Untersuchungen des IAB im Jahr 2013 stetig an.

Die Herausforderungen der Digitalisierung liegen weniger in den Rationalisierungseffekten der Technologien, denn es ergeben sich auch neue Arbeitsplätze. In der Gesamtbilanz wird bis 2030 nur ein moderater Beschäftigungsabbau von ca. 60.000 Beschäftigten (bei ca. 4 Mio. Beschäftigten in Deutschland insgesamt) erwartet, wie eine Studie von Wolter et al. (2015) zeigt. Die große Herausforderung für die Wirtschaft und die Beschäftigten besteht in dem Wandel der Arbeitsplätze: Rechnerisch ermitteln diese Prognosen, dass ca. 400.000 Beschäftigte ihr Berufsfeld wechseln müssen. Davon müssen ca. 150.000 Beschäftigte auch die Branche wechseln. Am stärksten vom Stellenabbau betroffen werden die Facharbeiter:innen sein, während die Hochschulabsolvent:innen zu den Gewinner:innen gehören werden.

Diese Ermittlungen von Substituierbarkeitspotenzialen berücksichtigen nicht, inwieweit der Einsatz digitaler Technologien in Arbeitsprozessen tatsächlich wirtschaftlich ist. So kann es Berufe geben, bei denen substituierbare von nicht substituierbaren Tätigkeitsanteilen nicht getrennt werden können: So wird in der Montage ein Teil der Arbeit von Helfer:innen und Facharbeiter:innen ersetzt, beispielsweise durch den Einsatz von Leichtbaurobotern oder fahrerlosen Transportsystemen. Das



Erkennen von Prozessfehlern, die Weiterentwicklung von Prozessen und der Arbeitsorganisation oder die Einführung von neuen Verfahren sind jedoch nicht substituierbar und können nur zusammen mit den ersten Tätigkeiten ausgeführt werden. Deutlich werden die Effekte auch beim Personalbedarf in automatisierten Shuttles: Die Tätigkeit der Fahrer:innen wird vom autonom fahrenden Shuttle übernommen. Aber die Inbetriebnahme der Fahrzeuge, die Streckenkontrolle und der Austausch mit Fahrgästen erfordert weiterhin Personal, das in Teilen auch vor Ort sein muss. Das Projekt „Ameise“ mit einem autonomen Shuttle in Waiblingen hat auch die wirtschaftlichen Effekte untersucht und kommt zu dem Ergebnis, dass zumindest in einer längeren Übergangszeit mit erheblich höheren Kosten für das autonome Fahren zu rechnen ist und die erwartenden Einsparungen bei Personalkosten geringer als erwartet ausfallen.

Die aufgezeigten Effekte können nicht pauschal auf die hier im Fokus stehende Automobilindustrie übertragen werden. Doch mit den schon beschriebenen ständigen Prozessoptimierungen der Branche (siehe Kapitel 3) gehört sie zu den frühen Anwendern digitaler Technologien in Arbeitsprozessen. Vor allem kleine und mittlere Unternehmen der Branche müssen die Digitalisierung umsetzen, um konkurrenzfähig zu bleiben. Und der hohe Anteil an Fertigungs- und fertigungstechnischen Berufen sowie der hohe Beschäftigtenanteil an Angelernten und Facharbeiter:innen legen hohe Substitutionspotenziale nahe, so dass insbesondere in den Produktionsbereichen negative Beschäftigungseffekte zu erwarten sind. Gleichzeitig zeichnet die baden-württembergische Automobilindustrie ein hoher Anteil von Expert:innen und Spezialist:innen und ein sehr hoher Anteil indirekter Beschäftigter in den Konzernzentralen und FuE-Bereichen aus. Einige Produktionswerke werden in Verbindung mit Forschung und Entwicklung zu Kompetenzzentren für neue Technologien ausgebaut, so dass sie auch in den nächsten zehn bis 20 Jahren von der Transformation profitieren können. Hier kann das Cluster von einem konsequenten Umbau und Aufbau der Forschungseinrichtungen und breiten Weiterbildungsangeboten zu Elektromobilität und automatisiertem Fahren für alle Beschäftigten profitieren.

Dieser Umbau der Weiterbildungsangebote stellt die baden-württembergische Industriepolitik vor neue Herausforderungen. Einerseits muss es darum gehen, mit passenden Qualifizierungsprogrammen die Beschäftigten in der Branche auf die neuen Aufgaben vorzubereiten. „(Weiter-)Bildung ist demnach eines der wichtigsten Handlungsfelder im Kontext der Digitalisierung“ (Hafenrichter et al., 2016). Andererseits reichen

aufgrund der erheblichen Qualifizierungssprünge (z. B. von Facharbeiter:innen auf ein Niveau akademischer Abschlüsse) und aufgrund der zum Teil branchenübergreifenden Verschiebungen (z. B. von Automobilzulieferer zu Softwareunternehmen) einfache betriebliche Fortbildungsprogramme nicht aus, so dass hier neue überbetriebliche Qualifizierungskonzepte gefordert sind.

### 6.3 Globalisierung der Produktionsnetzwerke

Etliche der baden-württembergischen Automobilunternehmen haben sich international aufgestellt und in den letzten Jahren das Marktwachstum der außereuropäischen Märkte genutzt. Insbesondere China und das übrige Asien waren in den letzten zehn Jahren Wachstumstreiber. China war im Jahr 2022 der größte Absatzmarkt mit insgesamt über 23,5 Mio. Pkw-Zulassungen, gefolgt von den USA mit 13,7 Mio. und Europa (inkl. UK) mit ca. 11,3 Mio. Fahrzeugen. Weltweit wurden im Jahr 2022 ca. 71,2 Mio. Pkw neu zugelassen (VDA, 2023c). In Reaktion auf diese Entwicklung hat die Automobilindustrie ihr Exportmodell auf ein Konzept regionaler Versorgung „local for local“ umgestellt. In den drei Weltmärkten Europa, Nordamerika und Asien werden weitgehend unabhängige Produktionsnetzwerke einschließlich dort angesiedelter Forschung und Entwicklung aufgebaut. Damit können die global tätigen Konzerne auf regionale Besonderheiten der Märkte, aber auch auf Störungen bei der Material- und Teileversorgung sowie der Lieferketten besser reagieren. Zudem kommt der Produktionsaufbau im Ausland dortigen Forderungen nach lokalen Produktionsanteilen („local content“) nach. Diese globalen Produktionsnetzwerke werden dann von den zentralen Standorten aus gesteuert (e-mobil BW, 2022a; Bachtler, 2019). Mit den Erfahrungen aus der weltweiten Covid-19-Pandemie könnte sich die Trennung in drei Produktionsnetze beschleunigt haben. Darauf weisen Ankündigungen aus den Unternehmen hin: So baut die Mercedes-Benz Group AG in Deutschland, China und den USA drei Produktionsnetzwerke für Batterien auf (Auto Zeitung, 2020). Die Abkopplung der europäischen Produktion vom weltweiten Markt wurde in den Annahmen für die Beschäftigungseffekte der Gesamtbranche berücksichtigt (siehe Kapitel 5). Den OEM folgen die Zulieferer, die ebenfalls in den Weltmärkten Produktion aufbauen.

Zusätzlich ändert sich das Produktionsnetzwerk innerhalb Europas, wo der Schwerpunkt nach Osteuropa verschoben wird. Treiber hier ist die Zulieferindustrie, die mit der Erschließung der sogenannten Low-Cost oder Best-Cost Countries den Er-

folg der Branche vorangetrieben hat und dafür spezifisches Wissen zur Betreuung und zum Aufbau der industriellen Produktion entwickelt hat. Die Dimension dieser Entwicklung wird deutlich, wenn man die Entwicklung der Importe von Zulieferteilen nach Deutschland analysiert. So sind zwischen 2007 und 2014 die Importe von Zulieferteilen aus Mitteleuropa von 9,8 Mrd. EUR auf 16,6 Mrd. EUR um knapp 70 % gestiegen, während die Importe aus den süd- und westeuropäischen Ländern von 11 Mrd. EUR auf 11,4 Mrd. EUR fast gleich geblieben sind (Schwarz-Kocher und Stieler, 2019). Diese Verschiebung der Einfuhren nach Osten hielt bei den Kfz-Teilen bis 2020 an: An den Importen von Kfz-Teilen und -Zubehör im Gesamtwert von 30,1 Mrd. EUR hatten die west- und mitteleuropäischen Länder<sup>20</sup> einen Anteil von 45,2 %; 54,8 % der Einfuhren im Wert von 19,4 Mrd. EUR wurden aus ost- und südosteuropäischen Ländern<sup>21</sup> importiert. Bei den gesamten Einfuhren (Kraftfahrzeuge, Motoren und Motorenteile sowie Kfz-Teile und Zubehör) war das Verhältnis genau umgekehrt, hier kommen 54 % aus den west- und mitteleuropäischen Ländern (VDA, 2022c).

Damit stehen in Baden-Württemberg sowohl die Standorte der OEM wie auch der Zulieferer einschließlich der Entwicklungsdienstleister unter anhaltendem Kostendruck und können wachsende Lohnkostennachteile immer schwerer durch höhere Produktivität ausgleichen. Eine exemplarische Verlagerungsrechnung von einem baden-württembergischen an einen osteuropäischen Standort zeigt, dass der Lohnkostenunterschied schon nach gut einem Jahr höhere Kosten für Transport und Wartung und die Einmalkosten für die Verlagerung ausgleichen kann (e-mobil BW, 2022a). Diese Entwicklung ist noch nicht abgeschlossen, vielmehr könnte der Transformationsprozess zur Elektromobilität den Ausbau der osteuropäischen Produktionsnetzwerke noch beschleunigen, denn es werden alle Optionen zur Kostenreduktion genutzt, um die hohen Investitionen in die neuen Technologien zu finanzieren. Auch Produkte des Verbrennungsmotors könnten verstärkt verlagert werden, weil die Strategie des „Last Man Standing“ einem besonderen Kostendruck unterliegt (CLEPA und strategy&, 2021). Vor allem die Standorte der Zulieferindustrie stehen unter dem Verlagerungsdruck, wie baden-württembergische Beispiele zeigen.

- Die Eberspächer Gruppe schloss das Werk am Stammsitz

in Esslingen und verlagert die Produktion nach Polen (Automobilwoche, 2020d).

- Die Mahle GmbH schließt den Standort Gaildorf im Laufe des Jahres 2023 (Produktion 2020).
- Bei der Daimler Truck AG werden die Standorte Mannheim und Neu-Ulm mit Investitionen von 150 Mio. EUR abgesichert, dafür wird der Bus-Rohbau für drei westeuropäische Standorte in Tschechien zusammengelegt (Daimler Truck AG, 2023).

Setzt sich die Verlagerung der Produktion aus den Jahren vor der Pandemie fort, könnten bis 2030 weitere 10 % der Produktionsarbeitsplätze aus der Zulieferindustrie nach Osteuropa verlagert werden. Agora Verkehrswende (2021a) sieht bis 2030 eine Verlagerung von 65.000 Arbeitsplätzen aus Deutschland heraus, übertragen auf Baden-Württemberg wären das 15.600 Arbeitsplätze, und somit ca. 5 % des Clusterkerns und ca. 8 % der Produktionsarbeitsplätze. Bis 2020 hat der Beschäftigungsaufbau in indirekten Tätigkeiten den Beschäftigungsverlust ausgeglichen, doch zukünftig scheint ein Beschäftigungsabbau realistisch, wie er seit 2021 in den Beschäftigtendaten zu sehen ist. Bei den OEM ist die Beschäftigung bislang eher stabil, sie haben – anders als die Zulieferer – eine deutlich bessere Ertragslage. Außerdem holen sie bislang an Zulieferer vergebene Wertschöpfungsanteile zurück und sichern damit ihre eigenen Arbeitsumfänge ab (e-mobil BW, 2022a).

Die Produktionsverlagerung spiegelt sich bei den Beschäftigten wider. Bei weitgehend stabiler Beschäftigtenzahl hat sich ihr Berufshintergrund deutlich geändert. Während Produktionsbeschäftigte abgebaut wurden, wurden internationale Konzernleistungen sowie Forschung und Entwicklung und damit Beschäftigung in FuE, Vertrieb und Verwaltung aufgebaut. So zeigt eine Auswertung der Berufsstatistiken der Bundesagentur für Arbeit für das Projekt „Standortperspektiven in der Automobilzulieferindustrie“, dass zwischen 1999 und 2015 der Anteil der Fertigungsberufe in der deutschen Automobilzulieferindustrie von 69 % auf 55 % der Gesamtbeschäftigten deutlich zurückgegangen ist (Schwarz-Kocher und Stieler, 2019). Eine ähnliche und aktuelle Auswertung für Baden-Württemberg ergab zwischen 2015 und 2022 für die baden-württembergische Automobilindustrie einen Rückgang der Fertigungs- und

20 | Belgien, Dänemark, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Italien, Luxemburg, Niederlande, Österreich, Portugal, Schweden, Spanien und Vereinigtes Königreich.

21 | Bulgarien, Estland, Kroatien, Lettland, Litauen, Malta, Polen, Rumänien, Slowakei, Slowenien, Tschechische Republik, Ungarn und Zypern.

der fertigungstechnischen Berufe von 72 % auf 68 % (Bundesagentur für Arbeit, 2023 und 2015, eigene Berechnungen IMU; aufgrund eines Wechsels der Systematik in der Berufsstatistik sind die beiden Auswertungen nicht direkt miteinander vergleichbar).

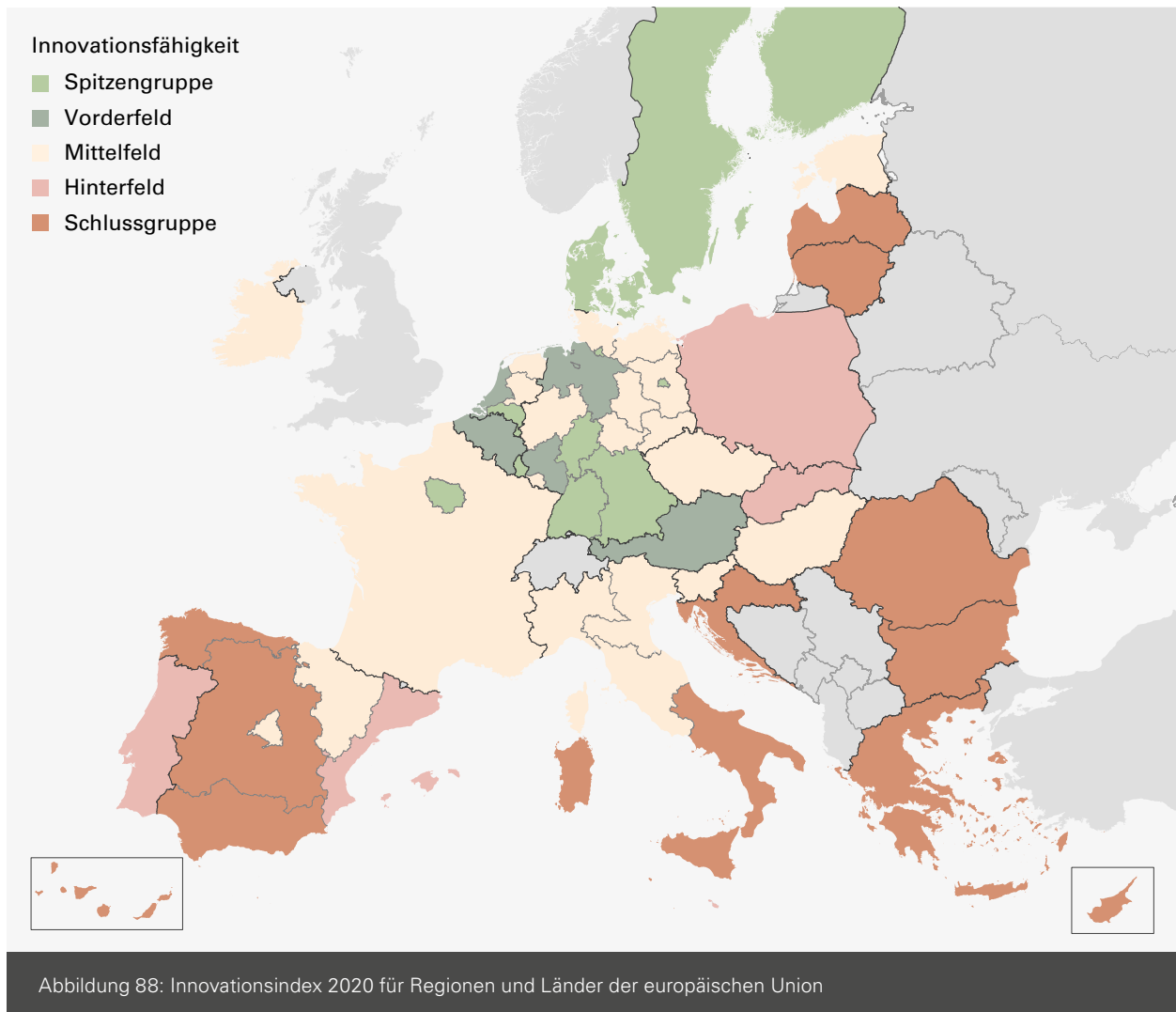
#### 6.4 Baden-Württemberg als industrielles Innovationscluster

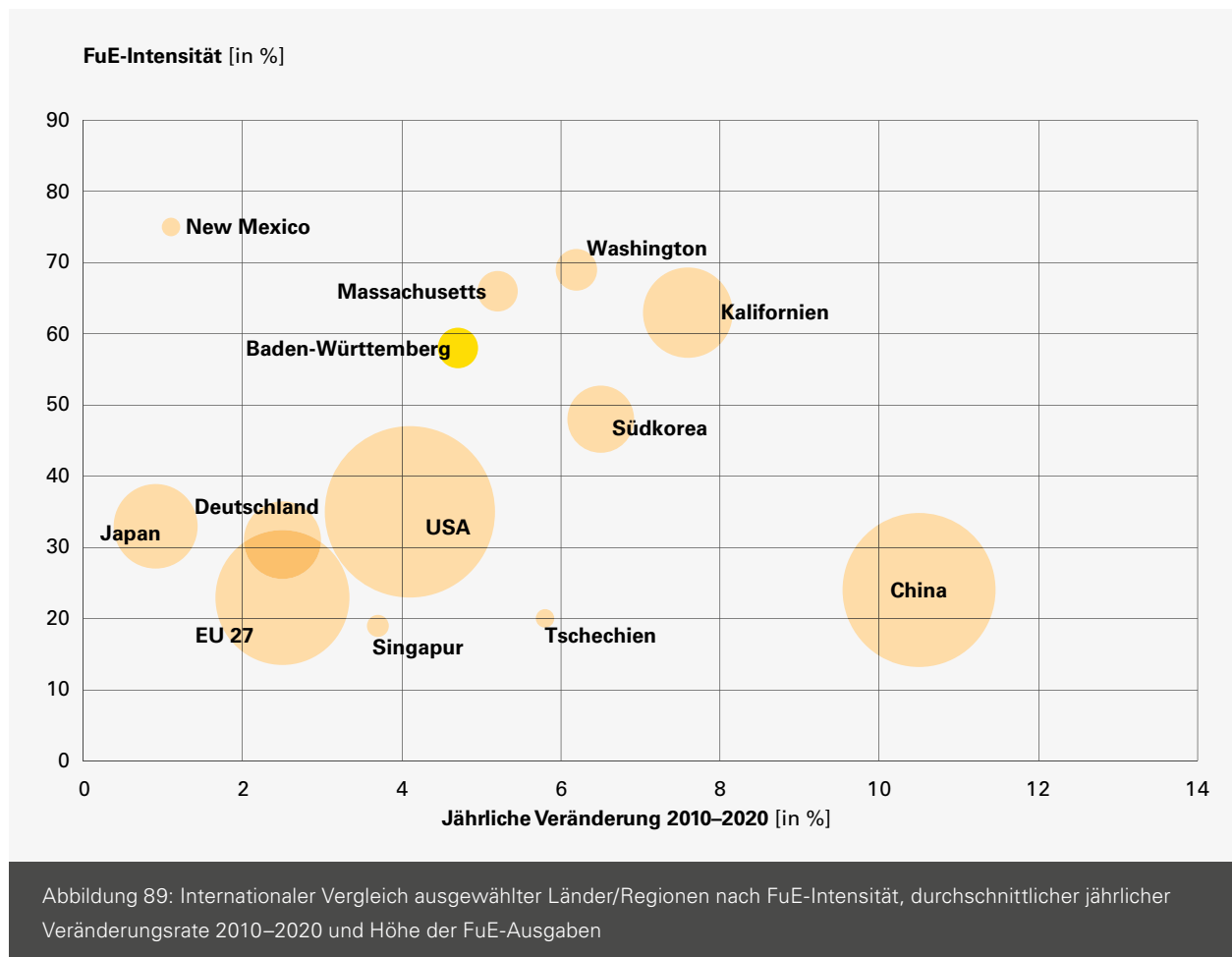
Der deutliche Trend zu höherqualifizierten Beschäftigten geht damit einher, dass Baden-Württemberg seit Jahren eine starke Industrieregion Deutschlands und Europas darstellt. Das sichert Beschäftigung und Wohlstand der baden-württembergischen Bevölkerung. Dieser Zusammenhang wird schon beim Vergleich des Pro-Kopf-Einkommens deutlich: Es lag 2020 in Baden-Württemberg mit 25.513 EUR um 7 % bzw. 1.760 EUR über dem Bundesdurchschnitt (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2022i). Damit liegt Baden-Württemberg mit Bayern und Hamburg an der Spitze im Bundesvergleich. Ein Vergleich zwischen deutschen Stadt- und Landkreisen nach Anteil produktionsnaher Beschäftigter in der Automobilwirtschaft und den Pro-Kopf-Arbeitnehmerentgelten zeigt einen positiven Zusammenhang beider Merkmale: Je höher die Beschäftigtenanteile an der Automobilindustrie, desto höher sind auch die Entgelte. Das gilt gleichermaßen im Bundes- wie im Landesvergleich: Die Stadt Stuttgart, die Landkreise Böblingen, Heilbronn und Ludwigsburg sowie der Bodenseekreis zeichnen sich durch besonders hohe Pro-Kopf-Entgelte aus (Münzenmaier, 2022).

Die Automobilindustrie ist dabei der bedeutendste Wachstumstreiber in Baden-Württemberg (siehe auch Kapitel 3). Mit ca. 480.000 Beschäftigten können 10 % der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten dem Automobilcluster zugeordnet werden, und auch bei der engeren Abgrenzung der Automobilindustrie steht Baden-Württemberg für ein Viertel aller Branchenbeschäftigten der deutschen Automobilindustrie. Auch ein Viertel der deutschen FuE-Ausgaben wird in Baden-Württemberg getätigt. Dieser hohe Aufwand für Forschung und Entwicklung lässt Baden-Württemberg 2020 im Vergleich europäischer Regionen den vordersten Platz einnehmen: Es liegt im Innovationsindex mit einem Indexwert von 81 noch deutlich vor anderen Regionen der Spitzengruppe (Bayern 61,7; Île de France 61; Schweden 60; Berlin 59,5; Zuid-Nederland 58,6; Dänemark 56,9; Hamburg 54,4; Hessen 54,2; Finnland 52,5 und Luxemburg 60,8) (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2021c).

Die Branchenentwicklung beeinflusst daher in vielen Regionen Baden-Württembergs das Wirtschaftsgefüge und den Wohlstand. Die Transformation zur Elektromobilität und die oben beschriebenen Megatrends der Branche können dazu führen, dass die Gesamtbeschäftigung und vor allem die Zahl der Produktionsbeschäftigten bis 2030 und darüber hinaus abnehmen wird. Der Aufbau neuer Produktion für Komponenten der Elektromobilität und für Komponenten des automatisierten Fahrens gleicht die Verluste nicht vollständig aus (siehe Kapitel 5.2 und 5.3). Gleichzeitig stützt sich die wirtschaftliche Stärke Baden-Württembergs auf die hochinnovativen Industriebranchen:

Auch im weltweiten Vergleich kann Baden-Württemberg dem Spitzenfeld zugeordnet werden: Es erbrachte 2020 fast 2 % des weltweiten FuE-Aufkommens und liegt mit einem FuE-Anteil von 5,8 % des Bruttoinlandsprodukts vor Ländern wie China (2,4), Japan (3,3) oder Südkorea (4,8), allerdings hinter einzelnen US-amerikanischen Regionen wie Kalifornien (6,3), Massachusetts (6,6), Washington (6,9) und New Mexiko (7,5). Deutliche Unterschiede ergeben sich zwangsläufig im Umfang der FuE-Ausgaben, die in Ländern wie den USA oder China (mit 721 bzw. 583 Mrd. USD), aber auch in Kalifornien, Japan und Südkorea mit jeweils über 100 Mrd. USD ein Vielfaches des baden-württembergischen Betrags (40 Mrd. USD) erreichen (Einwiller, 2022b; Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2022j).





Die wirtschaftliche Stärke Baden-Württembergs stützt sich seit Jahren auf die hohe Innovationsleistung der Industrie, insbesondere der Automobilindustrie. Das Automobilcluster hat als Innovationscluster der automobilen Produktion eine weltweit führende Position erreicht, die maßgeblich durch die Produktentwicklung, die Endmontage und die Produktion von Komponenten und Teilen durch die Zulieferindustrie geprägt ist. Seine Hauptstärke liegt dabei in der Produkt- und Prozessinnovation (Schwarz-Kocher und Stieler, 2019). Exemplarisch stehen dafür der Drive Pilot in Fahrzeugen der S-Klasse bzw. im EQS und das erste autonome Parksystem (Automated Valet Parking, AVP), mit denen die Mercedes-Benz Group AG als erster Hersteller weltweit Zulassungen für automatisiertes Fahren erhalten hat (KBA, 2022c und KBA, 2021). Das weltweit erste für AVP ausgerüstete Parkhaus betreibt die Robert Bosch GmbH am Stuttgarter Flughafen. In konsequenter Fortsetzung dieser Innovationsstrategie haben die Mercedes-Benz Group

AG und die Porsche SE angekündigt, künftig stärker auf Luxusfahrzeuge zu setzen und damit höhere Renditen erzielen zu wollen (Automobilwoche, 2023h, 2023i).

Unter den Rahmenbedingungen der Megatrends, des Wandels zur Elektromobilität und der neuen Option des automatisierten Fahrens ist die Perspektive des baden-württembergischen Automobilclusters kritisch zu betrachten: Die Integration neuer Technologien in das Fahrzeug selbst – in die Hardware – hat bislang die zentrale Stärke des Clusters ausgemacht. Hier liegen auch zukünftig seine großen Chancen, die gleichermaßen Risiken beinhalten.

- Die Weichen zur Elektromobilität sind gestellt, die Hersteller veröffentlichen immer frühere Termine zum Ausstieg aus der Verbrennertechnologie. Gleichwohl ist der elektrische Antriebsstrang nicht mit einem in über

100-jähriger Entwicklung ausgereiften Verbrennungsmotor zu vergleichen, insbesondere mit Blick auf knappe Rohstoffe und CO<sub>2</sub>-Neutralität sind weiterhin große Innovationsleistungen erforderlich. Das gilt auch für das Hochfahren einer industriellen Produktion auf Stückzahlen auf dem Niveau der derzeitigen Antriebe. Die mit dem DLR VECTOR21-Modell simulierten Markthochlaufszenerarien verdeutlichen die außerordentlichen Steigerungsraten, die für einen Wettbewerbserfolg bewältigt werden müssen. Hier könnte das baden-württembergische Cluster seine Stärke ausnutzen und in der engen Verzahnung von Produktionswissen und Produktinnovationen die Industrialisierung der Elektromobilität erfolgreich umsetzen. Ein derart gelungener Transformationsprozess stärkt die baden-württembergischen Standorte, die sich als Kompetenzzentren für Elektromobilität profilieren können. Voraussetzung ist jedoch ein entschiedener Wandel, der von allen Clusterakteuren vorangetrieben wird.

- Auch im automatisierten Fahren liegen Wertschöpfungspotenziale und Beschäftigungspotenziale für Baden-Württemberg, wie die Ableitung aus den Metaanalysen und Experteneinschätzungen zum Markthochlauf unterschiedlicher SAE-Level für Pkw und Lkw zeigt. Der Rechtsrahmen in Deutschland und die ersten Zulassungen für Straßenfahrzeuge mit Level 3 sind erste Meilensteine für die Umsetzung in wirtschaftlichen Erfolg. Hier ist die Nutzung der Chancen allerdings voraussetzungsvoller als bei der Elektromobilität: Auf erfolgreiche Entwicklungen folgt nicht automatisch ein Produktionsaufbau an baden-württembergischen Standorten. Die befragten Expert:innen waren hier skeptisch, und auch die Darstellungen zum Verlust von Produktionsarbeitsplätzen unterstreichen, dass aus Unternehmenssicht Hürden wie hohe Flächen- und Lohnkosten, niedrige Förderquoten oder ein hoher Zeit- und Personalaufwand bei Genehmigungsverfahren einem Produktions- und Beschäftigungsaufbau in Baden-Württemberg im Weg stehen. Das betrifft konkret verfügbare Flächen und die erforderlichen Investitionen, aber auch die Grundlagen- und Anwendungsforschung für automatisiertes Fahren sowie die Verfügbarkeit von Test- und Demonstrationsfeldern. Die Erfahrungen aus den bestehenden Testfeldern in Baden-Württemberg zeigen, dass über die heute bereits verfügbaren Testfelder, Teststrecken und Reallabore hinaus weitere Kapazitäten in Baden-Württemberg aufgebaut werden müssen (MV BW, 2022).

- Die Stärken der baden-württembergischen Automobilindustrie liegen in der Produktion hochwertiger Fahrzeuge, Komponenten und Teile. Die Digitalisierung der Fahrzeuge erfordert hohe Kompetenzen bei der Softwareentwicklung, dem Zusammenführen der Software mit den jeweiligen Fahrzeugkomponenten und künftigen Zugängen zu Fahrzeugen mittels „Over-the-Air-Updates“. Hier müssen die OEM und die Tier-1-Zulieferer Kompetenzen aufbauen und stehen mit neuen Konkurrenten im Wettbewerb. Unternehmerische Tätigkeiten werden bereits mit Mitteln des Konjunkturpaktes 35c gefördert, wie beispielsweise das Projekt „Software-defined Car“ (Sofdcar, 2023).
- Außerdem eröffnet die erfolgreiche Internationalisierung der baden-württembergischen Automobilindustrie vielfältige Optionen: Finden die Standorte hier ihre Rolle als Kompetenzzentren für weltweite Innovationsleistungen bei Produkt und Prozess, stärkt diese Entwicklung ganz unmittelbar das innovative Automobilcluster. Gleichzeitig droht bei den international tätigen Konzernen das Risiko, dass sie mit ihrer Produktion noch stärker als bisher Marktchancen folgen und Anteile an neuen Komponenten für Baden-Württemberg verloren gehen.

Damit wird deutlich, dass die Transformation der Automobilindustrie sowohl Risiken als auch Chancen für die Wirtschaftskraft Baden-Württembergs bedeutet. Nur mit einem Umbau des industriellen Innovationsclusters kann die wirtschaftliche Stärke Baden-Württembergs erhalten werden. Voraussetzung dafür ist, dass die notwendigen Rahmenbedingungen für dieses Erfolgsmodell von allen Akteuren erkannt und konsequent umgesetzt werden. Gleichzeitig müssen sich die Unternehmen zu den baden-württembergischen Standorten dieses industriellen Innovationsclusters bekennen. Sie haben eine zentrale Stellung im Cluster, das sich aber mit allen Akteur:innen konsequent zu den neuen Technologien hinwenden muss.

Ob und in welchem Umfang die Innovationsimpulse des technologischen Wandels zur Elektromobilität und zum automatisierten, vernetzten Fahren zur Stärkung der Wirtschaftsregion Baden-Württemberg genutzt werden können, hängt wesentlich von der Umsetzungsgeschwindigkeit ab. Die in Kapitel 5 betrachteten Jahre 2030 und 2040 sind Ankerpunkte für die Berechnungen zu Wertschöpfungspotenzialen und Beschäftigungseffekten, aber keine Fixpunkte zur Orientierung für Entscheidungen. Schnelle und konsequente Entscheidungen halten Gestaltungschancen offen; werden sie verpasst, gefährdet das die wirtschaftliche Stärke Baden-Württembergs.





# 07

## Zusammenfassung und Handlungsoptionen



# 07

## Zusammenfassung und Handlungsoptionen

### In Kürze

- Der Wegfall von Komponenten des verbrennungsmotorischen Antriebsstrangs (Fade-out) und der Markthochlauf von Komponenten für Elektromobilität sowie für das automatisierte Fahren (Fade-in) haben auf das Automobilcluster in Baden-Württemberg einen deutlichen Effekt: Im Szenario „Business-as-usual“ ergibt sich für 2030 ein Beschäftigungsrückgang um ca. 8%, im Szenario „Progressiv“ um ca. 14%. Bis 2040 fällt der Beschäftigungseffekt durch den vollständigen Wegfall des ICE rechnerisch sehr viel stärker aus (über –30%).
- Bleiben Investitionen bzw. der Aufbau von FuE sowie die Produktion für Komponenten des elektrischen Antriebsstrangs und des automatisierten Fahrens aus, ist zunächst bei den Antriebsstrang-abhängigen Zulieferern ein starker Beschäftigungsabbau zu erwarten, der aber letztlich das gesamte industrielle Innovationscluster gefährdet.
- Die rechnerischen Beschäftigungseffekte setzen voraus, dass ein Beschäftigungsaufbau für Komponenten der Elektromobilität und des automatisierten Fahrens im Pkw- sowie im Lkw-Segment erfolgt und die Fade-out-Effekte durch den Wegfall der Verbrennungstechnologie kompensiert. Das erfordert vor allem von Unternehmen Investitionen und von der Politik die Verbesserung der Bedingungen an den baden-württembergischen Standorten, die mit Blick auf die Dringlichkeit eine große Herausforderung darstellen.

- Wichtige und dringende Handlungsfelder bestehen daher in der Neuausrichtung des Automobilclusters auf Elektromobilität, in der Sicherung des Standorts durch verfügbare Flächen und der Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien an der Stromversorgung. Mittelfristig werden insbesondere der Aufbau des Batterierecyclings und die hohe Flächeneffizienz industrieller Nutzungen relevant. Ergänzend sollte das Nutzfahrzeugsegment einschließlich dessen Produktion in Baden-Württemberg gestützt werden. Die Erschließbarkeit von Flächen und die Inbetriebnahme von Energie- sowie Dateninfrastrukturen könnten beim Umbau einen limitierenden Faktor darstellen.
- Nur die konsequente Verbesserung der Standortfaktoren und transformationsbegleitende Maßnahmen in den oben genannten Handlungsfeldern sichern den Beitrag der Automobilindustrie für die wirtschaftliche Stärke Baden-Württembergs.

### 7.1 Kernergebnisse der Studie

#### Technologiewandel und wesentliche Trends

Die Elektrifizierung der Fahrzeuge nimmt kontinuierlich zu. Zum einen steigt die Zahl elektrischer und elektronischer Komponenten in Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren, zum anderen steigt der Anteil von Fahrzeugen mit Hybrid- und batterieelektrischem Antrieb. Dadurch gibt es verschiedene Bauformen und Grade der Elektrifizierung – vom Hybrid- bis zum reinen Batteriefahrzeug – mit unterschiedlichen elektrischen Leistungen, Reichweiten und Fahranteilen. Auch das Angebot an

Elektrofahrzeugen steigt kontinuierlich, derzeit sind über 1.000 elektrifizierte Modellvarianten auf dem deutschen Markt verfügbar. Aktuelle Unternehmens-, Innovations-, Produkt- und Plattformstrategien der deutschen Automobilhersteller lassen eine eindeutige Ausrichtung auf batterieelektrische Antriebe erkennen.

Im Gegenzug werden Entwicklungsumfänge und -varianten bei klassischen Komponenten zugunsten neuer Komponenten im E-Antriebsstrang (Batterie, E-Motor, Leistungselektronik) und für das automatisierte/vernetzte Fahren reduziert. Neue Komponenten verändern die Wertschöpfungsanteile am Fahrzeug signifikant: Der Schwerpunkt der Wertschöpfung verschiebt sich von der Mechanik zur Elektrik und Elektronik beziehungsweise von Hardware zur Software.

Ein wesentlicher Aspekt der Digitalisierung in der Mobilität ist die Konnektivität bzw. Kommunikation der Fahrzeuge untereinander, mit der Infrastruktur oder mit speziellen Plattformen, so dass neue Funktionen und Geschäftsmodelle ermöglicht werden. Im Wechselspiel dazu werden Fahrassistenzsysteme wie Spurhalte-, Spurwechsel- und Abstandsassistenten sowie Einparkhilfen entwickelt, die technologische Schritte auf dem Weg zum hoch automatisierten Fahren darstellen. Teilautomatisierte Fahrzeuge existieren schon heute, vollautomatisiertes bzw. autonomes Fahren wird zwischen 2025 und 2035 erwartet. Es soll dazu beitragen, die Verkehrssicherheit und die Mobilitätsangebote für alle gesellschaftlichen Gruppen zu erhöhen. Die Anwendung von Künstlicher Intelligenz (KI) oder andere Technologiesprünge z. B. bei der Batteriezellenfertigung können zu extremen Effekten auf Wertschöpfungsketten und Beschäftigungsentwicklungen führen. Diese „Game Changer“ sollten per Scouting und Monitoring beobachtet und in zukünftigen Branchenbeschreibungen und Marktanalysen berücksichtigt werden.

Die Kombination aus vernetzten, intelligenten Verkehrselementen und automatisiert/autonom fahrenden Fahrzeugen führt zur Entwicklung neuer Mobilitätsdienstleistungen und Geschäftsmodelle.

### **Branchenbeschreibung und Marktanalyse**

Die Automobilindustrie ist in Baden-Württemberg eine der industriellen Kernbranchen mit einem Jahresumsatz von etwas mehr als 135 Mrd. EUR und etwa 225.000 Beschäftigten. Darüber hinaus sind im Automobilcluster mit der Erweiterung um weitere Branchen des Verarbeitenden Gewerbes und weiteren

Dienstleistungen wie dem Kfz-Gewerbe ca. 480.000 Beschäftigte tätig, davon 315.000 im Wertschöpfungskern, 66.000 in FuE-nahen Arbeitsfeldern. Die direkten und indirekten Beschäftigungseffekte der Automobilindustrie machen ca. ein Zehntel der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in Baden-Württemberg aus. Das Lkw-Segment umfasst in Baden-Württemberg ca. 12 % der Beschäftigten der Automobilindustrie und ergänzt das Fahrzeugangebot um technisch anspruchsvolle Lkw und Busse.

Große Herausforderungen für die Branche bestehen bei den Investitionen und dem Finanzierungsbedarf der Transformation. Die exemplarische Darstellung von Investitionskennzahlen für sechs Unternehmen zeigt eine zurückhaltende Investitionsneigung für deutsche Standorte auf. Gleichzeitig investieren deutsche OEM und Zulieferer seit Jahren im Ausland. Nach dem Aufbau von Produktionskapazitäten im Ausland zielen insbesondere die Hersteller jetzt darauf, weitgehend eigenständige Produktionsnetzwerke in den drei Weltmarktregionen Europa, Nordamerika und Asien (hier vor allem China) aufzubauen. Außerdem stellt für Baden-Württemberg die relativ knappe Flächenverfügbarkeit und die aufwändige Erschließung dieser Flächen sowie das knappe Flächenangebot für industrielle Nutzungen eine zusätzliche Erschwernis dar.

2022 wurden weltweit ca. 7,8 Mio. BEV und 2,8 Mio. PHEV neu zugelassen, der Bestand erreichte damit erstmals mehr als 27 Mio. elektrifizierte Pkw. China ist Haupttreiber der Entwicklung, dort sind derzeit über 50 % aller E-Fahrzeuge weltweit zugelassen. Deutschland und Baden-Württemberg liegen bei relativen Marktanteilen im Vergleich mit den Haupttreibern China, Norwegen und den Niederlanden weit dahinter. Politische Ziele, Kaufanreize, Emissionsgrenzwerte und Infrastrukturverfügbarkeiten variieren im internationalen Vergleich erheblich. Insbesondere durch die Elektromobilität treten zurzeit neue Anbieter in den deutschen Markt ein und stehen mit den „klassischen“ Automobilherstellern und -zulieferern im Wettbewerb. Außerdem konkurrieren Anbieter neuer Mobilitätsdienstleistungen mit den OEM um den Zugang zu den Endkund:innen.

### **Szenarien des Strukturwandels**

Die erfolgskritischen Einflussfaktoren auf die Geschwindigkeit des Markthochlaufs alternativ angetriebener Fahrzeuge sind u. a. die Batteriekosten, die Infrastrukturverfügbarkeit, die CO<sub>2</sub>-Gesetzgebung sowie monetäre Kaufanreize. In den eigens simulierten Szenarien (DLR VECTOR21) für Deutschland er-

reichen rein batterieelektrische Pkw im Jahr 2030 je nach Ausgestaltung der Rahmenbedingungen („Business-as-usual“ vs. „Progressiv“) einen Marktanteil zwischen 34 % und 57 % an den Neuzulassungen (EU: 45 %/62 %). Zwischen 66 % und 43 % sind zu diesem Zeitpunkt (teil-)elektrifiziert und besitzen nach wie vor noch einen Verbrennungsmotor (EU: 55 %/38 %). Im Jahr 2040 werden nahezu ausschließlich batterieelektrische Fahrzeuge nachgefragt, mit Brennstoffzellen angetriebene Fahrzeuge sind im Pkw-Sektor hauptsächlich in Fahrzeugen mit hohen Fahrleistungs- und Reichweitenanforderungen der Oberklasse eine Option, erreichen aber nur Marktanteile von unter 0,5 %.

Rein batterieelektrische Lkw erreichen im Jahr 2030 in Deutschland Neuzulassungsanteile zwischen 23 % („Business-as-usual“) und 50 % („Progressiv“), jedoch mit großen Unterschieden zwischen den einzelnen Nutzfahrzeugsegmenten: Brennstoffzellen-Lkw werden bei hohen Reichweitenanforderungen und Fahrleistungen nachgefragt, bei weniger schweren Fahrzeugen bzw. geringerer Reichweitenanforderung steigen die Anteile batterieelektrischer Fahrzeuge.

Im Jahr 2030 befinden sich im progressiven Szenario ca. 10 Mio. batterieelektrische Pkw und ca. 0,9 Mio. Lkw im deutschen Fahrzeugbestand. Damit wird selbst mit Annahmen einer beschleunigten Elektrifizierung das Ziel der Bundesregierung (15 Mio. BEV) verfehlt.

Die kumulierten Treibhausgasemissionen aus dem Pkw- und Lkw-Sektor übersteigen die im Klimaschutzgesetz genannten Meilensteine 2030 selbst im progressiven Szenario um ca. 27 %. Damit sind neben der technologischen Erneuerung der Fahrzeugflotte weitere politische Maßnahmen notwendig, um die Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor zu reduzieren.

Metaanalysen und Experteneinschätzungen zeigen die Nachfrage nach neuen Komponenten (z. B. LiDAR, Radar, Kamerasysteme) auf, die sich aus dem Markthochlauf der Fahrzeugautomatisierung ergeben. Im Jahr 2030 besitzen demnach ca. 70 % der Pkw-Neuzulassungen Level-2-, 25 % Level-3- und 5 % Level-4-Systeme. Vollständig autonom fahrende Fahrzeuge sind im Markt ab 2033 verfügbar, sie erreichen 2040 einen Anteil von ca. 17 %. Bei Lkw sind im Jahr 2030 ca. 75 % der Neuzulassungen mit Level-2-, 10 % mit Level-3- und bereits

15 % mit Level-4-Systemen ausgestattet. Level 5 besitzt im Jahr 2040 einen Marktanteil von 40 %.

### **Beschäftigungseffekte der Elektromobilität und des automatisierten Fahrens**

Die Beschäftigungseffekte durch den Wegfall des Verbrennungsmotors (Fade-out) und den Markthochlauf von Komponenten für Elektromobilität sowie für das automatisierte Fahren (Fade-in) haben auf das gesamte Automobilcluster in Baden-Württemberg deutliche Auswirkungen.

- Im Szenario „Business-as-usual“ ergibt sich für 2030 ein Beschäftigungsrückgang um ca. 8 % bzw. 36.700 Beschäftigte.
- Im Szenario „Progressiv“ ergibt sich ein Rückgang um ca. 14 % bzw. 66.000 Beschäftigte. Bis 2040 fällt der Beschäftigungseffekt durch den vollständigen Wegfall des ICE<sup>22</sup> rechnerisch sehr viel stärker aus (über -30 %, ca. 154.500 Beschäftigte); das kann als Entwicklungspfad bei einem sich beschleunigenden Markthochlauf von Elektrofahrzeugen gesehen werden, der dynamischer als in den betrachteten Szenarien verläuft. Hierin berücksichtigt ist bereits ein Beschäftigungsaufbau für Elektromobilität.
- Weitere 5.000 bis 7.000 Beschäftigte (2030/2040) können im Bereich der Produktion von Komponenten für das automatisierte Fahren ausgeglichen werden, die zusätzliche Wertschöpfungspotenziale für die Industrie bedeuten.

Zudem wird schon hier vorausgesetzt, dass baden-württembergische Standorte konsequent auf neue Technologien um- und ausgebaut werden und baden-württembergische Unternehmen ähnliche Marktanteile erreichen wie heute bei Komponenten für den verbrennungsmotorischen Antriebsstrang. Mit der erwarteten Konkurrenz chinesischer Hersteller bei Elektrofahrzeugen und einem hohen Preisdruck bestehen hier erhebliche Risiken vor allem für die baden-württembergischen Zulieferer.

22 | Effekte aus synthetischen Kraftstoffen wurden in den Berechnungen nicht berücksichtigt.

Nur wenn diese Voraussetzungen erfüllt sind, können die berechneten Fade-in-Effekte in vollständigem Umfang auch tatsächlich realisiert werden, und die Wirkung auf das gesamte Cluster kann als beherrschbar angesehen werden. Das bedarf gemeinsamer Anstrengungen von Unternehmen, Politik und Gesellschaft.

Die detaillierte Betrachtung einzelner Clustersegmente macht jedoch deutlich, dass die Produktionsstandorte für Komponenten und Teile sowie Forschung und Entwicklung in sehr viel stärkerem Maß von dem Beschäftigungsrückgang betroffen sind – schon im Szenario „Business-as-usual“ entfällt die Hälfte des Arbeitsvolumens. Insbesondere an den Produktionsstandorten des Antriebsstrangs führen erwartbare Rationalisierungseffekte und Standortverlagerungen zu noch größeren Beschäftigungsverlusten. Damit sind zentrale Segmente des baden-württembergischen Innovationsclusters gefährdet.

### **Baden-Württemberg als industrielles Innovationscluster**

Die gesamte Automobilindustrie unterliegt langanhaltenden Megatrends, die für die baden-württembergischen Standorte gleichermaßen Chancen und Risiken bedeuten: Die anhaltende Optimierung der Produktion und in den letzten Jahren auch von Verwaltungs- sowie FuE-Tätigkeiten sichert die hohe Wettbewerbsfähigkeit baden-württembergischer Unternehmen. Dafür wurde jedoch insbesondere in der Produktion in Kauf genommen, dass diese Produktivitätseffekte über die Jahre hinweg zu einem spürbaren Beschäftigungsabbau geführt haben. Dazu haben die Automatisierung der Produktion und deren Verlagerung an kostengünstigere Standorte im Ausland beigetragen. Digitale Technologien werden jetzt auch in Verwaltungs- sowie FuE-Bereichen deutliche Rationalisierungseffekte bewirken, die die Unternehmen in den nächsten Jahren unter anhaltendem Kostendruck realisieren. Der Aufbau von weitgehend eigenständigen Produktionsnetzwerken in den drei großen Weltmärkten Europa, Nordamerika und Asien wird weiter vorangetrieben, die Covid-19-Pandemie hat diesen Umbau beschleunigt. Die baden-württembergischen Standorte der Automobilindustrie werden in dieser Strategie auf den stagnierenden europäischen Fahrzeugmarkt ausgerichtet und können voraussichtlich von einem Marktwachstum in Asien zukünftig nicht weiter profitieren.

## **7.2 Handlungsoptionen in der Transformation des baden-württembergischen Automobilclusters**

Die Handlungsoptionen zielen im Zuschnitt der Strukturstudie 2023 auf die Perspektive Baden-Württembergs als Standort der Automobilindustrie und schließen die Clustersegmente der Nutzung von Kraftfahrzeugen ein, sie betrachten damit das gesamte Automobilcluster als vollständige automobilbezogene Wertschöpfungskette. Sie zielen auf den Erhalt des Automobilclusters als Leitanbieter für Elektromobilität und automatisiertes Fahren, der von Rahmenbedingungen in Form eines korrespondierenden Leitmarkts unterstützt wird. Einige Handlungsfelder ergeben sich aus der aktuellen Studie, andere bestärken die Ergebnisse anderer bzw. vorheriger Studien.

Die Handlungsoptionen adressieren vorrangig Unternehmen und die Politik in Baden-Württemberg. Wenn weitere Handlungsebenen (insbesondere die Bundesrepublik Deutschland und die Europäische Union) an der Umsetzung der Handlungsoptionen zu beteiligen sind, werden sie hier aufgeführt. Sie können nur mittelbar über baden-württembergische Akteure beeinflusst werden.

Mit dem Fokus auf das wertschöpfende Automobilcluster stehen die industriepolitischen Handlungsoptionen im Vordergrund, die sich aus der Betrachtung des Automobilclusters und dessen mögliche Veränderungen durch die in den Szenarien hinterlegten Rahmenbedingungen ergeben. Der für einen nachhaltigen Verkehr erforderliche Umbau des Mobilitätssystems und möglicherweise notwendige Änderungen des Mobilitätsverhaltens werden in Verbindung mit einzelnen industriepolitischen Maßnahmen angerissen. Sie können hier jedoch nicht mit ihrer klimapolitischen Dringlichkeit und vor allem nicht in einer wissenschaftlich angemessenen Tiefe und kritischen Reflexion dargestellt werden. Auf den zentralen Zielkonflikt industriepolitischer Maßnahmen muss jedoch hingewiesen werden: Die Dekarbonisierung des Verkehrs erfordert unter anderem den Wechsel zu vollständig CO<sub>2</sub>-neutralen Antrieben, für die derzeit die batterieelektrischen Antriebe priorisiert werden. Damit sind Arbeitsplätze im verbrennungsmotorischen Antriebsstrang gefährdet, die nur zum Teil durch den Aufbau von Beschäftigung für Elektroantriebe und Komponenten des automatisierten Fahrens ausgeglichen werden können. Dieser Zielkonflikt wird sich bei einigen der im folgenden formulierten Handlungsoptionen zeigen. Die Verfasser:innen der Studie empfehlen, das Ziel der Klimaneutralität bei der möglichen Umsetzung aller Handlungsoptionen zu berücksichtigen.

In diesem Abschnitt werden Handlungsempfehlungen für die Zukunftsfähigkeit des gesamten Wertschöpfungsclusters der baden-württembergischen Automobilindustrie vorgestellt. Ziel ist es, Politik und Unternehmen konkrete Handlungsempfehlungen an die Hand zu geben, um den Standort zukunftsfähig aufzustellen und die Transformation des Wertschöpfungsclusters für den elektrischen Antriebsstrang erfolgreich zu bewältigen. Die Handlungsempfehlungen sind in drei Stufen gegliedert, um eine klare Struktur und Priorisierung darzustellen. Jede Handlungsebene fokussiert spezifische Aspekte und stellt die jeweiligen Verantwortungsbereiche von Politik und Unternehmen in den Mittelpunkt. Durch die Umsetzung der Empfehlungen in diesen Handlungsebenen können die Grundlagen für eine nachhaltige und wettbewerbsfähige Automobilindustrie in Baden-Württemberg erhalten bleiben. Die komplexen Herausforderungen erfordern ein vielfältiges Maßnahmenbündel, das das große Themenspektrum aufgreift, sowie ein umfassendes Change Management mit breiter Beteiligung von Politik, Wirtschaft und Gesellschaft.

Im Folgenden werden die Handlungsoptionen näher beschrieben. Entscheidend ist, dass Politik und Unternehmen eng zusammenarbeiten und die vorgeschlagenen Maßnahmen gemeinsam umsetzen, um den Herausforderungen der Zukunft gerecht zu werden. Nur durch ein koordiniertes und zielgerichtetes Vorgehen kann sichergestellt werden, dass der Industriestandort BW seine Position stärkt und sich als Leitanbieter und Leitmarkt im Bereich der elektrischen Antriebstechnologien etabliert.

### **1. Handlungsstufe: Grundlagen erhalten und ausbauen**

Im Rahmen der 1. Handlungsstufe ist insbesondere die Politik gefordert, Grundlagen und Rahmenbedingungen für die industrielle Wertschöpfung am Standort Baden-Württemberg zu erhalten und zukunftsfähig auszubauen. Die Standortentscheidungen treffen die Unternehmen. Politische Entscheidungsträger:innen und Verwaltungshandeln müssen jedoch darauf zielen, diese zugunsten baden-württembergischer Standorte zu beeinflussen und zu begleiten. Das betrifft vor allem die Verfügbarkeit von Flächen für Industriestandorte, die Verfügbarkeit von Strom aus erneuerbaren Energien und zu international konkurrenzfähigen Preisen, den weiteren Ausbau der Ladeinfrastruktur und die Erzeugung von Wasserstoff sowie die Infrastruktur für eine resiliente Wasserstoffversorgung als einen zentralen Baustein der Energiewende. Ebenfalls zu den Grundlagen gehört die Finanzierung der Infrastruktur und der Unternehmenstätigkeiten.

### **Verfügbarkeit von (international) konkurrenzfähigen Industriestandorten**

Eine besondere Herausforderung für den Umbau des Automobilclusters ist die Verfügbarkeit von geeigneten Industriestandorten. Eine zentrale Herausforderung sind die knappen Flächen, dazu kommt die Infrastrukturausstattung der Standorte: die sichere Stromversorgung aus erneuerbaren Energien, Verkehrsanschlüsse und Datenleitungen. Ebenso werden Faktoren wie das Arbeitskräftepotenzial oder die Förderung bei Standortentscheidungen berücksichtigt. Die parallele Fertigung von Fahrzeugen mit Verbrennungs- und mit elektrifizierten Antrieben führt in den nächsten ein bis zwei Jahrzehnten eher zu einem höheren Flächenbedarf, zu dem weitere Flächen für den Produktionsaufbau von Komponenten für das automatisierte Fahren hinzukommen müssten. Gleichzeitig verlängert und erschwert die gegenseitige Information und Abstimmung über mehrere Verwaltungsebenen hinweg die Unterstützung von Unternehmen bei der Standortsuche in Baden-Württemberg, der sich längere Planungs- und Genehmigungsverfahren anschließen.

Handlungsempfehlungen für den Umgang mit knappen Gewerbeflächen in Baden-Württemberg sind nicht neu (vgl. MVI BW, 2016), erhalten aber durch die Transformation des Automobilclusters hin zu Elektromobilität und automatisiertem Fahren eine neue Relevanz. Dazu müssen diese Flächenbedarfe in die Aufstellung des neuen Landesentwicklungsplans eingebracht werden. Die Umstellung auf nachhaltigere bzw. weniger die Umwelt belastende Produktion kann die Akzeptanz für neue Industrieflächen erhöhen. Gleichzeitig wird deutlich, dass Baden-Württemberg die sogenannten „Brownfield“-Ansätze forcieren muss: den Umbau bestehender Industriestandorte. Während große Unternehmen dies mit eigenen Planungsstäben bewältigen, brauchen kleine und mittlere Unternehmen hierbei Unterstützung. Schließlich gehört auch das „Flächenrecycling“ in dieses Handlungsfeld: Es ist aus vielfältigen Gründen bislang schwierig (siehe Kapitel 3.6), kann aber eine Option für kleinere Industrieansiedlungen darstellen.

Die Verfügbarkeit von Industriestandorten schließt ein sehr breites Maßnahmenpektrum ein, hier wird auf exemplarische Optionen zur Flächenverfügbarkeit fokussiert: Der Aufbau neuer Technologien im Cluster kann leichter umgesetzt werden, wenn Flächen verfügbar sind. Hier ist zu prüfen, wie dies im neuen Landesentwicklungsplan berücksichtigt und inwieweit auf einen besonderen Flächenbedarf für die Automobilindustrie eingegangen werden kann. Dies ist ein mittelfristiges Ziel.

Kurzfristiger umgesetzt werden kann eine schnellere Information und Abstimmung über die beteiligten Verwaltungsebenen (Land, Regierungspräsidien, Regionalverbände und Kommunen) hinweg, für die die Baden-Württemberg International GmbH (BW\_i) als zentrale Standortförderungsagentur des Landes (BW\_i, 2023) bereits aktiv ist. Hier könnten Belange der Automobilindustrie systematischer berücksichtigt werden, beispielsweise die Einrichtung einer Arbeitsgruppe oder Task Force zu Flächenbedarfen. Das Thema könnte auch im Strategiedialog Automobilwirtschaft Baden-Württemberg oder in nachfolgenden Formaten aufgegriffen werden. Hier schließt es inhaltlich an Projekte zur industriellen Fertigung von Wasserstoff und Brennstoffzellen, Batteriezellen oder synthetischen Kraftstoffen an, die sich mit dem Aufbau einer Produktion bzw. Fertigung im industriellen Maßstab (Skalierung auf hohe Stückzahlen oder große Mengen) beziehen (SDA, 2023a; SDA, 2023b; SDA, 2023c).

Parallel dazu sollten Beispiele für eine besonders flächeneffiziente Produktion entwickelt werden, die die Umnutzung bestehender Produktionsanlagen und das „Flächenrecycling“ einschließen. Das kann zu einer besonderen Kompetenz Baden-Württembergs werden. Konkret kann eine Bestandsaufnahme bei Unternehmen mit Best-Practice-Beispielen für flächeneffiziente und nachhaltige Industrienutzungen zusammengestellt werden, die Handlungsempfehlungen insbesondere für KMU einschließen. In Kooperation mit Architekt:innen und Stadtplaner:innen an den baden-württembergischen Hochschulen können neue Konzepte erarbeitet werden: für flächeneffiziente Industrieproduktion, Flächenrecycling oder den Aufbau von „Industrieparks“ mit industrieller Kleinserienfertigung in bestehenden Industrieflächen bzw. -gebäuden. Denkbar ist auch eine finanzielle Unterstützung von KMU bei der Umsetzung dieser Konzepte.

### Bewertung

Kurzfristig steht bei der Verfügbarkeit von Industriestandorten ein zentraler Überblick über geeignete Flächen und deren zeitliche Verfügbarkeit im Vordergrund. Hier könnten die Akteur:innen beim Land (Ministerium für Landesentwicklung und Wohnen), in Regionalverbänden und insbesondere in den Kommunen mit der Planungshoheit besser koordinieren, möglicherweise in einer Arbeitsgruppe zu Industrieflächen.

Mittelfristig sind Flächenbedarfe für die Automobilindustrie bei der Überarbeitung des Landesentwicklungsplanes in den nächsten zwei bis drei Jahren einzubringen. Hier gibt es eine Schnittmenge bei den Arbeitsinhalten der oben vorgeschlagenen Arbeitsgruppe, die jedoch Belange der Unternehmen erheben und zusammenfassen muss. Das kann auch im Strategiedialog Automobilwirtschaft BW bearbeitet werden. Mittel- bis langfristig werden flächeneffiziente Industrienutzungen und das Flächenrecycling unerlässlich. Die vorgeschlagene Arbeitsgruppe kann dieses Thema besetzen und weitere Akteure beteiligen.

Die Handlungsoptionen zielen vorrangig auf politische Akteur:innen und Verwaltungen. Für die Entwicklung konkreter Maßnahmen sind dann Kooperationen mit weiteren Fachleuten und vor allem die Einbindung von Unternehmen notwendig.

### Risiken

Die begrenzte Verfügbarkeit von Flächen erschwert den Umbau des Automobilclusters, indem sie sowohl Produktionsumstellungen von bestehenden Unternehmen als auch die Neuansiedlung von Unternehmen behindert, die das Cluster bei neuen Technologien ergänzen. Gleichzeitig besteht hier aufgrund der naturräumlichen Gegebenheiten und der hohen Konkurrenz verschiedener Nutzungen ein geringer Gestaltungsspielraum.



### Strom aus erneuerbaren Energien zu international konkurrenzfähigen Preisen

Grundlegende Anforderungen bei der Stromversorgung sind Zuverlässigkeit und international konkurrenzfähige Strompreise, beides Herausforderungen bei der Umstellung der Erzeugung auf erneuerbare Energiequellen – unter der Voraussetzung der Beibehaltung des derzeit verfolgten Merit-Order-Prinzips<sup>23</sup>. Der Strom aus erneuerbaren Energien ist für eine CO<sub>2</sub>-neutrale Produktion unverzichtbar. Das gilt für die bereits ansässigen Automobilunternehmen, wird aber auch bei Neuansiedlungen zunehmend relevant. Die Pkw- und Van-Werke der Mercedes-Benz Group AG produzieren seit 2022 bilanziell CO<sub>2</sub>-neutral, auch Standorte der Robert Bosch GmbH sind seit 2020 nach Scope 1 und 2 CO<sub>2</sub>-neutral.<sup>24</sup> Lassen sich CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht vermeiden, gleichen die Unternehmen sie über Zertifikate aus (Robert Bosch GmbH, 2023; Automobilwoche, 2020e). Dabei liegt die große Herausforderung bei den Zulieferern mit ihrem Wertschöpfungsanteil von derzeit ca. 80 %. Das Beispiel der Northvolt AB (siehe Kapitel 3.6) zeigt, dass erneuerbare Energien dabei zu einem ausschlaggebenden Standortkriterium werden kann. Außerdem haben batterieelektrische Fahrzeuge bei der Gesamtbilanz von Produktion und Betrieb nur dann einen deutlichen CO<sub>2</sub>-Vorteil gegenüber Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor, wenn sie auch mit Strom aus erneuerbaren Energien betrieben werden.

Strom aus erneuerbaren Energien bildet damit eine Voraussetzung für den Umbau des Automobilclusters hin zur Elektromobilität. Bei der Bruttostromerzeugung bleibt Baden-Württemberg im deutschen und im europaweiten Vergleich beim Anteil regenerativer Energien unter dem jeweiligen Durchschnitt: Während der Anteil 2019 in Deutschland bei 39,8 % und im Durchschnitt der EU-27 bei 33,7 % lag, hatten die erneuerbaren Energien in Baden-Württemberg im selben Jahr einen Anteil von 31 %.

Darüber hinaus muss der Aufbau einer Wasserstoffversorgung (s. u.) als Energieträger für wärmeintensive Prozesse im Blick behalten werden, einige Zulieferer wie beispielsweise Gießereien oder Härtereien können nicht alle Prozesse auf Stromversorgung umstellen. Aber auch für eine grundlastfähige Stromerzeugung ist Wasserstoff ein unverzichtbarer Bau-

stein, um eine sichere und resiliente Energieversorgung für den Industriestandort Baden-Württemberg zu gewährleisten. Gleichzeitig gilt der Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland und Baden-Württemberg als exemplarisch für streng regulierte und bürokratische Genehmigungsabläufe, die nicht nur ihn erheblich verzögern. Zwischen Standortentscheidungen für Windkraftanlagen und der Fertigstellung der Anlage liegen bis zu sieben Jahre (Staatsministerium BW, 2023). Damit hängt das Gelingen der Energiewende auch von dem beschleunigten Ausbau der Stromerzeugung und der Stromnetzkapazitäten ab (BMW, 2021). Auf Bundesebene ist daher zum 01.01.2023 das Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (EEG) novelliert worden, um den Ausbau erneuerbarer Energien erheblich zu beschleunigen, ihr Anteil soll so bis 2030 auf 80 % des Bruttostromverbrauchs steigen (Die Bundesregierung, 2022a). Damit wurde unter anderem gesetzlich festgelegt, dass erneuerbare Energien „im überwiegenden öffentlichen Interesse liegen“ und „der öffentlichen Sicherheit dienen“. Beispielhaft für beschleunigte Planungs- und Genehmigungsverfahren stehen der Bau von Tesla in Berlin-Grünheide und zuletzt die Einrichtung von LNG-Terminals in Wilhelmshaven zur Gasversorgung. Für Letztere wurden interministerielle Task Forces eingerichtet (MU Niedersachsen, 2022). Die Landesregierung Baden-Württemberg hat im Oktober 2021 eine Task Force zur Beschleunigung des Ausbaus der erneuerbaren Energien eingerichtet, um den Ausbau der erneuerbaren Energien und vor allem der Windkraft im Land massiv zu beschleunigen sowie planerische und bürokratische Hürden abzubauen. Seit Januar 2023 ist bei der Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH der Schwerpunkt „Erneuerbare BW“ angesiedelt, der als zentrale Anlaufstelle für alle Beteiligten beim notwendigen massiven Ausbau der erneuerbaren Energien in Baden-Württemberg fungieren soll (Staatsministerium BW, 2023). Die erforderliche Beschleunigung von Planungs- und Genehmigungsabläufen wird hier zwar nur für die Energieversorgung beschrieben, gilt aber aus Unternehmensperspektive auch für viele andere Bereiche. Ein weiteres Handlungsfeld besteht in der Hardware der Energiewende, um bis 2030 in Deutschland das Ziel eines um 65 % verringerten CO<sub>2</sub>-Ausstoßes gegenüber 1990 zu erreichen. Das erfordert in Deutschland eine Vervielfachung des derzeitigen Bestandes.

23 | Das Merit-Order-Prinzip besagt, dass Stromkosten von denjenigen Kraftwerken mit den jeweils höchsten Grenzkosten (z. B. Gaskraftwerken) definiert werden, unabhängig von ggfs. günstigeren Erzeugungskosten anderer Kraftwerke (z. B. Windkraftanlagen).

24 | Mit der Kategorie „Scope 1“ werden die direkten Emissionen durch Kraftstoffverbrennung (Wärme-/Energiegewinnung) und flüchtige Emissionen bezeichnet, mit „Scope 2“ die Emissionen aus zugekaufter Energie (Strom, Wärme, Dampf). Emissionen aus zugekauften Waren und Dienstleistungen werden unter „Scope 3“ gefasst. (Carbontrust, 2021).

|                                  | Stand 2021                            | Ziel 2030                               | Benötigte jährliche Änderung bis 2030       |
|----------------------------------|---------------------------------------|---|---|
| <b>Solar</b>                     | 59 GW installierte Kapazität          | 200 GW installierte Kapazität           | 15,7 GW Zubau p. a.                         |
| <b>Offshore-Windanlagen</b>      | 7,8 GW installierte Kapazität         | 30 GW installierte Kapazität            | 2,5 GW Zubau p. a.                          |
| <b>Onshore-Windanlagen</b>       | 58 GW installierte Kapazität          | 100 GW installierte Kapazität           | 4,9 GW Zubau p. a.                          |
| <b>Wärmepumpen</b>               | Ca. 1,2 Mio. installierte Wärmepumpen | 4,1 bis 6 Mio. installierte Wärmepumpen | 0,4 Mio. Neuinstallationen p. a.            |
| <b>CO<sub>2</sub>-Emissionen</b> | 772 Mt CO <sub>2</sub> -Äquivalente   | 438 Mt CO <sub>2</sub> -Äquivalente     | -37,1 Mt CO <sub>2</sub> -Äquivalente p. a. |

Quelle: McKinsey nach PV Magazine, 2022

Tabelle 29: In Deutschland benötigte Änderungen bei Solarenergie, On- und Offshore-Windanlagen und Wärmepumpen zur Erreichung des Klimaziels 2030

### Bewertung

Maßnahmen zum Ausbau erneuerbarer Energien haben eine sehr hohe Priorität, weil Planungs- und Genehmigungsverfahren sehr zeitaufwändig sind. Parallel sind der Anschluss bzw. Ausbau von Hochspannungstrassen zum Anschluss Baden-Württembergs an die in Norddeutschland erzeugte Windenergie und die Beschleunigung von Planungs- und Genehmigungsverfahren voranzutreiben. Auch das Mittelspannungsnetz ist auszubauen. Mit der interministeriellen Task Force und dem neuen Bereich "Erneuerbare BW" bei der Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH ist dabei abzustimmen, dass Energiebedarfe für die Automobilindustrie und für den Betrieb von Elektrofahrzeugen in den Ausbauplänen des Landes für erneuerbare Energien berücksichtigt sind. Politische Akteur:innen können die Rahmenbedingungen schaffen, in denen die Task Force ihre Ziele auch für die Bedarfe der Automobilindustrie umsetzen kann. Das gilt unmittelbar für die baden-württembergische Politik und mittelbar für politische Aktivitäten auf Bundes- und EU-Ebene.

### Risiken

Werden Stromerzeugung und -versorgung nicht auf erneuerbare Energien umgestellt,

müssen Unternehmen in Baden-Württemberg für die CO<sub>2</sub>-neutrale Produktion auf eigene Stromerzeugung umstellen oder einen Ausgleich durch CO<sub>2</sub>-Zertifikate leisten. Das führt für die Unternehmen zu höheren Belastungen und kann Verlagerungsplanungen unterstützen. Möglicherweise unterbleiben außerdem Neuansiedlungen von Unternehmen in Baden-Württemberg.

### Ausbau der Ladeinfrastruktur für Strom und Wasserstoff

Parallel zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien muss der Ausbau der Ladeinfrastruktur fortgesetzt werden. Der Markthochlauf batterieelektrischer Fahrzeuge hat sich in den letzten Jahren deutlich beschleunigt, die Hersteller und Zulieferer stellen sich jetzt auf den Ausstieg aus der Verbrenner-technologie ein. Die Szenarien basieren auf der Annahme, dass die Ladeinfrastruktur im Jahr 2030 zu 70 % und ab 2040 zu 100 % verfügbar ist. Dabei orientiert sich eine flächendeckende und bedarfsgerechte Ladeinfrastruktur eher an der installierten Ladeleistung als an der Anzahl an Ladepunkten. Der Ausbau der Ladeinfrastruktur im öffentlichen und privaten Raum muss erheblich beschleunigt werden, dafür ist ein gemeinsames Handeln von Politik, Verwaltung (insbesondere der Kommunen), der Automobilindustrie und Energieversorgern notwendig. Der Ausbau betrifft eine breite Spanne von Handlungsmaßnahmen und ist damit komplex: von der Standardisierung

des Datenaustauschs bei Lade- und Bezahlvorgängen über die Zulässigkeit und Genehmigung privater und öffentlicher Ladestationen bis hin zur Produktion der Hardware und deren Aufbau. Die für schnelle Ladevorgänge benötigten DC- und HPC-Ladestationen haben einen zeitlichen Vorlauf von acht bis über 18 Monaten (e-mobil BW, 2021b). Eine der wesentlichen Stell-schrauben ist die Ausweisung von Flächen für Ladesäulen durch die Kommunen, die dabei durch die Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur und in Baden-Württemberg durch die e-mobil BW und das federführende Ministerium für Verkehr unterstützt werden. Eine Branchenvereinbarung für den schnellen Ausbau haben das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg und die Netz- und Ladeinfrastrukturbetreiber im März 2023 unterschrieben (e-mobil BW, 2023d), diese umfasst unter anderem die Entwicklung standardisierter und digitaler Antragsverfahren.

Für gewerbliche Investoren wird in Baden-Württemberg Ladeinfrastruktur beispielsweise mit Charge@BW mit bis zu 2.500 EUR pro Ladepunkt gefördert, die Stromversorgung aus erneuerbaren Energien muss gewährleistet sein. Die Förderung umfasst die Elektroinstallationen in Wohneigentum für den Anschluss von Ladepunkten und die Errichtung von öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur. Für private Wallboxen gibt es in Baden-Württemberg derzeit Förderungen durch lokale Energieversorger, andere Förderprogramme (z. B. von der KfW oder dem BAFA) sind ausgelaufen (Enpal, 2023; BAFA, 2023a; L-Bank, 2023a).

### Bewertung

Der weitere Ausbau der Ladeinfrastruktur hat eine hohe Priorität und muss ohne Zögern weiter vorangetrieben werden. Er ist ein zentrales Erfolgskriterium für den Markthochlauf batterieelektrischer Fahrzeuge. Die Politik unterstützt mit finanzieller Förderung, doch genauso wichtig sind weitere Abstimmungen und Standardisierungen bei Lade- und Bezahlvorgängen europaweit. Dafür können sich politische Akteur:innen aus Baden-Württemberg auf Bundes- und EU-Ebene einsetzen. Der Abbau von genehmigungsrechtlichen und bürokratischen Hürden beim Aufbau und Betrieb von Ladeinfrastruktur kann nur in enger Kooperation zwischen Politik, Verwaltung und Unternehmen erfolgen.

### Risiken

Ein gegenüber dem Markthochlauf der Elektrofahrzeuge langsamerer Ausbau der Ladeinfrastruktur gefährdet die Akzeptanz von Elektrofahrzeugen. Damit wird ein entschiedener Umstieg behindert.

Der Ausbau der Ladeinfrastruktur wird häufig als Hemmnis für den Markthochlauf batterieelektrischer Fahrzeuge genannt (z. B. VDA, 2022d), deshalb wird diese Maßnahme hier herausgehoben dargestellt. Sie muss mit dem Ausbau des „Leitmarkts für Elektromobilität“ einhergehen, beispielsweise durch fortgesetzte Förderung bei der Anschaffung von Elektrofahrzeugen: in Baden-Württemberg über den BW-e-Gutschein und in Deutschland über den Umweltbonus und die Innovationsprämie (zunächst bis 31.12.2024) (L-Bank, 2023b; BAFA, 2023b; BWL, 2022b). Die Szenarien zeigen deutlich, dass der Wegfall des Umweltbonus vor allem im Segment der Kleinfahrzeuge zu einem Rückgang des Marktanteils führt. Eine segmentbezogene Fortführung dieser Prämie könnte dieses für eine nachhaltige Mobilität und für die soziale Ausgeglichenheit wichtige Fahrzeugsegment stärken. Dazu gehört auch, dass das Land und die Kommunen bei der Beschaffung von Fahrzeugen konsequent Elektrofahrzeuge bevorzugen. In dem seit Jahren bestehenden Handlungsfeld rücken aktuell die Anforderungen für den Gütertransport in den Fokus: Zum einen benötigen die Nutzfahrzeuge Schnellladestationen mit hohen Anforderungen bis in den Megawatt-Bereich, für die eigene technologische Entwicklungen notwendig sind, auch Energieinfrastrukturen sind an die hohen Anforderungen anzupassen. Zum anderen muss das Ladenetz entlang der Autobahnen und in Logistikstandorten verfügbar sein, viele bestehende Ladepunkte können nicht von schweren Lkw angefahren werden.

Insbesondere für Nutzfahrzeuge muss die Infrastruktur mit einem Aufbau der Wasserstoffversorgung ergänzt werden. Letztere schließt die Wasserstoffproduktion vor Ort, die Herleitung des Wasserstoffs aus anderen Ländern/Bundesländern und die flächendeckende Verteilung von Wasserstoff für Tankstellen ein. Aktuell werden die Weichen für ein Wasserstoffkernnetz in Deutschland gestellt (BMW, 2023b). Hier gilt es für Baden-Württemberg – trotz seiner strategisch ungünstigen Binnenlage –, gut an das europäische Fernleitungsnetz (European Hydrogen Backbone) angeschlossen zu werden. Mit der Wasserstoff-Roadmap 2020 und ihrer Fortschreibung 2023 hat das Land Baden-Württemberg bereits einen Fahrplan mit Maß-

nahmen vorgelegt (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2023). Auch der Wasserstoffbeirat Baden-Württemberg hat in seinem Impulspapier herausgestellt, dass die Wasserstoffversorgung und der gleichzeitige Infrastrukturaufbau die Voraussetzung dafür sind, dass Wasserstofftechnologien zum Einsatz kommen können und das wirtschaftliche Potenzial erschlossen werden kann (Plattform H2BW, 2023). Wichtiger Ansatzpunkt ist eine integrierte Infrastrukturplanung, die alle Beteiligten berücksichtigt – von den Fernleitungsnetzbetreibern über die Verteilnetzebene bis hin zu den relevanten potenziellen Nachfragern (Industrie, Mobilität, Stromerzeugung). Das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg fördert deshalb die Plattform H2BW, um die relevanten Akteure zusammenzuführen und integrierte Planungen voranzutreiben. Die im Juni 2023 von Land, Wissenschafts- und Unternehmensvertreter:innen abgegebene „gemeinsame Erklärung“ adressiert bereits konkrete Forderungen unter anderem an Bund und Europäische Union, die insbesondere regulatorisch notwendig sind, um das Bundesland nicht auszuschließen (Baden-Württemberg, 2023). Baden-Württemberg bleibt auch trotz des anzustrebenden Ausbaus der H<sub>2</sub>-Eigenproduktionen zum größten Teil Energieimportland. Deshalb müssen Kooperationen mit begünstigten Standorten forciert werden, an denen Wasserstoff und/oder dessen Derivate zu wettbewerbsfähigen Konditionen hergestellt werden können. Baden-Württemberg unterhält bereits Beziehungen zu Ländern wie Chile, Brasilien, Vereinigtes Königreich, Spanien oder auch zu nordafrikanischen Staaten. Hier kann bei hoher Sonneneinstrahlung und/oder guter Windausbeute sowie einer ausreichenden Versorgung mit reinem Wasser eine industrielle Wasserstoffproduktion aufgebaut werden, aus der Deutschland und Baden-Württemberg zukünftig ihre Importbedarfe decken können. Bleiben diese grundlegenden Weichenstellungen aus, kann im nächsten Jahrzehnt keine dezentrale Versorgung von Unternehmen und Endkund:innen mit Wasserstoff aufgebaut werden. Sie muss auch in einer zweiten Hinsicht heute schon vorbereitet werden.

### Bewertung

Aufgrund des hohen zeitlichen Vorlaufs sind grundlegende Weichenstellungen für Wasserstofftechnologien dringlich: zum einen der Anschluss an großmaßstäbliche Wasserstoffpipelines des European Hydrogen Backbone,

die Etablierung lokaler Hubs zur Wasserstoff-erzeugung und zum anderen Auslandskooperationen mit Ländern, in denen die Wasserstoffproduktion besonders günstig und effizient umgesetzt werden kann. Die Plattform H2BW kann dazu beitragen, integrierte Planung durch Koordination der öffentlichen Hand, der Automobilunternehmen, Chemieunternehmen und Energieversorger voranzutreiben und zu beschleunigen, damit der Aufbau einer dezentralen Wasserstoffinfrastruktur in den 2030er Jahren reibungsloser als der Aufbau der Ladeinfrastruktur für BEV verläuft. Parallel dazu sollte der Ausbau einer dezentralen Wasserstoffinfrastruktur angestrebt werden.

Aktuell werden auf Bundes- und europäischer Ebene wichtige Weichenstellungen vorgenommen. Es ist wichtig, dass bereits formulierte baden-württembergische Positionen nachdrücklich vertreten werden, um dem Industrie- und Mobilitätsstandort attraktiv zu halten.

Auch auf Landesebene gibt es Gestaltungsräume, die genutzt werden. Das Zeitfenster ist günstig, damit die erforderlichen Flächen für (Tank-)Infrastruktur im neuen Landesentwicklungsplan gesichert werden. Aber auch in der vorausschauenden Anpassung, Optimierung und Vereinfachung von Genehmigungsprozessen sowie der Beseitigung von Informationslücken liegen wichtige Hebel, um den Wasserstoffhochlauf zu fördern.

### Risiken

Wasserstoff gilt mittel- bis langfristig als zentraler Energieträger mit Einsatzmöglichkeiten, die weit über den Verkehr hinausgehen (z. B. in energieintensiven Branchen oder zur systemstabilisierenden Stromerzeugung).

Unterbleibt der Aufbau der Wasserstoffversorgung, fehlt im Verkehr die notwendige Ergänzung zu batterieelektrischen Antrieben insbesondere in Segmenten, die nicht elektrifiziert werden können. Eine unzureichende Wasserstoffinfrastruktur wird die Umstellung auf eine CO<sub>2</sub>-neutrale Produktion in vielen Bereichen erschweren oder sogar verhindern.

## Finanzierung

Für die Transformation der Automobilindustrie sind erhebliche Investitionen in den Umbau des Kapitalstocks notwendig. Für den „Green Deal“ und die Umsetzung der Klimaneutralität wird der Investitionsaufwand in der EU auf etwa 2 % der jährlichen Wirtschaftsleistung geschätzt, das wären ca. 255 Mrd. EUR jährlich. Etwa 8 % davon – 20,4 Mrd. EUR pro Jahr – sind wiederum für die Transformation des Autoverkehrs notwendig (Dröge, 2022; Wolf et al., 2021).

Auch hier sind aufgrund ambivalenter Effekte keine einfachen bzw. eindeutigen Empfehlungen möglich: Die Automobilindustrie finanziert bereits in hohem Umfang Investitionen aus den Gewinnen im „klassischen“ Fahrzeugsegment. Eine Neuausrichtung erfolgt üblicherweise bei Modellwechseln, für die neue Produktionsanlagen aufgebaut werden. Je schneller der Wandel zur Elektromobilität vorangetrieben wird, desto schneller müssen Investitionen in die Produktionsumstellung finanziert werden. Perspektivisch wird bei steigenden Stückzahlen und einer dafür hochautomatisierten Produktion mit ähnlichen Gewinnmargen wie im klassischen Verbrennergeschäft gerechnet. Derzeit besteht jedoch eine Lücke zwischen dem erforderlichen Investitionsaufwand und dem, was Automobilunternehmen derzeit im Segment der Elektrofahrzeuge erwirtschaften. Erst perspektivisch kann bei steigenden Stückzahlen und einer hochautomatisierten Produktion mit höheren Erträgen gerechnet werden, die für die Tilgung fremdfinanzierter Kredite genutzt werden.

Finanzinvestoren und Banken richten sich in ihrer Tätigkeit bereits an Zielen der Klimaneutralität aus (z. B. BlackRock, 2023; LBBW, 2022a; Agora Verkehrswende, 2022). Damit vermeiden sie Risiken für ihre eigene Geschäftstätigkeit: Die Landesbank Baden-Württemberg (LBBW) beispielsweise „steuert die Verbrennerabhängigkeit im Risikomanagement bereits seit 2018 sehr eng“ (LBBW, 2022a) und will bei ihren Kunden im Automobilbereich (ca. 10 % der Unternehmenskunden) den Umsatzanteil mit Verbrennerkomponenten von 25 % im Jahr 2021 auf 17 % im Jahr 2030 reduzieren. Insbesondere KMU, die sich derzeit noch auf einen hohen Verbrenneranteil in ihrem Umsatz stützen, haben dadurch bereits jetzt einen schwierigeren Zugang zu Fremdkapital für Investitionen. Bereits 2020 regte die IG Metall hier die Gründung des Finanzierungsfonds „Best Owner Group“ an, der Unternehmen und damit vor allem die Beschäftigung im Auslaufen der Verbrennertechnologie finanziell absichern sollte (IG Metall, 2020).

Im Gegenzug bieten Banken Finanzierungen für nachhaltigere Produkte und Produktion an: Auf Bundesebene unterstützt die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) unter anderem Unternehmen, die sich an den Umweltzielen der EU-Taxonomie ausrichten und zur Verringerung bzw. Vermeidung von Treibhausgasemissionen beitragen, bei der Herstellung klimafreundlicher Produkte und Technologien zielt das „Modul F“ direkt auf nachhaltige Mobilität (KfW, 2023). In einem weiteren Programm wird der Ausbau von Ladestationen durch Kommunen, Eigentümer:innen von Wohngebäuden und Unternehmen gefördert. Bei der LBBW ist eine mögliche Förderung der Automobilindustrie in der Transformation weniger präsent, beispielsweise wird bei der Darstellung der eigenen Nachhaltigkeitsstrategie zwar der Rückzug aus der Verbrennertechnologie beschrieben, aber im „Sektorpfad Automobilzulieferer“ fehlt die Perspektive des Ausbaus von Elektromobilität und automatisiertem Fahren (LBBW, 2022b). Dagegen werden Förderinformationen und Finanzierungsmöglichkeiten umfassend durch „Transformationswissen BW“ dargestellt (Transformationswissen BW, 2023a), die Angebote richten sich wie viele Förderprogramme insbesondere an KMU der Zulieferbranche und des Kfz-Gewerbes.

Eine Gegenüberstellung des Finanzierungsbedarfs der Automobilindustrie mit dem verfügbaren Umfang von Förderungen und Fremdfinanzierungen erfordert eine tiefergehende Betrachtung, als dies in der Strukturstudie 2023 möglich ist. Eine solche Studie dient zur Abschätzung, in welchem Umfang Kapital für den Umbau baden-württembergischer Unternehmen auf Landes- oder Bundesebene verfügbar ist bzw. in welchem Umfang private Investoren sich beteiligen können/müssen. Hierbei ist die Abhängigkeit von ausländischen Investoren zu beachten.

Die Landesbank Baden-Württemberg und ihre Tochter, die BW-Bank, könnte die Finanzierung der Transformation stärker als eigenes Handlungsfeld formulieren und hier auch den Übergang von Unternehmen aus der Verbrennertechnologie in andere Produkte oder Branchen nicht vordringlich mit Blick auf eigene Geschäftsrisiken gestalten. Das Land Baden-Württemberg und die Landeshauptstadt Stuttgart als Mehrheits-eigner (LBBW, 2023) können entsprechend auf die LBBW einwirken.

### Bewertung

Die Maßnahmen werden für den Erhalt des Automobilclusters mit einer mittleren Priorität eingeschätzt. Für einzelne Zulieferer kann sich die Situation nach Jahren mit Umsatzeinbußen und der Verteuerung von Rohstoffen, Vorprodukten und Energie jedoch aktuell drastisch zuspitzen, so dass im Einzelfall die Prüfung finanzieller Unterstützung dringlich ist. Liegen bei Investitions- und Kreditentscheidungen Klimakriterien zugrunde, treiben sie den Umbau der Automobilindustrie voran.

Baden-württembergische Akteure können die Geschäftsstrategie der LBBW dahingehend beeinflussen, dass sie offensiver als Finanzierungspartner für Automobilunternehmen in der Transformation auftritt. Möglicherweise erleichtert es KMU die Informationssuche zu Finanzierungen, wenn die Übersichtsseite bei Transformationswissen BW mit Unternehmensbeispielen oder „Fragen und Antworten“ den Zugang zu Finanzierungen anschaulicher darstellt.

Zusätzlich können sich politische Akteur:innen auf Bundes- und EU-Ebene außerdem für einen Zugang zu „Transformationskapital“ einsetzen, das im Umfang über rein baden-württembergische Möglichkeiten hinausgeht.

### Risiken

Die Verfügbarkeit von Kapital kann Zulieferer in akuten wirtschaftlichen Schwierigkeiten den Fortbestand sichern, aber ein Gesamtrisiko für die Branche ist schwierig einzuschätzen.

## 2. Handlungsstufe: Wertschöpfungscluster für den elektrischen Antriebsstrang und automatisiertes Fahren umbauen

Die Handlungsoptionen der 2. Handlungsstufe richten sich vor allem an Unternehmen, die die neuen Technologien etablieren müssen – in einem von der Politik geschaffenen förderlichen Umfeld für unternehmerische Tätigkeiten. Zentrale Bausteine

des Umbaus sind der Produktionsaufbau für den elektrischen Antriebsstrang, die Förderung des Nutzfahrzeugsegments, die Förderung der industriellen Serienproduktion mit mittleren Stückzahlen bei neuen Komponenten sowie eine Qualifizierungsoffensive Elektromobilität und digitalisiertes Fahrzeug mit dem Ausbau entsprechender FuE-Kapazitäten.

### Produktionsaufbau für den elektrischen Antriebsstrang

Die Hersteller und viele Zulieferer haben die Weichen für den elektrischen Antriebsstrang gestellt und richten sich danach aus. Zur Unterstützung dieses Umbaus gibt es in zahlreichen anderen Studien Handlungsempfehlungen, die eine breite Spanne von der Sicherung kritischer Materialien und der Lieferketten bis hin zur Digitalisierung der Produktion und der Stärkung des Standorts als Leitanbieter und Leitmarkt reichen. Vor dem Hintergrund der Beschäftigungseffekte erweist sich jedoch eine Handlungsoption als wichtigste: die Sicherung der baden-württembergischen Standorte. Die Politik muss entsprechende Rahmenbedingungen schaffen, wie sie in der 1. Handlungsstufe beschrieben werden. Aber auch die Unternehmen sind gefordert, die bestehenden Standorte für die Produktion auf neue Komponenten und auf Fahrzeuge mit klimaneutralen Antrieben umzustellen und langfristige Standortstrategien mit Investitionen und Qualifizierung ihrer Mitarbeiter:innen umzusetzen.

### Förderung des Nutzfahrzeugsegments

In den Szenarien zeigt sich im Nutzfahrzeugsegment ein stärkerer Zuwachs als bei Pkw, dadurch ist die Förderung des Nutzfahrzeugsegments zur Beschäftigungssicherung eine Handlungsoption. In Baden-Württemberg besteht mit der Zentrale der Daimler Truck AG ein wichtiger Standort für die Nutzfahrzeugproduktion. Auch Zulieferer profitieren von einer höheren Marge bei Nutzfahrzeugteilen (e-mobil BW, 2019a). Im Unterschied zum mittelfristig stagnierenden Pkw-Markt wird das Segment der Nutzfahrzeuge mit dem steigenden Güterverkehr langfristig weiterwachsen (Intraplan und Trimode, 2023). Das gilt mittelfristig vor allem für CO<sub>2</sub>-neutrale Nutzfahrzeuge, die in den Szenarien nach 2030 signifikante Marktanteile bei elektrifizierten Antriebssträngen erreichen. Da sich Nutzfahrzeuge und ihre Nutzung im Wirtschaftsverkehr in einigen Bereichen von Pkw unterscheiden, können die spezifischen Bedürfnisse in Pilotversuchen erprobt sowie durch FuE und Weiterbildungsangebote unterstützt werden. Die beiden zentralen Themenfelder sind klimaneutrale Antriebe mit Hochleistungsbatterien und die Erprobung von Schnellladestationen



oder anderen Formen wie Oberleitungen sowie der Einsatz von Assistenzfunktionen und automatisiertem Fahren in Nutzfahrzeugen. High Power Charging beziehungsweise Megawatt Charging Systems sind aus der Clusterperspektive besonders lohnend, weil die Hardware der Ladeinfrastruktur in diesem Bereich noch größere Marktchancen bietet als beispielsweise die Ladeinfrastruktur für Pkw (e-mobil BW, 2021b). Hier bestehen neue Geschäftsfelder für Unternehmen, die diese Lösungen entwickeln und fertigen. Langfristig wird zusätzlich Tankinfrastruktur für Wasserstoff benötigt (siehe 3. Handlungsstufe, Seite 218).

### Bewertung

Ein Ansatz zur Förderung des Nutzfahrzeugsegments ist die „Arbeitsgruppe Nutzfahrzeuge“, die gemeinsam von der e-mobil BW und dem Institut für Fahrzeugsystemtechnik am Karlsruhe Institut für Technologie organisiert wird. Für die mittelfristige Stärkung des Nutzfahrzeugsegments ist es sinnvoll, schon jetzt die Kontakte zu Unternehmen und Forschungseinrichtungen aufzubauen und kooperativ eine Forschungs- und Umsetzungsstrategie zu erarbeiten. Dieser Ansatz ist langfristig fortzuführen und einem gewünschten Wachstum des Netzwerks entsprechend auszubauen.

Auch im Strategiedialog Automobilwirtschaft BW könnte eine agile Arbeitsgruppe zusätzliche Förderbedarfe für Nutzfahrzeuge prüfen.

### Risiken

Das Nutzfahrzeugsegment kann Beschäftigung im Automobilcluster stabilisieren und vervollständigt das Produktspektrum des Automobilclusters. Unterbleibt die Förderung dieses Segments, erhöht sich die Unsicherheit des Clusters leicht.

### Förderung industrieller Serienproduktion mit mittleren Stückzahlen

Vor dem Hintergrund einer etablierten Automobilindustrie mit Produktionszahlen von mehreren Hunderttausend bis Mio.

Stück im Jahr könnte die Überführung von Kleinserien in eine industrielle Fertigung schwierig sein. Das wäre eine Hürde für den Aufbau und die Überführung baden-württembergischer Entwicklungen in eine industrielle Produktion vor Ort. Gründe dafür sind beispielsweise unzureichende Finanzierungen, aber vielleicht auch eine Lücke bei Produktionsanlagen für mittlere Stückzahlen zwischen den Klein- und den industriellen Großserien. Anzeichen dafür haben sich aus Expertengesprächen mit Unternehmensvertreter:innen ergeben; aber auch gescheiterte Start-ups wie das Solarauto Sono Motors (Automobilwoche, 2023e) können als Indiz gesehen werden. Gleichzeitig bestehen hier Chancen für KMU in Baden-Württemberg, deren Kompetenzen als Tier 3 in der flexiblen Auftragsfertigung liegen und die mit Start-ups zusammenarbeiten könnten. Im Strategiedialog Automobilwirtschaft BW verfolgen zwei Forschungsprojekte die stückzahlenflexible Fertigung in den Bereichen Batterie und Elektromotoren: AgiloBat und AgiloDrive (KIT, 2023a; KIT, 2023b).

In der Strukturstudie 2023 konnte dieses Thema nicht vertieft untersucht werden. Deshalb steht hier eine Bestandsaufnahme am Anfang, ob der Schritt von einer Kleinserienfertigung durch Start-ups zu einem Produktionsaufbau mit mittleren Stückzahlen tatsächlich eine Hürde darstellt, die einen Produktionsaufbau hier im Bundesland hemmt. Ausgangspunkt dafür kann „mobilbees BW“ sein, das Start-up-Netzwerk der e-mobil BW (e-mobil BW, 2023c).

### Bewertung

Kurzfristig umsetzbar ist eine explorative Studie, in der die Skalierung von Kleinserien/ Pilotproduktionen in eine industrielle Serienfertigung mit zunächst mittleren Stückzahlen untersucht wird. Erst danach können gegebenenfalls weitere Handlungsoptionen (z. B. Förderung von Kooperationen zwischen Start-ups und baden-württembergischen KMU) geprüft werden. Thematisch kann diese Studie vom Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus oder der e-mobil BW übernommen werden. Eine erste Prüfung, ob eine Unterstützung von Start-ups durch KMU eine sinnvolle Unterstützung darstellt und welche Maßnahmen dazu dienen könnten, kann in den von der e-mobil BW betreuten Netzwerken stattfinden.

### Risiken

Für den Erhalt industrieller Produktion müssen die in Baden-Württemberg entwickelten Produkte und Produktionsverfahren hier aus Pilot-/Kleinserien in die großmaßstäbliche industrielle Produktion überführt werden. Gelingt das nicht, wird der Produktionsaufbau vor allem bei den Komponenten für automatisiertes Fahren gefährdet.

### Qualifizierungsoffensive Elektromobilität

Im Modell hebt der Beschäftigungsaufbau für Elektromobilität und automatisiertes Fahren zumindest teilweise die Beschäftigungsverluste im Antriebsstrang des Verbrenners auf. Der Wechsel zu den neuen Tätigkeitsfeldern gelingt nur, wenn die Beschäftigten für die neuen Aufgaben qualifiziert werden. Die Bedeutung der Qualifizierung ist bereits hinreichend hervorgehoben worden (e-mobil BW, 2023a; Agora Verkehrswende, 2021a; BMVI, 2021b; IW Consult und Fraunhofer IAO, 2021). Die detaillierte Betrachtung des Clusters zeigt zum einen, dass mit jeweils spezifischen Angeboten die breite Spanne von Produktionsbeschäftigten bis hin zu den FuE-Beschäftigten erreicht werden muss. Zum anderen wird der zeitlich unterschiedliche Qualifizierungsbedarf deutlich: während im FuE-Bereich einschließlich der Entwicklungsdienstleister sowie im Kfz-Gewerbe der Kompetenzumbau bereits im Gang ist, erfolgt der Aufbau der Produktion von Elektrofahrzeugen erst in den nächsten Jahren. Für diese unterschiedlichen Anforderungen müssen passende Personalentwicklungskonzepte gefunden werden. Gleichzeitig ist mit dem „Qualifizierungschancengesetz“<sup>25</sup> und dem „Arbeit-von-morgen-Gesetz“<sup>26</sup> der Kreis der Anspruchsberechtigten für Zuschüsse zu Lehrgangskosten und zum Arbeitsentgelt erheblich ausgeweitet worden; Zugang zur Weiterbildungsförderung besteht jetzt unabhängig von der bisherigen Qualifikation, wenn die Beschäftigten vom Strukturwandel betroffen sind (BMAS, 2023a und 2023b).

Hier stehen Unternehmen in der Verantwortung, ihre Beschäftigten auf die neuen Aufgaben zu qualifizieren. Dabei brauchen sie aber Unterstützung, denn der erforderliche Qualifizierungsaufwand übersteigt den Rahmen betrieblicher Qualifizierungs-

angebote bei weitem: In der Produktion des Antriebsstrangs müssen ca. 25.000 Beschäftigte für die neuen Technologien qualifiziert werden, dazu gehören beispielsweise die Suche nach geeigneten Schulungsinhalten und -formen sowie der entsprechende Freistellungsaufwand. Etwa die Hälfte der 66.000 Entwickler:innen muss sich in neue Arbeitsfelder der Elektromobilität, der IT und des automatisierten Fahrens einarbeiten. Je nach fachlichem Hintergrund und den Anforderungen der neuen Tätigkeiten können die Schulungen den Umfang von mehrjährigen, berufsbegleitenden Aufbaustudiengängen haben (ein Beispiel dazu in e-mobil BW, 2019a). Größere Automobilunternehmen bauen eigene Qualifizierungsprogramme auf, erproben den Erwerb ganz neuer Kompetenzen gemeinsam mit ihren Beschäftigten. Vor allem kleine und mittlere Unternehmen sind jedoch auf passende Angebote der Weiterbildungsträger und auf organisatorische Unterstützung bei der Qualifizierung großer Beschäftigtengruppen angewiesen.

Zahlreiche Aktivitäten haben bereits begonnen: So hat ein Projektteam im Strategiedialog Automobilwirtschaft BW (SDA) Handlungsempfehlungen für Hochschulen, Unternehmen und das Land im Hinblick auf die hohe Nachfrage der Unternehmen nach MINT-Fachkräften vorgelegt (Projektteam SDA, 2022). Die zentrale Weiterbildungsplattform „fortbildung-bw“ des Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg (2023) bietet einen Einstieg zum Thema „Transformation Automobilwirtschaft“, die Lotsenstelle Transformationswissen BW führt eine Datenbank mit Weiterbildungsangeboten (Transformationswissen BW, 2023b) und das Transformationsteam der IG Metall bildet Betriebsrät:innen als Weiterbildungsmentor:innen in der Transformation aus (IG Metall Baden-Württemberg, 2022). Viele Aktivitäten werden bereits in der ressortübergreifenden Weiterbildungsoffensive „WEITER.mit.BILDUNG@BW“ gebündelt (Baden-Württemberg, 2021).

Diese Aktivitäten könnten noch stärker zusammengeführt und vor allem stärker in der Öffentlichkeit präsentiert werden: als gemeinsame Qualifizierungsinitiative für den baden-württembergischen Automobilstandort. Betriebs- und Tarifparteien können mit ihrer gemeinsamen Einrichtung Agentur Q und zusammen mit der Bundesagentur für Arbeit Freistellungs- und Finanzierungskonzepte erarbeiten, die gerade kleinen und mitt-

25 | Gesetz zur Stärkung der Chancen für Qualifizierung und für mehr Schutz in der Arbeitslosenversicherung, in Kraft seit 01.01.2019.

26 | Gesetz zur Förderung der beruflichen Weiterbildung im Strukturwandel und zur Weiterentwicklung der Ausbildungsförderung, in Kraft seit 01.01.2022.



leren Unternehmen als Blaupause dienen können. Im Tarifvertrag zur Qualifizierung in der Metall- und Elektroindustrie von 2021 besteht beispielsweise mit der Bildungsteilzeit ein Modell, das auch für längere Qualifizierungen genutzt werden kann. Die Betriebs- und Tarifparteien können mit Weiterbildungsanbietern, aber auch Universitäten und Hochschulen für die unterschiedlichen Beschäftigtengruppen exemplarische Weiterbildungskonzepte entwickeln, die ausdrücklich auf die neuen Technologien zielen. Durch die hohe Zahl von Beschäftigten, die in der Transformation qualifiziert werden müssen, kumulieren sich auch kürzere, weniger zeitintensive Qualifizierungen zu einem hohen betrieblichen Aufwand.

Hier gibt es bereits Angebote in Baden-Württemberg, auf denen aufgebaut werden kann: In Baden-Württemberg bieten beispielsweise die Hochschulen Ravensburg-Weingarten, Aalen, Esslingen und Mannheim sowie die Universität Stuttgart Studiengänge zur Elektromobilität an (Studycheck, 2023). Zu prüfen ist, inwieweit hierbei Förderungen durch die Arbeitsagenturen bei berufsbegleitenden Aufbaustudiengängen möglich sind. Das Angebot muss auch kürzere Qualifizierungen einschließen, die für Expert:innen und Spezialist:innen ausreichen können. Auch eine finanzielle Beteiligung der Unternehmen ist zu prüfen, weil sie vom Kompetenzaufbau bei ihren Beschäftigten profitieren. Eine aktualisierte Bestandsaufnahme der Bildungslandschaft Baden-Württembergs mit Angeboten zu Elektromobilität und automatisiertem Fahren ist ein weiterer Baustein dieser Handlungsoption (vgl. dazu e-mobil BW, 2012). Eine stärkere Öffentlichkeitsarbeit zu den bestehenden Aktivitäten ist sinnvoll.

#### **Bewertung**

Die Qualifizierungsoffensive Elektromobilität hat eine hohe Priorität, weil sie die Basis für einen Beschäftigungserhalt in der Transformation darstellt.

Unternehmen sind hier in der Pflicht, die Kompetenzen ihrer Beschäftigten systematisch auch in den neuen Technologien aufzubauen. Die Spanne von betrieblichen Qualifizierungsmaßnahmen ist sehr breit, manchen reicht der Überblick über die neuen Produkte, für manche besteht ein deutlich größerer Schulungsumfang, beispielsweise beim Umstieg von Mechanik auf Elektronik oder bei der Arbeit an

Hochvoltsystemen. Schon die Bedarfsermittlung passender Qualifizierungen ist ein großer Aufwand. Unterstützung können Kooperationen von Weiterbildungsträgern, Verbänden und Forschungseinrichtungen zur betrieblichen Bildung leisten, die exemplarische Weiterbildungspfade für häufige Berufsgruppen und entsprechende Weiterbildungsangebote entwickeln. Die politischen Akteur:innen in Baden-Württemberg können hier die Kooperationen der Stakeholder vorantreiben.

Zu prüfen ist, wie die Förderungen der Arbeitsagenturen besser die Unternehmen erreichen. Das betrifft einerseits die Passung von geförderten Qualifizierungsmaßnahmen zum betrieblichen Bedarf (z. B. bei der Mindestdauer von geförderten Qualifizierungen oder studienähnlichen Angeboten) und eine verbesserte Nutzung der finanziellen Förderungen durch KMU. Eine Herausforderung ist ebenfalls die Umsetzung einer akademischen Weiterbildung an den staatlichen Hochschulen, die in Konkurrenz zur Grundausbildung von Studierenden steht.

Die hohe Relevanz der Qualifizierung kann beispielsweise mit einer öffentlichkeitswirksamen Veranstaltung deutlich gemacht werden.

#### **Risiken**

Der Wechsel in neue Arbeitsfelder unterbleibt ohne entsprechende Qualifizierung. Außerdem sichert die Qualifizierung der Beschäftigten die hohen Kompetenzen im Innovationscluster, die die Basis für Produktinnovationen und die Marktführerschaft baden-württembergischer Unternehmen ist.

#### **Qualifizierungsoffensive zum digitalisierten Fahrzeug**

Digitalisierung als Megatrend verändert das Fahrzeug, das umfasst die Themen automatisiertes Fahren, Vernetzung des Fahrzeugs, Datennutzung, datenbasierte Geschäftsmodelle und Plattformökonomie sowie die Zielgruppen im gesamten Automobilcluster (Hersteller und Zulieferer, Entwicklungs-

dienstleister, aber auch das Kfz-Gewerbe). Hierfür werden Informatiker:innen und Software-Expert:innen von den Unternehmen gesucht. Die Gewinnung von ausreichend Arbeitskräften für die baden-württembergische Automobilindustrie ist eine gemeinsame Aufgabe von Unternehmen, Land und Kommunen und angesichts des sich zunehmend abzeichnenden Arbeitskräftemangels eine besondere Herausforderung. Dazu können Marketinginitiativen wie „The Länd“ beitragen. Wichtig ist der Aufbau von Forschungs- und Studienschwerpunkten „Automatisiertes Fahren“ an baden-württembergischen Universitäten und Hochschulen, um den Bedarf an Fachkräften mittelfristig abzusichern. Ergänzende Weiterbildungsangebote zum assistierten und automatisierten Fahren werden bereits durch die Technische Akademie Esslingen, den Graduate Campus der Hochschule Aalen oder das Heilbronner Institut für Lebenslanges Lernen angeboten. Durch Kooperationen mit baden-württembergischen Unternehmen bilden sich so auch die für ein Cluster so wichtigen Netzwerke.

### **Bewertung**

Wenn Beschäftigungschancen durch automatisiertes Fahren genutzt werden sollen, hat die Qualifizierungsoffensive zum automatisierten und digitalisierten Fahrzeug eine hohe Priorität. Zumindest der Themenauftritt erfordert eine schnelle Umsetzung: Der erste Schritt ist eine Bestandsaufnahme bestehender Studien- und Weiterbildungsangebote und ein Abgleich mit dem Qualifizierungs- und Fachkräftebedarf der Automobilunternehmen. Dieser kann organisatorisch im SDA verortet werden, bei der Umsetzung sind Arbeitgeber- und Arbeitnehmerverbände und Unternehmen einzubeziehen. Wie bei der Elektromobilität ist die akademische Weiterbildung eine besondere Herausforderung, weil sie zusätzlich zum Lehrangebot für Studierende aufgebaut werden muss und damit zusätzliche Kapazitäten bindet.

### **Risiken**

Bleibt der Kompetenzaufbau beim automatisierten Fahren aus, werden Beschäftigungschancen im Umfang von 5.100 bis 7.400 Stellen in Forschung und Entwicklung sowie beim Produktionsaufbau in Baden-Württemberg nicht genutzt.

### **Ausbau FuE-Kapazitäten**

Die Stärke des baden-württembergischen Automobilclusters besteht in dem engen Verbund von Industrie, Dienstleistungen und begleitenden Forschungseinrichtungen. Diese müssen sich auf die neuen Antriebstechnologien ausrichten. Das schließt die Batteriezellfertigung und die Produktion von Halbleitern ein. Hier sind umfangreiche Kompetenzen bei Batterietechnologien, E-Maschinen sowie Software aufzubauen, die sowohl an den Hochschulen/Universitäten, an Forschungseinrichtungen und in den Unternehmen zu verorten sind. Bei der Batterietechnologie geht es um die Energiedichte, die Leistungsdichte sowie die Zyklen- bzw. kalendarische Lebensdauer. Die Weiterentwicklung der E-Maschinen zielt auf die Steigerung des Wirkungsgrads und die Leistungsdichte und die Substitution von Seltenerdmetallen. Parallel dazu müssen Produktionskompetenzen in der automatisierten Zellfertigung und Batteriemontage sowie bei der Wicklung und Montage der E-Maschinen entwickelt werden. Mit der Digitalisierung des Fahrzeugs und der Automatisierung von Fahrfunktionen erhält Software eine immer größere Bedeutung am Fahrzeug, entsprechend müssen IT-Kompetenzen im Automobilcluster aufgebaut werden. Die Darstellung des umfassenden Wertschöpfungsclusters schließt die Rohstoffgewinnung in Baden-Württemberg ein. Lithium als ein wichtiger Batteriegrundstoff kann aus Tiefenwasser im Oberrheingraben gewonnen werden. Eine bestehende Geothermieanlage bei Bruchsal wird durch die EnBW mit einer Extraktionsanlage für Lithium-Chlorid erweitert (Automobilwoche, 2020a).

Ein wichtiges Element ist der Innovationsverbund von Forschung, Entwicklung und Produktion, der sich auf die neuen Technologien richten muss. OEM und Zulieferer haben hier bereits Forschungskapazitäten aufgebaut. Dies wird landespolitisch mit Forschungsschwerpunkten in der Grundlagen- und Anwendungsforschung ergänzt, entsprechende Forschungsprojekte laufen bereits. Gefordert ist hier die gesamte Landesregierung und insbesondere die Ministerien für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus, für Wissenschaft, Forschung und Kunst sowie das Ministerium für Kultus, Jugend und Sport. Dieser Umbau muss von der bereits beschriebenen Qualifizierungsoffensive für Elektromobilität und für automatisiertes Fahren gestützt werden. Damit auch kleine und mittlere Unternehmen von diesem Kompetenzaufbau profitieren, leisten spezifische Beratungsformate und Kooperationsprojekte den Wissenstransfer. Diese können auf guten Praxisbeispielen aufbauen: Angestoßen von der Strukturstudie 2019 hat sich im Cluster Elektromobilität Süd-West eine Arbeitsgruppe zur Pro-

duktion von Elektromotoren in Baden-Württemberg gegründet, und das aktuell laufende bundesgeförderte Projekt „Scale-up E-Drive“ unterstützt kleine und mittlere Zulieferer beim Produktionsaufbau für den elektrischen Fahrzeugantriebsstrang (Cluster Elektromobilität Süd-West, 2023; e-mobil BW, 2023f). Gleichzeitig liegen die Nutzfahrzeuge bei der Anwendung automatisierter Fahrfunktionen zeitlich teilweise vor den Pkw, hier steigen die auf digitalen Technologien basierenden Funktionalitäten und Assistenzfunktionen weiter an (ACEA, 2022d). Baden-Württemberg kann sich als Standort der Nutzfahrzeugindustrie weiter profilieren und damit Beschäftigung und Wertschöpfung sichern. Hier kann geprüft werden, ob im Rahmen des Strategiedialogs Automobilwirtschaft BW ein Themenschwerpunkt auf Nutzfahrzeuge gelegt werden kann beziehungsweise ob Besonderheiten für Nutzfahrzeuge bei Forschungsprojekten explizit berücksichtigt werden können. Möglicherweise können auch Forschung und Lehre an baden-württembergischen Hochschulen spezifische Angebote zu Nutzfahrzeugen aufbauen.

High Power Charging beziehungsweise Megawatt Charging Systems sind aus der Clusterperspektive besonders lohnend, weil die Hardware der Ladeinfrastruktur in diesem Bereich noch größere Marktchancen bietet als beispielsweise die Ladeinfrastruktur für Pkw (e-mobil BW, 2021b); hier bestehen neue Geschäftsfelder für Unternehmen, die diese Lösungen entwickeln und fertigen.

Der schnelle Produktionsaufbau der Anlagen und Komponenten für die Energiewende kann ein neues Geschäftsfeld für kleine und mittlere Unternehmen der Zulieferindustrie sein, die flexibel sind und sehr schnell die Fertigung hoher Stückzahlen umsetzen können. Exemplarisch sei der Geschäftsbereich Thermo-technik der Robert Bosch GmbH genannt, der unter anderem mit Wärmepumpen im Jahr 2021 einen weltweiten Umsatz von 4 Mrd. EUR erzielt hat (Robert Bosch GmbH, 2022). Bereits heute können Unternehmen in Baden-Württemberg prüfen, ob sie aus ihren Produktionskompetenzen heraus Teile und Komponenten für Wasserstofftechnologien liefern können. Einen zentralen Zugang zu einem Technologieüberblick und detaillierten Technologiesteckbriefen sowie zu Studien zu Einsatzmöglichkeiten oder zum Wasserstoffbedarfs in Baden-Württemberg bieten Transformationswissen BW<sup>27</sup> und die Plattform H2BW<sup>28</sup>.

27 | [www.transformationswissen-bw.de](http://www.transformationswissen-bw.de)

28 | [www.plattform-h2bw.de](http://www.plattform-h2bw.de)

### Bewertung

Für Unternehmen besteht in Produkten einer dekarbonisierten Energieversorgung ein neues Geschäftsfeld, in dem Kompetenzen der Zulieferindustrie (Metallbearbeitung, Klimatechnik, Großserienfertigung) einen schnellen Produktionsaufbau ermöglichen. Hier kann gemeinsam mit Unternehmen geprüft werden, inwieweit ein Umstieg möglich ist und schnell gelingen kann. Vorstellbar sind hier verschiedene Formen: Machbarkeitsstudien zur Produktionsumstellung bei Automobilzulieferern, eine Arbeitsgruppe mit interessierten Unternehmen und Produktentwickler:innen oder Kooperationen von Forschungseinrichtungen und Unternehmen zum Aufbau von Pilotanlagen zur Fertigung.

### Risiken

Mit der Elektromobilität verringert sich das Arbeitsvolumen insbesondere für die Zulieferer im Antriebsstrang. Unterlassen sie eine frühzeitige Suche nach neuen Geschäftsfeldern, führt das zu Beschäftigungs- und Standortrisiken.

## 3. Handlungsstufe: Zukunftsfähigkeit sichern

Die 3. Handlungsstufe beschreibt die Maßnahmen, durch die die langfristige Zukunftsfähigkeit des baden-württembergischen Automobilclusters erhalten wird: die Verfügbarkeit von Wasserstoff als Energieträger für Fahrzeuge, die Kreislaufwirtschaft inkl. des Recyclings von Traktionsbatterien als nächstem und zentralem Baustein sowie die Umsetzung des automatisierten Fahrens.

### Verfügbarkeit von Wasserstoff als Energieträger für Fahrzeuge

Wasserstoff gilt als zweiter zentraler Energieträger in der dekarbonisierten Mobilität und insbesondere in einer dekarboni-

sierten Industrie. Die Szenarien weisen für 2040 den Einsatz von Brennstoffzellen im Nutzfahrzeugsegment sowie bei Pkw im großen Fahrzeugsegment aus. Auch für Züge, Flugzeuge oder den Schiffsverkehr gelten „grüner“, d. h. CO<sub>2</sub>-neutral hergestellter Wasserstoff und andere Derivate als technisch sinnvolle Alternative zu batterieelektrischen Antrieben. Deshalb muss langfristig eine flächendeckende Tankinfrastruktur für Wasserstoff aufgebaut werden, dies gilt insbesondere für die Förderung des Nutzfahrzeugsegments in Baden-Württemberg. Mit dem Fokus auf Nutzfahrzeuge kann sich die Infrastruktur zunächst auf Autobahnen und Logistikzentren konzentrieren, was auch den Einsatz von Brennstoffzellen in Langstrecken-Pkw perspektivisch ermöglicht.

Eine flächendeckende Infrastruktur kann in einer mittelfristigen Perspektive aufgebaut werden, weil der entsprechende Antriebsstrang erst in einer längerfristigen Perspektive auf relevante Zulassungszahlen kommt (in den Szenarien liegt der Anteil 2030 bei ca. 1 %, 2040 bei ca. 1,6 %). Wenn auch im Sinne der Technologieoffenheit Wasserstoff als Alternative zu batterieelektrischen Antrieben möglich werden soll, dann muss der Aufbau der Tankinfrastruktur zum passenden Zeitpunkt entschieden vorangetrieben werden. Inwieweit hier öffentliche Träger in Vorleistung gehen oder dies in Kooperation mit der Automobilindustrie und Energieversorgern passiert, ist heute noch offen. Auf jeden Fall sollte vermieden werden, dass der Markteintritt der Fahrzeuge dadurch möglicherweise verzögert wird. Wird der Wasserstoffantrieb im Straßenverkehr gewünscht, kann der Infrastrukturausbau schon jetzt mit der Koordination der Stakeholder vorbereitet werden.

### **Recycling von Traktionsbatterien als nächster und zentraler Baustein einer Kreislaufwirtschaft**

Für diese Strukturstudie ist das Automobilcluster um die Kraftstoff-/Energieversorgung erweitert worden. Eine Erweiterung um das Recycling von Traktionsbatterien ist ebenso schlüssig und notwendig. Vorbereitende Studien sind bereits erfolgt: Mit 13 Mio. EUR wurde im Rahmen des Strategiedialogs Automobilwirtschaft BW ein Projekt gefördert, das eine automatisierte Demontage und Aufbereitung von Batterien und Antrieben aus Elektrofahrzeugen erprobt (e-mobil BW, 2020). Hersteller wie Volkswagen oder die Mercedes-Benz Group bauen eigene Recyclinganlagen auf, die Mercedes-Benz Group hat dazu im März 2023 in Kuppenheim bei Karlsruhe mit dem Bau begonnen. Eine weitere Anlage von Fortum in Kirchartd bei Heilbronn ist im Frühjahr 2023 in Betrieb gegangen (Automobilwoche, 2023f; Battery-News, 2023b). Eine hohe Wieder-

verwertungsquote der Lithium-Ionen-Akkus trägt wesentlich zu einer hohen Rohstoffeffizienz, zur Verringerung von Abhängigkeiten bei kritischen Rohstoffen und zu einer klimafreundlichen Produktion von Traktionsbatterien bei, was wiederum der Produktion von Batteriezellen an deutschen Standorten nutzen kann. Für die Demontage und die Wiederaufbereitung der Batterien wird in Europa mit einer Beschäftigung um 8.000 Beschäftigte gerechnet (Agora Verkehrswende, 2021b; NPM, 2021).

Gegenüber der Produktion von BEV ist mit einem Zeitverzug von etwa zehn Jahren als Nutzungsdauer der Fahrzeuge zu rechnen, so dass im Recycling erst in den 2030er Jahren größere Stückzahlen bewältigt werden müssen. Die derzeit laufenden Pilotanlagen bereiten vor allem Produktionsausschuss und seltener Traktionsbatterien auf. Bis zum Jahr 2040 muss die Erweiterung der Wertschöpfungskette etabliert sein, weil bis dahin der Umstieg von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor auf Elektrofahrzeuge vollzogen ist. Allein in Baden-Württemberg ist dann mit über 350.000 Traktionsbatterien jährlich zu rechnen. Deshalb müssen die Rahmenbedingungen für das Recycling bereits heute gesetzt werden, damit die erforderlichen Investitionen mit ausreichendem Zeitvorlauf geplant und möglichst auch an baden-württembergischen Standorten umgesetzt werden.

Rechtliche Grundlage bildet die EU-Richtlinie zum Produktlebenszyklus von Batterien, der in der Europäischen Union derzeit neu geregelt wird. Traktionsbatterien können auch umgenutzt werden (z. B. als stationäre Energiespeicher). Die neue Richtlinie wurde im März 2022 verabschiedet, wird nun mit den Regierungen und der Europäischen Kommission verhandelt und soll dann direkt in den Mitgliedsstaaten gelten (UBA, 2023b; InsideEVs, 2022; Europäisches Parlament, 2022b; Das Batteriegesetz, 2020). Gefordert sind hier die Hersteller, die zur Rücknahme der Traktionsbatterien verpflichtet sind. Offen bleibt dabei aber, wie stark Demontage und Wiederaufbereitung zentralisiert sind oder möglicherweise im europäischen Ausland durchgeführt werden, inwieweit das Kfz-Gewerbe in die neuen Geschäftsmodelle eingebunden wird und ob der baden-württembergische Maschinen- und Anlagenbau sich auch hier als Ausrüster der Automobilindustrie bewährt. Ein Wertstoffkreislauf mit einem Recycling der Traktionsbatterien kann einen Beitrag für eine zuverlässige Versorgung der Automobilindustrie leisten (Cluster Elektromobilität Süd-West, 2023). Derzeit ist in Deutschland mit 17 Projekten fast die Hälfte der europäischen Projekte zum Batterierecycling angesiedelt (Battery-News, 2023b).

Über das Recycling der Traktionsbatterien und die Reduzierung von strategischen Abhängigkeiten bei kritischen Materialien hinaus ist es im Sinne einer Kreislaufwirtschaft das langfristige Ziel, große Anteile der Fahrzeuge wiederzuverwerten: Stahl, Aluminium, Kupfer und zahlreiche weitere Metalle, aber auch Kunststoffe, Glas und Gummi. Vor allem Metalle können unbegrenzt oft wiederverwertet werden. Die Wiederverwertungsquoten in der EU betragen beispielsweise beim Rohstahl ca. 32 % und beim Aluminium 14 %. Audi hat im Projekt „MaterialLoop“ bei Stahl und Aluminium Wiederverwertungsquoten von 85 % bzw. 60 % erreicht. BMW hat auf der IAA 2021 ein vollständig wiederverwertbares Fahrzeug als Vision vorgestellt (EuRIC AISBL, 2020; Automobilwoche, 2023g; Automobilwoche, 2021e). Am Deutz-Standort in Ulm werden unter dem Markennamen Xchange alte Motoren vollständig auseinandergebaut und überholt, so dass sie qualitativ mit einem neuen Motor vergleichbar sind. Mit einer Durchlaufzeit von wenigen Arbeitstagen ist dies vorrangig eine Serviceleistung der Deutz AG, kann aber auch als bewährtes Modell für eine Aufbereitung von Kfz-Komponenten dienen. Es werden etwa 4.000 Motoren jährlich aufgearbeitet (Deutz AG, 2023).

### Bewertung

Der Aufbau eines Recyclingsystems hat zeitlich eine mittelfristige Perspektive, aber insgesamt eine hohe Priorität. Das Aufkommen der Traktionsbatterien nimmt erst in den 2030er Jahren so zu, dass großmaßstäbliche Sammel-, Demontage- und Aufbereitungsverfahren etabliert sein müssen. Dafür erfolgen jetzt die Weichenstellungen.

Einzelne Unternehmen bauen derzeit Pilotanlagen auf. Ihre Herausforderung besteht darin, jetzt Anlagen, Verfahren und Abläufe so einzurichten, dass sie dem steigenden Batterieaufkommen entsprechend skaliert werden können. Offen ist derzeit noch, unter welchen Bedingungen auch wirtschaftlich tragfähige Geschäftsmodelle gefunden werden und in welchen Branchen sich das Recycling etabliert (z. B. unter Beteiligung des Kfz-Gewerbes). Die baden-württembergische Automobilwirtschaft sollte für die Batterien einen Recyclingkreislauf etablieren, der hier Wertschöpfung und Beschäftigung auslöst sowie strategische

Abhängigkeiten bei kritischen Materialien zu verringern hilft. Der Aufbau von Recyclinganlagen muss gerade auch mit Blick auf die Konkurrenz zu scheinbar attraktiveren Flächennutzungen politisch unterstützt werden. Das liegt im Einflussbereich baden-württembergischer Mandatsträger:innen. Mit Vorgaben wie der EU-Richtlinie erhalten Unternehmen einen klaren Rahmen, an dem sie sich mit ihren Geschäftsmodellen orientieren können. Daher kann auf Bundes- und EU-Ebene auf ein Inkrafttreten der Richtlinie hingewirkt werden.

### Risiken

Derzeit werden erste Recyclinganlagen aufgebaut, die dem Aufkommen alter Traktionsbatterien entsprechend skaliert werden können. Es besteht ein hohes Risiko, dass große Recyclinganlagen direkt in Low-Cost Countries aufgebaut werden. Damit werden Wertschöpfungspotenziale und Beschäftigungspotenziale nicht in Baden-Württemberg umgesetzt, und es ist damit ein hoher Transportaufwand für die Batterien verbunden. Außerdem bietet sich perspektivisch eine räumliche Nähe von Zellfertigungen und Recyclinganlagen an, um Materialkreisläufe zu schließen. Ohne Recyclinganlagen fällt sonst auch ein Standortvorteil für die Zellfertigung weg.

### Umsetzung automatisierten Fahrens ermöglichen

Aus der Perspektive des Industriestandortes ist eine Umsetzung des automatisierten Fahrens notwendig, um als Leitmarkt wahrgenommen zu werden. Denn nur dann wird hier die Produktion der Komponenten für automatisiertes Fahren aufgebaut. Liegen größere Marktchancen in den anderen Weltmarktregionen, besteht das Risiko, dass der Produktionsaufbau „local for local“ im Ausland erfolgt. Diese Handlungsoption ist besonders voraussetzungsvoll, weil neben der Technologie weitere Fragen an der Schnittstelle zwischen Grundlagen- und Anwendungsforschung zu klären sind. Hier sticht die Haftung bei Unfällen in der öffentlichen Diskussion heraus, aber auch der Umgang mit den umfangreichen Fahrzeug- und Fahrtdaten muss noch abgestimmt werden. Zudem erfordert die Einführung automatisierten Fahrens einen parallelen Aufbau der Infra-

struktur, insbesondere ein flächendeckendes 5G-Netz. Zur Förderung des Leitmarktes kann Baden-Württemberg Betriebsbereiche für vollautomatisiertes Fahren (Level 4) festlegen und damit den Produktionsaufbau für Komponenten des automatisierten Fahrens im europäischen Produktionsnetzwerk anregen.

In welcher Geschwindigkeit das automatisierte Fahren umgesetzt wird, ist neben der technologischen v.a. eine gesellschaftliche und politische Entscheidung. Aus der Perspektive des Industriestandorts sichert aber nur eine schnelle Umsetzung die Beschäftigung und Wertschöpfung in Baden-Württemberg. Baden-Württemberg als Leitmarkt automatisierten Fahrens bietet den Automobilunternehmen gute Rahmenbedingungen für weitere Forschung und Entwicklung wie auch für die Erprobung im normalen Verkehr und in verschiedenen Einsatzbereichen. Die bestehenden Unternehmensaktivitäten werden weiter ausgebaut, so dass die berechneten Beschäftigungseffekte von 5.100 bzw. 7.400 Beschäftigten in Baden-Württemberg realisiert werden.

Die Landesregierung Baden-Württemberg hat 2020 ein Strategiepapier zur automatisierten und vernetzten Mobilität erstellt, das 2023/24 fortgeschrieben wird (e-mobil BW, 2020b). Schwerpunkte sind u. a. Reallabore wie das Testfeld Autonomes Fahren und die Projekte RABus und Ameise, aber auch innovative Fahrzeugentwicklungsprojekte wie U-Shift. Um die Akteure im Bereich digitale und automatisierte Mobilität zu bündeln, startete die e-mobil BW im Frühjahr 2023 das neue Netzwerk Intelligent Move – als Arbeitsformat zur digitalen Mobilität (e-mobil BW, 2023g).

### Bewertung

Handlungsoptionen von Unternehmen sind weitere Investitionen und FuE sowie der Produktionsaufbau für Komponenten des automatisierten Fahrens in Baden-Württemberg. Sie können die Funktionen hier in verschiedenen Straßensituationen umfangreich ausprobieren. Die Politik unterstützt die Unternehmen, indem weitere Forschungsprojekte und vor allem Testfelder für autonomes Fahren in Baden-Württemberg eingerichtet werden. Die Aktivitäten sind mit der Bundesebene vernetzt, weil Deutschland insgesamt

**Vorreiter bei automatisiertem Fahren und vernetzter Mobilität werden will (BMDV, 2021).**

### Risiken

**Wird das automatisierte Fahren nicht von baden-württembergischen Unternehmen mit vorangetrieben, bleibt zunächst der Beschäftigungsaufbau aus. Perspektivisch fehlen den baden-württembergischen Fahrzeugen jedoch zentrale Funktionen für eine zukünftige vernetzte Mobilität, diese werden von anderen Standorten aus zugekauft.**

### Fazit

Das Automobilcluster ist Kern der baden-württembergischen Wirtschaft. Mit dem Übergang zum elektrischen Antriebsstrang verringert sich in vielen Segmenten des Clusters das Arbeitsvolumen deutlich, bis 2030 kann das Cluster je nach Marktanteil der elektrifizierten Fahrzeuge um 8 bis 14 % schrumpfen, das entspricht zwischen 37.600 und 66.900 Beschäftigten. Diese hohe Zahl zeigt den dringenden Handlungsbedarf zur Stützung des Automobilclusters auf. Berücksichtigt ist hierbei bereits, dass bis 2030 für neue Technologien (Elektroantriebe, automatisiertes Fahren) FuE- sowie Produktionskapazitäten in Baden-Württemberg aufgebaut wurden. Sie kompensieren einen Teil des Beschäftigungsrückgangs durch den Wegfall des Verbrennungsmotors. Das erfordert aber einen konsequenten Erhalt und Umbau von Automobilstandorten im Land mit entsprechenden Investitionen, die von Politik und Unternehmen unmittelbar vorangetrieben werden müssen.

Zentrale Handlungsempfehlungen dafür sind

- vordringlich adressiert an die Politik die Verfügbarkeit von Industrieflächen, die Stromversorgung aus erneuerbaren Energiequellen, der Ausbau der Ladeinfrastruktur für Strom und mit Wasserstoff sowie der Finanzierungsrahmen für unternehmerische Tätigkeit;
- vordringlich adressiert an Unternehmen der Umbau des Wertschöpfungsclusters zur Elektromobilität, für neue Komponenten der Aufbau einer industriellen Serienproduktion mittlerer Stückzahlen, eine Qualifizierungsoffensive für Elektromobilität und digitalisierte Fahrzeuge mit einem begleitenden Ausbau der FuE-Kapazität;

- in der mittelfristigen Perspektive die gesicherte Verfügbarkeit von Wasserstoff als Energieträger für Fahrzeuge, der Ausbau der Kreislaufwirtschaft mit dem Recycling von Traktionsbatterien und die Umsetzung des automatisierten Fahrens.

Die hier formulierten Handlungsoptionen legen im Rahmen dieser Studie einen klaren Fokus auf das Automobilcluster und die ihm zugehörigen Unternehmen. Umfang und Komplexität der Transformation werden erst über einen Zeitverlauf deutlich. Daraus folgt der große Handlungsbedarf, der die Erweiterung des Clusters auf Energieerzeugung und -versorgung sowie den Aufbau der Kreislaufwirtschaft einschließt. Dabei sind mit dem zeitlichen Markthochlauf der Elektromobilität und Vorlaufzeiten z. B. bei der Energieversorgung einige der Handlungsoptionen zeitlich dringlicher als andere, wie die Abbildung 90 zeigt.

Der Erfolg dieses Wandels wird davon abhängen, ob ein begleitendes Leitbild für einen gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Wandel ohne Wohlstandsverluste entwickelt werden kann, an dem sich alle Akteure – Unternehmen, Politik, Zivilgesellschaft, Forschung – beteiligen. Baden-Württemberg kann und muss sich hier als erfolgreicher Industriestandort neu definieren und als neuer Standort nachhaltiger Industrie und Wirtschaft profilieren.



Abbildung 90: Stufung der Handlungsoptionen





# Literaturverzeichnis

ACEA (2018)

Economic and Market Report. Online verfügbar unter [https://www.acea.auto/files/Economic\\_and\\_Market\\_Report\\_Q4\\_2017.pdf](https://www.acea.auto/files/Economic_and_Market_Report_Q4_2017.pdf), zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

ACEA (2020a)

All new trucks sold must be fossil free by 2040, agree truck makers and climate researchers. Online verfügbar unter <https://www.acea.auto/press-release/all-new-trucks-sold-must-be-fossil-free-by-2040-agree-truck-makers-and-climate-researchers/>, zuletzt abgerufen am 25.01.2023.

ACEA (2020b)

2019 Motor vehicle registrations in Europe, by country. Online verfügbar unter <https://www.acea.auto/figure/2019-motor-vehicle-registrations-in-europe-by-country/>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

ACEA (2021)

Fuel types of new cars: electric 10.5%, hybrid 11.9%, petrol 47.5% market share full-year 2020. Online verfügbar unter <https://www.acea.auto/fuel-pc/fuel-types-of-new-cars-electric-10-5-hybrid-11-9-petrol-47-5-market-share-full-year-2020/>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

ACEA (2022)

Joint Position Paper. Mobility Package I: New Requirements for the Automotive Industry. Online verfügbar unter <https://www.acea.auto/files/Joint-position-paper-New-requirements-for-the-automotive-industry.pdf>, zuletzt abgerufen am 20.03.2023.

ACEA (2022a)

Electric cars: 6 EU countries have less than 1 charger per 100km of road; 1 charger in 7 is fast. Online verfügbar unter <https://www.acea.auto/press-release/electric-cars-6-eu-countries-have-less-than-1-charger-per-100km-of-road-1-charger-in-7-is-fast/>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

ACEA (2022b)

Economic and Market Report. Online verfügbar unter [https://www.acea.auto/files/Economic-and-Market-Report-Full-year-2022.pdf?utm\\_source=mailpoet&utm\\_medium=email&utm\\_campaign=newsletter-post-title\\_191](https://www.acea.auto/files/Economic-and-Market-Report-Full-year-2022.pdf?utm_source=mailpoet&utm_medium=email&utm_campaign=newsletter-post-title_191), zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

ACEA (2022c)

Commercial vehicle registrations: +9.6% in 2021; -8.4% in December. Online verfügbar unter <https://www.acea.auto/cv-registrations/commercial-vehicle-registrations-9-6-in-2021-8-4-in-december/>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

ACEA (2023a)

Vehicles in Use Europe 2022. Online verfügbar unter <https://www.acea.auto/files/ACEA-report-vehicles-in-use-europe-2022.pdf>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

ACEA (2023b)

Fuel types of new cars: battery electric 12.1%, hybrid 22.6% and petrol 36.4% market share full-year 2022. Online verfügbar unter <https://www.acea.auto/fuel-pc/fuel-types-of-new-cars-battery-electric-12-1-hybrid-22-6-and-petrol-36-4-market-share-full-year-2022/>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

ADAC (2022)

Elektroauto-Batterie: Lebensdauer, Garantie, Reparatur. Online verfügbar unter <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/info/elektroauto-batterie/>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

Agora Verkehrswende (2020)

Auto tankt Internet: Auswirkungen des automatisierten und vernetzten Fahrens auf den Energieverbrauch von Fahrzeugen, Datenübertragung und Infrastruktur. Online verfügbar unter [https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2020/Automatisiertes\\_Fahren/Agora-Verkehrswende\\_Auto-tankt-Internet.pdf](https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2020/Automatisiertes_Fahren/Agora-Verkehrswende_Auto-tankt-Internet.pdf), zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

## Agora Verkehrswende (2021a)

Autojobs unter Strom. Wie Elektrifizierung und weitere Trends die automobilen Arbeitswelt bis 2030 verändern werden und was das für die Politik bedeutet. Berlin. Online verfügbar unter [https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2021/BCG-Jobstudie/64\\_Jobeffekte.pdf](https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2021/BCG-Jobstudie/64_Jobeffekte.pdf), zuletzt abgerufen am 20.09.2023.

## Agora Verkehrswende (2021b)

Deutschland kann Vorreiter für klimafreundliche Produktion von Fahrzeugbatterien werden. Online verfügbar unter <https://www.agora-verkehrswende.de/presse/newsuebersicht/deutschland-kann-vorreiter-fuer-klimafreundliche-produktion-von-fahrzeugaebatterien-werden-1/>, zuletzt abgerufen am 20.03.2023.

## Agora Verkehrswende (2022)

Kapital für den Wandel der Automobilindustrie. Wie Investoren und Banken eine Führungsrolle beim Erreichen der Pariser Klimaziele im Automobilsektor übernehmen können. Berlin. Online verfügbar unter [https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2022/Kapital-Automobilindustrie/87\\_Kapital-Automobilindustrie.pdf](https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2022/Kapital-Automobilindustrie/87_Kapital-Automobilindustrie.pdf), zuletzt abgerufen am 20.03.2023.

## AMS – Auto Motor und Sport (2022)

Die Ausstiegs-Fahrpläne der EU- und anderer Länder. Online verfügbar unter <https://www.auto-motor-und-sport.de/verkehr/verbrenner-aus-immer-mehr-verbote-zukunft-elektroauto/>, zuletzt abgerufen am 09.03.2022.

## AMS – Auto Motor und Sport (2023)

BMW plant Batteriewerk in Niederbayern. Online verfügbar unter <https://www.auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/alternative-antriebe/batteriezellen-fertigung-deutschland-wo-elektroauto-akkus-entstehen/>, zuletzt abgerufen am 14.03.2023.

## Audi AG (2021)

Klarer Kurs: Audi erhöht Investitionen in Elektromobilität. Online verfügbar unter <https://www.audi-mediacycenter.com/de/pressemitteilungen/klarer-kurs-audi-erhoeht-investitionen-in-elektromobilitaet-14448>, zuletzt abgerufen am 08.03.2022.

## Audi AG (2023)

Neckarsulm, Deutschland, AUDI AG, Audi Sport GmbH. Online verfügbar unter <https://www.audi.com/de/company/profile/locations/germany.html>, zuletzt abgerufen am 18.4.2023.

## Auto Zeitung (2020)

Mercedes-Entwicklungsvorstand Ola Källenius: Interview. „Wir planen Plug-in-Hybride von A- bis zur S-Klasse.“ Online verfügbar unter <https://www.autozeitung.de/mercedes-entwicklungsvorstand-ola-kaellenius-interview-195389.html>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

## Automobil Industrie (2021)

Die zehn größten deutschen Entwicklungsdienstleister. Online verfügbar unter <https://www.automobil-industrie.vogel.de/die-zehn-groessten-deutschen-entwicklungsdienstleister-a-1060113/>, zuletzt abgerufen am 18.01.2023.

## Automobil Industrie (2022)

Autobauer sichern sich mehr vertikale Kontrolle. Heft 5/2022, S. 40–41.

## Automobil Industrie (2023)

Tesla-Lieferant: „80 Prozent der Autohersteller werden bis 2035 Gigapressen verwenden.“ Online verfügbar unter <https://www.automobil-industrie.vogel.de/tesla-giga-druckguss-aluminium-karosserie-weitere-autohersteller-interessiert-a-65d071259b4db272e17b1cab1e05a0d7/>, zuletzt abgerufen am 24.02.2023.

## Automobil Produktion (2020a)

In der Autobranche wird Entwicklung zur Teamarbeit. Online verfügbar unter <https://www.automobil-produktion.de/management/in-der-autobranche-wird-entwicklung-zur-teamarbeit-360.html>, zuletzt abgerufen am 26.01.2023.

## Automobil Produktion (2020b)

Siemens unterstützt Volkswagen bei E-Car-Produktion in Zwickau. Online verfügbar unter <https://www.automobil-produktion.de/produktion/siemens-unterstuetzt-volkswagen-bei-e-car-produktion-in-zwickau-105.html>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

## Automobil Produktion (2021)

IAV baut neues Entwicklungszentrum in Heimsheim. Online verfügbar unter <https://www.automobil-produktion.de/technologie/iav-baut-neues-entwicklungszentrum-in-heimsheim-115.html>, zuletzt abgerufen am 26.01.2023.

## Automobil Produktion (2022a)

Wie Mercedes-Benz seine Produktion digitalisieren will. Online verfügbar unter <https://www.automobil-produktion.de/produktion/smart-factory/wie-mercedes-benz-seine-produktion-digitalisieren-will-856.html>, zuletzt abgerufen am 08.12.2022.

## Automobil Produktion (2022b)

Braucht die smarte Fabrik die grüne Wiese? Online verfügbar unter <https://www.automobil-produktion.de/produktion/smart-factory/braucht-die-smarte-fabrik-die-grue-ne-wiese-287.html>, zuletzt abgerufen am 08.12.2022.

## Automobil Produktion (2022c)

„Warum an digitalen Kontrollgängen kein Weg vorbei führt.“ Online verfügbar unter <https://www.automobil-produktion.de/produktion/smart-factory/warum-an-digitalen-kontrollga-engen-kein-weg-vorbei-fuehrt-694.html>, zuletzt abgerufen am 08.12.2022.

## Automobil Produktion (2022d)

Audi will bis 2033 die Fabrikkosten halbieren. Online verfügbar unter <https://www.automobil-produktion.de/produktion/audi-will-bis-2033-die-fabrikkosten-halbie-ren-803.html>, zuletzt abgerufen am 28.02.2023.

## Automobilwoche (2016)

„Wir brauchen eine Batteriefertigung in Deutschland.“ Online verfügbar unter <https://www.automobilwoche.de/agenturmeldungen/wir-brauchen-eine-batteriefertigung-deutschland>, zuletzt abgerufen am 25.04.2023.

## Automobilwoche (2019a)

ZF übernimmt Wabco. Online verfügbar unter <https://www.automobilwoche.de/nachrichten/zf-ubernimmt-wabco>, zuletzt abgerufen am 20.04.2023.

## Automobilwoche (2019b)

„Sonst kommen die Hastors dieser Welt.“ IG-Metall-Chef Jörg Hofmann im Interview. Online verfügbar unter <https://www.automobilwoche.de/bc-online/sonst-kommen-die-hastors-dieser-welt>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

## Automobilwoche (2019c)

VW steigert Produktivität der Werke um sechs Prozent. Online verfügbar unter <https://www.automobilwoche.de/bc-online/vw-steigert-produktivitaet-der-werke-um-sechs-prozent>, zuletzt abgerufen am 23.02.2023.

## Automobilwoche (2020a)

Audi will Autowerke klimaneutral machen. Online verfügbar unter <https://www.automobilwoche.de/agenturmeldungen/audi-will-autowerke-klimaneutral-machen>, zuletzt abgerufen am 09.12.2022.

## Automobilwoche (2020b)

Kaufvertrag für Tesla-Werksgelände ist unterzeichnet. Online verfügbar unter <https://www.automobilwoche.de/agenturmeldungen/kaufvertrag-fur-tesla-werksge-laende-ist-unterzeichnet>, zuletzt abgerufen am 05.01.2023.

## Automobilwoche (2020c)

Deutsche Automobilzulieferer fallen zurück. Online verfügbar unter <https://www.automobilwoche.de/bc-online/deutsche-autozulieferer-fallen-zurueck>, zuletzt abgerufen am 21.02.2023.

## Automobilwoche (2020d)

Eberspächer schließt Werk am Stammsitz Ende 2021. Online verfügbar unter <https://www.automobilwoche.de/agenturmeldungen/eberspaecher-schliesst-werk-am-stamm-sitz-ende-2021>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

## Automobilwoche (2020e)

Daimler will weltweit ab 2022 CO<sub>2</sub>-neutral produzieren. Online verfügbar unter <https://www.automobilwoche.de/agenturmeldungen/daimler-will-weltweit-ab-2022-co2-neut-ral-produzieren>, zuletzt abgerufen am 20.03.2023.

## Automobilwoche (2021a)

Northvolt plant Batteriefabrik in Deutschland.

Online verfügbar unter <https://www.automobilwoche.de/bc-online/northvolt-plant-batteriefabrik-deutschland>, zuletzt abgerufen am 04.01.2023.

## Automobilwoche (2021b)

Fokus auf Software und Kosten. Online verfügbar unter

<https://www.automobilwoche.de/bc-online/fokus-auf-software-und-kosten>, zuletzt abgerufen am 26.01.2023.

## Automobilwoche (2021c)

Entwicklungsdienstleister. Zeitenwende im Engineering.

Online verfügbar unter <https://www.automobilwoche.de/heftarchiv/zeitenwende-im-engineering>, zuletzt abgerufen am 26.01.2023.

## Automobilwoche (2021d)

VW geht mit Verbrennern hohes wirtschaftliches Risiko ein.

Online verfügbar unter <https://www.automobilwoche.de/nachrichten/vw-geht-mit-verbrennern-hohes-wirtschaftliches-risiko-ein>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

## Automobilwoche (2021e)

So sieht die Zukunftsvision von BMW aus. Online verfügbar unter <https://www.automobilwoche.de/bc-online/so-sieht-die-zukunftsvision-von-bmw-aus>, zuletzt abgerufen am 20.03.2023.

## Automobilwoche (2022a)

Wird Audis elektrische Luxusklasse in Neckarsulm gebaut?

Online verfügbar unter <https://www.automobilwoche.de/bc-online/audi-werk-neckarsulm-will-elektrische-luxusmodelle>, zuletzt abgerufen am 20.09.2023.

## Automobilwoche (2022b)

Northvolt plant Batteriezellfertigung in Schleswig-Holstein.

Online verfügbar unter <https://www.automobilwoche.de/agenturmeldungen/northvolt-plant-batteriezellfertigung-schleswig-holstein>, zuletzt abgerufen am 04.01.2023.

## Automobilwoche (2022c)

Cyberattacke auf Emil-Frey-Gruppe. Online verfügbar unter [www.automobilwoche.de/nachrichten/cyberattacke-auf-emil-frey-gruppe](http://www.automobilwoche.de/nachrichten/cyberattacke-auf-emil-frey-gruppe), zuletzt abgerufen am 28.04.2023.

## Automobilwoche (2023a)

EU sollte Batterieproduktion stärker fördern.

Online verfügbar unter <https://www.automobilwoche.de/agenturmeldungen/transport-environment-befurchtet-verlagerung-der-batterieproduktion-die-usa>, zuletzt abgerufen am 02.02.2023.

## Automobilwoche (2023b)

Mercedes meldet Kurzarbeit in Stuttgart an.

Online verfügbar unter <https://www.automobilwoche.de/bc-online/kurzarbeit-bei-mercedes-gibt-es-auch-stuttgart>, zuletzt abgerufen am 15.03.2023.

## Automobilwoche (2023c)

Hochlauf mit Hindernissen. Die deutschen Autobauer haben viele E-Modelle im Angebot. Aber Lieferschwierigkeiten und mangelnde Attraktivität kosten wichtige Marktanteile. In: Automobilwoche Nr. 4 vom 06.02.2023, S. 4.

## Automobilwoche (2023d)

Duesmann kritisiert „Hängepartie“ beim Verbrenner-Aus.

Online verfügbar unter <https://www.automobilwoche.de/agenturmeldungen/eu-verbrenner-aus-2035-audi-chef-markus-duesmann-kritisiert-verzogerung>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

## Automobilwoche (2023e)

An die Wand gefahren. Kommentar zu Sono Motors.

Online verfügbar unter <https://www.automobilwoche.de/bc-online/die-wand-gefahren>, zuletzt abgerufen am 20.03.2023.

## Automobilwoche (2023f)

Mercedes startet Kreislauf für Batterien. Online verfügbar unter <https://www.automobilwoche.de/bc-online/einstieg-kreislaufwirtschaft-mercedes-baut-recyclinganlage-fur-batterien>, zuletzt abgerufen am 20.03.2023.

## Automobilwoche (2023g)

Audi rettet 85 Prozent des Stahls aus Altfahrzeugen.

Online verfügbar unter <https://www.automobilwoche.de/bc-online/kreislaufwirtschaft-bei-audi-materialloop-ermoglicht-85-prozent-stahlrecycling>, zuletzt abgerufen am 20.03.2023.

Automobilwoche (2023h)

Mercedes liegt auf Luxus-Kurs. Online verfügbar unter <https://www.automobilwoche.de/bc-online/erstes-halbjahr-2023-mercedes-benz-verkauft-mehr-autos>; zuletzt abgerufen am 21.09.2023.

Automobilwoche (2023i)

Porsche-Chef Blume verlangt klare Strategie in der Transformation. Online verfügbar unter <https://www.automobilwoche.de/bc-online/interview-porsche-chef-blume-verlangt-kla-re-strategie-der-transformation>, zuletzt abgerufen am 21.09.2023.

Bachtler, P. (2019)

Japanische Produktionsnetzwerke in Ostasien: Organisationsform im Spannungsfeld zwischen Akkumulation und Indigenisierung. Berlin.

Baden-Württemberg (2021)

Umfassende Weiterbildungsinitiative beschlossen. Online verfügbar unter <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/umfassende-weiterbildungsinitiative-beschlossen>, zuletzt abgerufen am 19.07.2023.

Baden-Württemberg (2023)

Zweites Spitzengespräch Wasserstoffinfrastruktur. Online verfügbar unter <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/zweites-spitzen-gespraech-wasserstoffinfrastruktur>, zuletzt abgerufen am 19.07.2023.

Baden-Württemberg Stiftung (Hrsg.) (2017)

Mobiles Baden-Württemberg. Wege der Transformation zu einer nachhaltigen Mobilität. Stuttgart.

Baden-Württembergischer Industrie- und Handelskammertag (2019)

Die größten Unternehmen in Baden-Württemberg. Stuttgart.

BAFA – Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (2023a)

Suchergebnis zu „Wallbox.“ Online verfügbar unter [https://www.bafa.de/SiteGlobals/Forms/Suche/Expertensuche/Servicesuche\\_Formular.html?nn=1465158&resourceId=1471548&input\\_ =1465164&pageLocale=de&templateQueryString=Wallbox&submit.x=0&submit.y=0](https://www.bafa.de/SiteGlobals/Forms/Suche/Expertensuche/Servicesuche_Formular.html?nn=1465158&resourceId=1471548&input_ =1465164&pageLocale=de&templateQueryString=Wallbox&submit.x=0&submit.y=0), zuletzt abgerufen am 20.03.2023.

BAFA – Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (2023b)

Elektromobilität. Einzelantrag stellen. Online verfügbar unter [https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Elektromobilitaet/Neuen\\_Antrag\\_stellen/neuen\\_antrag\\_stellen.html](https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Elektromobilitaet/Neuen_Antrag_stellen/neuen_antrag_stellen.html), zuletzt abgerufen am 20.03.2023.

Ball, T. (2021)

Personalbedarf für Elektromobilität. Lünendonk-Blitzumfrage 2021. Online verfügbar unter <https://www.luenendonk.de/produkte/studien-publikationen/luenendonk-blitzumfrage-2021-personalbedarf-fuer-elektromobilitaet-fm-za/>, zuletzt abgerufen am 10.01.2023.

Battery News (2023a)

Batterieproduktion in Deutschland (Stand: Februar 2023). Online verfügbar unter <https://battery-news.de/index.php/2023/02/03/16260/>, zuletzt abgerufen am 15.03.2023.

Battery News (2023b)

LIB recycling projects EU: January 2023. Online verfügbar unter <https://battery-news.de/index.php/2023/01/27/batterie-recycling-in-europa-stand-01-2023/>, zuletzt abgerufen am 20.03.2023.

Bauer, W.; Riedel, O.; Hermann, F.; Borrmann, D. und Sachs, C. (2019)

ELAB 2.0. Wirkungen der Fahrzeugelektrifizierung auf die Beschäftigung am Standort Deutschland. Stuttgart, 2. Auflage.

BDEW – Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (2022)

Jahresbericht: Die Energieversorgung 2022. Online verfügbar unter [https://www.bdew.de/media/documents/Jahresbericht\\_2022\\_final\\_20Dez2022.pdf](https://www.bdew.de/media/documents/Jahresbericht_2022_final_20Dez2022.pdf), zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

Berger, M.; Boockmann, B.; Felbermayr, G.; Klempt, C.; Koch, A.; Kohler, W.; Lerch, C.; Neuhäusler, P. und Rammer, C. (2017)  
Strukturanalyse und Perspektiven des Wirtschaftsstandortes Baden-Württemberg im nationalen und internationalen Vergleich. Tübingen, Mannheim, München und Karlsruhe (herausgegeben von IAW, ZEW, Ifo Institut und Fraunhofer ISI).

Bertrandt (2022a)

Geschäftsbericht für das Geschäftsjahr 2021/2022. Online verfügbar unter [www.bertrandt.com/fileadmin/files/files/00\\_Unternehmen/01\\_Investor\\_Relations/06\\_Hauptversammlung/HV\\_21-22/hv\\_2023\\_testat\\_jahresabschluss\\_lagebericht\\_30-09-2022\\_gj\\_2021-2022\\_bertrandt.pdf](http://www.bertrandt.com/fileadmin/files/files/00_Unternehmen/01_Investor_Relations/06_Hauptversammlung/HV_21-22/hv_2023_testat_jahresabschluss_lagebericht_30-09-2022_gj_2021-2022_bertrandt.pdf), zuletzt abgerufen am 30.01.2023.

Bertrandt (2022b)

Automobil-Industrie. Online verfügbar unter [www.bertrandt.com/branchen/automobil-industrie](http://www.bertrandt.com/branchen/automobil-industrie), zuletzt abgerufen am 30.01.2023.

Bertrandt (2023)

Zahlen und Daten. Online verfügbar unter <https://www.bertrandt.com/unternehmen/konzern/zahlendaten>, zuletzt abgerufen am 25.01.2023.

Berylls (2022)

Top 100-Zuliefererstudie 2022. Die Branche kommt nicht zur Ruhe. Online verfügbar unter [https://www.berylls.com/wp-content/uploads/2022/08/Top100-Zulieferer-Studie-08-2022\\_final\\_online.pdf](https://www.berylls.com/wp-content/uploads/2022/08/Top100-Zulieferer-Studie-08-2022_final_online.pdf), zuletzt abgerufen am 09.12.2022.

BFM – Bundesfinanzministerium (2022)

Bundesregierung bringt zweites Entlastungspaket auf den Weg. Online verfügbar unter <https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Pressemitteilungen/Finanzpolitik/2022/04/2022-04-27-zweites-entlastungspaket.html>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

BGBL – Bundesgesetzblatt (2020)

Erstes Gesetz zur Änderung des Brennstoffemissionshandelsgesetzes. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2020, Teil I, Nr. 50, ausgegeben zu Bonn am 9. November 2020. Online verfügbar unter [https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger\\_BGBL&jumpTo=bgbl120s2291.pdf#\\_bgbl\\_%2F%2F\\*%5B%40attr\\_id%3D%27bgbl120s2291.pdf%27%5D\\_\\_1695806211929](https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBL&jumpTo=bgbl120s2291.pdf#_bgbl_%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl120s2291.pdf%27%5D__1695806211929), zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

BGBL – Bundesgesetzblatt (2022)

Zweites Gesetz zur Änderung des Brennstoffemissionshandelsgesetzes. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2022, Teil I, Nr. 43, ausgegeben zu Bonn am 15. November 2022. Online verfügbar unter [http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger\\_BGBL&jumpTo=bgbl122s2006.pdf](http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBL&jumpTo=bgbl122s2006.pdf), zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

BlaBlaCar (2022)

Wir über uns. Online verfügbar unter <https://blog.blablacar.de/about-us>, zuletzt abgerufen am 14.12.2022.

BlackRock (2023)

Larry Fink's Annual Chairmans' Letter to Investors. Online verfügbar unter <https://www.blackrock.com/corporate/investor-relations/larry-fink-annual-chairmans-letter>, zuletzt abgerufen am 24.03.2023.

Blazejczak, J.; Edler, D.; Gornig, M.; Kemfert, C. (2018) Energiewende für die Modernisierung des Industriestandorts Deutschland nutzen. Ohne Ort (herausgegeben vom ZBW – Leibnitz-Informationszentrum Wirtschaft).

Blien, U.; Fuchs, J.; Ludewig, O.; Dieterich, I.; Konle-Seidl, R.; Zika, G.; Hummel, M.; Rhein, T.; Gerner, H.; Fuchs, M.; Bellmann, L.; Zapf, I.; Kruppe, T.; Schwengler, B.; Scholz, T.; Wanger, S.; Klinger, S.; Ellguth, P.; Walwei, U.; Rothe, T.; Feil, M.; Dietz, M.; Stops, M.; Hecht, V.; Spitznagel, E.; Crimman, A.; Weyh, A.; Kohaut, S. und Fuchs, S. (2012) Entwicklung und Perspektiven des deutschen Arbeitsmarktes. Beitrag in: Brücker, H.; Walwei, U.; Klinger, S.; Möller, J. (Hrsg.) (2012) Handbuch Arbeitsmarkt 2013: Analysen, Daten, Fakten. Online verfügbar unter <https://www.wbv.de/shop/Kapitel-A-Entwicklung-und-Perspektiven-des-deutschen-Arbeitsmarktes-300776w013>; zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

Blöcker, A. (2016)

Branchenanalyse Entwicklungsdienstleister. Düsseldorf. (Working Paper Forschungsförderung der Hans Böckler Stiftung: 17.)

Bloomberg (2021)

Battery Pack Prices Fall to an Average of \$132/kWh, But Rising Commodity Prices Start to Bite. Online verfügbar unter <https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-fall-to-an-average-of-132-kwh-but-rising-commodity-prices-start-to-bite>, zuletzt abgerufen am 08.03.2022.

Bloomberg (2022)

Lithium-ion Battery Pack Prices Rise for First Time to an Average of \$151/kWh. Online verfügbar unter <https://about.bnef.com/blog/lithium-ion-battery-pack-prices-rise-for-first-time-to-an-average-of-151-kwh/>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

BMAS – Bundesministerium für Arbeit und Soziales (2023a) Qualifizierungschancengesetz. Online verfügbar unter <https://www.bmas.de/DE/Service/Gesetze-und-Gesetzesvorhaben/qualifizierungschancengesetz.html>, zuletzt abgerufen am 20.03.2023.

BMAS – Bundesministerium für Arbeit und Soziales (2023b) Arbeit-von-morgen-Gesetz. Online verfügbar unter <https://www.bmas.de/DE/Service/Gesetze-und-Gesetzesvorhaben/arbeit-von-morgen-gesetz.html>, zuletzt abgerufen am 20.03.2023.

BMDV – Bundesministerium für Digitales und Verkehr (2021) Automatisiertes und vernetztes Fahren. Online verfügbar unter <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/automatisiertes-und-vernetztes-fahren.html>, zuletzt abgerufen am 20.03.2023.

BMDV – Bundesministerium für Digitales und Verkehr (2022a) Gesamtkonzept klimafreundliche Nutzfahrzeuge. Online verfügbar unter [https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/gesamtkonzept-klimafreundliche-nutzfahrzeuge.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/gesamtkonzept-klimafreundliche-nutzfahrzeuge.pdf?__blob=publicationFile), zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

BMDV – Bundesministerium für Digitales und Verkehr (2022b) Verkehrsverflechtungsprognose 2030. Online verfügbar unter [https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/verkehrsverflechtungsprognose-2030.html#:~:text=Die%20Verkehrsleistung%20im%20Personenverkehr%20\(einschlie%C3%9Flich,in%202030%20\(%2B%2012%20%25%20\),zuletzt%20abgerufen%20am%2008.03.2023.](https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/verkehrsverflechtungsprognose-2030.html#:~:text=Die%20Verkehrsleistung%20im%20Personenverkehr%20(einschlie%C3%9Flich,in%202030%20(%2B%2012%20%25%20),zuletzt%20abgerufen%20am%2008.03.2023.)

BMDV – Bundesministerium für Digitales und Verkehr (2023) Neue Fahrzeugsicherheitssysteme. Online verfügbar unter <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/StV/Strassenverkehr/neue-fahrzeugsicherheitssysteme.html>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

BMJ – Bundesministerium der Justiz (2017) Energiesteuergesetz (EnergieStG), § 2 Steuertarif. Online verfügbar unter [https://www.gesetze-im-internet.de/energiestg/\\_2.html](https://www.gesetze-im-internet.de/energiestg/_2.html), zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2019) Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/974430/1679914/e01d6bd855f-09bf05cf7498e06d0a3ff/2019-10-09-klima-massnahmen-data.pdf?download=1>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2021) Klimaschutz in Zahlen: Fakten, Trends und Impulse deutscher Klimapolitik. Berlin.

BMUV – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (2022) Flächenverbrauch – Worum geht es?. Online verfügbar unter <https://www.bmu.de/themen/nachhaltigkeit-digitalisierung/nachhaltigkeit/strategie-und-umsetzung/flaechenverbrauch-worum-geht-es>, zuletzt abgerufen am 05.01.2023.

BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2021a) Richtlinie über die Förderung von leichten und schweren Nutzfahrzeugen mit alternativen, klimaschonenden Antrieben und dazugehöriger Tank- und Ladeinfrastruktur. Online verfügbar unter <https://www.klimafreundliche-nutzfahrzeuge.de/wp-content/uploads/2021/08/Foerderrichtlinie.pdf>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.) (2021b) Quantifizierung von Beschäftigungseffekten durch Leistungselektronik und Brennstoffzellenfahrzeuge. Berlin. (NPM AG 4 Zwischenbericht.)

BMW AG (2021) BMW Group Bericht 2020. Unsere Verantwortung. Unsere Zukunft. Online verfügbar unter: <https://www.bmwgroup.com/content/dam/grpw/websites/bmwgroup.com/ir/downloads/de/2021/bericht/BMW-Group-Bericht-2020-DE.pdf>, zuletzt abgerufen am 28.01.2023.

BMW AG (2022) Geschäftsbericht 2021. Online verfügbar unter <https://www.press.bmwgroup.com/deutschland/article/detail/T0374217DE/bmw-group-bericht-2021>, zuletzt abgerufen am 30.03.2023.



BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2020)

Integrierter Nationaler Energie- und Klimaplan. Online verfügbar unter [https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads//integrierter-nationaler-energie-klimaplan.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads//integrierter-nationaler-energie-klimaplan.pdf?__blob=publicationFile&v=4), zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.) (2021)

Die Energie der Zukunft. 8. Monitoring-Bericht zur Energiewende – Berichtsjahre 2018 und 2019. Online verfügbar unter <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/achter-monitoring-bericht-energie-der-zukunft.pdf>, zuletzt abgerufen am 20.3.2023.

BMWK – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2022)

Klimaschutz in Zahlen (2022): Aktuelle Emissionstrends und Klimaschutzmaßnahmen in Deutschland. Online verfügbar unter <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Klimaschutz/klimaschutz-in-zahlen.html>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

BMWK – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2023a)

Zukunftsinvestitionen Fahrzeughersteller und Zulieferindustrie. Online verfügbar unter <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/zukunftsinvestitionen-fahrzeughersteller-und-zulieferindustrie.pdf>, zuletzt abgerufen am 23.05.2023.

BMWK – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2023b)

Bundeskabinett beschließt Gesetzesentwurf zur Schaffung eines Wasserstoff-Kernnetzes. Online verfügbar unter <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2023/05/20230524-bundeskabinett-beschliesst-gesetzesentwurf-zur-schaffung-eines-wasserstoff-kernnetzes.html>, zuletzt abgerufen am 19.07.2023.

BMZ – Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (2023)

Das Lieferkettengesetz. Online verfügbar unter <https://www.bmz.de/de/themen/lieferkettengesetz/>, zuletzt abgerufen am 19.06.2023.

Böhme, T.; Frank, B. (2017)

Hybrid Systems, Optimal Control and Hybrid Vehicles. Cham, CH: Springer International.

Bonin, H.; Gregory, T. und Zierahn, U. (2015)

Übertragung der Studie von Frey und Osborne (2013) auf Deutschland. Mannheim.

Brachat-Schwarz, W. und Böhm, M. (2022)

Der Alterungsprozess der Bevölkerung schwächt sich langfristig ab. In: Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg 1/2022, S. 16–24.

Brockjan, K.; Maier, L.; Kott, K. und Sewald, N. (2021)

Umwelt, Energie und Mobilität. Auszug aus dem Datenreport 2021. Wiesbaden. Herausgegeben vom Statistischen Bundesamt (Destatis).

Brzeski, C. und Burk, I. (2015)

Die Roboter kommen. Folgen der Automatisierung für den deutschen Arbeitsmarkt. (INGDiBa Economic Research.)

BSC (2023)

2022 (Full Year) Japan: Best-Selling Car Brands and Market Analysis. Online verfügbar unter <https://www.best-selling-cars.com/japan/2022-full-year-japan-best-selling-car-brands-and-market-analysis/>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

Bundesagentur für Arbeit (2015)

Sonderauswertung von Beschäftigtendaten für den Strukturbericht Region Stuttgart im Auftrag der IMU Institut GmbH.

Bundesagentur für Arbeit (2023)

Sonderauswertung von Beschäftigtendaten für die Strukturstudie 2023 im Auftrag der IMU Institut GmbH.

Bundesanzeiger (2022)

Bekanntmachung der Richtlinie zur Förderung des Absatzes von elektrisch betriebenen Fahrzeugen (Umweltbonus). Veröffentlicht am Freitag, 09.12.2022 BAnz AT 09.12.2022 B1. Online verfügbar unter <https://www.bundesanzeiger.de/pub/publication/JTwUaZXE-aXb7u0J5Ccc/content/JTwUaZXEaXb7u0J5Ccc/BAnz%20AT%2009.12.2022%20B1.pdf?inline>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.



Bundesnetzagentur (2023)

Überblick über die öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur. Stand 01.12.2022. Online verfügbar unter [https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.bundesnetzagentur.de%2FSFS%2FSharedDo%2FDownloads%2FDE%2FSachgebiete%2FEnergie%2FUnternehmen\\_Institutionen%2FE\\_Mobilitaet%2FLadesaeuleninfrastruktur.xlsx%3Bjsessionid%3D6A5BC3B0D4C5EDDD4A0124036746C958%3F\\_\\_blob%3DpublicationFile%26v%3D17&wdOrigin=BROWSE\\_LINK](https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.bundesnetzagentur.de%2FSFS%2FSharedDo%2FDownloads%2FDE%2FSachgebiete%2FEnergie%2FUnternehmen_Institutionen%2FE_Mobilitaet%2FLadesaeuleninfrastruktur.xlsx%3Bjsessionid%3D6A5BC3B0D4C5EDDD4A0124036746C958%3F__blob%3DpublicationFile%26v%3D17&wdOrigin=BROWSE_LINK), zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

Bundesverband Carsharing (2022)

CarSharing-Statistik 2022 – CarSharing ist auf Wachstumskurs. Online verfügbar unter <https://carsharing.de/presse/pressemitteilungen/carsharing-statistik-2022-carsharing-ist-auf-wachstumskurs>, zuletzt abgerufen am 20.09.2023

Bündnis 90/Die Grünen Baden-Württemberg, CDU Baden-Württemberg (2021)

Jetzt für morgen. Der Erneuerungsvertrag für Baden-Württemberg. Stuttgart. Online verfügbar unter [https://www.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/dateien/PDF/210506\\_Koalitionsvertrag\\_2021-2026.pdf](https://www.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/dateien/PDF/210506_Koalitionsvertrag_2021-2026.pdf), zuletzt abgerufen am 05.01.2023.

BVR – Bundesverband der Deutschen Volksbanken und Raiffeisenbanken (2022)  
VR Branchenspecial Automobilindustrie. Berlin.

BW\_i – Baden-Württemberg international (2023)

Wir sind die One-Stop-Agency des Landes für Investoren. Online verfügbar unter <https://www.bw-i.de/>, zuletzt abgerufen am 20.03.2023.

BWL – Landesregierung von Baden-Württemberg (2022a).

Wie erreichen wir die Netto-Null beim Flächenverbrauch? Online verfügbar unter [www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilungen/pid/wie-erreichen-wir-die-netto-null-beim-flaechenverbrauch](http://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilungen/pid/wie-erreichen-wir-die-netto-null-beim-flaechenverbrauch), zuletzt abgerufen am 05.01.2023.

BWL – Landesregierung Baden-Württemberg (2022b)

Fortführung der E-Auto-Förderung ist Beitrag zu klimaschonender Mobilität. Online verfügbar unter <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/fortfuehrung-der-e-auto-foerderung-ist-beitrag-zu-klimaschonender-mobilitaet-1>, zuletzt abgerufen am 20.03.2023.

BYD Company Limited (2020)

2020 Annual Report. In Bold Pursuit of New Heights. Online verfügbar unter <https://www.bydglobal.com/sites/resources/common/tools/generic/web/viewer.html?file=%2Fsites%2FSatellite%2FBYD%20PDF%20Viewer%3Fblobcol%3Durldata%26blobheader%3Dapplication%252Fpdf%26blobkey%3Ddid%26blobtable%3DMungoblobs%26blobwhere%3D1600575181909%26ssbinary%3Dtrue>, zuletzt abgerufen am 02.08.2022.

CAAM – China Association of Automobile Manufacturers (2023)

Sales of Automobiles in 2022. Online verfügbar unter <http://en.caam.org.cn/Index/show/catid/58/id/1867.html>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

CAM – Center of Automotive Management (2021)

Electromobility Report 2021: Update Europa. Online verfügbar unter <https://auto-institut.de/automotive-innovations/emobility/elektromobilitaet-in-europa/>, zuletzt abgerufen am 12.03.2023.

Capital (2022)

Neue Lieferkettengesetze: Das kommt auf Unternehmen 2023 zu. Online verfügbar unter <https://www.capital.de/wirtschaft-politik/neue-lieferkettengesetze-diese-regeln-gelten-fuer-unternehmen-ab-2023-33025798.html>, zuletzt abgerufen am 30.03.2023.

Carbon Connect AG (2020)

Der CO<sub>2</sub> Fussabdruck eines neuen Autos. Online verfügbar unter <https://www.carbon-connect.ch/media/filemanager/co2-emissionen-autoproduktion.pdf>, zuletzt abgerufen am 24.02.2023.

Carbontrust (2021)

Was sind Scope-3-Emissionen? Online verfügbar unter <https://www.carbontrust.com/de/ressourcen/briefing-was-sind-scope-3-emissionen>, zuletzt abgerufen am 29.11.2021.

## Catena-X-Automotive-Network (2021a)

Allianz für sicheren und unternehmensübergreifenden Datenaustausch in der Fahrzeugindustrie nimmt Fahrt auf, Presse-Information vom 02.03.2021. Online verfügbar unter [https://www.istos.com/sites/default/files/downloads/FINAL\\_Pressemeldung\\_Catena-X-Automotive-Netzwerk\\_02.03.2021\\_1\\_0.pdf](https://www.istos.com/sites/default/files/downloads/FINAL_Pressemeldung_Catena-X-Automotive-Netzwerk_02.03.2021_1_0.pdf), zuletzt abgerufen am 12.12.2022.

## Catena-X-Automotive-Network (2021b)

15. Mai 2021 – Catena-X Automotive Network e.V. gegründet. Online verfügbar unter <https://catena-x.net/de/aktuelles-terminenews-display/15-mai-2021-catena-x-automotive-network-ev-gegruendet>, zuletzt abgerufen am 14.12.2022.

## CEIC (2023)

China Number of Registered Vehicles. Online verfügbar unter <https://www.ceicdata.com/en/indicator/china/number-of-registered-vehicles>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

## CHEmanager (2022)

Elektromobilität in China. Online verfügbar unter <https://www.chemanager-online.com/news/elektromobilitaet-china>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

## China.org (2023)

China's EV charging points see rapid expansion in 2022. Online verfügbar unter [http://www.china.org.cn/business/2023-01/19/content\\_85067634.htm](http://www.china.org.cn/business/2023-01/19/content_85067634.htm), zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

## Citigroup (2019)

Car of the Future v4.0: The Race for the Future Networked Mobility. Online verfügbar unter <https://ir.citi.com/Ny7KTsPD25cgODXq%2FQeY4TwVdeJfUUE0hJzbfmVwNXij0Dz4cgllOn%2F36QH13cl%2F>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

## CLEPA – European Association of Automotive Suppliers und strategy&amp; (2021)

Electric Vehicle Transition Impact. Assessment 2020–2040. Summary Brochure. Online verfügbar unter <https://clepa.eu/wp-content/uploads/2021/12/Transition-Impact-Study-Summary-brochure-study-EV-Impact-Assessment.pdf>, zuletzt abgerufen am 02.03.2023.

## Cluster Elektromobilität Süd-West (Hrsg.) (2020a)

Analyse der Aktivitäten und Entwicklungsfortschritte im Bereich der Fahrzeugelektronik mit Fokus auf fahrzeugeigene Betriebssysteme. Online verfügbar unter [https://www.emobil-sw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/21377\\_Cluster\\_ESW\\_Themenpapier\\_Betriebssysteme.pdf](https://www.emobil-sw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/21377_Cluster_ESW_Themenpapier_Betriebssysteme.pdf), zuletzt abgerufen am 24.02.2023.

## Cluster Elektromobilität Süd-West (Hrsg.) (2020b)

Digitalisierung und autonomes Fahren: Treiber eines neuen Mobilitätssystems. Stuttgart. Online verfügbar unter [https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/Cluster\\_ESW\\_Themenpapier\\_Auswirkungen\\_von\\_Digitalisierung.pdf](https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/Cluster_ESW_Themenpapier_Auswirkungen_von_Digitalisierung.pdf), zuletzt abgerufen am 10.03.2023.

## Cluster Elektromobilität Süd-West (Hrsg.) (2022a)

Die Produktionskette „Batteriesystem“ und kritische Ressourcen. Online verfügbar unter [https://www.transformationswissen-bw.de/fileadmin/media/Publikationen/e-mobil-Studien/Themenpapier\\_Cluster\\_ESW\\_Produktionskette\\_Batteriesystem\\_und\\_kritische\\_Ressourcen.pdf](https://www.transformationswissen-bw.de/fileadmin/media/Publikationen/e-mobil-Studien/Themenpapier_Cluster_ESW_Produktionskette_Batteriesystem_und_kritische_Ressourcen.pdf), zuletzt abgerufen am 22.05.2023.

## Cluster Elektromobilität Süd-West (Hrsg.) (2022b)

Automotive Cybersecurity. Online verfügbar unter [https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/Cluster\\_ESW\\_Themenpapier\\_Automotive\\_Cybersecurity.pdf](https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/Cluster_ESW_Themenpapier_Automotive_Cybersecurity.pdf), zuletzt abgerufen am 24.02.2023.

## Cluster Elektromobilität Süd-West (Hrsg.) (2023)

Wertstoffkreislauf von Traktionsbatterien aus Europa. Online verfügbar unter [https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/Cluster\\_ESW\\_Themenpapier\\_Kreislaufwirtschaft.pdf](https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/Cluster_ESW_Themenpapier_Kreislaufwirtschaft.pdf), zuletzt abgerufen am 19.06.2023.

## CNBC (2023)

Automakers are cautiously optimistic for a 2023 rebound after worst new vehicle sales in more than a decade. Online verfügbar unter <https://www.cnbc.com/2023/01/06/2022-us-auto-sales-are-worst-in-more-than-a-decade-.html>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

CNG Club (2023)

CNG-Tankstellen in Deutschland und Europa.

Online verfügbar unter [https://www.cng-club.de/cng\\_tankstellen\\_deutschland\\_europa](https://www.cng-club.de/cng_tankstellen_deutschland_europa), zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

Daimler Truck AG (2021)

Daimler Truck AG und TotalEnergies entwickeln gemeinsam Wasserstoff-Infrastruktur für den Straßengüterverkehr in Europa. Online verfügbar unter <https://media.be.daimler-truck.com/de/daimler-truck-ag-und-totalenergies-entwickeln-gemeinsam-wasserstoff-infrastruktur-fuer-den-strassengueterverkehr-in-europa/>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

Daimler Truck AG (2022)

Geschäftsbericht 2021. Online verfügbar unter [https://www.daimlertruck.com/fileadmin/user\\_upload/dokumente/investoren/berichte/geschaeftsberichte/daimler-truck-ir-geschaeftsbericht-2021-inkl-zusammengefasster-lagebericht-dth-ag.pdf](https://www.daimlertruck.com/fileadmin/user_upload/dokumente/investoren/berichte/geschaeftsberichte/daimler-truck-ir-geschaeftsbericht-2021-inkl-zusammengefasster-lagebericht-dth-ag.pdf), zuletzt abgerufen am 22.02.2023.

Daimler Truck AG (2023)

Geschäftsführung von Daimler Buses und Gesamtbetriebsrat vereinbaren Zukunftsbild zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit und der deutschen Standorte. Presseinformation vom 01.03.2023. Online verfügbar unter <https://media.daimlertruck.com/marsMediaSite/de/instance/ko/Geschaeftsfuehrung-von-Daimler-Buses-und-Gesamtbetriebsrat-vereinbaren-Zukunftsbild-zur-Sicherung-der-Wettbewerbsfaehigkeit-und-der-deutschen-Standorte.xhtml?oid=52169608> zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

Das Batteriegesetz (2020)

Neue EU-Batterieverordnung für 2022 vorgestellt (1. Update). Online verfügbar unter <https://www.batteriegesetz.de/neue-eu-batterie-verordnung-fuer-2022-vorgestellt/>, zuletzt abgerufen am 20.03.2023.

Dekra (2022)

Cellcentric-Ansiedlung wird zur Chefsache. Online verfügbar unter <https://www.dekra.net/de/cellcentric-ansiedlung-wird-zur-chefsache/>, zuletzt abgerufen am 04.01.2023.

Deloitte (2019)

Urbane Mobilität und autonomes Fahren im Jahr 2035.

Online verfügbar unter [https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/Innovation/Datenland%20Deutschland%20-%20Autonomes%20Fahren\\_Safe.pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/Innovation/Datenland%20Deutschland%20-%20Autonomes%20Fahren_Safe.pdf), zuletzt abgerufen am 30.03.2023.

Deloitte (2022a)

Future of Automotive Sales and Aftersales. Online verfügbar unter <https://www.deloitte.com/content/dam/assets-shared/legacy/docs/gx-deloitte-future-of-automotive-sales-aftersales.pdf>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

Deloitte (2022b)

Automotive Engineering. Leading the way into the new age of software. Online verfügbar unter <https://www2.deloitte.com/de/de/pages/consumer-industrial-products/articles/automotive-engineering.html>, zuletzt abgerufen am 26.01.2023.

Deloitte (2023)

The Future of Automotive Mobility to 2035 – What might mobility providers' role be in tomorrow's value chain?

Online verfügbar unter <https://www.deloitte.com/global/en/Industries/automotive/analysis/future-of-automotive-mobility-study.html>, zuletzt abgerufen am 12.03.2023.

Dengler, K. und Matthes, B. (2015a)

Folgen der Digitalisierung für die Arbeitswelt. In kaum einem Beruf ist der Mensch vollständig ersetzbar. Nürnberg. (IAB-Kurzbericht 24/2015.)

Dengler, K. und Matthes, B. (2015b)

Folgen der Digitalisierung für die Arbeitswelt. Substituierbarkeitspotenziale von Berufen in Deutschland. Nürnberg. (IAB-Forschungsbericht 11/2015.)

Deutsche Bank Research (2015)

Automobilindustrie dominiert ausländische Direktinvestitionen. Online verfügbar unter [https://www.dbresearch.de/PROD/RPS\\_DE-PROD/PROD000000000443912/Automobilindustrie\\_dominiert\\_ausl%C3%A4ndische\\_Direktinvestitionen.PDF?undefined&reaload=GMUg2AJB~2E/8O5kJU-xAbWzRWItuiXendBqMfqB1kwE94qzD5U2wzh/CS0ukUg2](https://www.dbresearch.de/PROD/RPS_DE-PROD/PROD000000000443912/Automobilindustrie_dominiert_ausl%C3%A4ndische_Direktinvestitionen.PDF?undefined&reaload=GMUg2AJB~2E/8O5kJU-xAbWzRWItuiXendBqMfqB1kwE94qzD5U2wzh/CS0ukUg2), zuletzt abgerufen am 15.01.2023.

Deutsche Bank Research (2021)

Detroit lässt grüßen. Zukunft des Automobilstandorts Deutschland. Online verfügbar unter [https://www.dbresearch.de/PROD/RPS\\_DE-PROD/PROD0000000000515751/Zukunft\\_des\\_Automobilstandorts\\_Deutschland%3A\\_Detroit\\_PDF?undefined&reaload=G/MNgfld7n1Y8npcbAXRD-uZN4ZC4W/h2QtAuK8vMQJSYvrGIVUvpvIYQnh3l9x0aW](https://www.dbresearch.de/PROD/RPS_DE-PROD/PROD0000000000515751/Zukunft_des_Automobilstandorts_Deutschland%3A_Detroit_PDF?undefined&reaload=G/MNgfld7n1Y8npcbAXRD-uZN4ZC4W/h2QtAuK8vMQJSYvrGIVUvpvIYQnh3l9x0aW), zuletzt abgerufen am 18.07.2023.

Deutz AG (2023)

Über uns > Standorte. Online verfügbar unter <https://www.deutz.com/ueber-uns/standorte>, zuletzt abgerufen am 20.03.2023.

DFT UK – Department for Transport United Kingdom (2021)  
Government funding targeted at more affordable zero-emission vehicles as market charges ahead in shift towards an electric future. Online verfügbar unter <https://www.gov.uk/government/news/government-funding-targeted-at-more-affordable-zero-emission-vehicles-as-market-charges-ahead-in-shift-towards-an-electric-future>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

Die Bundesregierung (2021)

Koalitionsvertrag: Mehr Fortschritt wagen – Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/974430/1990812/1f422c60505b6a88f8f3b3b5b8720bd4/2021-12-10-koav2021-data.pdf?download=1>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

Die Bundesregierung (2022a)

Ausbau erneuerbarer Energien massiv beschleunigen. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/novelle-eeg-gesetz-2023-2023972>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

Die Bundesregierung (2022b)

Fünftes Gesetz zur Änderung des Bundesfernstraßenmautgesetzes. Bundesfinanzministerium: Reform der Kfz-Steuer – Klare Anreize für eine klimafreundlichere Mobilität. Online verfügbar unter <https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Pressemitteilungen/Finanzpolitik/2020/06/2020-06-12-Kfz-Steuer-Reform.html>, zuletzt abgerufen am 25.01.2023

Die Bundesregierung (2022c)

Zielbild Ladeinfrastruktur 2030. Online verfügbar unter <https://nationale-leitstelle.de/wp-content/uploads/2022/10/Masterplan-Ladeinfrastruktur-II.pdf>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

Dietrich, F.; Ge, Y.; Palm, D. (2020)

Einsatz von Blockchain-Technologien im Supply-Chain-Management. In: Zeitschrift für wirtschaftliche Fabrikgestaltung 9/2020, S. 567–569.

Diez, W.; Reindl, S. (2016)

Struktur und Bedeutung des Automobilmarktes in Deutschland. Beitrag in Brachar, H.; Diez, W.; Reindl, S. (Hrsg.) (2016) Grundlagen der Automobilwirtschaft. München.

DIFU – Deutsches Institut für Urbanistik (2021)

Innovationsfähigkeit der Wirtschaftsförderung. Akteure – Instrumente – Handlungsansätze. Berlin.

Dispan, J.; Koch, A.; König, T. und Seibold, B. (2021)

Strukturbericht Region Stuttgart 2021. Entwicklung von Wirtschaft und Beschäftigung im Zeichen von Transformation und Corona-Pandemie. Stuttgart.

Dispan, J. (2017)

Branchenanalyse Kraftfahrzeug-Gewerbe. Strukturwandel und Beschäftigungstrends in Autohäusern und Kfz-Werkstätten. Düsseldorf.

Dispan, J. (2021)

Branchenanalyse Kraftfahrzeuggewerbe. Düsseldorf. (Working Paper der Hans Böckler Stiftung: 223.)

DLF – Digital Leaders Fund (2022)

Weit, weiter, am weitesten – Chinas Elektroautos nehmen an Fahrt auf. Online verfügbar unter <https://thedlf.de/elektroautomarkt-chinas-elektroautos-nehmen-an-fahrt-auf/>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

DLR – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (2022)

BEniVer – Begleitforschung Energiewende im Verkehr. Online verfügbar unter <https://verkehrsforschung.dlr.de/de/projekte/beniver-begleitforschung-energiewende-im-verkehr>, zuletzt abgerufen am 08.03.2022.

DLR TechScout (2022)

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. – Technology and Innovation Scout.

DLR, ifeu, Ludwig-Bölkow-Systemtechnik und Deutsches Biomasseforschungszentrum (2015)

Erneuerbare Energien im Verkehr. Potenziale und Entwicklungsperspektiven verschiedener erneuerbarer Energieträger und Energieverbrauch der Verkehrsträger. Berlin, Heidelberg, München/Ottobrunn, Leipzig.

DOE – Department of Energy (2022)

Fuel Cell Technologies Overview. Online verfügbar unter [https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/review22/plenary7\\_papageorgopoulos\\_2022\\_o.pdf](https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/review22/plenary7_papageorgopoulos_2022_o.pdf), zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

Dörre, K.; Blöcker, A. und Holzschuh, M. (2020)

Über die Auto- und Zulieferindustrie hinaus – Große Transformation und gesellschaftlicher Wandel. In: Blöcker et al., 2020, S. 139–142.

Drechsel, M. (2019)

„Konsequent Audi“: Vorstand stellt Aktionären Neuausrichtung vor. Online verfügbar unter <https://www.audi-mediacyber.com/de/pressemitteilungen/konsequent-audi-vorstand-stellt-aktionaren-neuausrichtung-vor-11684/download>, zuletzt abgerufen am 03.07.2022.

Dröge, S. (2022)

Der Europäische Green Deal. Ziele, Hintergründe und globale Dimension. In: Aus Politik und Zeitgeschichte, 3-4/2022, S. 24-30.

ECF (2017)

European Climate Foundation, Low-carbon cars in Germany: Technical Report. Cambridge, UK.

Ecomento UG (2020)

Porsche investiert bis 2024 rund 10 Milliarden Euro in Elektrifizierung und Digitalisierung. Online verfügbar unter <https://ecomento.de/2020/03/20/porsche-10-milliarden-fuer-elektrifizierung-digitalisierung-bis-2024>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

Ecomento UG (2021a)

BMW bringt Ende 2022 Wasserstoff-SUV in Kleinserie auf den Markt. Online verfügbar unter <https://ecomento.de/2021/05/07/bmw-bringt-ende-2022-wasserstoff-suv-in-kleinserie-auf-den-markt/>, zuletzt abgerufen am 12.07.2022.

Ecomento UG (2021b)

Toyota investiert bis 2030 rund 11,5 Milliarden Euro in Batterien. Online verfügbar unter <https://ecomento.de/2021/09/08/toyota-investiert-bis-2030-rund-115-milliarden-euro-in-batterien/>, zuletzt abgerufen am 29.09.2022.

Ecomento UG (2022a)

Renault, Nissan und Mitsubishi investieren 23 Milliarden in Elektro- und vernetzte Mobilität. Online verfügbar unter <https://ecomento.de/2022/01/27/renault-nissan-und-mitsubishi-investieren-23-milliarden-euro-in-elektro-und-vernetzte-mobilitaet/>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

Ecomento UG (2022b)

„Ampere“ & „Horse“: Renault will sich in Elektro- und Verbrenner-Einheit aufteilen. Online verfügbar unter <https://ecomento.de/2022/10/18/ampere-horse-renault-will-sich-in-elektro-und-verbrenner-einheit-aufteilen/>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

Ecomento UG (2022c)

NIO: Erste deutsche Batteriewechselstationen für München und Berlin geplant. Online verfügbar unter <https://ecomento.de/2022/04/06/nio-erste-deutsche-batteriewechselstationen-fuer-muenchen-und-berlin-geplant/>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

Ehrhardt, C. (2021)

Corona und die Folgen: die Branche „Handel, Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen“ in Baden-Württemberg. In: Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg, 10/2021, S. 23–28.

Einwiller, R. (2022a)

Forschung und Entwicklung in Baden-Württemberg – Der Wirtschaftssektor. In: Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg 6+7/2022, S. 37–48.

Einwiller, R. (2022b)

Forschung und Entwicklung – Teil 5. Baden-Württemberg im internationalen Vergleich. In: Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg, 8/2022, S. 3–11. Online verfügbar unter [https://www.statistik-bw.de/Service/Veroeff/Monatshefte/PDF/Beitrag22\\_08\\_01.pdf](https://www.statistik-bw.de/Service/Veroeff/Monatshefte/PDF/Beitrag22_08_01.pdf), zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

e-mobil BW (Hrsg.) (2012)

Akademische Qualifizierung. Analyse der Bildungslandschaft im Zeichen von Nachhaltiger Mobilität. Stuttgart. Online verfügbar unter [https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/Qualifizierungsstudie\\_2012.pdf](https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/Qualifizierungsstudie_2012.pdf), zuletzt abgerufen am 20.03.2023.

e-mobil BW (Hrsg.) (2014)

Entwicklung der Beschäftigung im After Sales. Effekte aus der Elektromobilität. Stuttgart.

e-mobil BW (Hrsg.) (2015)

Automatisiert. Vernetzt. Elektrisch. Potenziale innovativer Mobilitätslösungen für Baden-Württemberg. Stuttgart.

e-mobil BW (Hrsg.) (2018)

Mobilitätswandel vor Ort. Elektrifizierung und Digitalisierung der Mobilität in Städten und Gemeinden in Baden-Württemberg. Stuttgart.

e-mobil BW (Hrsg.) (2019a)

Strukturstudie BW<sup>e</sup> mobil 2019. Transformation durch Elektromobilität und Perspektiven der Digitalisierung. Online verfügbar unter [https://www.transformationswissen-bw.de/fileadmin/media/Publikationen/e-mobil\\_Studien/Strukturstudie2019\\_2-Auflage\\_Web.pdf](https://www.transformationswissen-bw.de/fileadmin/media/Publikationen/e-mobil_Studien/Strukturstudie2019_2-Auflage_Web.pdf), zuletzt abgerufen am 18.01.2023.

e-mobil BW (Hrsg.) (2019b)

Rohstoffe für innovative Fahrzeugtechnologien. Herausforderungen und Lösungsansätze. Stuttgart. Online verfügbar unter [https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/Material-Studie\\_e-mobilBW.pdf](https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/Material-Studie_e-mobilBW.pdf), zuletzt abgerufen am 12.01.2022

e-mobil BW (Hrsg.) (2020)

13 Millionen Euro für Batterierecycling. Online verfügbar unter <https://www.e-mobilbw.de/service/meldungen-detail/13-millionen-euro-fuer-batterierecycling>, zuletzt abgerufen am 20.03.2023.

e-mobil BW (Hrsg.) (2020b)

Strategie zur automatisierten und vernetzten Mobilität. Online verfügbar unter [https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Broschueren/SDA\\_Strategie\\_zur\\_automatisierten\\_und\\_vernetzten\\_Mobilitaet.pdf](https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Broschueren/SDA_Strategie_zur_automatisierten_und_vernetzten_Mobilitaet.pdf), zuletzt abgerufen am 28.04.2023.

e-mobil BW (Hrsg.) (2021a)

Wertschöpfungspotenziale von E-Motoren für den Automobilbereich in Baden-Württemberg. In: Themenpapier Cluster Elektromobilität Süd-West. Online verfügbar unter [https://www.transformationswissen-bw.de/fileadmin/media/Publikationen/e-mobil\\_Studien/Themenpapier\\_Wertschoepfungspotenziale\\_von\\_E-Motoren\\_fuer\\_den\\_Automobilbereich\\_in\\_Baden-Wuerttemberg.pdf](https://www.transformationswissen-bw.de/fileadmin/media/Publikationen/e-mobil_Studien/Themenpapier_Wertschoepfungspotenziale_von_E-Motoren_fuer_den_Automobilbereich_in_Baden-Wuerttemberg.pdf), zuletzt abgerufen am 18.01.2023.

e-mobil BW (Hrsg.) (2021b)

Wirtschaftsfaktor Ladeinfrastruktur. Potenziale für Wertschöpfung in Baden-Württemberg. Stuttgart.

e-mobil BW (Hrsg.) (2022a)

Zukunftsfähige Lieferketten und neue Wertschöpfungsstrukturen in der Automobilindustrie. Online verfügbar unter [https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/Studie\\_Zukunftsfaeilige\\_Lieferketten\\_und\\_neue\\_Wertschoepfungsstrukturen\\_in\\_der\\_Automobilindustrie.pdf](https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/Studie_Zukunftsfaeilige_Lieferketten_und_neue_Wertschoepfungsstrukturen_in_der_Automobilindustrie.pdf), zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

e-mobil BW (Hrsg.) (2022b)

Monitoring von FuE-Aktivitäten im Technologiefeld „Batterietechnologien für die Fahrzeuganwendung“. In: Wissen Kompakt. Online verfügbar unter [https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/Wissen\\_Kompakt\\_Monitoring\\_von\\_FuE-Aktivitaeten\\_im\\_Technologiefeld\\_Batterie.pdf](https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/Wissen_Kompakt_Monitoring_von_FuE-Aktivitaeten_im_Technologiefeld_Batterie.pdf), zuletzt abgerufen am 04.01.2023.

e-mobil BW (Hrsg.) (2022c)

Potenziale in der mobilen H<sub>2</sub>-Speichertechnologie.

In: Wissen Kompakt. Online verfügbar unter [https://www.transformationswissen-bw.de/fileadmin/media/Publikationen/e-mobil\\_Studien/Wissen\\_Kompakt\\_Potenziale\\_in\\_der\\_mobilen\\_H2-Speichertechnologie.pdf](https://www.transformationswissen-bw.de/fileadmin/media/Publikationen/e-mobil_Studien/Wissen_Kompakt_Potenziale_in_der_mobilen_H2-Speichertechnologie.pdf), zuletzt abgerufen am 18.01.2023.

e-mobil BW (Hrsg.) (2022d)

Technologiekalender Strukturwandel Automobil Baden-Württemberg: Web App. Online verfügbar unter <https://www.transformationswissen-bw.de/technologiekalender-app#/autonome-funktionen>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

e-mobil BW (Hrsg.) (2022e)

Begleit- und Wirkungsforschung zum automatisierten und vernetzten Fahren auf dem TAF BW mit Schwerpunkt auf verkehrlichen Wirkungen. Stuttgart. Online verfügbar unter [https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Broschueren/Abschlusspublikation\\_bwirkt.pdf](https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Broschueren/Abschlusspublikation_bwirkt.pdf), zuletzt abgerufen am 23.05.2023.

e-mobil BW (Hrsg.) (2023a)

Digitalisierung in der Mobilitätswirtschaft: Erfolgsfaktoren der Daten- und Plattformökonomie. Online verfügbar unter [https://www.emobil-sw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/e-mobilBW\\_Studie\\_Digitalisierung\\_in\\_der\\_Mobilitaetswirtschaft\\_Daten-\\_und\\_Plattformoekonomie.pdf](https://www.emobil-sw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/e-mobilBW_Studie_Digitalisierung_in_der_Mobilitaetswirtschaft_Daten-_und_Plattformoekonomie.pdf), zuletzt abgerufen am 22.05.2023.

e-mobil BW (Hrsg.) (2023b)

e-mobil BW Datencenter. Online verfügbar unter <https://www.e-mobilbw.de/service/datencenter>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

e-mobil BW (Hrsg.) (2023c)

mobilibees BW. Online verfügbar unter <https://www.e-mobilbw.de/netzwerke/mobilbees-bw>, zuletzt abgerufen am 20.03.2023.

e-mobil BW (Hrsg.) (2023d)

Land bekennt sich zum Ausbau der Ladeinfrastruktur. Pressemitteilung vom 22.03.2023. Online verfügbar unter <https://www.e-mobilbw.de/service/meldungen-detail/land-bekannt-sich-zum-ausbau-der-ladeinfrastruktur>, zuletzt abgerufen am 24.03.2023.

e-mobil BW (Hrsg.) (2023e)

Beschäftigungseffekte im Kfz-Gewerbe 2030/2040. Stuttgart.

e-mobil BW (Hrsg.) (2023f)

Scale-up E-Drive: BMWK-geförderter Transformations-Hub zum elektrischen Antriebsstrang startet in die Umsetzung. Pressemitteilung vom 30.03.2023. Online verfügbar unter <https://www.e-mobilbw.de/service/presse/presse-meldungen/presse-meldungen-detail/scale-up-e-drive>, zuletzt abgerufen am 05.06.2023.

e-mobil BW (Hrsg.) (2023g)

Netzwerk Intelligent Move: erste Veranstaltung. Online verfügbar unter <https://www.e-mobilbw.de/service/termin-detail/netzwerk-intelligent-move-erste-veranstaltung>, zuletzt abgerufen am 21.09.2023.

Enpal (2023)

Wallbox-Förderung in Baden-Württemberg 2023: Die Übersicht. Online verfügbar unter <https://www.enpal.de/magazin/wallbox-foerderung-baden-wuerttemberg>, zuletzt abgerufen am 20.03.2023.

EQS Group (2023)

EU-Lieferkettengesetz verpflichtet Unternehmen zu fairer und nachhaltiger Wirtschaft. Online verfügbar unter <https://www.eqs.com/de/compliance-wissen/blog/eu-lieferkettengesetz/>, zuletzt abgerufen am 21.07.2023.

EuRIC AISBL (2020)

Fakten Metallrecycling. Online verfügbar unter [https://www.bvse.de/dateien2020/2-PDF/06-Publikationen/04-Broschueren/0608-EuRIC\\_Metal\\_Recycling\\_Factsheet\\_GER\\_002.pdf](https://www.bvse.de/dateien2020/2-PDF/06-Publikationen/04-Broschueren/0608-EuRIC_Metal_Recycling_Factsheet_GER_002.pdf), zuletzt abgerufen am 20.03.2023.

Europäische Kommission (2019a)

Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von neuen Personenkraftwagen und von neuen leichten Nutzfahrzeugen. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/LSU/?uri=CELEX:32019R0631>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.



Europäische Kommission (2019b)

Verordnung (EU) 2019/1242 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2019 zur Festlegung von CO<sub>2</sub>-Emissionsnormen für neue schwere Nutzfahrzeuge und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 595/2009 und (EU) 2018/956 des Europäischen Parlaments und des Rates sowie der Richtlinie 96/53/EG des Rates (Text von Bedeutung für den EWR). Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32019R1242&qid=1674488550299>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

Europäische Kommission (2021)

Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/631 im Hinblick auf eine Verschärfung der CO<sub>2</sub>-Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen und für neue leichte Nutzfahrzeuge im Einklang mit den ehrgeizigeren Klimazielen der Union. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/de/TXT/?uri=CELEX%3A52021PC0556>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

Europäische Kommission (2022)

Fragen und Antworten – Lastenteilungsverordnung und Verordnung über Landnutzung, Forstwirtschaft und Landwirtschaft. Online verfügbar unter [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/qanda\\_21\\_3543](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/qanda_21_3543), zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

Europäische Kommission (2023a)

Temporary Crisis Transition Framework. Online verfügbar unter [https://competition-policy.ec.europa.eu/document/download/1b687754-5eab-4447-bcbb-da0eb9ae61b9\\_en?filename=State\\_aid\\_TCTF\\_decisions.pdf](https://competition-policy.ec.europa.eu/document/download/1b687754-5eab-4447-bcbb-da0eb9ae61b9_en?filename=State_aid_TCTF_decisions.pdf), zuletzt abgerufen am 25.05.2023.

Europäische Kommission (2023b)

European Alternative Fuels Observatory. Online verfügbar unter <https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/interactive-map>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

Europäisches Parlament (2022a)

Climate change: Deal on a more ambitious Emissions Trading System (ETS). Online verfügbar unter <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20221212IPR64527/climate-change-deal-on-a-more-ambitious-emissions-trading-system-ets>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

Europäisches Parlament (2022b)

Neue EU-Regeln für Batterien: Für mehr Ehrgeiz im Umwelt- und Sozialbereich. Pressemitteilung vom 10.03.2022. Online verfügbar unter <https://www.europarl.europa.eu/news/de/press-room/20220304IPR24805/neue-eu-regeln-fur-batterien-fur-mehr-ehrgeiz-im-umwelt-und-sozialbereich>, zuletzt abgerufen am 20.03.2023.

Eurostat (2023)

Annual detailed enterprise statistics for industry (NACE Rev. 2, B-E). Online verfügbar unter [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sbs\\_na\\_ind\\_r2/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sbs_na_ind_r2/default/table?lang=en), zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

EY Ernst & Young GmbH (2021)

Warum Globalisierung ein neuer Megatrend geworden ist. Online verfügbar unter [www.ey.com/de\\_de/industrial-products/globalisierung-als-strategie](http://www.ey.com/de_de/industrial-products/globalisierung-als-strategie), zuletzt abgerufen am 06.08.2021.

Fhg IAO – Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und

Organisation, DLR-FK – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Fahrzeugkonzepte; IMU – IMU Institut (Hrsg.) (2012)

Elektromobilität und Beschäftigung. Wirkungen der Elektrifizierung des Antriebsstrangs auf Beschäftigung und Standortumgebung (ELAB). Stuttgart.

Fhg IPA – Fraunhofer Gesellschaft Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (2019)

1. Stuttgarter Tagung zur Zukunft der Automobilproduktion. Book of Abstracts. Stuttgart. Online verfügbar unter <https://publica-rest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/c9fb117d-fdab-43ec-bc3e-6ded15a2c621/content>, zuletzt abgerufen 13.12.2022.

Fhg ISI – Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (2020)

Batterien für Elektroautos: Faktencheck und Handlungsbedarf. Online verfügbar unter <https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cct/2020/Faktencheck-Batterien-fuer-E-Autos.pdf>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

Flecker, J. und Holtgrewe, U. (2008)

Überbetriebliche Arbeitsteilung: Auslagerung von Unternehmensfunktionen und die Folgen für Arbeit und Beschäftigung. In: Wirtschaft und Gesellschaft, Heft 3/2008, S. 307–336.



Flüssiggas1 (2020)

LNG Preis: Tankstelle pro Kilo aktuell. Online verfügbar unter <https://www.fluessiggas1.de/lng-preis-hoehe-und-einsparungen/>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

Frey, C. und Osborne, M. (2013)

The Future of Employment: How Susceptible are Jobs to Computerisation? Online verfügbar unter [https://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The\\_Future\\_of\\_Employment.pdf](https://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The_Future_of_Employment.pdf), zuletzt abgerufen am 21.09.2023.

Gassmann, O.; Frankenberger, C.; Csik, M. (2014)

The Business Model Navigator. 55 Models That Will Revolutionise Your Business. Harlow.

gibgas (2020)

Blick in die Nachbarländer: Steigende Bio-Anteile befördern den Kraftstoff CNG und den Klimaschutz! Online verfügbar unter <https://www.gibgas.de/Aktuelles/Nachrichten/Blick-in-die-Nachbarlaender-Steigende-Bio-Anteile-befoerdern-den-Kraftstoff-CNG-und-den-Klimaschutz?id=781>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

Grid News (2023)

How China built the world's biggest EV charging network – and left the US far behind. Online verfügbar unter <https://www.grid.news/story/global/2023/01/31/how-china-built-the-worlds-biggest-ev-charging-network-and-left-the-us-far-behind/>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

Grimm, A.; Pfaff, M. (2022)

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

GTAI – Germany Trade and Invest (2022a)

Vereinigtes Königreich – Klimaneutralität bis 2050 angestrebt. Online verfügbar unter <https://www.gtai.de/de/trade/vereinigtes-koenigreich/specials/vereinigtes-koenigreich-klimaneutralitaet-bis-2050-angestrebt-797778>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

GTAI – Germany Trade and Invest (2022b)

Frankreich bricht ins Elektrozeitalter auf. Online verfügbar unter <https://www.gtai.de/de/trade/frankreich/branchen/frankreich-bricht-ins-elektrozeitalter-auf-630932>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

GTAI – Germany Trade and Invest (2022c)

Der Ausbau der Ladeinfrastruktur schreitet voran. Online verfügbar unter <https://www.gtai.de/de/trade/frankreich/branchen/frankreich-bricht-ins-elektrozeitalter-auf-630932>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

GTAI – Germany Trade and Invest (2023a)

Niederlande sind ein führender Markt für Elektromobilität. Online verfügbar unter <https://www.gtai.de/de/trade/niederlande/branchen/niederlande-sind-ein-foehrender-markt-fuer-elektromobilitaet-951048>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

GTAI – Germany Trade and Invest (2023b)

Verkehr: China setzt auf Elektromobilität. Online verfügbar unter <https://www.gtai.de/de/trade/china/specials/verkehr-china-setzt-auf-elektromobilitaet-829272>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

H2 Mobility (2020)

H2 tanken: Wasserstoffmobilität beginnt jetzt. Online verfügbar unter <https://h2.live>, zuletzt abgerufen am 16.01.2023.

H2 Mobility (2022)

Wasserstofftankstellen in Deutschland und Europa. Online verfügbar unter <https://h2.live>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

H2 Mobility (2023)

Netzausbau. Online verfügbar unter <https://h2.live/netzausbau/>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

Hafenrichter, J.; Hamann, S.; Thoma, O.;

Buch, T. und Dengler, K. (2016)

Digitalisierung der Arbeitswelt. Folgen für den Arbeitsmarkt in Baden-Württemberg. Nürnberg: IAB-Regional Baden-Württemberg 3/2016. Online verfügbar unter [https://doku.iab.de/regional/BW/2016/regional\\_bw\\_0316.pdf](https://doku.iab.de/regional/BW/2016/regional_bw_0316.pdf), zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

Handelsblatt (2022a)

Lithiumpreis nimmt Rekordjagd wieder auf – Das sind die Gründe. Online verfügbar unter <https://www.handelsblatt.com/finanzen/maerkte/devisen-rohstoffe/rohstoffe-lithiumpreis-nimmt-rekordjagd-wieder-auf-das-sind-die-gruende/28761052.html>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

Handelsblatt (2022b)

Abschied vom Carsharing: Warum BMW und Mercedes Share Now an Stellantis verkaufen. Online verfügbar unter <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/share-now-abschied-vom-carsharing-warum-bmw-und-mercedes-share-now-an-stellantis-verkaufen/28297794.html>, zuletzt abgerufen am 12.12.2022.

Heise (2022)

Abgasnorm Euro 7: Entwurf der EU-Kommission mit Verschärfungen und neuen Grenzen. Online verfügbar unter <https://www.heise.de/news/Vorschlag-der-EU-Kommission-zu-Euro-7-Auf-zu-neuen-Grenzen-7334231.html>, zuletzt abgerufen am 08.03.2022.

Hermann, F.; Beinhauer, W.; Borrmann, D.; Hertwig, M.; Mack, J., Potinecke, T.; Präg, C. und Rally, P. (2020) Beschäftigung 2030. Auswirkungen von Elektromobilität und Digitalisierung auf die Qualität und Quantität der Beschäftigung bei Volkswagen. Stuttgart.

IAB – Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (2021)

Hohes Substituierbarkeitspotenzial in den Bundesländern 2019. Online verfügbar unter [https://doku.iab.de/kurzgraf/2021/kb2021-13\\_A4.pdf](https://doku.iab.de/kurzgraf/2021/kb2021-13_A4.pdf), zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

ICCT – International Council on Clean Transportation (2022)

CO2 emissions from new passenger cars in Europe: Car manufacturers' performance in 2021. Online verfügbar unter <https://theicct.org/wp-content/uploads/2022/08/co2-new-passenger-cars-europe-aug22.pdf>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

Idra S. r. l. (2021)

Unternehmensvideo des Pressenherstellers Idra. Online verfügbar unter <https://www.youtube.com/watch?v=fydlvpDZrAw>, zuletzt abgerufen am 09.12.2022.

IEA – International Energy Agency (2021)

World Energy Outlook 2021. Part of World Energy Outlook Flagship Report. Online verfügbar unter <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

IEA – International Energy Agency (2022a)

Global EV Outlook 2022: Securing supplies for an electric future. Online verfügbar unter <https://read.oecd.org/10.1787/c83f815c-en?format=pdf>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

IEA – International Energy Agency (2022b)

HEV Final Report of Taskforce 41 "Electric Freight Vehicles". Online verfügbar unter [https://ieahev.org/wp-content/uploads/2022/08/TASK41\\_Final\\_Report.pdf](https://ieahev.org/wp-content/uploads/2022/08/TASK41_Final_Report.pdf), zuletzt abgerufen am 25.01.2023.

IEA – International Energy Agency (2023)

Global Data Explorer. Online verfügbar unter <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/global-ev-data-explorer>, zuletzt abgerufen am 01.05.2023.

ifo Institut für Wirtschaftsforschung (2022)

Konjunkturumfragen. Die Grafik wurde in BVR (2022) veröffentlicht und vom ifo Institut für die Nutzung in der Strukturstudie freigegeben.

IG Metall (2020)

Viele Zulieferer stehen zu Unrecht im Schatten. Online verfügbar unter <https://www.igmetall.de/service/publikationen-und-studien/metallzeitung/metallzeitung-ausgabe-dezember-2020/viele-zulieferer-stehen-zu-unrecht-im-schatten>, zuletzt abgerufen am 24.03.2023.

IG Metall Baden-Württemberg (2022)

Weiterbildungsmentor:innen in der Geschäftsstelle Ulm – packen Qualifizierung an und gestalten Zukunft. Online verfügbar unter <https://www.bw.igm.de/news/meldung.html?id=103320>, zuletzt abgerufen am 20.03.2023.

InsideEVs (2022)

Neue EU-Regeln für Batterien: Recyclingquote soll auf 90 % steigen. Online verfügbar unter <https://insideevs.de/news/572809/europaisches-parlament-batterieverordnung-recyclingquote-90prozent/>, zuletzt abgerufen am 20.03.2023.

## Intraplan und Trimode (2023)

Gleitende Langfrist-Verkehrsprognose 2021–2022.

Im Auftrag des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr. Online verfügbar unter [https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/K/prognose-berichtgleitende-langfrist-verkehrsprognose.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/K/prognose-berichtgleitende-langfrist-verkehrsprognose.pdf?__blob=publicationFile), zuletzt abgerufen am 27.03.2023.

## Intraplan Consult (2021)

Gleitende Mittelfristprognose für den Güter- und Personenverkehr. Online verfügbar unter <https://www.intraplan.de/projectpapers/gleitende-mittelfristprognose-fuer-den-gueter-und-personenverkehr-mittelfristprognose-winter-2020-21/>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

## Investing (2022)

Cobalt Futures. Online verfügbar unter <https://de.investing.com/commodities/cobalt>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

## IONITY (2022)

Unsere Mission. Online verfügbar unter <https://ionity.eu/de/ionity/who-we-are>, zuletzt abgerufen am 12.12.2022.

## IPE Institut für Politikevaluation GmbH, fka GmbH und Roland Berger GmbH (2019)

Automobile Wertschöpfung 2030/2050. Online verfügbar unter [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/automobile-wertschoepfung-2030-2050.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=16](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/automobile-wertschoepfung-2030-2050.pdf?__blob=publicationFile&v=16), zuletzt abgerufen am 14.12.2022.

## Iveco Group (2022)

Report on Combined Financial Statements at 31 December 2021. Online verfügbar unter [https://www.ivecogroup.com/-/media/investors/financial\\_information/annual\\_reports/docs/ivg\\_company\\_financial\\_statements\\_2021.xhtml](https://www.ivecogroup.com/-/media/investors/financial_information/annual_reports/docs/ivg_company_financial_statements_2021.xhtml), zuletzt abgerufen am 22.02.2023.

## IW Consult und Fraunhofer IAO (2021)

Wirtschaftliche Bedeutung regionaler Automobilnetzwerke in Deutschland. Studie für das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Köln.

Jeß, C.; Wildberg, R.; Gebhardt, M.; Schuderer, R. et al. (2021)

Verbrenner-Ausstieg: So lange gibt es noch Diesel und Benzin. Online verfügbar unter [https://www.autobild.de/artikel/verbrenner-ausstieg-diesel-und-benziner-plaene-von-audi-bmw-daimler-mazda-opel-toyota-vw-volvo-19153555.html#anchor\\_14](https://www.autobild.de/artikel/verbrenner-ausstieg-diesel-und-benziner-plaene-von-audi-bmw-daimler-mazda-opel-toyota-vw-volvo-19153555.html#anchor_14), zuletzt abgerufen am 29.09.2022.

## JLL – Jones Lang LaSalle – Research Deutschland (2022)

Ausgebremst oder beschleunigt? Wie der Strukturwandel der Automobilbranche den Gewerbeimmobilienmarkt Stuttgart beeinflusst. Online verfügbar unter <https://www.jll.de/de/trends-and-insights/research/einfluss-automobilindustrie-auf-stuttgarter-gewerbeimmobilienmarkt>, zuletzt abgerufen am 02.01.2023.

## Johannsen, F. (2021)

Elektro-Offensive: VW baut Netz eigener Batteriezellwerke in Europa auf. Online verfügbar unter <https://www.automobilwoche.de/article/20210315/Agenturmeldungen/303159965/elektro-offensive-vw-baut-netz-eigener-batteriezellwerke-in-europa-auf>, zuletzt abgerufen am 28.06.2022.

## Kauper, J. (2021)

BYD: Ehrgeizige Ziele... In: DER AKTIONÄR. Online verfügbar unter <https://www.deraktionaer.de/artikel/mobilitaet-oel-energie/byd-ehrgeizige-ziele-20226022.html>, zuletzt abgerufen am 03.08.2022.

## KBA - Kraftfahrtbundesamt (2015)

Sonderauswertung des „Verkehr in Kilometer“-Datensatzes beim Kraftfahrtbundesamt. Beauftragt vom DLR Institut für Fahrzeugkonzepte. Online verfügbar unter [https://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/VerkehrKilometer/verkehr\\_in\\_kilometern\\_node.html](https://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/VerkehrKilometer/verkehr_in_kilometern_node.html), zuletzt abgerufen am 20.09.2023.

## KBA – Kraftfahrtbundesamt (2017)

Fahrzeugzulassungen (FZ). Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen nach Umwelt-Merkmalen. Jahr 2017. Online verfügbar unter [https://www.kba.de/SharedDocs/Downloads/DE/Statistik/Fahrzeuge/FZ14/fz14\\_2017.pdf](https://www.kba.de/SharedDocs/Downloads/DE/Statistik/Fahrzeuge/FZ14/fz14_2017.pdf), zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

KBA – Kraftfahrtbundesamt (2021)

KBA erteilt erste Genehmigung zum automatisierten Fahren. Online verfügbar unter [https://www.kba.de/DE/Service/Nachrichten/2021/PM/PM\\_Nr\\_49\\_2021\\_erste\\_Genehmigung\\_automatisierten\\_Fahren.html](https://www.kba.de/DE/Service/Nachrichten/2021/PM/PM_Nr_49_2021_erste_Genehmigung_automatisierten_Fahren.html), zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

KBA – Kraftfahrtbundesamt (2022a)

Personenkraftwagen am 1. Januar 2022 nach ausgewählten Merkmalen. Online verfügbar unter [https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Jahresbilanz\\_Bestand/2022/2022\\_b\\_jahresbilanz\\_tabellen.html?fromStatistic=3532350&fromStatistic=3532350&yearFilter=2022&yearFilter=2022/](https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Jahresbilanz_Bestand/2022/2022_b_jahresbilanz_tabellen.html?fromStatistic=3532350&fromStatistic=3532350&yearFilter=2022&yearFilter=2022/), zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

KBA – Kraftfahrtbundesamt (2022b)

Fahrzeugzulassungen (FZ). Bestand an Kraftfahrzeugen nach Umwelt-Merkmalen. 1. Januar 2022. Online verfügbar unter [https://www.kba.de/SharedDocs/Downloads/DE/Statistik/Fahrzeuge/FZ13/fz13\\_2022.pdf](https://www.kba.de/SharedDocs/Downloads/DE/Statistik/Fahrzeuge/FZ13/fz13_2022.pdf), zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

KBA – Kraftfahrtbundesamt (2022c)

KBA erteilt erste Genehmigung für fahrerlos einparkendes Fahrzeug. Pressemitteilung 45/2022. Online verfügbar unter [https://www.kba.de/DE/Service/Nachrichten/2022/PM/PM\\_Nr\\_45\\_2022\\_AVP\\_erste\\_Genehmigung.html](https://www.kba.de/DE/Service/Nachrichten/2022/PM/PM_Nr_45_2022_AVP_erste_Genehmigung.html), zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

KBA – Kraftfahrtbundesamt (2023a)

E-Autos und Verbrenner: Pkw-Neuzulassungen im Februar 2023. Online verfügbar unter <https://www.adac.de/news/neuzulassungen-kba/>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

KBA – Kraftfahrtbundesamt (2023b)

Der Fahrzeugbestand im Überblick am 1. Januar 2023 gegenüber dem 1. Januar 2022. Online verfügbar unter [https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Jahresbilanz\\_Bestand/2023/2023\\_b\\_ueberblick\\_pdf.pdf;jsessionid=49FD1C1A7F2849CE0DDF567266F52545.live11292?\\_blob=publicationFile&v=9](https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Jahresbilanz_Bestand/2023/2023_b_ueberblick_pdf.pdf;jsessionid=49FD1C1A7F2849CE0DDF567266F52545.live11292?_blob=publicationFile&v=9), zuletzt abgerufen am 21.03.2023.

KBA – Kraftfahrtbundesamt (2023c)

Fahrzeugzulassungen im Dezember 2022 – Jahresbilanz. Online verfügbar unter [https://www.kba.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Fahrzeugzulassungen/2023/pm01\\_2023\\_n\\_12\\_22\\_pm\\_komplett.html?snn=3662144](https://www.kba.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Fahrzeugzulassungen/2023/pm01_2023_n_12_22_pm_komplett.html?snn=3662144), zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

KBA – Kraftfahrtbundesamt (2023d)

Neuzulassungen von Personenkraftwagen (Pkw) im Jahresverlauf 2022 nach Marken und alternativen Antrieben. Online verfügbar unter [https://www.kba.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/AlternativeAntriebe/2023/pm03\\_2023\\_Antriebe\\_12\\_22\\_komplett.html](https://www.kba.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/AlternativeAntriebe/2023/pm03_2023_Antriebe_12_22_komplett.html), zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

KBA – Kraftfahrtbundesamt (2023e)

Der Fahrzeugbestand am 1. Januar 2023. Online verfügbar unter [https://www.kba.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Fahrzeugbestand/2023/pm08\\_fz\\_bestand\\_pm\\_komplett.html](https://www.kba.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Fahrzeugbestand/2023/pm08_fz_bestand_pm_komplett.html), zuletzt abgerufen am 13.03.2023.

KfW – Kreditanstalt für Wiederaufbau (2023)

Inlandsförderung für eine nachhaltige Transformation. Online verfügbar unter [https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-und-Umwelt/F%C3%B6rderprodukte/KfW-Konsortialkredit-Nachhaltige-Transformation-\(291\)](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-und-Umwelt/F%C3%B6rderprodukte/KfW-Konsortialkredit-Nachhaltige-Transformation-(291)), zuletzt abgerufen am 24.03.2023.

kfz-betrieb (2021)

Togg. Aufbau der europäischen Import-Zentrale in Stuttgart. Online verfügbar unter <https://www.kfz-betrieb.vogel.de/aufbau-der-europaeischen-import-zentrale-in-stuttgart-a-1024001/>, zuletzt abgerufen am 04.01.2023.

kfztech.de (2022)

Die neue Hochvolt Prüfung für den Kfz-Mechatroniker. Online verfügbar unter <https://www.kfztech.de/Unterricht/hochvolt-pruefung.htm>, zuletzt abgerufen am 05.01.2023.

Kinkel, S.; Zanker, C. (2007)

Globale Produktionsstrategien in der Automobilzulieferindustrie. Berlin, Heidelberg.

KIT – Karlsruher Institut für Technologie (2023a)

Agile Produktion von Batteriezellen. Projektbeschreibung AiloBat. Online verfügbar unter <https://www.wbk.kit.edu/wbkintern/Forschung/Projekte/AgiloBat/index.php>, zuletzt abgerufen am 28.04.2023.

- KIT – Karlsruher Institut für Technologie (2023b)  
Entwicklung und Implementierung eines agilen Produktionssystems für die technologie- und stückzahlenflexible E-Motoren-Produktion. Projektbeschreibung AgiloDrive. Online verfügbar unter <https://www.wbk.kit.edu/wbkintern/Forschung/Projekte/AgiloDrive//index.php>, zuletzt abgerufen am 28.04.2023.
- Kleiner, F.; Friedrich, H.E. (2017)  
Scenario analyses for the techno-economical evaluation of the market diffusion of future commercial vehicle concepts. Stuttgart.
- Knauer, M. (2019)  
Reine E-Plattform oder Multi-Architektur: Welche Plattformstrategie ist die richtige? In: Automobilwoche. Online verfügbar unter <https://www.automobilwoche.de/article/20191022/HEFTARCHIV/191029984/reine-e-plattform-oder-multi-architektur-welche-plattformstrategie-ist-die-richtige>, zuletzt abgerufen am 21.06.2021.
- König, A.; Nicoletti, L.; Schröder, D.; Wolff, S.; Waclaw, A.; Lienkamp, M. (2021)  
An Overview of Parameter and Cost for Battery Electric Vehicles. World Electr. Veh. J. 2021, 12, 21. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.3390/wevj12010021>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.
- Krail, M.; Hellekes, J.; Schneider, U.; Dütschke, E.; Schellert, M.; Rüdiger, D.; Steindl, A.; Luchmann, I.; Waßmuth, V.; Flämig, H.; Schade, W.; Mader, S. (2019)  
Energie- und Treibhausgaswirkungen des automatisierten und vernetzten Fahrens im Straßenverkehr.
- Krause, D.; Gebhardt, N. (2018)  
Methodische Entwicklung modularer Produktfamilien. Hohe Produktvielfalt beherrschbar entwickeln. Berlin. Springer Vieweg.
- Landeshauptstadt Stuttgart (Hrsg.) (2019)  
Entwicklungskonzeption Wirtschaftsflächen für Stuttgart (EWS). Stuttgart.
- Lanza, G.; Häfner, B.; Verhaelen, B.; Peukert, S. (2019)  
Produktionsnetzwerke und Fabriktypen der Zukunft. Helfen Fabriktypen beim Aufbau neuer Standorte in Produktionsnetzwerken? In: Zeitschrift für wirtschaftliche Fabrikgestaltung (ZWF) 12/2019, S. 797–801.
- LBBW – Landesbank Baden-Württemberg (2022a)  
Nachhaltige Transformation. Unser Weg zu Net Zero. Online verfügbar unter [https://www.lbbw.de/konzern/nachhaltigkeit/2022/lbbw-nachhaltige-transformation-unser-weg-zu-net-zero\\_ae9t6b9vrxr\\_m.pdf](https://www.lbbw.de/konzern/nachhaltigkeit/2022/lbbw-nachhaltige-transformation-unser-weg-zu-net-zero_ae9t6b9vrxr_m.pdf), zuletzt abgerufen am 24.03.2023.
- LBBW (2022b)  
Geschäftsbericht 2021. Online verfügbar unter [https://www.lbbw.de/konzern/investor-relations/finanzberichte/geschaeftsberichte/2021/lbbw\\_geschaeftsbericht\\_ifrs\\_2021\\_aejp6jszqe\\_m.pdf](https://www.lbbw.de/konzern/investor-relations/finanzberichte/geschaeftsberichte/2021/lbbw_geschaeftsbericht_ifrs_2021_aejp6jszqe_m.pdf), zuletzt abgerufen am 24.03.2023.
- LBBW – Landesbank Baden-Württemberg (2023)  
Über uns. Online verfügbar unter [https://www.lbbw.de/konzern/landesbank-baden-wuerttemberg/ueber-uns/ueber-uns\\_7v4kzduc3\\_d.html](https://www.lbbw.de/konzern/landesbank-baden-wuerttemberg/ueber-uns/ueber-uns_7v4kzduc3_d.html), zuletzt abgerufen am 24.03.2023.
- L-Bank – Staatsbank für Baden-Württemberg (2023a)  
Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge (Charge@BW). Online verfügbar unter <https://www.l-bank.de/produkte/finanzhilfen/ladeinfrastruktur-fur-elektrofahrzeuge-charge-at-bw.html>, zuletzt abgerufen am 20.03.2023.
- L-Bank – Staatsbank für Baden-Württemberg (2023b)  
BW-e-Gutschein. Online verfügbar unter <https://www.l-bank.de/produkte/finanzhilfen/bw-e-gutschein.html>, zuletzt abgerufen am 20.03.2023.
- LG CNS (2023)  
FMS. Online verfügbar unter <https://www.lgcns.com/en/business/smartcity/solution/>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.
- Löschel, A.; Kaltenecker, O.; Baikowski, M. (2015)  
Die Rolle der indirekten Energiekosten im deutschen Produzierenden Gewerbe. Ohne Ort. (Wirtschaftsdienst 2015.)

- Luhmann, N. (2023)  
E-Fahrzeuge retten Jahresbilanz. In: kfz-betrieb.  
Online verfügbar unter <https://www.kfz-betrieb.vogel.de/e-fahrzeuge-retten-jahresbilanz-a-cf72c004ebee-f5e550f24bfb5d526d8cc/>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023
- Mahle (2022)  
Geschäftsbericht 2021. Online verfügbar unter <https://www.mahle.com/geschaeftsbericht/>, zuletzt abgerufen 30.03.2023.
- Mauler, L.; Duffner, F.; Zeier, W.G.; Lekerad, J. (2021)  
Battery cost forecasting: a review of methods and results with an outlook to 2050. Energy & Environmental Science, Issue 9, 2021. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1039/D1EE01530C>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.
- McKinsey & Company (2020)  
Mild hybrids—a multi-billion euro growth opportunity alongside e-mobility? Online verfügbar unter <https://www.automotiveworld.com/articles/mild-hybrids-a-multi-billion-euro-growth-opportunity-alongside-e-mobility/>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.
- Mercedes-Benz AG (2021a)  
Daimler Geschäftsbericht 2020. Online verfügbar unter <https://www.daimler.com/dokumente/investoren/berichte/geschaeftsberichte/daimler/daimler-ir-geschaeftsbericht-2020-inkl-zusammengefasster-lagebericht-daimler-ag.pdf>, zuletzt abgerufen am 10.07.2022.
- Mercedes-Benz AG (2021b)  
smart: Ganz im Zeichen der Elektromobilität. Online verfügbar unter <https://group.mercedes-benz.com/investoren/berichte-news/geschaeftsberichte/2021/>; zuletzt abgerufen am 21.09.2023.
- Mercedes-Benz AG (2022a)  
Daimler Geschäftsbericht 2021. Online verfügbar unter Ergebnisse & Geschäftsbericht 2021 | Mercedes-Benz Group > Investoren > Berichte & News > Geschäftsberichte > 2021, zuletzt abgerufen am 30.03.2023.
- Mercedes-Benz AG (2022b)  
Fahrerloses Parksysteem von Mercedes-Benz und Bosch. Mitteilung vom 30.11.2022. Online verfügbar unter <https://group.mercedes-benz.com/innovation/produktinnovation/autonomes-fahren/intelligent-park-pilot.html>, zuletzt abgerufen am 12.12.2022.
- Mercedes-Benz AG (2022c)  
Ambition 2039. Online verfügbar unter <https://group.mercedes-benz.com/nachhaltigkeit/klima/ambition-2039-unser-weg-zur-co2-neutralitaet.html>, zuletzt abgerufen am 09.12.2022.
- Mercedes-Benz AG (2023)  
Erneuerbare Energie. Online verfügbar unter <https://www.mercedes-benz.com/de/nachhaltigkeit/umwelt/land-sea-air/>, zuletzt abgerufen am 30.03.2023.
- Meyer, M. (2022)  
Techno-ökonomische Analyse elektrifizierter Antriebstechnologien im PKW-Fahrzeugmarkt. Masterarbeit. Stuttgart.
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2023)  
Fahrplan für Wasserstoffversorgung im Land fortgeschrieben. Online verfügbar unter <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/presse-service/presse/pressemitteilung/pid/fahrplan-fuer-wasserstoffversorgung-im-land-fortgeschrieben-1>, zuletzt abgerufen am 19.07.2023.
- Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg (2023)  
Transformation Automobilwirtschaft. Online verfügbar unter <https://www.fortbildung-bw.de/fuer-interessierte-2/weiterbildung-im-beruf/transformation-automobilwirtschaft/>, zuletzt abgerufen am 20.03.2023.
- MLW BW – Ministerium für Landesentwicklung und Wohnen Baden-Württemberg (2022)  
Organigramm. Online verfügbar unter <https://mlw.baden-wuerttemberg.de/de/ministerium/organisation-und-aufgaben>, zuletzt abgerufen am 13.12.2022.
- Möring-Martinez, G. (2022)  
Modelling of the development of the European passenger car market. Masterarbeit. Karlsruhe.

MU Niedersachsen – Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz (2022)

Drittes LNG-Terminal in Niedersachsen. Online verfügbar unter <https://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/aktuelles/pressemitteilungen/pi-129-lng-terminal-taskforce-214988.html>, zuletzt abgerufen am 20.03.2023.

Münzenmaier, W. (2022)

Hohe Arbeitnehmereinkommen in Regionen mit starker Automobilwirtschaft. In: Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg 1/2022, S. 43–48. Online verfügbar unter [https://www.statistik-bw.de/Service/Veroeff/Monatshefte/PDF/Beitrag22\\_01\\_05.pdf](https://www.statistik-bw.de/Service/Veroeff/Monatshefte/PDF/Beitrag22_01_05.pdf), zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

MV BW – Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg (Hrsg.) (2022)

Vernetzte Infrastrukturen für automatisiertes und vernetztes Fahren. Empfehlungspapier der AG Vernetzte Testfelder AVF BW. Online verfügbar unter [https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/Strategie-dialog\\_Automobilwirtschaft\\_BW\\_Empfehlungspapier\\_AG\\_Vernetzte\\_Testfelder\\_AVF\\_BW.pdf](https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/Strategie-dialog_Automobilwirtschaft_BW_Empfehlungspapier_AG_Vernetzte_Testfelder_AVF_BW.pdf) zuletzt abgerufen am 25.05.2023.

MVI BW – Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg (2014)

Flächen gewinnen in Baden-Württemberg. 10 Jahre Aktionsbündnis. Stuttgart.

MVI BW – Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg (Hrsg.) (2016)

Gewerbeflächenentwicklung in Baden-Württemberg. Optionen für eine sparsame Ausweisung und flächeneffiziente Nutzung von Gewerbeflächen. Stuttgart.

Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur (2022a)

Öffentliche Ladeinfrastruktur: Report der Nationalen Leitstelle Ladeinfrastruktur, November 2022. Online verfügbar unter <https://nationale-leitstelle.de/verstehen/o-lis-report-der-nationalen-leitstelle-ladeinfrastruktur/>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur (2022b)

Förderung von Infrastruktur durch die Bundesregierung. Online verfügbar unter [https://nationale-leitstelle.de/verstehen/Forderung\\_von\\_Ladeinfrastruktur\\_durch\\_die\\_Bundesregierung/](https://nationale-leitstelle.de/verstehen/Forderung_von_Ladeinfrastruktur_durch_die_Bundesregierung/), zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur (2023)

Öffentliche Ladeinfrastruktur: Report der Nationalen Leitstelle Ladeinfrastruktur, Dezember 2022. Online verfügbar unter [https://nationale-leitstelle.de/wp-content/uploads/2023/03/o%CC%88LIS\\_Report\\_2022\\_Dezember.pdf](https://nationale-leitstelle.de/wp-content/uploads/2023/03/o%CC%88LIS_Report_2022_Dezember.pdf), zuletzt abgerufen am 01.05.2023.

Netze BW GmbH (2023)

Netzlabore Elektromobilität. Online verfügbar unter <https://www.netze-bw.de/unsernetz/netzinnovationen/netzintegration-elektromobilitaet/netzlabore>, zuletzt abgerufen am 02.05.2023.

Niehaus, M.; Katzan, J. (2020)

Betriebsräte und Digitalisierung: Beispiele erfolgreicher Gestaltung und Begrenzung. In: AIS-Studien 1/2020, S. 40–53.

Nissan (2021)

Ambition 2030: Nissan forciert Elektromobilität deutlich. Online verfügbar unter <https://www.elektroauto-news.net/2021/ambition-2030-nissan-forciert-elektromobilitaet-deutlich>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

Nobi, P.; Fischhaber, S. (2015)

Belastung der Stromnetze durch Elektromobilität. München.

NPE – Nationale Plattform Elektromobilität (2016)

Wegweiser Elektromobilität. Online verfügbar unter [https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2021/12/2016\\_Wegweiser\\_Elektromobilitaet.pdf](https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2021/12/2016_Wegweiser_Elektromobilitaet.pdf), zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

NPM – Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (2019)

Fortschrittsbericht 2019. Online verfügbar unter [https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2019/12/NPM\\_Fortschrittsbericht\\_2019.pdf](https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2019/12/NPM_Fortschrittsbericht_2019.pdf), zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

NPM – Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (2020)

1. Zwischenbericht zur strategischen Personalplanung und -entwicklung im Mobilitätssektor. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2020/03/NPM-AG-4-1-Zwischenbericht-zur-strategischen-Personalplanung-und-Entwicklung-im-Mobilit%C3%A4tssektor.pdf>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.



NPM – Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (2021)

Batterierecyclingmarkt Europa. Chancen für eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft. Online verfügbar unter [https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2021/10/NPM\\_AG4\\_Batterierecycling.pdf](https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2021/10/NPM_AG4_Batterierecycling.pdf), zuletzt abgerufen am 20.03.2023.

NPM AG 5 – Nationale Plattform Zukunft der Mobilität, Arbeitsgruppe 5 (2021)

Energiewirtschaftliche Auswirkungen der Sektorkopplung – Energiebedarfe. Online verfügbar unter [https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2021/07/NPM\\_AG5\\_Energiebedarfe-der-Sektorenkopplung-1.pdf](https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2021/07/NPM_AG5_Energiebedarfe-der-Sektorenkopplung-1.pdf), zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

Packroff, J. (2022)

EU-Parlament setzt Ziele für Ladeinfrastruktur für E-Autos fest. In: Euractiv.de. Online verfügbar unter [https://www.euractiv.de/section/verkehr/news/eu-parlament-beschliesst-ziele-fuer-ladeinfrastruktur-fuer-elektrofahrzeuge/?\\_ga=2.250326146.568391009.1669010527-334260061.1661349563](https://www.euractiv.de/section/verkehr/news/eu-parlament-beschliesst-ziele-fuer-ladeinfrastruktur-fuer-elektrofahrzeuge/?_ga=2.250326146.568391009.1669010527-334260061.1661349563), zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

Plattform H2BW (2023)

Wasserstoff Beirat BW übergibt Empfehlungen. Online verfügbar unter <https://www.plattform-h2bw.de/service/aktuelle-meldungen/meldungen-detail/wasserstoff-beirat-bw-uebergibt-empfehlungen>, zuletzt abgerufen am 19.07.2023.

Plötz, P.; Moll, C.; Li, Y.; Bieker, G.; Mock, P. (2020)

Real-world Usage of Plug-in Hybrid Electric Vehicles: Fuel Consumption, Electric Driving, and CO<sub>2</sub> Emissions. Online verfügbar unter <https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/PHEV-white-paper-sept2020-0.pdf>, zuletzt abgerufen am 08.03.2022.

Porsche AG (2021)

Mut. Geschäfts- und Nachhaltigkeitsbericht der Porsche AG 2020. Online verfügbar unter <https://newsroom.porsche.com/de/unternehmen/porsche-geschaefts-und-nachhaltigkeitsbericht-2020/porsche-strategie-2030.html>, zuletzt abgerufen am 04.07.2021.

Produktion (2020)

Zulieferer Mahle will zwei Werke in Deutschland schließen. Online verfügbar unter <https://www.produktion.de/wirtschaft/zulieferer-mahle-will-zwei-werke-in-deutschland-schliessen-343.html>, zuletzt abgerufen am 21.09.2023.

Prognos (2020)

Kosten und Transformationspfade für strombasierte Energieträger. Online verfügbar unter [https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Studien/transformationpfade-fuer-strombasierte-energetraeger.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Studien/transformationpfade-fuer-strombasierte-energetraeger.pdf?__blob=publicationFile), zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

Projektteam SDA –

Strategiedialog Automobilwirtschaft (2022)  
Akademische MINT-Fachkräfte – Neue Köpfe braucht das Land. Online verfügbar unter [https://stm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mwk/intern/dateien/Anlagen\\_PM/2022/144\\_Ergebnisbericht\\_Projektteam\\_Akademische\\_MINT\\_Fachkr%C3%A4fte\\_SDA.pdf](https://stm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mwk/intern/dateien/Anlagen_PM/2022/144_Ergebnisbericht_Projektteam_Akademische_MINT_Fachkr%C3%A4fte_SDA.pdf), zuletzt abgerufen am 20.03.2023.

PV Magazine (2022)

MCKinsey Energiewendeindex: 200 Gigawatt Bedarfslücke bis 2030 droht, Ausbau von Photovoltaik vervierfachen. Online verfügbar unter <https://www.pv-magazine.de/2022/03/09/mckinsey-energiewendeindex-200-gigawatt-bedarfs-luecke-bis-2030-droht-ausbau-von-photovoltaik-vervierfachen/>, zuletzt abgerufen am 25.03.2023.

Randall, C. (2022)

New York to introduce EV sales quotas in 2026. In: electrive.com. Online verfügbar unter <https://www.electrive.com/2022/09/30/new-york-to-introduce-ev-sales-quotas-in-2026/>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

Rat der EU (2022)

Erste Maßnahme zu „Fit für 55“ beschlossen: EU verschärft CO<sub>2</sub>-Emissionsziele für neue Personenkraftwagen und leichte Nutzfahrzeuge. Online verfügbar unter <https://www.consilium.europa.eu/de/press/press-releases/2022/10/27/first-fit-for-55-proposal-agreed-the-eu-strengthens-targets-for-co2-emissions-for-new-cars-and-vans/>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

Robert Bosch GmbH (2022)

Bosch Thermotechnik erzielt 2021 einen Umsatz von vier Milliarden Euro. Pressemeldung vom 14.04.2022. Online verfügbar unter <https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/de/bosch-thermotechnik-erzielt-2021-einen-umsatz-von-vier-milliarden-euro-239232.html>, zuletzt abgerufen am 20.03.2023.



Robert Bosch GmbH (2023)

Environmental protection along the entire value chain.

Online verfügbar unter <https://www.bosch.com/sustainability/environment>, zuletzt abgerufen am 20.03.2023.

RSM (2022)

Is price gouging behind the rise in gas prices?

Online verfügbar unter <https://rsmus.com/insights/economics/is-price-gouging-behind-the-rise-in-gas-prices.html>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

S&P Global (2023a)

EV Chargers: How many do we need? Online verfügbar unter <https://press.spglobal.com/2023-01-09-EV-Chargers-How-many-do-we-need>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

S&P Global (2023b)

Global Mobility New Year's Briefing – Light Vehicle Sales Forecast.

Schaal, S. (2021a)

BMW geht von 50 Prozent BEV bis 2030 aus.

In: electrive.net. Online verfügbar unter <https://www.electrive.net/2021/05/12/bmw-geht-von-50-prozent-bev-bis-2030-aus/>, zuletzt abgerufen am 12.07.2022.

Schaal, S. (2021b)

Japan beschließt neues eMobility-Förderbudget.

In: electrive.net. Online verfügbar unter <https://www.electrive.net/2021/11/23/japan-beschliesst-neues-emobility-foerderbudget/>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

Schaal, S. (2022)

Britische Regierung stellt E-Auto-Förderung ein.

In: electrive.net. Online verfügbar unter <https://www.electrive.net/2022/06/14/britische-regierung-stellt-e-auto-foerderung-ein>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

Schaal, S. (2023)

DIW: Mehr als 1 Million Elektroautos im Bestand.

In: electrive.net. Online verfügbar unter <https://www.electrive.net/2023/01/09/diw-mehr-als-1-million-elektroautos-im-bestand/>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

Schacht, J. (2017)

Was ist autonomes Fahren? Die Einstufungen der SAE ins Deutsche übersetzt. Online verfügbar unter <https://www.i-q.de/expertenwissen/adas-was-ist-automatisiertes-fahren/>, zuletzt geprüft am 17.01.2023.

Schade, W.; Zanker, C.; Kühn, A. und Hettesheimer, T. (2014) Sieben Herausforderungen für die deutsche Automobilindustrie. Strategische Antworten im Spannungsfeld von Globalisierung, Produkt- und Dienstleistungsinnovationen bis 2030. Berlin.

Schäfer, P. (2022)

H2 Mobility investiert in Ausbau der Wasserstoff-Infrastruktur. Online verfügbar unter <https://www.springerprofessional.de/wasserstoff/unternehmen---institutionen/h2-mobility-investiert-in-ausbau-der-wasserstoff-infrastruktur/20261790>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

Schasse, Ulrich; Schiller, Daniel; Leidmann, Mark; Eckl, Verena; Grave, Barbara; Kladroba, Andreas; Stenke, Gero (2016)

Die Rolle von FuE-Dienstleistern im deutschen Innovationssystem. Hannover und Essen. (Studien zum deutschen Innovationssystem 8-2016.)

Scheier, B.; Frieske, B.; Viergutz, K. (2021)

Chancen und Potenziale von Mobility-as-a-Service nach der Corona-Pandemie. In: Wirtschaftsdienst 101 (5), S. 394–399. Online verfügbar unter <https://www.wirtschaftsdienst.eu/inhalt/jahr/2021/heft/5/beitrag/chancen-und-potenziale-von-mobility-as-a-service-nach-der-corona-pandemie.html>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

Schwarz-Kocher, M. und Stieler, S. (2019)

Die Bedeutung regionaler Wertschöpfungskuster der Automobilindustrie im Prozess fortschreitender Globalisierung und der Transformation zur Elektromobilität. In: AAIS-Studien, 12(2), S. 35–56.

Sciurti, D. (2022)

Cellcentric baut BZ-Fabrik in Weilheim. Was Daimler Truck und Volvo als Nächstes planen. Online verfügbar unter <https://www.electrive.net/2022/05/10/cellcentric-baut-bz-fabrik-in-weilheim-was-daimler-truck-und-volvo-als-naechstes-planen/>, zuletzt abgerufen am 04.01.2023

SDA – Strategiedialog Automobilindustrie Baden-Württemberg (2022)

PiLaTes: Pilotlade- und Tankinfrastruktur für Langstrecken-Lkw. Online verfügbar unter <https://sda.e-mobilbw.de/projektuebersicht/detailseite/pilates-pilotlade-und-tankinfrastruktur-fuer-langstrecken-lkw>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

SDA – Strategiedialog Automobilwirtschaft  
Baden-Württemberg (2023a)

Studie „Potenziale der Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Industrie in BW.“ Online verfügbar unter <https://sda.e-mobilbw.de/projektuebersicht/detailseite/studie-potenziale-der-wasserstoff-und-brennstoffzellen-industrie-in-bw/>, zuletzt abgerufen am 20.03.2023.

SDA – Strategiedialog Automobilwirtschaft  
Baden-Württemberg (2023b)

Zero Emission: Wasserstoffstandort Lampoldshausen. Online verfügbar unter <https://sda.e-mobilbw.de/projektuebersicht/detailseite/zero-emission-wasserstoffstandort-lampoldshausen/>, zuletzt abgerufen am 20.03.2023.

SDA – Strategiedialog Automobilwirtschaft (2023c)

AgiloBat – Agiles Produktionssystem für Li-Ionen-Batterien. Online verfügbar unter <https://sda.e-mobilbw.de/projektuebersicht/detailseite/agilobat-agiles-produktionssystem-fuer-li-ionen-batterien/>, zuletzt abgerufen am 20.03.2023.

Sofdcar – Software-defined Car (2023)

Ahead of the curve. Online verfügbar unter <https://sofdcar.de/>, zuletzt abgerufen am 25.05.2023.

Staatsministerium Baden-Württemberg (2023)

Die Energiewende beschleunigen. Online verfügbar unter <https://stm.baden-wuerttemberg.de/de/themen/task-force-erneuerbare-energien#c145334>, zuletzt abgerufen am 24.03.2023.

Statista (2023a)

Total number of motor vehicles in use in Japan from 2013 to 2022. Online verfügbar unter <https://www.statista.com/statistics/674574/japan-motor-vehicle-in-use-numbers/>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

Statista (2023b)

Anzahl der Erdgastankstellen in Deutschland von 2001 bis 2022. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/256646/umfrage/anzahl-der-erdgas-tankstellen-in-deutschland/>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

Statista (2023c)

Anzahl der Neuzulassungen von Personenkraftwagen in der Europäischen Union von 1990 bis 2022. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1197724/umfrage/pkw-neuzulassungen-in-der-eu/>, zuletzt abgerufen am 12.03.2023.

Statistisches Bundesamt (2022)

Produktionsstatistik, Tabelle 42131-0003. Online verfügbar unter <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=abrufabelleBearbeiten&levelindex=2&levelid=1674560991431&auswahloperation=abrufabelleAuspraegungAuswaehlen&auswahlverzeichnis=ordnungsstruktur&auswahlziel=werteabruf&code=42131-0003&auswahltext=&wertauswahl=549&wertauswahl=550&wertauswahl=578&nummer=15&variable=15&name=GP19A9-&werteabruf=Werteabruf#abreadcrumb>, zuletzt abgerufen am 17.01.2023

Statistisches Bundesamt (2023)

Jahresbericht für Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe, Code 42271. Online verfügbar unter <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=statistic&levelindex=0&levelid=1682945668357/code=42271#abreadcrumb>, zuletzt abgerufen am 28.04.2023.

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2021c)

Innovationsindex 2020 für die Länder bzw. Regionen der Europäischen Union. Online verfügbar unter [https://www.statistik-bw.de/Service/Veroeff/Thematische\\_Karten/32II2101E.pdf](https://www.statistik-bw.de/Service/Veroeff/Thematische_Karten/32II2101E.pdf), zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg  
(versch. Jahrgänge, u. a. 2022a, 2021a, 2009a)

Statistische Berichte/E/1/1/(4). Verarbeitendes Gewerbe, Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden in Baden-Württemberg. Jahresergebnis für Betriebe (Berichtskreis 20+). Stuttgart. Online verfügbar unter [www.statistik-bw.de/Service/Veroeff/Statistische\\_Berichte](http://www.statistik-bw.de/Service/Veroeff/Statistische_Berichte), zuletzt abgerufen am 30.01.2023.

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg  
(versch. Jahrgänge, 2009b bis 2023b)

Verarbeitendes Gewerbe in Baden-Württemberg – Jahresergebnis für Betriebe (Berichtskreis 50+). Reihe E I 1-j. Online verfügbar unter <https://www.statistik-bw.de/Suche-und-Bestellung/statBerPage.xhtml?thema=E1>, zuletzt abgerufen am 22.02.2023.

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2022c)  
Energieverbrauch im Verarbeitenden Gewerbe sowie im Bergbau und in der Gewinnung von Steinen und Erden in Baden-Württemberg 2021. Stuttgart. (Statistische Berichte Baden-Württemberg E IV 3-j/21.) Online verfügbar unter [https://www.statistik-bw.de/Service/Veroeff/Statistische\\_Berichte/352521001.pdf#search=Energieverbrauch+Industrie](https://www.statistik-bw.de/Service/Veroeff/Statistische_Berichte/352521001.pdf#search=Energieverbrauch+Industrie), zuletzt abgerufen am 20.01.2023.

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2022d)  
Strom- und Gasverbrauch seit 1950 nach ausgewählten Verbrauchergruppen. Online verfügbar unter <https://www.statistik-bw.de/Energie/Energiebilanz/LRt1001.jsp>, zuletzt abgerufen am 20.01.2023.

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2022e)  
Endenergieverbrauch 2020: 5,8 % unter dem Vorjahresniveau. Ein Drittel des Endenergieverbrauchs der Industrie entfällt auf Erdgas. Pressemitteilung vom 05.04.2022. Online verfügbar unter <https://www.statistik-bw.de/Presse/Pressemitteilungen/2022075>, zuletzt abgerufen am 25.01.2023.

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2022f)  
Investitionen seit 2008 nach Art und Wirtschaftsabteilungen. Online verfügbar unter <https://www.statistik-bw.de/Industrie/Struktur/investWZ2008.jsp>, zuletzt abgerufen am 28.04.2023.

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2022g)  
Flächenverbrauch in Baden-Württemberg seit 1996 nach Art der tatsächlichen Nutzung. Online verfügbar unter <https://www.statistik-bw.de/BevoelkGebiet/GebietFlaeche/GB-FV-LR.jsp>; zuletzt abgerufen am 13.12.2022.

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2022h)  
Siedlungs- und Verkehrsfläche nahm auch im Jahr 2021 zu. Pressemitteilung 222/2022. Online verfügbar unter <https://www.produktion.de/wirtschaft/zulieferer-mahle-will-zwei-werke-in-deutschland-schiessen-343.html>, zuletzt abgerufen am 21.09.2023.

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2022i)  
Verfügbares Einkommen 2020 leicht unter Vorjahresniveau. Baden-Württemberg: Pro-Kopf-Einkommen im Jahr 2020 bei 25 513 Euro. Pressemitteilung 109/2022. Online verfügbar unter <https://www.statistik-bw.de/Presse/Pressemitteilungen/2022109>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2022j)  
Internationaler Forschungsvergleich: Baden-Württemberg seit Jahren im Spitzenfeld. Pressemitteilung 248/2022. Online verfügbar unter <https://www.statistik-bw.de/Presse/Pressemitteilungen/2022248>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023b)  
Baden-Württemberg: Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung bei 36 %. Pressemitteilung Nr. 10/2023 vom 13.01.2023. Online verfügbar unter <https://www.statistik-bw.de/Presse/Pressemitteilungen/2023010>, zuletzt abgerufen am 20.03.2023.

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023c)  
Kfz und Verkehrsbelastung: Neuzulassung von Kraftfahrzeugen. Online verfügbar unter <https://www.statistik-bw.de/Verkehr/KFZBelastung/KfzNeu.jsp>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

Stegmaier, G. (2021)  
Volkswagen-Strategie mit SSP-Baukasten. Online verfügbar unter <https://www.auto-motor-und-sport.de/verkehr/vw-strategie-2030-new-auto-einheitszelle-software-e3-ssp-plattform/>, zuletzt abgerufen am 07.08.2022.

Stellantis (2021)  
Neuer e-Jumpy Hydrogen1: Transporter mit Brennstoffzelle für emissionsfreie Fahrten. Online verfügbar unter <https://www.media.stellantis.com/de-de/citroen/press/neuer-e-jumpy-hydrogen1-transporter-mit-brennstoffzelle-fur-emissionsfreie-fahrten>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

Stieler, S. und Schwarz-Kocher, M. (2022)  
Effizienzprogramme in den Group Functions der Automobilindustrie. Eine Bestandsaufnahme bei deutschen Herstellern und Zulieferern. Düsseldorf. (HBS Working Paper 243.)

Studycheck (2023)  
Studium Elektromobilität. Online verfügbar unter <https://www.studycheck.de/studium/elektromobilitaet/studiengaenge/seite-3>, zuletzt abgerufen am 20.03.2023.

Stuttgarter Zeitung (2022)  
Autoverband sieht Arbeitsplätze bedroht. Ausgabe vom 23.11.2022.

Stuttgarter Zeitung (2023a)

Cellcentric: Kretschmann freut sich zu früh. Online verfügbar unter <https://www.stuttgarter-zeitung.de/inhalt.brennstoffzelle-cellcentric-kretschmann-freut-sich-zu-frueh.18ed56b9-a2e9-4dde-989f-026a33016faa.html>, zuletzt abgerufen am 20.07.2023.

Stuttgarter Zeitung (2023b)

Ängste um Jobs in Feuerbach und Schwieberdingen. Ausgabe vom 01.03.2023.

SWR – Südwestrundfunk (2022a)

Durchbruch. Brennstoffzellen-Fabrik wird wohl in Weilheim gebaut. Online verfügbar unter <https://www.swr.de/swraktuell/baden-wuerttemberg/stuttgart/cellcentric-in-weilheim-einigung-mit-grundstueckseigentuemern-100.html>, zuletzt abgerufen am 04.01.2023.

SWR – Südwestrundfunk (2022b)

Schwäbisch Gmünd: „Meilenstein“ bei Wasserstoffprojekt. Online verfügbar unter <https://www.swr.de/swraktuell/baden-wuerttemberg/ulm/wasserstoffherstellung-in-schwaebisch-gmuend-100.html>, zuletzt abgerufen am 20.03.2023.

Team Transformation der IG Metall

Baden-Württemberg (2023)

Go East? Befragung der Zulieferer in BAWÜ. Präsentation für die Zuliefererkonferenz am 13.02.2023 in Esslingen.

Tesla (2022)

Supercharger. Online verfügbar unter [https://www.tesla.com/de\\_de/supercharger](https://www.tesla.com/de_de/supercharger), zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

Tille, T. (2016)

Automobil-Sensorik – Ausgewählte Sensorprinzipien und deren automobiler Anwendung. Heidelberg: Springer Vieweg.

Töpler, J., und Lehmann, J. (2017)

Wasserstoff und Brennstoffzelle – Technologien und Marktperspektiven. Berlin: Springer Vieweg.

Transformationswissen BW (2023a)

Förderinformationen. Online verfügbar unter <https://www.transformationswissen-bw.de/service/foerderinformationen>, zuletzt abgerufen am 24.03.2023.

Transformationswissen BW (2023b)

Fortbildungs- und Weiterbildungsangebote. Online verfügbar unter [www.transformationswissen-bw.de/qualifizierung/weiterbildungsdatenbank](http://www.transformationswissen-bw.de/qualifizierung/weiterbildungsdatenbank), zuletzt abgerufen am 28.04.2023.

Traton Group (2022)

2021. Geschäftsbericht der Traton Group. Online verfügbar unter <https://ir.traton.com/download/companies/traton/Annual%20Reports/DE000TRAT0N7-JA-2021-PN-EQ-D-01.pdf>, zuletzt abgerufen am 22.02.2023.

UBA – Umweltbundesamt (2022)

Klimaschutzinstrumente im Verkehr: Bausteine für einen klimagerechten Verkehr. Online verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/366/dokumente/2023-03\\_kliv\\_uebersicht\\_bausteine\\_klimavertraeglicher\\_verkehr.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/366/dokumente/2023-03_kliv_uebersicht_bausteine_klimavertraeglicher_verkehr.pdf), zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

UBA – Umweltbundesamt (2023a)

Marktdaten: Mobilität. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/konsum-produkte/gruene-produkte-marktzahlen/marktdaten-bereich-mobilitaet#globaler-autobestand-china-stockt-weiter-auf>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

UBA – Umweltbundesamt (2023b)

Batterien und Altbatterien. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/produktverantwortung-in-der-abfallwirtschaft/batterien-altbatterien#berichtspflichten-gemass-ss14-und-ss-15-batteriesgesetz-battg>, zuletzt abgerufen am 20.03.2023.

Ulrich, C.; Frieske, B.; Schmid, S.A.; Friedrich, H.E. (2022)

Monitoring and Forecasting of Key Functions and Technologies for Automated Driving. Forecasting 2022, 4, 477–500. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.3390/forecast4020027>, zuletzt abgerufen am 08.03.2022.

Universität St. Gallen und Wirtschaftsförderung Region Stuttgart (2017)

Gewerbe- und Industrieflächen Region Stuttgart 2017. Umsetzungsinstrumente und Maßnahmen für das regionale Gewerbeflächenmanagement. Stuttgart.

USGS (2021)

Mineral Commodity Summaries 2021. Online verfügbar unter <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

van Basshuysen, R., und Schäfer, F. (2017)

Handbuch Verbrennungsmotor (8. Auflage). Wiesbaden: Springer Vieweg.

VDA – Verband der Automobilindustrie (2020)

Deutsche Automobilindustrie investiert rund 45 Milliarden Euro in Forschung und Entwicklung. Online verfügbar unter <https://www.vda.de/de/presse/Pressemeldungen/200411-Deutsche-Automobilindustrie-investiert-rund-45-Milliarden-Euro-in-Forschung-und-Entwicklung>, zuletzt abgerufen am 26.04.2023.

VDA – Verband der Automobilindustrie (2021)

Zielbild Automobilproduktion. VDA 6000, Version 1.0. Berlin.

VDA – Verband der Automobilindustrie (2022a)

Jahresbericht 2022. Themen und Zahlen zur Entwicklung der deutschen Automobilindustrie. Berlin.

VDA – Verband der Automobilindustrie (2022b)

Die deutsche Automobilzulieferindustrie im internationalen Wettbewerb. Berlin.

VDA – Verband der Automobilindustrie (2022c)

Daten zur Automobilwirtschaft. Berlin.

VDA – Verband der Automobilindustrie (2022d)

Masterplan Ladeinfrastruktur 2.0. Empfehlungen der Automobilindustrie. Online verfügbar unter [https://www.vda.de/dam/jcr:ad06f4ca-2a0d-48e9-8948-0f3bc02aacdd/VDA\\_5764\\_Positionspapier\\_Masterplan\\_Ladeinfrastruktur\\_2-0\\_RZ.pdf?mode=view](https://www.vda.de/dam/jcr:ad06f4ca-2a0d-48e9-8948-0f3bc02aacdd/VDA_5764_Positionspapier_Masterplan_Ladeinfrastruktur_2-0_RZ.pdf?mode=view), zuletzt abgerufen am 20.03.2023.

VDA – Verband der Automobilindustrie (2023a)

Deutsche Autoindustrie investiert bis 2027 weltweit über 250 Milliarden Euro in Forschung und Entwicklung. Online verfügbar unter [https://www.vda.de/de/presse/Pressemeldungen/2023/23-403\\_PM\\_Deutsche-Autoindustrie-investiert-bis-2027-weltweit--ber-250-Milliarden-Euro-in-Forschung-und-Entwicklung](https://www.vda.de/de/presse/Pressemeldungen/2023/23-403_PM_Deutsche-Autoindustrie-investiert-bis-2027-weltweit--ber-250-Milliarden-Euro-in-Forschung-und-Entwicklung), zuletzt abgerufen am 26.04.2023.

VDA – Verband der Automobilindustrie (2023b)

Tatsachen und Zahlen, Jahresberichte. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/konsum-produkte/gruene-produkte-marktzahlen/marktdaten-bereich-mobilitaet#globaler-autobe-stand-china-stockt-weiter-auf>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

VDA – Verband der Automobilindustrie (2023c)

Internationale Automobilmärkte 2022: Europa, Japan und USA mit Rückgängen. Online verfügbar unter [https://www.vda.de/de/presse/Pressemeldungen/2023/230118\\_PM\\_Internationale\\_Automobilmaerkte\\_2022\\_Europa\\_Japan\\_und\\_USA\\_mit\\_Rueckgaengen](https://www.vda.de/de/presse/Pressemeldungen/2023/230118_PM_Internationale_Automobilmaerkte_2022_Europa_Japan_und_USA_mit_Rueckgaengen), zuletzt abgerufen am 02.05.2023.

VDA und SAC – Verband der Automobilindustrie und

Stahl Automotive Consulting (2020)

Der Wertschöpfungsbeitrag der EDL-Branche in der global transformierten Automobilindustrie. Berlin.

VDMA – Verband deutscher Maschinen- und

Anlagenbau (2023)

Stagnation – ein mögliches Szenario für den Welt-Maschinenumsatz im Jahr 2030. Online verfügbar unter <https://www.vdma.org/viewer/-/v2article/render/53060487>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

Veneri, O. (2016)

Technologies and Applications for Smart Charging of Electric and Plug-In Hybrid Vehicles. Cham, CH: Springer International.

Visual Capitalist (2022)

Breaking Down the Cost of an EV Battery Cell. <https://www.visualcapitalist.com/breaking-down-the-cost-of-an-ev-battery-cell/>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

Vogel, D.; Olle, W. (2019)

Umstieg auf Elektromobilität – die Strategien der Automobilhersteller. In: ATZ Extra 24 (S6), S. 24–27. DOI: 10.1007/s35778-019-0060-0.

Volkswagen AG (2020)

Car2X im neuen Golf: Ein „technischer Meilenstein“. Online verfügbar unter <https://www.volkswagen-newsroom.com/de/stories/car2x-im-neuen-golf-ein-technischer-meilenstein-5919>, zuletzt abgerufen am 20.09.2023.

Volkswagen AG (2021a)

Die Zukunft in der Hand. Geschäftsbericht 2020. Online verfügbar unter [https://www.volkswagenag.com/presence/investorrelation/publications/annual-reports/2021/volkswagen/Y\\_2020\\_d.pdf](https://www.volkswagenag.com/presence/investorrelation/publications/annual-reports/2021/volkswagen/Y_2020_d.pdf), zuletzt abgerufen am 28.01.2022.

Volkswagen AG (2021b)

Planungsrunde 70: Volkswagen treibt Elektrifizierung seiner europäischen Standorte voran und stellt Transformationsplan für Wolfsburg vor. Online verfügbar unter <https://www.volkswagen-newsroom.com/de/pressemitteilungen/planungsrunde-70-volkswagen-treibt-elektrifizierung-seiner-europaeischen-standorte-voran-und-stellt-transformationsplan-fuer-wolfsburg-vor-7687>, zuletzt abgerufen am 30.05.2022.

Wallmann, J. (2016)

Siliziumkarbid-Halbleiter auf der Überholspur. Online verfügbar unter <http://www.all-electronics.de/siliziumkarbid-halbleiter-auf-der-ueberholspur/>, zuletzt abgerufen am 08.03.2023.

Werwitzke, C. (2022)

Frankreich verschiebt Absenkung der E-Auto-Förderung. In: electrive.net. Online verfügbar unter <https://www.electrive.net/2021/10/26/frankreich-verschiebt-absenkung-der-e-auto-foerderung/>, zuletzt abgerufen am 09.03.2023.

Winter, J. (2006)

Kompetenzaufteilung in konzerninternen Netzwerken der Automobilindustrie: Chance für Standort und Region? In: Berliner Debatte Initial, 1–2/2006, S. 186–198.

Wolf, S.; Teitge, J.; Mielke, J.; Schütze, F. und Jaeger, C. (2021)

The European Green Deal – More Than Climate Neutrality. In: Intereconomics, 2/2021: 99–107.

Wolter, M.; Mönning, A.; Hummel, M.; Schneemann, C.; Weber, E.; Zika, G.; Helmrich, R.; Maier, T. und Neuber-Pohl, C. (2015)

Industrie 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Wirtschaft. Szenario-Rechnungen im Rahmen der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsfeldprojektionen. Nürnberg. (IAB-Forschungsbericht 8/2015.)

Yilmaz, A.; Kehler, M. (2020)

Wie kommt die Batterie ins Elektroauto? Marktstudie der Lithium-Ionen-Batteriewertschöpfungskette im Hinblick auf Unternehmensstruktur, Logistikwege und -kosten. Online verfügbar unter <https://battery-news.de/index.php/2020/09/25/wie-kommt-die-batterie-ins-elektroauto-2/>, zuletzt abgerufen am 25.07.2022.

ZDK – Zentralverband Deutsches Kraftfahrzeuggewerbe e. V. (2022)

Zahlen und Fakten 2021. Ausgabe 2022. Berlin.

ZF (2021)

ZF beschleunigt digitale Transformation von Produkten und Prozessen global mit Microsoft Cloud, Presseinformation vom 16.11.2021. Online verfügbar unter [https://press.zf.com/press/de/releases/release\\_32833.html](https://press.zf.com/press/de/releases/release_32833.html), zuletzt abgerufen am 12.12.2022.

ZF (2022)

Geschäftsbericht 2021. Online verfügbar unter [https://www.zf.com/master/media/de/corporate/m\\_zf\\_com/company/bonds\\_relations\\_/financial\\_reports/annual\\_report/2021\\_2/ZF\\_Annual-Report\\_2021.pdf](https://www.zf.com/master/media/de/corporate/m_zf_com/company/bonds_relations_/financial_reports/annual_report/2021_2/ZF_Annual-Report_2021.pdf), zuletzt abgerufen am 21.09.2023.

# Abbildungsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Abbildung 1: Vorgehen und Kerninhalte der Strukturstudie BW 2023 .....   | 13 |
| Abbildung 2: Übersicht über konventionelle und elektrifizierte Antriebskonzepte .....  | 18 |
| Abbildung 3: Übersicht über alternativ angetriebene Lkw-Modelle nach Segment, Stand 01.11.2022 .....   | 20 |
| Abbildung 4: Anzahl der verfügbaren Pkw-Fahrzeugmodelle ausgewählter Hersteller nach Antriebskonzept auf dem deutschen Neuwagenmarkt im Jahr 2022 .....                          | 21 |
| Abbildung 5: Anzahl der insgesamt verfügbaren Pkw-Fahrzeugmodelle nach Antriebskonzept auf dem deutschen Neuwagenmarkt im Vergleich der Jahre 2019–2022 und Wachstumsraten ..... | 23 |
| Abbildung 6: Anzahl und Entwicklungsstatus elektrifizierter Lkw-Modelle nach Segment im Jahr 2022 .....  | 23 |
| Abbildung 7: Marktanteile alternativer Pkw-Antriebskonzepte nach Erwartung/Zielen der Automobilhersteller (links: oberer Rand; rechts: unterer Rand) bis 2030 .....              | 27 |
| Abbildung 8: OEM-Ziele und -Marktanteile alternativ angetriebener leichter (N1) und schwerer (N2/N3) Nutzfahrzeuge in Europa 2030 .....  | 28 |
| Abbildung 9: Übersicht zu Ankündigungen der Markteinführung elektrifizierter Pkw nach Herstellern .....  | 30 |
| Abbildung 10: Entwicklung des durchschnittlichen CO <sub>2</sub> -Ausstoßes von Neu-Pkw in Deutschland 1998–2022 .....   | 33 |
| Abbildung 11: Flottenemissionswerte und Zielvorgaben nach Hersteller 2021 .....  | 33 |
| Abbildung 12: Entwicklung der Li-Ion-Batteriekosten (Zelle und Pack) in USD pro kWh, 2013–2022 .....   | 38 |
| Abbildung 13: Anteil der Kosten einer Batteriezelle und des Batteriepacks am Gesamtbatteriesystem .....  | 38 |
| Abbildung 14: Zusammensetzung der Kosten einer Batteriezelle .....   | 39 |
| Abbildung 15: Anteil ausgewählter Batterietechnologien nach Antriebskonzept .....  | 39 |
| Abbildung 16: Patentanalyse für Lithium-Ionen-Energiespeicher, 2010–2022 .....   | 40 |
| Abbildung 17: Anteil permanent- und fremderregter E-Maschinen nach Antriebskonzept .....   | 42 |
| Abbildung 18: Patentanalyse für E-Maschinen im Antriebsstrang elektrifizierter Fahrzeuge, 2010–2022 .....  | 44 |
| Abbildung 19: Patentanalyse für Leistungselektronik im Antriebsstrang elektrifizierter Fahrzeuge, 2010–2022 .....  | 46 |
| Abbildung 20: Patentanalyse für Brennstoffzellen in Bezug auf elektrifizierte Fahrzeuge, 2010–2022 .....   | 48 |
| Abbildung 21: Übersicht über gängige Ladestecker .....   | 49 |
| Abbildung 22: Die Stufen des automatisierten Fahrens .....   | 51 |
| Abbildung 23: Beispiele für Fahrzeugsysteme zur Automatisierung und Vernetzung .....   | 53 |
| Abbildung 24: Sensoren für die Umfelderkennung .....   | 55 |
| Abbildung 25: Technologieroadmap im Bereich „Radar“ .....  | 56 |
| Abbildung 26: Patentanalyse „Radar für automatisierte Fahrzeuge“, 2010–2022 .....  | 57 |
| Abbildung 27: Patentanalyse „Kamerasysteme zur Umfelderkennung“, 2010–2022 .....   | 58 |
| Abbildung 28: Patentanalyse „LiDAR für automatisierte Fahrzeuge“, 2010–2022 .....  | 59 |
| Abbildung 29: Car2Car-, Car2Infrastructure- und Car2Backend-Kommunikation .....  | 61 |
| Abbildung 30: Gefahrenwarnung in vernetzten Fahrzeugen .....   | 63 |
| Abbildung 31: Vier Dimensionen einer Geschäftsmodellinnovation .....   | 65 |
| Abbildung 32: Geschäftsmodellentwicklung ausgewählter Automobilunternehmen .....   | 66 |
| Abbildung 33: Eine Gigapresse des Herstellers Idra Srl .....   | 69 |
| Abbildung 34: Vernetzte Produktion der Mercedes-Benz Group AG .....  | 71 |
| Abbildung 35: Vernetzung von Produkt und Produktion über Datenplattformen .....  | 72 |
| Abbildung 36: Produktionszahlen für Pkw und Lkw in Deutschland zwischen 1956 und 2022 .....  | 79 |
| Abbildung 37: Verhältnis von Inlands- und Auslandsproduktion deutscher Hersteller 2015 und 2021 .....  | 79 |



|   |     |
|---|-----|
| Abbildung 38: Gesamtproduktion und Anteil der Inlandsproduktion bei Mercedes-Benz 2017 bis 2021 .....   | 80  |
| Abbildung 39: Gesamtproduktion und Anteil der Inlandsproduktion bei BMW 2017 bis 2021 .....   | 80  |
| Abbildung 40: Gesamtproduktion und Anteil der Inlandsproduktion bei Porsche 2017 bis 2021 .....   | 81  |
| Abbildung 41: Gesamtproduktion und Anteil der Inlandsproduktion bei Audi 2017 bis 2021 .....  | 81  |
| Abbildung 42: Gesamtproduktion und Anteil der Inlandsproduktion bei Volkswagen 2017 bis 2021 .....  | 81  |
| Abbildung 43: Durch Materialknappheit in ihrer Produktion behinderte Unternehmen .....  | 83  |
| Abbildung 44: Umsätze und Beschäftigte in der baden-württembergischen Automobilindustrie 2009 bis 2022 .....  | 85  |
| Abbildung 45: Veränderung der Beschäftigung im Verarbeitenden Gewerbe, in der Automobilindustrie und<br>in den Teilbranchen Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenmotoren (WZ 29.1), Herstellung von<br>Karosserien, Aufbauten und Anhängern (WZ 29.2) und Herstellung von Teilen und Zubehör für<br>Kraftwagen (WZ 29.3), 2007 bis 2022, Index 2007 = 100 % ..... | 87  |
| Abbildung 46: Entwicklung der Investitionsquoten in Prozent des Umsatzes des Verarbeitenden Gewerbes und<br>der Automobilindustrie Baden-Württembergs, 2009–2021 .....  | 92  |
| Abbildung 47: EBIT-Quoten ausgewählter Automobilkonzerne als Prozent der Umsatzerlöse .....   | 94  |
| Abbildung 48: Investitionsquoten ausgewählter Automobilunternehmen als Prozent der Umsatzerlöse, 2017–2021 .....  | 95  |
| Abbildung 49: Investitionsneigung ausgewählter Unternehmen als Anteil der Abschreibung, 2017–2021 .....   | 96  |
| Abbildung 50: Nutzung der Bodenfläche in Baden-Württemberg 2021 in Prozent .....  | 97  |
| Abbildung 51: Flächennutzung und täglicher Flächenzuwachs in Baden-Württemberg sowie Pfad zur Erreichung<br>des Bundesziels, 1996–2021 .....  | 99  |
| Abbildung 52: Übersicht zur Raumplanung in Baden-Württemberg .....  | 103 |
| Abbildung 53: Für Entwicklungsdienstleister erwartete Kundenstruktur weltweit im Jahr 2030 .....  | 106 |
| Abbildung 54: Umsätze im baden-württembergischen Kfz-Gewerbe 2019 (in Mrd. EUR) .....   | 108 |
| Abbildung 55: Entwicklung des weltweiten Bestands an Elektrofahrzeugen (BEV, PHEV) nach Ländern, 2010–2022 .....  | 112 |
| Abbildung 56: Marktsituation und Rahmenbedingungen im internationalen Vergleich .....   | 113 |
| Abbildung 57: Anzahl der Neuzulassungen von Pkw in Deutschland und Anteil alternativ angetriebener Pkw, 2019–2022 .....   | 114 |
| Abbildung 58: Anteil der Schnellladepunkte (SLP) am Zubau nach Leistung, 23–300 kW, 2013–2022,<br>Deutschland, Stand: 01.01.2023 .....  | 115 |
| Abbildung 59: Anzahl Pkw-Neuzulassungen bei elektrifizierten Fahrzeugen (BEV und PHEV) ausgewählter Länder<br>in Europa, 2010–2022 .....  | 117 |
| Abbildung 60: Marktanteil elektrifizierter Pkw (BEV und PHEV) ausgewählter Länder in Europa, 2021–2022 .....  | 118 |
| Abbildung 61: Neuzulassungen elektrifizierter Fahrzeuge (BEV und PHEV) in China, USA und Japan, 2016–2022 .....   | 120 |
| Abbildung 62: Struktur des Fahrzeugszenariomodells VECTOR21 .....   | 126 |
| Abbildung 63: Europakarte mit den sieben VECTOR21-Länderclustern, basierend auf Ähnlichkeiten des<br>jeweiligen nationalen Fahrzeugmarkts .....   | 128 |
| Abbildung 64: Variabel zu gestaltende Einflussfaktoren auf die Marktdurchdringung im Fahrzeugtechnik-Szenariomodell<br>VECTOR21 Lkw .....   | 130 |
| Abbildung 65: Annahmen zur Reduzierung des europäischen CO <sub>2</sub> -Flottengrenzwertes innerhalb der<br>VECTOR21-Pkw- und -Lkw-Marktszenarien „Business-as-usual“ und „Progressiv“ .....   | 132 |
| Abbildung 66: Annahmen zum Ausbau der Ladeinfrastruktur des VECTOR21- Pkw-<br>Marktmodells .....  | 134 |
| Abbildung 67: Entwicklung der Pkw-Marktpotenziale in Deutschland im Rahmen des DLR VECTOR21-Szenarios<br>„Business-as-usual“ für den deutschen Neuwagenmarkt bis 2050 .....   | 137 |



|   |     |
|---|-----|
| Abbildung 68: Entwicklung der Pkw-Marktpotenziale unterteilt nach kleinen, mittleren und großen Fahrzeugsegmenten innerhalb des DLR VECTOR21-Szenarios „Business-as-usual“ für den deutschen Neuwagenmarkt bis 2050 ... | 138 |
| Abbildung 69: Entwicklung der Pkw-Marktpotenziale in Deutschland im Rahmen des DLR VECTOR21-Szenarios „Progressiv“ für den deutschen Neuwagenmarkt bis 2050 .....   | 139 |
| Abbildung 70: Entwicklung der Pkw-Marktpotenziale unterteilt nach kleinen, mittleren und großen Fahrzeugsegmenten innerhalb des DLR VECTOR21-Szenarios „Progressiv“ für den deutschen Neuwagenmarkt bis 2050 .....      | 140 |
| Abbildung 71: Entwicklung der Lkw-Marktpotenziale im Rahmen des DLR VECTOR21-Szenarios „Business-as-usual“ für den deutschen Neuwagenmarkt bis 2050 .....   | 141 |
| Abbildung 72: Entwicklung der Lkw-Marktpotenziale unterteilt nach N1-, N2- und N3-Segmenten innerhalb des DLR VECTOR21-Szenarios „Business-as-usual“ für den deutschen Neuwagenmarkt bis 2050 .....                     | 142 |
| Abbildung 73: Entwicklung der Lkw-Marktpotenziale im Rahmen des DLR VECTOR21-Szenarios „Progressiv“ für den deutschen Neuwagenmarkt bis 2050 .....  | 143 |
| Abbildung 74: Entwicklung der Lkw-Marktpotenziale unterteilt nach N1-, N2- und N3-Segmenten innerhalb des DLR VECTOR21-Szenarios „Progressiv“ für den deutschen Neuwagenmarkt bis 2050 .....                            | 144 |
| Abbildung 75: Entwicklung der Pkw-Marktpotenziale im Rahmen des DLR VECTOR21-Szenarios „Business-as-usual“ für ausgewählte Länder des europäischen Markts bis 2035 .....  | 147 |
| Abbildung 76: Entwicklung der Pkw-Marktpotenziale im Rahmen des DLR VECTOR21-Szenarios „Business-as-usual“ für ausgewählte Länder des europäischen Markts bis 2035 .....  | 148 |
| Abbildung 77: Entwicklung der Pkw- und Lkw-Marktpotenziale im Rahmen des DLR VECTOR21-Szenarios „Business-as-usual“ für den europäischen Markt bis 2050 .....   | 149 |
| Abbildung 78: Entwicklung der Pkw- und Lkw-Marktpotenziale im Rahmen des DLR VECTOR21-Szenarios „Progressiv“ für den europäischen Markt bis 2050 .....  | 150 |
| Abbildung 79: Exemplarische Kostenentwicklung (inkl. Margen, exkl. MwSt. und Kaufprämien) verschiedener Mittelklasse-Fahrzeugkonzepte bis 2030 .....  | 152 |
| Abbildung 80: Exemplarische Kostenentwicklung (netto) verschiedener 40-t-Sattelzug-Fahrzeugkonzepte (ohne Sattelanhänger) bis 2030 .....  | 154 |
| Abbildung 81: Entwicklung der CO <sub>2</sub> -Emissionen für die deutsche Pkw- und Lkw-Flotte im progressiven Szenario, „Tank-to-Wheel“ .....  | 156 |
| Abbildung 82: Metaanalyse zu Markteinführungszeitpunkten je SAE-Level .....   | 157 |
| Abbildung 83: Sensitivitätsszenario zur Marktdurchdringung automatisierter Fahrfunktionen im europäischen Pkw-Markt, 2020–2050, auf Basis von Metaanalysen und Experteneinschätzungen .....                             | 158 |
| Abbildung 84: Sensitivitätsszenario zur Marktdurchdringung automatisierter Fahrfunktionen im europäischen Lkw-Markt, 2020–2050, auf Basis von Metaanalysen und Experteneinschätzungen .....                             | 159 |
| Abbildung 85: Arbeitsschritte zur Ermittlung der Beschäftigungseffekte .....  | 170 |
| Abbildung 86: Darstellung des Fahrzeugbestands in Deutschland im Jahr 2022 sowie in den Jahren 2030 und 2040 nach den DLR-Szenarien „Business-as-usual“ und „Progressiv“ .....  | 180 |
| Abbildung 87: Beschäftigtenanteile in Baden-Württemberg und der baden-württembergischen Automobilindustrie nach Anforderungsniveaus im Jahr 2021 .....  | 196 |
| Abbildung 88: Innovationsindex 2020 für Regionen und Länder der europäischen Union .....  | 200 |
| Abbildung 89: Internationaler Vergleich ausgewählter Länder/Regionen nach FuE-Intensität, durchschnittlicher jährlicher Veränderungsrate 2010–2020 und Höhe der FuE-Ausgaben .....                                      | 201 |
| Abbildung 90: Stufung der Handlungsoptionen .....   | 226 |

## Tabellenverzeichnis

|  |     |
|--|-----|
| Tabelle 1: Anteile unterschiedlicher Antriebskonzepte im Pkw-Angebotsportfolio ausgewählter Hersteller auf dem deutschen Neuwagenmarkt im Jahr 2022 .....  | 22  |
| Tabelle 2: Übersicht neuer, modifizierter und nicht mehr notwendiger Antriebskomponenten nach Antriebskonzept .....  | 31  |
| Tabelle 3: Theoretische Potenziale der Entwicklung von Leistungskennzahlen unterschiedlicher Batterietechnologien für Automobilanwendungen im Vergleich .....  | 36  |
| Tabelle 4: Anzahl der Komponenten je Automatisierungsstufe .....   | 54  |
| Tabelle 5: Umsatz, Exportanteil und sozialversicherungspflichtig Beschäftigte in der deutschen und der baden-württembergischen Automobilindustrie (WZ 29) im Jahr 2022 .....   | 78  |
| Tabelle 6: Pkw-Produktion in Deutschland 2016 und 2021 nach Fahrzeugsegmenten .....  | 82  |
| Tabelle 7: Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte in Teilbranchen der Automobilindustrie in Deutschland und Baden-Württemberg 2022 .....  | 86  |
| Tabelle 8: Energieverbrauch im Verarbeitenden Gewerbe und in der Automobilindustrie (WZ 29) in Baden-Württemberg im Jahr 2021 nach Energieträgern in Terawattstunden (TWh) .....   | 88  |
| Tabelle 9: Baden-württembergische Standorte für schwere Nutzfahrzeuge bzw. Standorte an der Landesgrenze .....   | 89  |
| Tabelle 10: Umsätze der drei größten Nutzfahrzeughersteller weltweit, in Europa und in Deutschland im Jahr 2021 in Mrd. EUR .....  | 90  |
| Tabelle 11: Investitionen und Investitionsquote im Verarbeitenden Gewerbe und im Fahrzeugbau Baden-Württemberg 2009 bis 2021 .....   | 91  |
| Tabelle 12: Beschäftigte im baden-württembergischen Automobilcluster 2022 .....  | 111 |
| Tabelle 13: Durchschnittliche jährliche Fahrleistung der Neuzulassungsflotte nach Segment und Transportaufgabe .....   | 129 |
| Tabelle 14: Übersicht der Rahmenparameter für die Erstellung der Szenarien (hier beispielhaft für Deutschland) .....   | 136 |
| Tabelle 15: Stückzahlentwicklung relevanter Pkw-Antriebskomponenten [in Mio. Stück] .....  | 151 |
| Tabelle 16: Stückzahlentwicklung relevanter Lkw-Antriebskomponenten [in Stück] .....   | 153 |
| Tabelle 17: Stückzahlentwicklung relevanter Pkw- und Lkw-Automatisierungskomponenten [in Mio. Stück] .....   | 160 |
| Tabelle 18: Quantifizierte Beschäftigung im Clustersegment „nicht-Antriebsstrang-abhängige Beschäftigung“ in den Jahren 2030 und 2040 .....  | 172 |
| Tabelle 19: Quantifizierte Beschäftigung im Clustersegment „Antriebsstrang-abhängige Beschäftigung für Pkw mit Verbrennungsmotor“ in den Jahren 2030 und 2040 und den Szenarien „Business-as-usual“ und „Progressiv“ ..... | 175 |
| Tabelle 20: Quantifizierte Beschäftigung im Clustersegment „Antriebsstrang-abhängige Beschäftigung für Pkw mit Verbrennungsmotor“ in den Jahren 2030 und 2040 und den Szenarien „Business-as-usual“ und „Progressiv“ ..... | 176 |
| Tabelle 21: Quantifizierte Beschäftigung im Clustersegment „Antriebsstrang-abhängige Beschäftigung für elektrifizierte Pkw“ in den Jahren 2030 und 2040 und den Szenarien „Business-as-usual“ und „Progressiv“ .....       | 177 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabelle 22: Quantifizierte Beschäftigung im Clustersegment „Antriebsstrang-abhängige Beschäftigung für elektrifizierte Lkw“ in den Jahren 2030 und 2040 und den Szenarien „Business-as-usual“ und „Progressiv“ .....                                   | 178 |
| Tabelle 23: Quantitative Beschäftigung im Clustersegment „Kfz-Gewerbe“ in den Jahren 2030 und 2040 und den Szenarien „Business-as-usual“ und „Progressiv“ .....  | 180 |
| Tabelle 24: Quantitative Beschäftigung in den Clustersegmenten „Versorgung mit Benzin-/Dieselkraftstoff“ und Stromversorgung und Ausbau der Ladeinfrastruktur in den Jahren 2030 und 2040 und den Szenarien „Business-as-usual“ und „Progressiv“ ..... | 182 |
| Tabelle 25: Quantitative Beschäftigung im Cluster durch Komponenten für das automatisierte Fahren in den Jahren 2030 und 2040 .....  | 184 |
| Tabelle 26: Quantifizierte Beschäftigungseffekte im gesamten Cluster .....   | 186 |
| Tabelle 27: Deep-Dive Beschäftigungseffekte in der Antriebsstrang-abhängigen Produktion von Komponenten und Teilen im Clusterkern für Pkw und Lkw im Jahr 2030 .....   | 188 |
| Tabelle 28: Deep-Dive Beschäftigungseffekte in der Forschung und Entwicklung im Clusterkern für Pkw und Lkw im Jahr 2030 .....   | 189 |
| Tabelle 29: In Deutschland benötigte Änderungen bei Solarenergie, On- und Offshore-Windanlagen und Wärmepumpen zur Erreichung des Klimaziels 2030 .....  | 213 |

# Abkürzungsverzeichnis

|         |  |                      |  |
|---------|--|----------------------|--|
| AC      | Alternating Current  | CLEPA                | European Association of Automotive Suppliers       |
| ACEA    | European Automobile Manufacturers' Association                                       | CMF-B-EV             | Common Module Family – B-Segment Electric Vehicles |
| ADAC    | Allgemeiner Deutscher Automobilclub  | CMF-EV               | Common Module Family – Electric Vehicles           |
| AG      | Aktiengesellschaft   | CNG                  | Compressed Natural Gas                             |
| AMS     | Auto Motor und Sport   | CO <sub>2</sub>      | Kohlenstoffdioxid                                  |
| AVP     | Automated Valet Parking  | CO <sub>2</sub> -Äq. | CO <sub>2</sub> -Äquivalente                       |
| BAFA    | Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle  | CPU                  | Central Processing Unit                            |
| BAST    | Bundesanstalt für Straßenwesen   | CS                   | Charge Sustaining                                  |
| BAU     | Business-as-usual-Szenario   | D                    | Diesel   |
| BDEW    | Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft                                      | DC                   | Direct Current                                     |
| BEHG    | Brennstoffemissionshandelsgesetz   | DE                   | Deutschland  |
| BEV     | Battery Electric Vehicle   | DFT UK               | Department for Transport United Kingdom            |
| BFM     | Bundesfinanzministerium  | DLF                  | Digital Leaders Fund                               |
| BIP     | Bruttoinlandsprodukt   | DLR                  | Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt          |
| BGBL    | Bundesgesetzblatt  | DSRC                 | Dedicated Short-Range Communication                |
| BMAS    | Bundesministerium für Arbeit und Soziales  | E/E                  | Elektrik/Elektronik                                |
| BMDV    | Bundesministerium für Digitales und Verkehr  | EBIT                 | Earnings Before Interests and Taxes                |
| BMJ     | Bundesministerium der Justiz   | ECF                  | European Climate Foundation                        |
| BMUV    | Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz | EDL                  | Entwicklungsdienstleistungen                       |
| BMVI    | Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur                             | EEG                  | Erneuerbare-Energien-Gesetz                        |
| BMW     | Bayerische Motorenwerke  | E-Mobilität          | Elektromobilität                                   |
| BMWK    | Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz                                     | E-Motor              | Elektromotor                                       |
| BMZ     | Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung                 | ERP                  | Enterprise Resource Planning                       |
| BW      | Baden-Württemberg  | EU                   | Europäische Union                                  |
| CAAM    | China Association of Automobile Manufacturers  | EUR                  | Euro   |
| CAD     | Connected and Automated Driving  | EVA                  | Electric Vehicle Architecture                      |
| CAM     | Center of Automotive Management  | Exp.                 | Expert:in  |
| CATL    | Contemporary Amperex Technology Limited  | FAAR                 | Frontantriebs-Architektur                          |
| CCS     | Combined Charging System   | FAAR-WE              | Frontantriebs-Architektur Weiterentwicklung        |
| CD      | Charge Depleting   | FC                   | Fuel Cell  |
| CDU     | Christlich Demokratische Union Deutschlands  | FCEV                 | Fuel Cell Electric Vehicle                         |
| CLAR    | Cluster-Architektur  | FuE                  | Forschung und Entwicklung                          |
| CLAR-WE | Cluster-Architektur Weiterentwicklung  | G                    | Gasoline   |
|         |  | GHz                  | Gigahertz  |
|         |  | GmbH                 | Gesellschaft mit beschränkter Haftung              |
|         |  | GNSS                 | Global Navigation Satellite Systems                |
|         |  | GTAI                 | Germany Trade and Invest                           |
|         |  | GW                   | Gigawatt   |
|         |  | GWh                  | Gigawattstunde                                     |
|         |  | H <sub>2</sub>       | Wasserstoff  |

|        |  |                 |   |
|--------|--|-----------------|---|
| ha     | Hektar   | MMA             | Mercedes Modular Architecture                               |
| HD     | High Definition  | MRA             | Modular Rear Architecture                                   |
| HEV    | Hybrid Electric Vehicle  | MRL             | Manufacturing Readiness Level                               |
| HOV    | High-occupancy Vehicle   | Mt              | Megatonnen  |
| HPC    | High Power Charging  | MV BW           | Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg                   |
| HVO    | Hydrogenated Vegetable Oil (Pflanzenöl-basierte Kraftstoffe)   | MVI BW          | Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg |
| IAA    | Internationale Automobilausstellung                            | MWh             | Megawattstunde  |
| IAB    | Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung                 | NAFTA           | North American Free Trade Agreement                         |
| IAW    | Institut für angewandte Wirtschaftsforschung                   | NCA             | Nickel-Kobalt-Aluminium-Oxid                                |
| ICCT   | International Council on Clean Transportation                  | NEFZ            | Neuer Europäischer Fahrzyklus                               |
| ICE    | Internal Combustion Engine                                     | Nfz             | Nutzfahrzeuge   |
| IEA    | International Energy Agency                                    | NG              | Natural Gas   |
| IPC    | International Patent Classification                            | NIB             | Natrium-Ionen-Batterie                                      |
| IT     | Informationstechnologie  | NiMH            | Nickel-Metallhydrid   |
| KBA    | Kraftfahrt-Bundesamt   | NMC             | Lithium-Nickel-Mangan-Kobalt                                |
| KfW    | Kreditanstalt für Wiederaufbau                                 | NO <sub>x</sub> | Stickstoffoxid  |
| Kfz    | Kraftfahrzeug  | NPE             | Nationale Plattform Elektromobilität                        |
| KI     | Künstliche Intelligenz   | NPM             | Nationale Plattform Zukunft der Mobilität                   |
| KIT    | Karlsruher Institut für Technologie                            | NZL             | Neuzulassungen  |
| KMU    | Kleine und mittlere Unternehmen                                | OEM             | Original Equipment Manufacturer (Fahrzeughersteller)        |
| kW     | Kilowatt   | OFDM            | Orthogonal Frequency Division Multiplexing                  |
| kWh    | Kilowattstunde   | ÖPNV            | Öffentlicher Personennahverkehr                             |
| LBBW   | Landesbank Baden-Württemberg                                   | PHEV            | Plug-in Hybrid Electric Vehicle                             |
| LED    | Light-emitting Diode   | Pkw             | Personenkraftwagen  |
| LFP    | Lithium-Eisen-Phosphat   | PPE             | Premium Plattform Electric                                  |
| Li     | Lithium  | PROG            | Progressives Szenario                                       |
| LiDAR  | Light Detection and Ranging System                             | REEV            | Range-extended Electric Vehicle                             |
| Li-Ion | Lithium-Ionen  | RoW             | Rest of World   |
| Li-S   | Lithium-Schwefel   | SAE             | Society of Automotive Engineers                             |
| Lkw    | Lastkraftwagen   | SAFE            | Flächendeckendes Sicherheitsladernetz für Elektrofahrzeuge  |
| Lnf    | Leichte Nutzfahrzeuge  | SDA             | Strategiedialog Automobilwirtschaft Baden-Württemberg       |
| LNG    | Liquified Natural Gas  | SE              | Societas Europaea   |
| MA     | Mitarbeiter:innen  | SEA             | Sustainable Experience Architecture                         |
| MaaS   | Mobility as a Service  | SLP             | Schnellladepunkt  |
| MEB    | Modularer E-Antriebs-Baukasten                                 | Snf             | Schwere Nutzfahrzeuge                                       |
| MHEV   | Mild Hybrid Electric Vehicle                                   | SOP             | Start of Production   |
| MINT   | Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik        | SSP             | Scalable Systems Platform                                   |
| MLW BW | Ministerium für Landesentwicklung und Wohnen Baden-Württemberg |                 |   |

|          |  |
|----------|--|
| SUV      | Sports Utility Vehicle                                     |
| SWR      | Südwestrundfunk  |
| TCO      | Total Cost of Ownership                                    |
| TNGA     | Toyota New Global Architecture                             |
| TRL      | Technology Readiness Level                                 |
| TWh      | Terrawattstunde  |
| UBA      | Umweltbundesamt  |
| UK       | United Kingdom (Vereinigtes Königreich)                    |
| USA      | United States of America                                   |
| USD      | US-Dollar  |
| V2X      | Vehicle-to-X   |
| VDA      | Verband der Automobilindustrie                             |
| VDMA     | Verband deutscher Maschinen- und<br>Anlagenbau             |
| VECTOR21 | Vehicle Technologies Scenario Model                        |
| VG       | Verarbeitendes Gewerbe                                     |
| VW       | Volkswagen   |
| Wh       | Wattstunde   |
| WLAN     | Wireless Local Area Network                                |
| WLTP     | Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles<br>Test Procedure |
| WZ       | Wirtschaftszweig   |
| ZDK      | Zentralverband Deutsches Kraftfahrzeugge-<br>werbe e. V.   |
| zGG      | Zulässiges Gesamtgewicht                                   |

## Entdecken Sie weitere Publikationen der e-mobil BW (Auswahl)



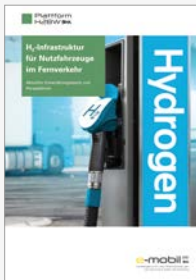
### **Servicemarkt 2040: Perspektiven und Strategien für freie Werkstätten**

Das wirtschaftliche Rückgrat der freien Kfz-Werkstätten in Deutschland ist das Werkstatt- und Teilesgeschäft. Rückläufige Wartungs- und Reparaturintensitäten je Fahrzeug reduzieren jedoch das Auftragsvolumen im freien Servicemarkt, sodass die Geschäftsmodelle im Kfz-Gewerbe grundsätzlich angepasst - vielmehr sogar neu gedacht - werden müssen. Wie genau, das untersucht die Studie ‚Servicemarkt 2040: Perspektiven und Strategien für freie Werkstätten‘. Sie zeigt Szenarien für das Marktvolumen und die Beschäftigung im freien Aftersales des Kfz-Gewerbes.



### **Wertstoffkreislauf von Traktionsbatterien aus Europa**

Unternehmen der Automobilwirtschaft in Europa benötigen in den nächsten Jahren in großem Maßstab Zugriff auf Materialien für die Herstellung von Energiespeichern. Doch werden Lithium, Nickel, Mangan und Kobalt heute von einigen wenigen Lieferanten mit Sitz außerhalb der Europäischen Union bereitgestellt. Es ist daher sinnvoll, mittels Recycling von Traktionsbatterien einen Beitrag zur zuverlässigen Versorgung der Unternehmen der Automobilwirtschaft zu leisten.



### **H<sub>2</sub>-Infrastruktur für Nutzfahrzeuge im Fernverkehr – aktueller Entwicklungsstand und Perspektiven**

Die Studie der Plattform H2BW analysiert, wie eine H<sub>2</sub>-Infrastruktur für schwere Nutzfahrzeuge im Fernverkehr aufgebaut werden kann. Wie kann der benötigte H<sub>2</sub>-Kraftstoff bereitgestellt werden? Welche H<sub>2</sub>-Kraftstoffoptionen und Betankungsprozesse spielen künftig eine Rolle? Die Studie gibt einen Überblick über den aktuellen Entwicklungsstand der hierfür notwendigen Kraftstofftechnologien und der erforderlichen Hauptkomponenten der Tankstellen und beleuchtet zudem, welche H<sub>2</sub>-Kraftstoffkosten mittelfristig zu erwarten sind.



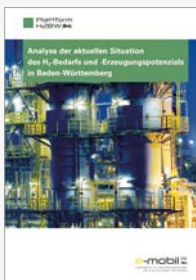
### **Digitalisierung in der Mobilitätswirtschaft – Erfolgsfaktoren der Daten- und Plattformökonomie**

Die Mobilitätswirtschaft befindet sich inmitten eines tiefgreifenden Wandels hin zu einer immer stärkeren Vernetzung. Dabei versprechen Daten ein enormes Monetarisierungspotenzial. Vor diesem Hintergrund untersucht die Studie Auswirkungen und Erfolgsfaktoren der Daten- und Plattformökonomie auf die deutsche Mobilitätswirtschaft. Neben der Ausarbeitung von Relevanz und Entwicklungsstand der Digitalisierung im Mobilitätskontext werden auch Handlungsoptionen für Akteure aus Baden-Württemberg abgeleitet.



### **Beschäftigungseffekte im Kfz-Gewerbe 2030/2040**

Die Studie der e-mobil BW betrachtet die Auswirkungen der Elektrifizierung und Digitalisierung von Fahrzeugen und die Neugestaltung der Geschäftsprozesse auf die Beschäftigtenstrukturen im Kfz-Gewerbe. Die Handlungsempfehlungen befähigen das Kfz-Gewerbe sowie Stakeholder zur Ableitung entsprechender Maßnahmen.



### **Analyse der aktuellen Situation des H<sub>2</sub>-Bedarfs und -Erzeugungspotenzials in Baden-Württemberg**

Die neue Studie der Plattform H2BW, die von e-mobil BW koordiniert wird, analysiert, wie hoch der Wasserstoffbedarf und wie groß das Wasserstoffherstellungspotenzial in Baden-Württemberg sind. Im Jahr 2035 werden 16,6 Terawattstunden, also rund 550.000 Tonnen Wasserstoff, im Land benötigt.



## Zukunftsfähige Lieferketten und neue Wertschöpfungsstrukturen in der Automobilindustrie

Wie verändern sich die Lieferbeziehungen zwischen Herstellern und Zulieferern in der Automobil- und Maschinenbauindustrie? Welche Auswirkungen haben die Covid-19-Pandemie und der Krieg in der Ukraine auf die Lieferketten? Die Studie „Zukunftsfähige Lieferketten und neue Wertschöpfungsstrukturen in der Automobilindustrie“ zeigt Lösungselemente auf, die das Ziel verfolgen, Lieferketten kostengünstig und krisensicher zu gestalten.



## Automotive Cybersecurity

Das digitale Auto macht Cybersecurity zunehmend zu einem zentralen Bestandteil des nachhaltigen Erfolgs in der Automobilwirtschaft. Das Themenpapier des Clusters Elektromobilität Süd-West analysiert Einfallstore der Cyberkriminalität und formuliert Handlungsempfehlungen für Cybersecurity.



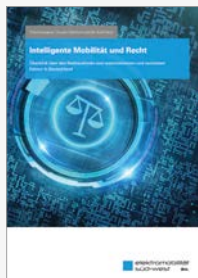
## Wirtschaftsfaktor Ladeinfrastruktur – Potenziale für Wertschöpfung in Baden-Württemberg

Die Studie der e-mobil BW analysiert den Hochlauf der globalen Elektromobilität, leitet daraus die Entwicklungen des Ökosystems des öffentlichen und privaten Ladens ab und zeigt Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte für Baden-Württemberg auf.



## Systemvergleich Wasserstoffverbrennungsmotor und Brennstoffzelle im schweren Nutzfahrzeug

Die Studie der e-mobil BW analysiert Pro und Contra des Wasserstoffverbrennungsmotors (H<sub>2</sub>-Motor) und der Brennstoffzelle (H<sub>2</sub>-BZ) im Schwerlastverkehr.



## Intelligente Mobilität und Recht

Das Themenpapier des Clusters Elektromobilität Süd-West gibt einen Überblick über den Rechtsrahmen zum automatisierten und vernetzten Fahren in Deutschland.



## Analyse der Aktivitäten und Entwicklungsfortschritte im Bereich der Fahrzeugelektronik mit Fokus auf fahrzeugeigene Betriebssysteme

Das Themenpapier des Clusters Elektromobilität Süd-West untersucht den aktuellen Stand sowie zukünftige Entwicklungen von Fahrzeugarchitekturen und fahrzeugeigenen Betriebssystemen. Diese Betriebssysteme bilden die Schnittstelle zwischen der Hardwarearchitektur des Fahrzeugs und der Software, mithilfe derer neue Dienste und Funktionalitäten im Fahrzeug umgesetzt werden.



# Impressum

## Herausgeber

e-mobil BW GmbH – Landesagentur für neue  
Mobilitätslösungen und Automotive Baden-Württemberg

## Autor:innen

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. –  
Institut für Fahrzeugkonzepte  
Benjamin Frieske, Samuel Hasselwander, Özcan Deniz

IMU Institut GmbH  
Sylvia Stieler, Simon Schumich

## Redaktion und Koordination der Studie

e-mobil BW GmbH  
Dr. Wolfgang Fischer, Anja Krätschmer,  
Ronja Nothofer-Hahn, Philipp Prinz

## Layout/Satz/Illustration

markentrieb  
Die Kraft für Marketing und Vertrieb

## Fotos

Umschlag © studio-fi/istockphoto  
Die Quellennachweise aller weiteren Bilder befinden  
sich auf der jeweiligen Seite.

## Druck

Karl Elser Druck GmbH  
Kißlingweg 35  
75417 Mühlacker

## Auslieferung und Vertrieb

e-mobil BW GmbH  
Leuschnerstraße 45  
70176 Stuttgart  
Telefon +49 711 892385-0  
Fax +49 711 892385-49  
info@e-mobilbw.de  
[www.e-mobilbw.de](http://www.e-mobilbw.de)

## Genereller Hinweis

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird bei  
zusammengesetzten personenbezogenen Hauptwörtern  
in dieser Studie die männliche Form verwendet.  
Entsprechende Begriffe gelten im Sinne der  
Gleichbehandlung grundsätzlich für alle Geschlechter.  
Die verkürzte Sprachform hat nur redaktionelle Gründe  
und beinhaltet keine Wertung.

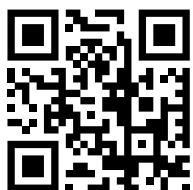
## Disclaimer

Die Erstellung dieser Studie erfolgte mit großer Sorgfalt auf  
Basis wissenschaftlicher Methodik und unter Zuhilfenahme  
der angegebenen Quellen. Für die Korrektheit der Daten  
kann gleichwohl keine Haftung übernommen werden.  
Die Aussagen in diesem Gutachten mit prognostischem  
Charakter wurden auf Basis der vorliegenden Informationen  
getroffen, die derzeit als realistisch angenommen werden  
können. Dennoch könnten derzeit nicht absehbare, exogene  
Schocks (z. B. in Form einer lang andauernden Wirtschafts-  
krise mit massiven Einkommenseinbußen in wichtigen  
Automobilmärkten oder drastische Veränderungen in der  
Einschätzung der noch vorhandenen fossilen Rohstoffe) zu  
anderen Entwicklungen führen.

**November 2023**

## © Copyright liegt bei den Herausgebern

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Werk ist einschließlich seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Herausgebers unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen. Für die Richtigkeit der Herstellerangaben wird keine Gewähr übernommen.



[www.e-mobilbw.de](http://www.e-mobilbw.de)

**e-mobil BW GmbH**

Landesagentur für neue Mobilitätslösungen und  
Automotive Baden-Württemberg

Leuschnerstraße 45 | 70176 Stuttgart

Telefon +49 711 892385-0 | Fax +49 711 892385-49

[info@e-mobilbw.de](mailto:info@e-mobilbw.de)

