

**IMPULSE**  
für die Wirtschaftspolitik



# Fahrzeugbau – wie verändert sich die Wertschöpfungskette?

ifo-Studie im Auftrag des BIHK



Industrie- und Handelskammern  
in Bayern

**ifo** INSTITUT

Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung  
an der Universität München e.V.

## Auf einen Blick

### Ausgangslage

Die Automobilindustrie steht aufgrund des Zusammenwirkens von vier Megatrends (alternative Antriebe, autonomes Fahren, vernetzte Fahrzeuge, neue Mobilitätsangebote) vor fundamentalem Wandel in den nächsten beiden Jahrzehnten: Was sind die möglichen Folgen für die Industrie in Bayern entlang der Wertschöpfungskette?

### Hauptergebnisse der Studie

Die bayerische Automobilindustrie wird die fortschreitende Transformation hin zu elektrischen Antrieben meistern. Es besteht jedoch die Gefahr, dass im Kernbereich vernetzte Fahrzeuge eine Abhängigkeit von führenden Internetkonzernen entstehen könnte.

### Politische Handlungsfelder

Anstatt Zellfertigung zu subventionieren, sollten lieber Forschung und Entwicklung im Batteriebereich gefördert werden. Es wird in den Bereichen autonomes Fahren und alternative Mobilitätsangebote eine Regulierung in Deutschland und Europa benötigt, welche Innovation fördert und belohnt und gleichzeitig die Komplementaritäten zum öffentlichen Verkehr stärkt.

# Inhaltsverzeichnis

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Abbildungsverzeichnis</b>   | <b>I</b>  |
| <b>Tabellenverzeichnis</b>   | <b>I</b>  |
| <b>Zusammenfassung</b> .....   | <b>1</b>  |
| <b>1 Ausgangslage</b> .....  | <b>3</b>  |
| 1.1 Eine Schlüsselindustrie im Wandel .....  | 3         |
| 1.2 Die Automobilindustrie in Bayern .....   | 6         |
| <b>2 Die automobilen Megatrends und ihre Auswirkungen auf<br/>Industrie und Zulieferer in Bayern</b> ..... | <b>8</b>  |
| 2.1 Elektrische Antriebe .....   | 9         |
| 2.1.1 Zentrale Treiber der Entwicklung .....   | 9         |
| 2.1.2 Batterien – das fehlende Teil im Wertschöpfungspuzzle .....  | 15        |
| 2.1.3 Auswirkungen auf Industrie und Zulieferer in Bayern .....  | 17        |
| 2.2 Autonomes Fahren (AF) .....  | 19        |
| 2.2.1 Treiber des Trends und Hemmnisse .....   | 19        |
| 2.2.2 Auswirkungen auf Industrie und Zulieferer in Bayern .....  | 21        |
| 2.3 Vernetzte Fahrzeuge – Treiber und Wirkungen .....  | 22        |
| 2.4 Alternative Mobilitätskonzepte – Treiber und Wirkungen .....   | 24        |
| 2.5 Disruption entlang der Wertschöpfungskette .....   | 26        |
| <b>3 Auswirkungen auf Beschäftigte und Beschäftigung</b> .....   | <b>28</b> |
| <b>4 Empfehlungen an die Politik</b> .....   | <b>30</b> |
| 4.1 Elektromobilität .....   | 30        |
| 4.2 Autonomes Fahren .....   | 30        |
| 4.3 Vernetzte Fahrzeuge .....  | 30        |
| 4.4 Shared Mobility .....  | 30        |
| 4.5 Zukunft der Beschäftigung .....  | 31        |
| <b>Literaturverzeichnis</b> .....  | <b>32</b> |

## Abbildungsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Abbildung 1: Die Spanne der existierenden Prognosen für 2030 .....  | 4  |
| Abbildung 2: Vereinfachte Darstellung der Automobilwertschöpfungskette .....  | 5  |
| Abbildung 3: Übersicht – Treiber hinter den CASE-Trends .....   | 8  |
| Abbildung 4: Bestand und Zulassungen von elektrischen Fahrzeugen in Deutschland .....                                   | 13 |
| Abbildung 5: Kaufpräferenzen von Konsumenten international .....  | 14 |
| Abbildung 6: Entwicklung Leistung und Funktionen von Assistenzsystemen<br>am Beispiel der Prozessoren von MobilEye..... | 20 |
| Abbildung 7: Grad der Vernetzung und daraus entstehende Möglichkeiten.....  | 23 |
| Abbildung 8: Wahrgenommene Herausforderungen des Strukturwandels .....  | 28 |

## Tabellenverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Tabelle 1: EU-Emissionsgrenzwerte für Neuwagenflotten                             | 10 |
| Tabelle 2: Fahrzeugtypologie nach Antrieben                                       | 11 |
| Tabelle 3: Schritte der Batteriefertigung und geschätzte Wertschöpfungsanteile    | 15 |
| Tabelle 4: Von einem Fade-Out betroffene Komponenten                              | 18 |
| Tabelle 5: Simulationsergebnisse zu Shared Mobility und Regulierung               | 25 |
| Tabelle 6: Einfluss der CASE-Trends auf einzelne Wertschöpfungsstufen – Übersicht | 27 |

# Zusammenfassung

Die Automobilindustrie ist einer der Schlüssel zu Wohlstand, Beschäftigung und Innovation in Bayern. Allerdings herrscht gegenwärtig hinsichtlich der Entwicklung der Industrie in den kommenden 15-20 Jahren starke Unsicherheit. Die vier Megatrends vernetzte Fahrzeuge (Connected cars), autonomes Fahren (Autonomous vehicles), alternative Mobilitätsangebote (Shared mobility) und alternative Antriebe (Electric vehicles) – abgekürzt mit dem Akronym CASE – haben das Potential, das Gesicht der Industrie fundamental zu wandeln. Prognosen zu den Auswirkungen auf die Zusammensetzung der Neuwagenflotte, ihren Energieverbrauch oder den Anteil autonomer Fahrzeuge sind extrem ungenau – zu viel hängt von Faktoren wie Regulierungsentscheidungen, Wandel im Nachfrageverhalten und technologischer Entwicklung ab.

Anstatt einer (weiteren) Prognose bieten wir in dieser Studie eine Analyse der grundlegenden volkswirtschaftlichen Mechanismen an, die mit den CASE-Trends verbunden sind. So können wir die Wirkungen der Megatrends auf die Industrie in Bayern mit einem besonderen Fokus auf Zulieferer und die Wertschöpfungskette herleiten und aus diesen Zusammenhängen Empfehlungen an die Politik ableiten.

Die aktuelle Regulierung in den globalen Leitmärkten EU und China haben zur Folge, dass Hersteller den Umstieg auf Elektrofahrzeuge in den kommenden 5-10 Jahren zu einem erheblichen Grad umsetzen müssen. Wegen der **Elektrifizierung der Antriebe** wird es in Bayern auch Verlierer geben: Firmen, die Teile und Komponenten für herkömmliche Antriebsstränge herstellen, werden mit fortschreitenden Marktanteilen elektrischer Fahrzeuge zunehmend unter Druck geraten. Hier von sind in Bayern nach unserer Schätzung ca. 55.000 Angestellte betroffen. Laut den Planungen der Firmen sollte der Fade-Out in der Beschäftigung allerdings allein durch altersbedingte Fluktuation zu bewältigen sein.

Der Bereich **Autonomes Fahren** bietet Zulieferern im Bereich Sensorik erhebliches Marktpotential in Abhängigkeit von der Adoption dieser Technologie am Markt. Einer der Treiber des Fortschritts war im vergangenen Jahrzehnt die exponentielle Entwicklung der Leistung der eingesetzten Prozessoren. Infolge dessen nehmen jetzt allerdings mit Intel, Nvidia und der Google-Schwester Waymo drei amerikanische Chip- und Internetkonzerne Schlüsselpositionen in diesem Bereich ein. Die deutschen Automobilhersteller müssen in Anbetracht der Fortschritte bei Prototypen und Testfahrten in den USA achtgeben, nicht den Anschluss in dieser Technologie zu verlieren.

Das Auto der Zukunft ist **vernetzt und digitalisiert**. Die Hardware für die Vernetzung sowie die verbundenen Dienstleistungen bieten Marktchancen, verschieben aber auch die Wahrnehmung dessen, was die Qualität von Fahrzeugen ausmacht. Das Open-Source Auto-Betriebssystem „Android Automotive OS“ läutet endgültig den Einstieg von Google als Softwareplattformanbieter im Autobereich ein. Darüber hinaus nimmt die Bedeutung von cloudbasierten Lösungen zur Speicherung und Analyse von Fahrzeugdaten rapide zu – in diesem Bereich sind deutsche Hersteller weitestgehend auf die Zusammenarbeit mit großen, etablierten Anbietern wie Microsoft, IBM oder Amazon angewiesen, die teilweise eigene Ambitionen im Automobilbereich hegen.

**Shared mobility** wird in seiner Bedeutung in den kommenden 10-12 Jahren weiter deutlich hinzugewinnen; zumindest teilweise zulasten privater Fahrzeugkäufe, so dass sich das Wachstum des globalen Fahrzeugmarktes aus diesem Grund etwas verlangsamen wird. Im Hinblick auf die Klimaziele wird es in diesem Bereich entscheidend sein, Regulierung klug zu gestalten, damit shared mobility-Dienste nicht den öffentlichen Nahverkehr kannibalisieren und die Staugefahr sowie die Anzahl der im Auto zurückgelegten km (und damit den CO<sub>2</sub>-Ausstoß) erheblich erhöhen.

Die Anforderungen an die **Beschäftigten** in der Industrie werden sich weiter wandeln – Hersteller und Zulieferer treten in Konkurrenz zu Software- und Internetfirmen um Spezialisten im Bereich der Künstlichen Intelligenz und Softwareentwicklung. Hier besteht Bedarf an neuen Bildungsangeboten, die auf die speziellen Anforderungen der Automobilindustrie zugeschnitten sind.

# 1 Ausgangslage

## 1.1 Eine Schlüsselindustrie im Wandel

Die Automobilindustrie in Deutschland und Bayern ist in vieler Hinsicht herausragend: Sei es bei der Schaffung von Arbeitsplätzen, beim Beitrag zur Wirtschaftsleistung oder bei Entwicklung, Produktion und Auslieferung von international gefragten Produkten. Mehrere globale Trends, die unser Wirtschaftsgeschehen in den vergangenen Jahrzehnten entscheidend geprägt haben, wurden von der Automobilindustrie initiiert oder vorangetrieben: zum Beispiel die Automatisierung, Just-in-Time-Fertigung, (internationale) Arbeitsteilung und Exportorientierung.

Aktuell steht die Industrie aufgrund verschiedener Faktoren vor erheblichen Herausforderungen, insbesondere: Ambitionierte Umweltauflagen in den Leitmärkten EU und China. Neben den Klimazielen erhoffen sich Gesetzgeber eine wesentliche Verbesserung der Luftqualität in den Städten. Die Emissionsziele der EU – bei gleichzeitigem Sonderstatus für E-Mobilität – lassen sich praktisch nur durch einen erheblichen Anteil an (Batterie-)elektrischen Fahrzeugen erreichen. In China sind substantielle Absatzanteile elektrischer Modelle für Hersteller eine Bedingung für den Marktzugang an sich. Gleichzeitig führt der digitale technologische Wandel dazu, dass sich die Nutzung von Fahrzeugen zunehmend ändert, einhergehend damit, dass Kunden die Entscheidung zum Fahrzeugkauf nicht länger als selbstverständlich betrachten.

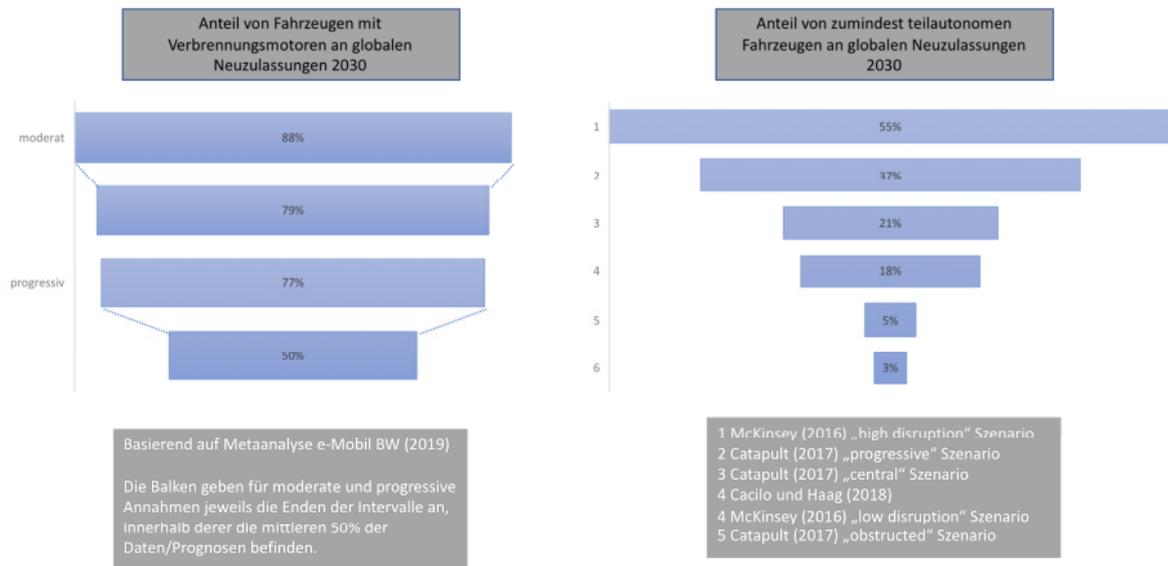
Der technologische und soziale Wandel in der Automobilindustrie hat das Potential, das Wettbewerbsumfeld im Fahrzeugbau in den kommenden 10 bis 15 Jahren komplett neu zu gestalten. Hierbei sind es insbesondere vier Felder oder Megatrends, welche das Produkt Automobil und die Wertschöpfungskette nachhaltig beeinflussen:

- Die **Vernetzung** von Fahrzeugen, die es einerseits den Insassen gestattet, Informationen und Inhalte in vielfältiger Form abzurufen, und die andererseits das Fahrzeug selbst in die Lage versetzt, mit seiner Umgebung (Infrastruktur und anderen Verkehrsteilnehmern) zu interagieren.
- Im Zusammenspiel mit der Vernetzung versetzen Sensorik und Rechenkapazitäten moderne Fahrzeuge zunehmend in die Lage, **automatisiert oder völlig autonom** am Straßenverkehr teilzunehmen – beispielsweise betreibt die Firma Zoox im dichten und komplexen Verkehr von San Francisco seit Dezember 2018 komplett autonome Taxis.
- **Neue Mobilitätsangebote** wie Carsharing und Beförderungsangebote wie Lyft oder Uber nutzen die verfügbaren Daten und Informationen, um ihre Fahrzeugflotten, Verfügbarkeiten und Preisgestaltung möglichst perfekt auf die Nachfrage auszurichten. Einerseits profitieren sie dabei von sich ändernden Mobilitätspräferenzen, insbesondere dem Trend weg vom eigenen Auto, andererseits tragen sie zu deren Wandel verstärkend bei.
- Insbesondere die Besorgnis um lokale Emissionen und die globalen Auswirkungen von Verbrennungsmotoren auf das Klima haben schließlich alternative Antriebe in den Fokus gerückt, im Vordergrund steht die **Elektromobilität** in verschiedenen Ausprägungen.

Diese vier Felder werden häufig mit dem Akronym „CASE“ umschrieben, das sich aus den englischen Begriffen „connected, autonomous, shared, electric“ zusammensetzt. Die CASE-Trends sorgen gemeinsam dafür, dass die Unsicherheit hinsichtlich der Entwicklung des globalen Fahrzeugmarktes aktuell größer ist als vielleicht jemals zuvor. Abbildung 1 veranschaulicht dies anhand der Spanne einiger verfügbaren Branchenprognosen für zwei zentrale Größen: a) Den Anteil an

Verbrennungsmotoren bei den weltweiten Neuzulassungen, b) den Anteil mindestens teilautonomer Fahrzeuge<sup>1</sup> bei den Neuzulassungen – jeweils für das Jahr 2030.

Abbildung 1: Die Spanne der existierenden Prognosen für 2030



Quellen: e-Mobil BW (2019), McKinsey (2016), Catapult (2017), Casilo und Haag (2018), eigene Darstellung

Beide Größen unterliegen offensichtlich extremen Unwägbarkeiten: Wird in 12 Jahren zum Beispiel nur jedes neunte oder jedes zweite Fahrzeug einen alternativen Antrieb haben? Diese Unsicherheit hat verschiedene Ursachen, insbesondere: Wie entwickelt sich die internationale Regulierung im Hinblick auf Förderung alternativer Antriebe, potentielle Zulassungs- oder sogar (lokale) Fahrverbote für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor, Abgasgrenzwerte und verpflichtende Elektro-Quoten? Wie groß sind die verbleibenden technischen und gesetzlichen Hürden bei der Entwicklung und Einführung des autonomen Fahrens? Inwiefern sind Fahrzeugnutzer bereit, ihre Mobilitätsmuster fundamental zu verändern – hin zu Elektromobilität, gemeinsamer Nutzung von Fahrzeugen oder Mobilität als reiner Dienstleistung?

In Anbetracht dieser Unsicherheiten wollen wir in dieser Studie keine eigene Prognose über mögliche Entwicklungspfade abgeben – stattdessen ist das Ziel, die vier Trends und ihr Zusammenspiel dahingehend zu analysieren, welche grundlegenden Wirkungen auf den Fahrzeugbau von ihnen ausgehen und welche möglichen Folgen und Risiken dies für die Industrie in Deutschland und Bayern und die beschäftigten Personen haben wird. Ein wichtiger Faktor in der Betrachtung ist hierbei auch der Ausstoß an Treibhausgasen durch den Verkehr.

Im Kapitel 2 gehen wir im Detail darauf ein, wie die vier zentralen Megatrends die Wertschöpfungskette im Fahrzeugbau verändern und welche möglichen Auswirkungen dies auf die Industrie in Bayern haben wird. Der Fokus unserer Studie liegt explizit auf den Zulieferern, die in der öffentli-

<sup>1</sup> Ausgestattet mit Systemen, die zumindest zeitweise und in bestimmten Situationen die Kontrolle über das Fahrzeug übernehmen können.

chen Diskussion häufig weniger Beachtung finden als die Automobilhersteller (OEMs). Wir setzen uns mit der gesamten Wertschöpfungskette auseinander, wie sie vereinfacht in Abbildung 2 dargestellt ist: Rohstoffe werden von Zulieferern in Module und Komponenten umgewandelt; deren Produktion ist eng verzahnt mit der Fahrzeugfertigung des OEMs; die gefertigten Fahrzeuge werden vermarktet und an die Kunden ausgeliefert. Ohne Antriebsenergie (gespeichert in Form von Benzin, Gas oder in Batterien) sind Fahrzeuge unbrauchbar. Mit dem Kauf und Betrieb von Fahrzeugen sind Finanzdienstleistungen und Versicherungen verbunden. Über die Lebensdauer des Fahrzeuges hinweg werden schließlich Reparatur- und Instandhaltungsleistungen fällig, inklusive der Produktion und Bereitstellung von Ersatzteilen.

Abbildung 2: Vereinfachte Darstellung der Automobilwertschöpfungskette



Eigene Darstellung angelehnt an Nieuwenhuis (2018)

Jede dieser Wertschöpfungsstufen ist von den Auswirkungen der vier Megatrends betroffen.

In Kapitel 3 liegt unser Fokus darauf, wie sich im Angesicht dieser Entwicklungen die Anforderungen an Beschäftigte in der Industrie ändern werden. In Kapitel 4 entwickeln wir einige zentrale Handlungsempfehlungen an die Politik.

## 1.2 Die Automobilindustrie in Bayern

Die Automobilbranche ist für Bayern – mehr noch als für Deutschland insgesamt – eine Schlüsselindustrie für Wohlstand, Innovation und Beschäftigung. Im Kern der Industrie, also im Bereich „Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen“, erwirtschafteten laut dem Bayerischen Landesamt für Statistik (2019) im Jahr 2018 rund 208.000 Beschäftigte einen Umsatz von 106,5 Milliarden Euro – das entspricht 28,4 Prozent des Umsatzes des Verarbeitenden Gewerbes im Freistaat (in Deutschland insgesamt sind es nur 22,1 Prozent). Von diesen 208.000 Beschäftigten entfallen rund 60 Prozent auf die Automobilzulieferer (vbw 2018b).

68,4 Milliarden Euro oder fast zwei Drittel des Umsatzes der Branche werden im Ausland erzielt. Für die bayerische Automobilindustrie spielen die Entwicklung der globalen Automobilmachfrage und insbesondere die großen Absatzmärkte China, EU und USA somit eine fundamentale Rolle. Das durchschnittliche Entgelt in diesem Wirtschaftszweig lag mit rund 75.000 Euro rund 40 Prozent über dem mittleren Entgelt im bayerischen Verarbeitenden Gewerbe. Dies resultiert insbesondere auch aus der sehr hohen Produktivität des Sektors. In Bayern waren 2018 rund 15,6 Prozent der im Verarbeitenden Gewerbe Tätigen in der Automobilindustrie beschäftigt oder 2,7 Prozent der Erwerbstätigen insgesamt – für Deutschland als Ganzes sind diese Anteile mit 13,3 Prozent (Verarbeitendes Gewerbe) und 1,9 Prozent (Erwerbstätige insgesamt) deutlich niedriger (Statistisches Bundesamt 2019).

Der Blick auf die Branche anhand der statistischen Abgrenzung unterschätzt die eigentliche Bedeutung des Produkts Automobil, weil vernachlässigt wird, dass andere Branchen in erheblichem Ausmaß Inputs (nur) für die Fahrzeugindustrie erstellen. Insbesondere sind hier Kunststoffe, Metalle, Elektronik und natürlich Dienstleistungen zu nennen, deren Produktion und Beschäftigte anteilig zum Automobilcluster gerechnet werden müssen. Bezieht man den Wert der Inputs aus diesen Industrien mit ein, erhöht sich das Produktionsvolumen des Automobilsektors zusätzlich um ca. 18 Prozent und die Gesamtbeschäftigung im Automobilcluster beträgt in Bayern rund 340.000 (vbw 2018a).<sup>2</sup>

Zudem ragt die bayerische Automobilindustrie hinsichtlich ihrer Innovationsleistung hinaus. Die in deutschen Patenten 2017 meistgenannte Patentklasse ist „Fahrzeuge, Fahrzeugausstattung oder Fahrzeugteile (B60R)“. Von den deutschen Patenten in dieser Klasse stammen 39,4 Prozent aus Bayern, bei „Getrieben (F16H)“ kommen 40,0% der Patente von bayerischen Anmeldern (BIHK 2019). Die Führungsrolle beinhaltet auch alternative Antriebsformen, in der Kategorie „Regelung von Fahrzeug-Unteraggregaten, auch für Hybrid-Fahrzeuge (B60W)“ kommen 33,8 Prozent der Patente aus Bayern. Die Rolle der Automobilindustrie für den Innovationsstandort Bayern wird auch dadurch unterstrichen, dass unter den fünf bayerischen Unternehmen mit den meisten Patentanmeldungen im Jahr 2017 vier der Automobilindustrie zuzurechnen sind (und sieben unter den führenden zehn).

In Bezug auf die Automobilindustrie nimmt Bayern in Deutschland somit eine Sonderstellung ein, dies gilt sowohl für Automobilhersteller als auch für die Zulieferer von Teilen und Systemen. Mit BMW (München) und Audi (Ingolstadt) haben zwei der weltweit profiliertesten PKW-Premiumhersteller ihre Firmenzentralen in Bayern. Diese Stärke spiegelt sich auch entlang der Wertschöpfungskette wider: Von den 100 umsatzstärksten Zulieferunternehmen Deutschlands

<sup>2</sup> Aufgrund der niedrigeren Produktivität in den anderen Branchen ist die zusätzliche Beschäftigung anteilig höher als der zusätzliche Umsatz.

haben 23 ihre Firmensitze in Bayern (MIR 2018), darunter Branchenriesen wie Schaeffler, Brose und Leoni.<sup>3</sup> Die Weltmarktführer Bosch und Continental unterhalten darüber hinaus jeweils eine zweistellige Anzahl von Fertigungs- und Forschungsstandorten im Freistaat.

Die Industrie ist insbesondere aufgrund der Bedeutung von Skaleneffekten strukturell von größeren Unternehmen geprägt. Neben den Branchenschwergewichten besteht das bayerische Ökosystem Fahrzeugbau aber darüber hinaus aus einer Vielzahl von mittelständischen Unternehmen. Rund zwei Drittel der Branchen-Unternehmen haben weniger als 250 Mitarbeiter – diese erwirtschaften jedoch nur 5,6 Prozent des Umsatzes (StMWi 2018).

Wie wir im Laufe dieser Studie darlegen, betrifft insbesondere der Trend der Elektromobilität bestimmte Teilegruppen oder Geschäftsfelder der Zulieferer in besonderem Maße – am stärksten natürlich die Hersteller solcher Teile, die in Fahrzeugen mit alternativen Antrieben massive Veränderungen erfahren, wie der Antriebsstrang, oder gar keine Verwendung mehr finden wie Auspuffanlagen oder Ölfilter. Je höher die Bedeutung dieser Bereiche für ein Unternehmen, desto schwerer wird es ihm fallen, diese Entwicklung abzufedern – beispielsweise durch Akquisitionen oder eine Anpassung der Produktpalette. Größere und stärker diversifizierte Unternehmen sind hier tendenziell im Vorteil gegenüber kleineren, auf betroffene Technologien spezialisierte (Falck et al. 2017).

<sup>3</sup> Nur Baden-Württemberg kommt mit 31 Firmen auf eine noch höhere Anzahl.

## 2 Die automobilen Megatrends und ihre Auswirkungen auf Industrie und Zulieferer in Bayern

Die CASE-Megatrends sind nicht plötzlich vom Himmel gefallen. Tatsächlich gab es beispielsweise Elektroautos, ehe das erste Automobil mit Verbrennungsmotor gebaut wurde. Erste (eingeschränkt) funktionale Pilotkonzepte für selbstfahrende Autos existierten bereits vor mehr als 50 Jahren. Angesichts dessen ist die Frage erlaubt, welche Faktoren gerade jetzt dazu führen sollen, dass sich in den kommenden beiden Jahrzehnten ein radikaler Wandel vollzieht. Abbildung 3 veranschaulicht zusammenfassend, wie Treiber aus den Feldern Markt, Regulierung und Technologie aktuell die jeweiligen Trends beschleunigen.

Abbildung 3: Übersicht – Treiber hinter den CASE-Trends

| Art der Treiber    |  Vernetzte Fahrzeuge                                       |  Autonomes Fahren   |  Neue Mobilitätsangebote               |  Alternative Antriebe                                      |
|--------------------|---|--|--|---|
| <b>Markt</b>       | <b>Digitalbranche</b> (vor allem Google, Apple) rückt Automobil in den Fokus<br><b>Hersteller/Startups</b> bilden konkurrierende Ökosysteme | <b>Angebot:</b> Serienmodelle mit Hardware für autonomes Fahren am Markt (Tesla 3)<br><b>Nachfrage:</b> Praxiserfahrung reduziert Vorbehalte | Kritische Masse an Anbietern und Nutzern erzeugen Plattformeffekte<br><b>Präferenzenwandel:</b> Eigentum → Verfügbarkeit | <b>Angebot:</b> Start der Elektroplattform mehrerer Branchenriesen 2019/20<br><b>Nachfrage:</b> Effektive Anreize in Kernmärkten wirken       |
| <b>Technologie</b> | Rollout Mobilfunkstandard 5G ermöglicht erheblich schnelleren Datentransfer   | Spezialisierte Hochleistungsprozessoren verfügbar<br>2018: Erfolgreiche urbane Pilotprojekte mit komplett autonomen Taxis                    | Zunehmendes Angebot an diverser Infrastruktur – vom E-Roller bis zum Robotaxi  | <b>Batterien:</b> Kostenverfall und Fertigungskapazitäten<br><b>Ladeinfrastruktur:</b> Priorität von Wirtschaft und Politik bei Investitionen |
| <b>Regulierung</b> | Seit 2018 eCall-Hardware mit SIM verbindlich<br>Weitere Sicherheitsauflagen in Planung (USA)  | Erste Staaten in den USA haben für AF gesetzliche Grundlagen geschaffen  | Städte und Ballungsräume suchen nach Lösungen gegen Verkehrskollaps  | Emissionsauflagen (EU/CN) setzen Hersteller unter Handlungszwang<br>Klimaschutz gewinnt immer höhere Priorität                                |

Eigene Darstellung, Struktur angelehnt an McKinsey (2017)

Drei Arten von Treibern tragen zur Entwicklung in den verschiedenen Bereichen jeweils bei: Marktseitig ist beispielsweise zu beobachten, dass sich die Präferenzen und Prioritäten der Nachfrager zunehmend weg vom klassischen Eigentumsmodell beim Auto weg verschieben (Bratzel 2014). Zudem treten neue Akteure – seien es neue Hersteller von Elektroautos oder Silicon Valley-Konzerne mit einem Fokus auf autonomem Fahren – in den Markt für Mobilitätslösungen ein. Der zweite Treiber ist der technische Fortschritt: E-Mobilität hat (schneller als das Auto) bereits das Fahrrad erfasst und als nächstes stehen elektrische Tretroller an; der neue Mobilfunkstandard der fünften Generation verspricht – bei geeignetem Ausbau – einen Sprung in Hinsicht auf Geschwindigkeit und Zuverlässigkeit der Konnektivität. Staatliche Regulierung entpuppt sich in vielen Bereichen als stärkster Treiber, bzw. als kritischer Punkt: Die zentralen Beispiele hierfür sind die Elektromobilität und das autonome Fahren, für das noch erhebliche regulatorische Unsicherheit besteht.

In den folgenden Abschnitten der Studie wenden wir uns den einzelnen Trends und ihren Auswirkungen im Detail zu.

## 2.1 Elektrische Antriebe

### 2.1.1 Zentrale Treiber der Entwicklung

Der Wandel hin zur elektrischen Mobilität schreitet in hohem Tempo voran. Mit VW baut der größte deutsche Automobilhersteller seine Konzernstrategie forciert auf batterie-elektrische Fahrzeuge um, aber auch die anderen deutschen Hersteller investieren Milliardensummen, um in den kommenden Jahren eine komplette elektrische Produktpalette abdecken zu können. Laut Branchenstudien waren die deutschen Hersteller im Zeitraum 2015-2018 weltweit bei Investitionssummen und der Anzahl der Projekte mit Abstand führend – wobei die Summe der Investitionen in China um rund 50 Prozent höher war als in Deutschland (EY 2019). Wenn dieser Prozess abgeschlossen ist, könnten Elektrofahrzeuge sich von einem Nischenphänomen im Oberklassesegment zum alltäglichen privaten Verkehrsmittel gewandelt haben.

Ein entscheidender Faktor in dieser Entwicklung ist die Regulierung in wichtigen Märkten: Im chinesischen Markt sieht die Regulierung vor, dass Autohersteller mit mehr als 30.000 im Jahr verkauften Fahrzeugen in Zukunft eine Elektro-Quote von ca. 8 bis 10 Prozent der verkauften Fahrzeuge einhalten müssen. In Europa haben die Europäische Kommission und das Europäische Parlament mit der EU-Regulierung 443/2009 ein wirksames Instrument geschaffen, um die Zusammensetzung der Fahrzeugflotten und die Modell-Strategie der Hersteller zu beeinflussen. Sie gibt den Fahrzeugherstellern Grenzwerte für den durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Ausstoß der neu zugelassenen Fahrzeuge vor. Werden diese nicht eingehalten, drohen Milliardenstrafen, die umso höher ausfallen, je weiter das Ziel verfehlt wurde.

Tabelle 1 zeigt die Entwicklung der Vorgaben bis 2030 an, dann sinkt der zulässige Grenzwert auf 59 g CO<sub>2</sub> pro gefahrenem Kilometer, was einem Verbrauch von 2,2 l Diesel je 100 gefahrenen Kilometern entspricht.

Der kritische Punkt ist, dass rein elektrische Fahrzeuge in der Berechnung des Flottenverbrauchs eine Sonderrolle spielen – sie gehen mit einem *fiktiven* Verbrauch (oder CO<sub>2</sub>-Ausstoß) von 0 in die Durchschnittsrechnung ein.<sup>4</sup> Diese Sonderrolle ist für die Modellstrategie der Hersteller zentral, weil die Verbrauchsvorgaben mit konventionellen Motoren technisch wohl unerreichbar sind. Somit gilt: Je höher der Verbrauch der verkauften Fahrzeuge mit konventionellem Antrieb, desto höher muss der Anteil der elektrischen Fahrzeuge unter den Neuzulassungen sein.<sup>5</sup>

<sup>4</sup> Der tatsächlich von Elektroautos generierte CO<sub>2</sub>-Ausstoß je Fahrkilometer hängt von verschiedenen Faktoren ab, insbesondere vom Strommix bei der Batterieherstellung und beim Laden des Fahrzeuges, siehe etwa Buchal et al. (2019). Hill et al. (2019) zeigen für den britischen Markt, dass von einem Umstieg auf Elektroautos frühestens ab 2030 positive Auswirkungen auf die Emissionen von Treibhausgasen durch den Verkehr zu erwarten sind.

<sup>5</sup> Die Regulierung gestattet auch strategische Partnerschaften, um die Flottenziele zu erreichen. So zahlt beispielsweise der Fiat-Konzern eine Art Gebühr an Tesla, kooperativ die Grenzwerte zu erreichen.

Tabelle 1: EU-Emissionsgrenzwerte für Neuwagenflotten

| <b>Jahr</b> | <b>Grenzwert</b>            | <b>Entspricht Verbrauch je 100 km von</b> |
|-------------|-----------------------------|---|
| 2015        | 130 g CO <sub>2</sub> je km | 5,6 l Benzin / 4,9 l Diesel**             |
| 2021        | 95 g CO <sub>2</sub> je km  | 4,1 l Benzin / 3,6 l Diesel               |
| 2025*       | 81 g CO <sub>2</sub> je km  | 3,5 l Benzin / 3,0 l Diesel               |
| 2030*       | 59 g CO <sub>2</sub> je km  | 2,6 l Benzin / 2,2 l Diesel               |

Quelle: EU Kommission, \* im Dezember 2018 beschlossen

\*\* Der höhere Kohlenstoffanteil im Dieselmotorkraftstoff bewirkt einen höheren CO<sub>2</sub>-Ausstoß pro Liter; dieser wird durch effizientere Verbrennung generell überkompensiert

Die Wirkung der Regulierung lässt sich am besten an einem Beispiel veranschaulichen; für den VW-Konzern und die Tochter Audi sind konkrete Zahlen öffentlich verfügbar: Um den 2030-Grenzwert nicht zu verletzen, müssten zu diesem Zeitpunkt mehr als 40 Prozent der vom Konzern verkauften Fahrzeuge rein elektrisch angetrieben sein (Handelsblatt 2018). Für die strategische Neuausrichtung hin zur verstärkten Elektromobilität plant der Konzern in den kommenden fünf Jahren mit einem Investitionsvolumen von 30 Milliarden Euro, unter anderem werden drei Werke auf die Fertigung von Elektroautos umgestellt.

Im Prinzip sind verschiedene klassische und innovative Antriebsalternativen verfügbar, um diese Verbrauchsziele zu erreichen. Tabelle 2 bietet eine Übersicht über die aktuell in Serie verfügbaren Antriebskonzepte sowie Hinweise über die zentralen Vor- und Nachteile der einzelnen Technologien.

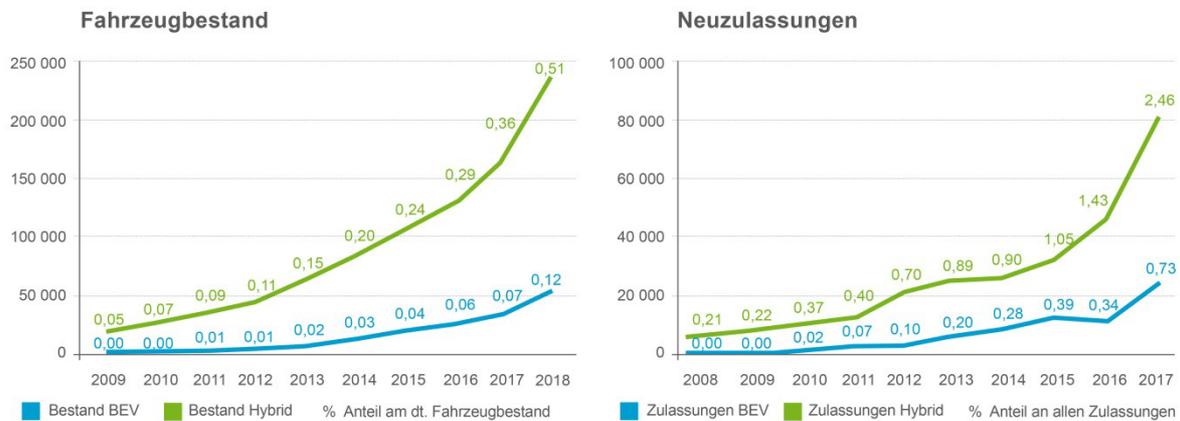
Tabelle 2: Fahrzeugtypologie nach Antrieben

| Fahrzeugtyp                                | Beschreibung  | (+)<br>Vorteile und<br>(-)<br>Nachteile  |
|--|---|--|
| <b>Konventionelle Verbrenner (ICE)</b>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Angetrieben durch einen Diesel- oder Benzinmotor</li> <li>• Relativ hohe Bedeutung komplexer Systeme (Motor/Getriebe/Abgasreinigung)</li> </ul>  | <p>(+) hohe Kompetenz und Wettbewerbsvorteile deutscher Hersteller</p> <p>(+) nach heutigem Stand der Technik relativ niedriger tatsächlicher CO<sub>2</sub>-Ausstoß moderner Motoren</p> <p>(-) nicht lokal emissionsfrei zu betreiben, problematisch besonders im Stadtverkehr</p> <p>(-) EU-Emissionsziele 2025/2030 technisch absehbar nicht zu erreichen</p>  |
| <b>(Parallel-)Hybrid (HEV)</b>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sowohl konventioneller als auch elektrischer Antriebsstrang verbaut</li> <li>• Bremsenergie wird zurückgewonnen und gespeichert</li> <li>• Unterstützender elektrischer Antrieb</li> </ul> | <p>(+) geringe Betriebskosten je km, insbesondere im städtischen Fahrprofil (Fahrdienstleister)</p> <p>(+) Effizienzsteigerungen gegenüber ICE</p> <p>(-) nur sehr kurze Strecken lokal emissionsfrei</p> <p>(-) hohe Komplexität, Kosten in der Produktion und Wartung</p> <p>(-) erheblich höheres Gewicht und eingeschränkter Innenraum im Vergleich zu ICE</p> |
| <b>Plug-In Hybrid (PHEV)</b>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wie HEV, aber mit zusätzlicher Möglichkeit zum Laden am Stromnetz</li> <li>• Höhere Batteriekapazität, leistungsfähigerer Elektromotor</li> </ul>  | <p>(+) Strecken bis zu 50-80 km lokal emissionsfrei</p> <p>(+) geringe Betriebskosten je km und Effizienzsteigerungen</p> <p>(-) hohe Komplexität</p> <p>(-) erheblich höheres Gewicht und Platzbedarf</p>   |
| <b>Batterieelektrisches Fahrzeug (BEV)</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rein elektrischer Antriebsstrang</li> <li>• Hohe Batteriekapazität, um auch längere Strecken mit einer Ladung zurückzulegen</li> </ul>   | <p>(+) lokal komplett emissionsfrei und leise</p> <p>(+) hoher Wirkungsgrad, Effizienz</p> <p>(+) regulatorische Behandlung als Zero-Emission-Vehicle in EU, China und Kalifornien</p>   |

|   |  |  |
|---|--|--|
|   |  | (-) Stand der Ladeinfrastruktur<br>(-) Skepsis bez. Reichweiten und Ladedauer<br>(-) höheres Fahrzeuggewicht (Batterie)  |
| <b>BEV mit range extender</b>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Primär elektrischer Antriebsstrang mit hoher Batteriekapazität</li> <li>• Zusätzlicher konventioneller Antriebsstrang als Backup</li> </ul> | (+) löst im Vergleich zum BEV das wahrgenommene Reichweitenproblem<br><br>(-) zusätzliche Komplexität, Gewicht und Platzbedarf durch konventionellen Motor, Getriebe, Kraftstofftank, etc.   |
| <b>Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV)</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektrischer Antriebsstrang</li> <li>• Wasserstofftank als Energiespeicher, Umwandlung in Strom in Brennstoffzelle</li> </ul>               | (+) hoher Wirkungsgrad und Effizienz<br>(+) Hohe Reichweite und schnelle Betankung<br><br>(-) fehlende und teure Wasserstofftankinfrastruktur<br>(-) technische Herausforderungen im Umgang und bei der Speicherung des volatilen Kraftstoffs<br>(-) Hohe Kosten der Fahrzeuge |
| <b>Quelle: eigene Darstellung</b>       |  |  |

Die Kraftanstrengung und der Sprung, die nötig sein werden, um die angestrebten Anteile im kommenden Jahrzehnt zu erreichen, sind gewaltig, das zeigt auch der Blick auf die Zulassungen im deutschen Markt. Betrachtet man hier den Bestand an elektrischen und Hybridfahrzeugen (Abbildung 4), wird deutlich, dass reine Elektroautos und selbst Hybridautos bislang noch nicht aus der Nische herausgekommen sind. Erste Anzeichen, dass dies gelingen kann, sind die hohen Zuwachsraten bei den Neuzulassungen – so hat sich der Anteil der Neuzulassungen bei Hybridfahrzeugen von 2009 bis 2017 mehr als verzehnfacht auf rund 2,5 Prozent. Bei den reinen Elektrofahrzeugen gelang eine Verzehnfachung des Anteils (auf niedrigerem Niveau startend) von 2011 bis 2017 auf 0,7 Prozent aller deutschen Zulassungen.

Abbildung 4: Bestand und Zulassungen von elektrischen Fahrzeugen in Deutschland



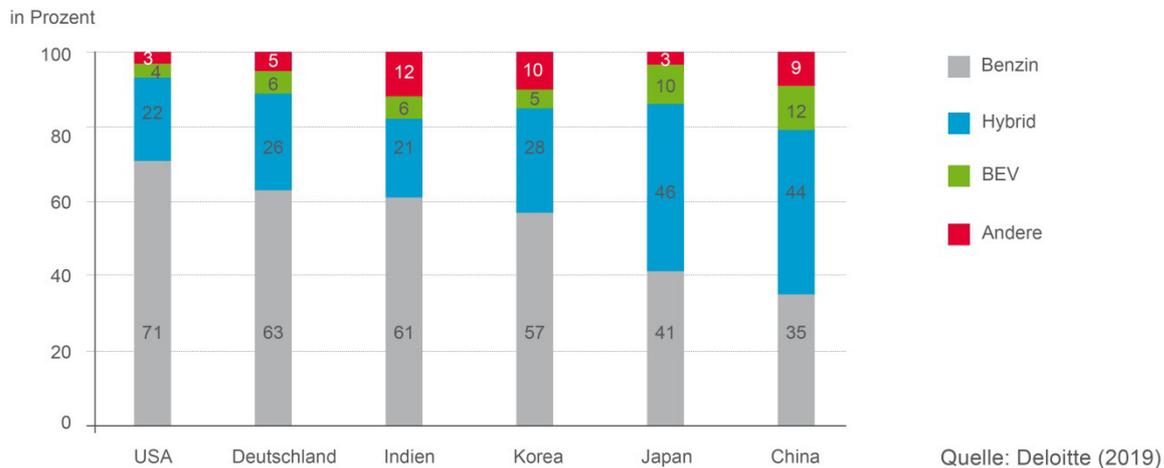
Quelle: Kraftfahrtbundesamt, eigene Darstellung

Die deutschen Hersteller – angeführt von VW, Audi und BMW – betreiben in Modellpolitik und Öffentlichkeitsarbeit erheblichen Aufwand im Bereich der elektrischen Mobilität. Es ist aber wichtig anzumerken, dass die von der Regulierung vorgegebenen Ziele nur erreichbar sind, wenn genügend Nachfragende die entsprechende Kaufentscheidung treffen. Neben den Entwicklungen in der Regulierung und der Modell- und Investitionsoffensive der Hersteller sprechen auch nachfrageseitige Marktfaktoren dafür, dass sich die Entwicklung hin zu alternativen elektrischen Antrieben weiter beschleunigen wird.

Vieles deutet darauf hin, dass bereits heute die Kaufbereitschaft wesentlich höher ist, als es die reinen Zulassungszahlen vermuten lassen würden. Deloitte (2019) präsentiert die Ergebnisse einer internationalen Befragung von mehr als 25.000 Konsumenten über ihre Präferenzen für den nächsten Kauf eines eigenen Fahrzeugs, wobei vom Preis abstrahiert wird. Abbildung 5 stellt die Antworten für einige wichtige (Zukunfts-)Märkte sowie die Wettbewerber Korea und Japan dar. Die Kategorie „Andere“ enthält insbesondere Gas- und Brennstoffzellenantriebe.

Abbildung 5: Kaufpräferenzen von Konsumenten international

### Bevorzugter Antrieb des nächsten eigenen Fahrzeugs (2019)



In jedem der betrachteten Märkte würde mindestens ein Viertel der Konsumenten bei gleichem Preis einen Hybrid- oder reinen Elektroantrieb einem konventionellen Verbrenner vorziehen. Die USA stehen hierbei deutlich hinter den anderen Ländern zurück, was zur aktuellen Tendenz der dortigen (Klima-)Politik passt. Am anderen Ende des Spektrums stehen die Antworten der japanischen und chinesischen Konsumenten heraus. In Japan, dem Heimatmarkt des Hybrid-Vorreiters Toyota, bevorzugt nur noch eine Minderheit von 41% der Konsumenten konventionelle Antriebe.<sup>6</sup> Das Extrem stellt schließlich der essentielle Leitmarkt China dar, in dem nur noch rund jeder dritte Konsument einen konventionellen Antrieb bevorzugen würde. Fast jeder achte Konsument würde lieber ein rein batterieelektrisches Auto kaufen – ein doppelt so hoher Anteil wie in Deutschland.

Eine weitere Beobachtung unterstreicht die Sonderrolle und Bedeutung des chinesischen Marktes: In China übersetzt sich diese Kaufabsicht in wesentlich höherem Ausmaß in tatsächlich getätigte Käufe. Laut CAM (2019) lag im Jahr 2018 in China der Anteil der batterieelektrischen Fahrzeuge und PHEV bei den PKW-Zulassungen bei 4,6 Prozent – mit rund 1,05 Millionen elektrischen PKW zeichnete sich 2018 das Land für jedes zweite weltweit nachgefragte elektrische Fahrzeug verantwortlich. 95 Prozent der chinesischen Nachfrage wird der Studie zufolge durch die heimische Industrie gedeckt, hierbei handelt es sich allerdings bislang zum Großteil um sehr einfache Fahrzeuge für den ausschließlichen Gebrauch innerhalb der Stadt – ein Segment, auf das die bayerischen und sonstigen etablierten deutschen Hersteller schon aus Kostengründen nicht abzielen können. Der Riesenmarkt China birgt zudem erhebliche Risiken für ausländische Hersteller. Die chinesische Regierung verfolgt eine klare industriepolitische Strategie mit den Zielen, lokale Emissionen in Ballungszentren zu reduzieren aber auch die heimische Automobilindustrie zu stärken.

<sup>6</sup> Bemerkenswert ist zudem, dass trotz massiver Förderung und industriepolitischer Maßnahmen weniger als 3% der Konsumenten in Japan ein Brennstoffzellenfahrzeug präferieren würden.

## 2.1.2 Batterien – das fehlende Teil im Wertschöpfungspuzzle

Der Erfolg von elektrischen Fahrzeugen hängt eng mit der Qualität der eingesetzten Batterien zusammen, die als Energiespeicher Leistungsfähigkeit und Reichweite bestimmen. Zum jetzigen Stand der Technik kommen in Fahrzeugen überwiegend Lithium-Ionen-Akkus zum Einsatz. Gegenwärtig ist die deutsche Automobilindustrie (fast) vollständig auf den Import von Batteriezellen aus dem Ausland – insbesondere Japan, Korea und China – angewiesen. Diese strategische Standortentscheidung spielt in der aktuellen Diskussion eine wichtige Rolle. Die Fertigung von Batterien lässt sich grob in drei Schritte einteilen (Kim et al. 2016), wobei zusätzlich auch die Weiterverwendung der ausrangierten Akkus mitberücksichtigt werden sollte (Tabelle 3).

Tabelle 3: Schritte der Batteriefertigung und geschätzte Wertschöpfungsanteile

| Schritt                             | Beschreibung  | Anteil Wertschöpfung |
|-------------------------------------|---|----------------------|
| <b>Materialien und Komponenten</b>  | Herstellung der Materialien und Komponenten für die Zelle, insbesondere des Materials für die Kathode und Anode.  | 40-70%               |
| <b>Zellfertigung</b>                | Die Fertigung der einzelnen Batteriezellen.   | 5-40%                |
| <b>Montage der Batterie</b>         | Im dritten Schritt werden Zellen zu Packs und dann zum Batteriesystem zusammengesetzt. Architektur und Gehäuse der Batterie müssen auf das Fahrzeug abgestimmt sein, sowohl im Hinblick auf die physische Gestalt als auch auf die Steuerung. | 15-20%               |
| <b>Recycling oder Weiternutzung</b> | Nach Ende der Verwendung der Batterie im Fahrzeug können knappe Rohstoffe zurückgewonnen werden – alternativ können sie in stationären Anwendungen weiter Verwendung finden.  | Nicht eingerechnet   |

Quellen: CAR<sup>7</sup>, e-mobil BW (2019), eigene Darstellung

Ein erheblicher Anteil der Wertschöpfung – je nach Schätzung bis zu 70 Prozent – fällt demnach bei der **Produktion von Materialien und Komponenten** an. Gerade bei den Materialien für Kathoden und Anoden besteht außerdem erheblicher Forschungsbedarf, etwa um die Abhängigkeit vom teuren Material Kobalt, das zudem unter schwierigen politischen und ökologischen Bedingungen gewonnen wird, zu verringern, oder um die Stabilität und Anzahl der Ladezyklen zu erhöhen. In diesem Bereich sind deutsche Konzerne (zum Beispiel die BASF) in der Produktion aktiv. Darüber hinaus wird sowohl von Firmen als auch von Universitäten und Instituten intensiv geforscht.

Die öffentliche Diskussion kreist aktuell vor allem um die **Zellproduktion**. Hierbei handelt es sich um einen hochgradig kapital- und energieintensiven Prozess. Zur Reduktion der Stückkosten müssen Hersteller auf Skaleneffekte und Automatisierung setzen. Dies bedeutet allerdings, dass mit der Zellfertigung eine relativ geringe Beschäftigungswirkung vor Ort einhergeht. Der Energieaufwand in der Zellfertigung ist erheblich: Rund 20 Prozent des im Lebenszyklus eines BEV anfallenden CO<sub>2</sub> (bei 150.000 gefahrenen km) oder rund 40 Prozent des gesamten CO<sub>2</sub>-Ausstoßes in der

<sup>7</sup> Ergebnisse zitiert aus Welt (2019a).

Produktion des Fahrzeuges entfallen auf die Produktion der Batterie<sup>8</sup> (Europäisches Parlament 2018). Dies hat zwei unmittelbare Konsequenzen für die Produktion in Deutschland: Zum einen machen höhere Strom- und Energiekosten die Fertigung und damit das Endprodukt vergleichsweise teuer. Zum anderen sollte der in der Fertigung eingesetzte Strom in die Energiebilanz des Fahrzeuges eingerechnet werden. Je „sauberer“ der in der Zellfertigung verwendete Strom, desto geringer ist der tatsächliche CO<sub>2</sub>-Ausstoß pro km der Fahrzeuge, in welche die Zellen eingebaut werden. Dieser Tatsache trägt beispielsweise das schwedische Unternehmen Northvolt Rechnung, das in Kooperation mit u.a. bayerischen Automobilherstellern strategisch auf Batteriefertigung mit Ökostrom setzt.

Im dritten Schritt werden die einzelnen Batteriezellen zu Packs, beziehungsweise zum finalen **Batteriesystem** zusammengesetzt. Die zusätzliche Wertschöpfung entsteht hier durch Software und Elektronikkomponenten insbesondere zur Batteriesteuerung und für das Temperaturmanagement – Faktoren, die für die Leistung der Batterie kritisch sind und für die sich Investitionen in Forschung und Entwicklung daher unmittelbar auszahlen. Diesen Bereich der Fertigung führen deutsche Hersteller (und Zulieferer) weitestgehend selbst durch. Entscheidende Faktoren aus Umwelt- und Klimaschutzsicht sind schließlich, wie ausrangierte Batterien recycelt oder weiterverwendet werden. Gerade in diesen Bereichen kann es zudem neue nachhaltige Geschäftsmodelle geben (Berylls 2018), die mehr Aufmerksamkeit verdienen.

Zuletzt wurden aus verschiedenen Gründen Rufe nach Subventionen und einer deutschen oder europäischen Investitionsanstrengung in die Zellfertigung laut; auch in der nationalen Industriestrategie des Wirtschaftsministerium (BMWi 2019) ist diese Forderung verankert.

- 1) Aktuell machen die Batterien in BEVs einen erheblichen Anteil der Kosten und Wertschöpfung der Fahrzeuge aus – im Durchschnitt entfallen Schätzungen zufolge rund 35-40 Prozent der Gesamtkosten von reinen Elektrofahrzeugen auf ihre Batterien (BCG 2018a, Berylls 2018). Allerdings gehen Prognosen davon aus, dass die Kosten für Batteriezellen bis 2025 um 30-45 Prozent fallen werden (BCG 2018b).
- 2) Die Zellfertigung führe zur Sicherung von Arbeitsplätzen, die in anderen Fertigungsbereichen aufgrund der geringeren technischen Komplexität von Elektroautos verloren gehen könnten.
- 3) Mögliche Lieferknappheit bei Batteriezellen könnten den Hochlauf der Produktion von elektrischen Fahrzeugen in Deutschland behindern; diesem Problem könne man durch eigene Fabriken entgegenwirken.

Keines dieser Argumente hält einer genauen Betrachtung stand. Tatsächlich ist der Wertschöpfungsanteil der reinen Zellfertigung im Vergleich zu (teuren) Komponenten und Materialien relativ gering, es ist daher nicht klar ersichtlich, weswegen diese besonders förderungswürdig ist.<sup>9</sup> Im Hinblick auf die Sicherung der Beschäftigung ist fraglich, welche Wirkung durch die hochautomatisierten Anlagen erzielt werden kann. Hinsichtlich möglicher Lieferknappheiten und resultierender Preisschocks bei Batteriezellen deutet aktuell vieles darauf hin, dass zwischen den dominierenden Anbietern aus China, Japan und Korea effektiver Wettbewerb herrscht (BNEF 2019). Manche Marktbeobachter gehen sogar von nachhaltigen globalen Überkapazitäten bei Batteriezellen bis ins Jahr 2030 aus (Berylls 2018). Nichtsdestotrotz hat sich VW entschieden, in eine eigene

<sup>8</sup> Unterstellt wird der durchschnittliche europäische Strom-Mix beim Laden der Akkus im Gebrauch des Fahrzeuges.

<sup>9</sup> Aktuell liegt der deutsche Wertschöpfungsanteil in der Herstellung von Batterien laut der amtlichen Statistik bei rund 14 Prozent. Die Zuliefererketten in der Automobilbranche sind generell international eng verzahnt. Bei Verbrennungsmotoren liegt der deutsche Wertschöpfungsanteil bei ca. 20 Prozent.

Zellfertigung am Standort Salzgitter zu investieren, in der die Produktion innerhalb von vier Jahren anlaufen könnte. Diese Investition stellt den Bedarf nach Anschubsubventionen zusätzlich infrage und unterstreicht das grundlegende Dilemma: Bereits jetzt werden Förderungen diskutiert, um die höheren Stromkosten im Betrieb der Fertigung auszugleichen (Handelsblatt 2019).

Ein weiteres Risiko in der Wertschöpfungskette ist die Verfügbarkeit der Rohstoffe, die für die Massenfertigung von Batterien für Elektroautos benötigt werden. Dies sind insbesondere Lithium, Kobalt, Nickel, Graphit und Platin. Man kann in diesem Zusammenhang unterscheiden zwischen der prinzipiellen geologischen Verfügbarkeit (gibt es die Rohstoffe in ausreichender Menge in prinzipiell erschließbaren Lagerstätten) und der möglichen kurz- oder mittelfristigen Versorgungsknappheit. Laut den existierenden Studien können selbst bei einer zügigen weltweiten Umstellung auf Elektromobilität geologische Knappheit weitestgehend ausgeschlossen werden (Öko-Institut 2018, Europäisches Parlament 2018). Selbst in extremen Wachstumsszenarios würden laut Hache et al. (2019) bis zum Jahr 2050 kumulativ maximal 53 Prozent der verfügbaren geologischen Reserven benötigt.

Trotzdem kann es in Zukunft zu vorübergehender Versorgungsknappheit bei den benötigten Rohstoffen kommen. Die höchsten Risiken sehen Helbig et al. (2018) bei den Rohstoffen Lithium und Kobalt. Bei Lithium besteht die Möglichkeit, dass die Nachfrage zeitweise schneller wachsen könnte als die Förderung ausgeweitet werden kann. Rund die Hälfte der weltweiten Kobaltreserven liegt im Gebiet der demokratischen Republik Kongo – die dortige Förderung wird als politisch riskant eingestuft (Europäisches Parlament 2018).

### 2.1.3 Auswirkungen auf Industrie und Zulieferer in Bayern

Für die Firmen in Bayern ist klar abzusehen, dass im aktuellen Markt- und Regulierungsumfeld eine zunehmende Umstellung auf Elektromobilität stattfinden wird. Gleichzeitig muss aber das „konventionelle“ Produktportfolio gepflegt und fortentwickelt werden, da konventionelle Antriebe aufgrund regulatorischer Auflagen effizienter und sauberer werden müssen. Die Hersteller und Zulieferer stehen damit vor einer doppelten Herausforderung – den Wandel zu gestalten, ohne das heutige Kerngeschäft zu vernachlässigen.

Aufgrund der einfacheren Architektur von Elektroautos bedeutet dieser Wandel für Zulieferer bestimmter Produktgruppen, dass sich ihre Nachfrage proportional zur Umstellung verringern wird. Die Geschwindigkeit dieser Reduktion – des „Fade-Outs“ – hängt dabei von der Marktdurchdringung mit BEVs ab. Da in Hybridfahrzeugen sowohl konventionelle als auch elektrische Antriebsstränge verbaut werden, vergrößert dieses Marktsegment hingegen für Zulieferer sogar tendenziell die Menge der lieferbaren Teile.

Tabelle 4 stellt die Produktkategorien dar, die vom Wandel vom Verbrenner zum BEV betroffen sind – je höher der globale Anteil an BEVs an den Neuzulassungen sein wird, desto mehr geraten die Hersteller der entsprechenden Produktkategorien unter Druck.

Tabelle 4: Von einem Fade-Out betroffene Komponenten

| Komponente                   | Betroffenheit                    |
|------------------------------|----------------------------------|
| Verbrennungsmotor            | Nicht mehr benötigt              |
| Auspuff- und Abgasanlage     | Nicht mehr benötigt              |
| Lichtmaschine                | Nicht mehr benötigt              |
| Kraftstoffpumpen und -filter | Nicht mehr benötigt              |
| Getriebe                     | Wesentlich geringere Komplexität |
| Bremsen und Bremsbeläge      | Reduzierter Verschleiß           |

Quelle: Falck et al. (2017), e-mobil BW (2019)

In amtlichen Statistiken werden für Bayern der Produktionswert und die Beschäftigung auf der Stufe der betroffenen Produktkategorien nicht erfasst – wir können allerdings anhand von anderen existierenden Daten eine Abschätzung vornehmen. Falck et al. (2017) zeigen anhand der fein gegliederten deutschen Produktionsstruktur, dass deutschlandweit rund 600.000 Industriearbeitsplätze in Verbindung zum klassischen Verbrennungsmotor stehen (Stand 2015), hiervon rund 130.000 Arbeitsplätze in kleinen und mittelständischen Unternehmen mit weniger als 500 Beschäftigten. Über die Branchenstruktur in Deutschland und im Freistaat lässt sich hierauf basierend rechnerisch der entsprechend Wert für Bayern ermitteln. In Bayern wären dann rund 137.000 Arbeitsplätze – also mehr als jeder Dritte Arbeitsplatz im Automobilcluster – grundsätzlich vom Technologiewandel weg vom Verbrennungsmotor betroffen. Davon entfallen rechnerisch rund 55.000 betroffene Arbeitsplätze in Bayern auf Zulieferer dieser Produktkategorien.<sup>10</sup> Im Vergleich: In Baden-Württemberg sind rund 70.000 der ca. 470.000 Beschäftigten in der Produktion von Antriebssträngen tätig (e-Mobil BW 2019). Der betroffene Anteil wäre also in Bayern mit rund 16,1 Prozent an der Gesamtbeschäftigung im Cluster etwas höher als in Baden-Württemberg (14,9 Prozent). Hierzu korrespondiert ein Produktionswert im Bereich konventioneller Antriebe in Bayern von geschätzt 21,3 Prozent des Gesamtwerts der Branche (vbw 2018) – die Produktivität (oder die vorangegangene Wertschöpfung) ist im betroffenen Bereich demnach überdurchschnittlich hoch.

Welcher Anpassungsdruck zeitlich auf den Zulieferern und Herstellern lasten wird ist davon abhängig, ob und wie schnell die Dominanz von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren im weltweiten Markt durchbrochen wird – diesbezüglich herrscht noch hohe Unsicherheit. Für Baden-Württemberg wird der Anteil der bis 2030 vom Fade-Out betroffenen Beschäftigten in diesen Produktkategorien je nach Szenario mit 27 – 56 Prozent beziffert (e-Mobil BW 2019). Treiber hierfür ist der Wandel im globalen Absatz von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren. Von den 55.000 prinzipiell betroffenen Arbeitsplätzen bei Zulieferern in Bayern wären bis 2030 bei gleichem Anteil rechnerisch ca. zwischen 15.000 und 31.000 Beschäftigte vom technologischen Fade-Out betroffen. Hierbei handelt es sich um Arbeitsplätze mit aktuell überdurchschnittlicher Produktivität und dementsprechend relativ hohen Gehältern. Anzumerken ist zudem, dass diese Einschnitte nicht notwendigerweise zum Ende des Betrachtungszeitraums anfallen müssen: In der Region Bamberg

<sup>10</sup> Es ist davon auszugehen, dass Fertigung und Endmontage von Automobilen mehr Anpassungsflexibilität erlauben. Im Nissan-Werk in Sunderland (UK) laufen rein elektrische Leafs und Modelle mit konventionellen Motoren vom gleichen Band. Diese Flexibilität streben die bayrischen Hersteller bei ihren aktuellen Investitionen in Produktionsstätten ebenfalls an. Schließlich erwarten VW und BMW aufgrund der Elektromobilität keinen Rückgang der eigenen Fahrzeugnachfrage (vbw 2018b).

hat Bosch in der Fertigung von Teilen für Verbrennungsmotoren im Rahmen der Kontroversen um den Diesel bereits ca. 200 Entlassungen vorgenommen (SZ 2019) – allein an diesem Standort sind für das Unternehmen aktuell mehr als 7.000 Beschäftigte im Bereich Antriebsaggregate tätig. Hinsichtlich der nötigen Anpassungen bei Beschäftigten strebt Bosch allerdings an, auf den graduellen Wandel bei Antriebstechnologien ausschließlich über Altersfluktuation zu reagieren (WiWo 2019).

Der Wandel birgt darüber hinaus auch erhebliche Herausforderungen für Werkstätten, die Fahrzeuge reparieren und warten. Die geringere Komplexität von Elektrofahrzeugen sollte die Wartung erheblich vereinfachen, zudem gibt es weniger Verschleißteile – es drohen Umsatzverluste. Dieser Effekt wird aber verzögert eintreten, da sich der Bestand der Fahrzeugflotte auf der Straße – also die Fahrzeuge, die gewartet werden müssen – weniger schnell wandelt als die Neuzulassungen. Bereits kurz- und mittelfristig müssen Werkstätten allerdings in die nötigen Kompetenzen, Infrastruktur und Schnittstellen investieren, um mit zunehmend vernetzten Hybridfahrzeugen und BEVs arbeiten zu können.

## 2.2 Autonomes Fahren (AF)

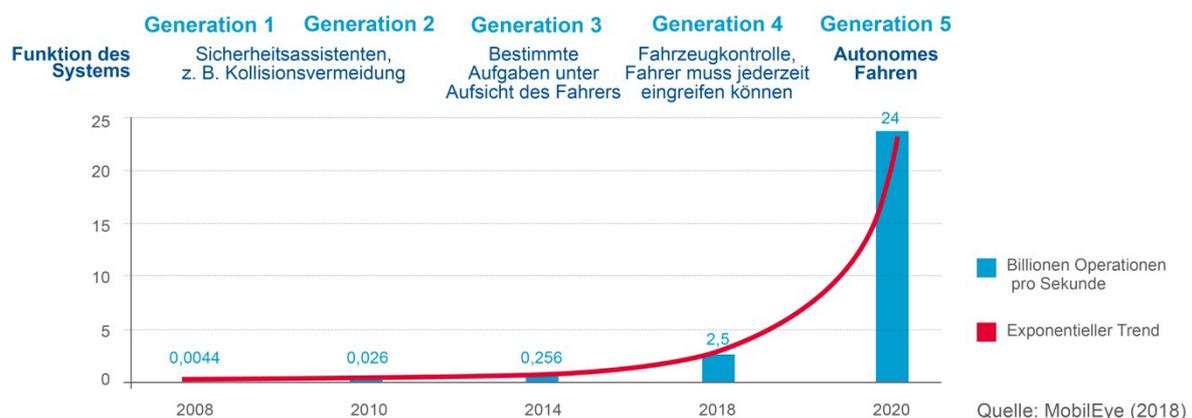
### 2.2.1 Treiber des Trends und Hemmnisse

In Zukunft werden Autos möglicherweise nicht nur ohne Verbrennungsmotoren auskommen, sondern auch ohne Lenkrad und Pedale und sich im Straßenverkehr voll autonom ohne Fahrer bewegen. Technisch erscheint dies bereits in naher Zukunft möglich; ein konkretes Beispiel verdeutlicht die rasante Entwicklung in diesem Bereich am besten: Seit Dezember vergangenen Jahres testet die amerikanische Firma Zoox autonome „Robotertaxis“ im Stadtgebiet von San Francisco, das durch hohe Verkehrsdichte und komplexe Straßenführung geprägt ist. Die Fahrzeuge verlassen sich neben Radar- und kostspieliger Lasersensorik (Lidar) auf hochgradig detaillierte digitale Karten der Stadt, welche ständig aufs Neue genau vermessen wird. Dementsprechend beschränkt sich ihr Einsatzraum – aktuell – noch auf die Stadt selbst. Die Fahrzeuge haben somit nach gängigen Klassifikationen (etwa vda 2015) die vierte Stufe (von fünf) des autonomen Fahrens erreicht: Sie können in einem vordefinierten Einsatzgebiet ohne Eingriff durch einen menschlichen Fahrer operieren. Der letzte verbleibende Schritt ist die Erweiterung des Einsatzgebiets auf eine beliebige Umgebung. Für die Entwicklung der aktuellen Technik hat Zoox nur rund fünf Jahre seit Firmengründung benötigt (Bloomberg 2019). Einige Großkonzerne aus dem Silicon Valley, insbesondere die Alphabet-Tochter Waymo und der Fahrdienstleister Uber, die jeweils eigene Robotaxis in Phoenix testen, stehen technisch ebenfalls an der Schwelle zum komplett autonomen Fahrzeug. Aufgrund der hohen Kosten der eingebauten Komponenten (insbesondere Lidar) zielen diese Stufe 5-Ansätze allerdings aktuell mehr auf den kommerziellen Betrieb als autonome Taxiflotte (siehe insbesondere auch Kapitel 2.4) als auf Serienfahrzeuge ab.

Etwas weniger im Licht der Öffentlichkeit – zumindest was Prototypen im alltäglichen Einsatz angeht – haben deutsche Zulieferer angeführt von Bosch im Bereich des autonomen Fahrens technologisch eine vergleichbar starke Position. Ein Ansatz zur Messung derselben ist ein Vergleich der Patente im Bereich AF. In einer Analyse der Datenbank Patentscope zeigt Bardt (2017), dass unter den Patentanmeldern im Bereich AF im Zeitraum 2010 bis Juli 2017 Bosch mit Abstand die Führungsrolle innehatte, gefolgt von Continental und Audi. BMW, VW und Daimler sorgen dafür, dass sich unter den zehn führenden Unternehmen sechs aus Deutschland finden. Mit Google ist laut der Analyse das erste branchenfremde Unternehmen auf Platz zehn angesiedelt. Seine Führungsrolle will Bosch weiter verteidigen, mit Investitionen von mindestens vier Milliarden Euro in den Bereich AF bis zum Jahr 2022; bis 2021 soll die Anzahl der Experten für Künstliche Intelligenz (KI) im Unternehmen auf 4.000 vervierfacht werden (WiWo 2019).

Der Fortschritt der Technik führt allerdings dazu, dass branchenfremde Zulieferer und Entwickler aus dem Prozessoren- und Chipsektor eine zunehmend zentrale Rolle spielen. Die verfolgten AF-Ansätze basieren darauf, dass Fahrzeuge ihren eigenen Zustand (Position, Geschwindigkeit, Abstände) und ihre Umgebung ständig mittels ausgefeilter Sensorik wahrnehmen. Es kommt typischerweise eine Kombination aus mehreren Kameras, Radar sowie Lidar zum Einsatz. Die verschiedenen hierbei entstehenden Bilder und Informationen müssen digital in Echtzeit zu einem 3D-Umgebungsmodell verarbeitet werden (Sensor-Fusion), damit anhand von spezialisierter Software die entscheidungsrelevanten Parameter erfasst, identifiziert und verarbeitet werden können. Basierend auf diesen Prozessen kann das Fahrzeug eigenständige Entscheidungen treffen und sowohl im Verkehr agieren als auch auf unerwartete Situationen reagieren. Angesichts der gewaltigen Datenmengen wird die Leistungsfähigkeit der eingesetzten Prozessoren zum entscheidenden Faktor – Fortschritte beim AF in den letzten zehn Jahren sind daher eng mit der Weiterentwicklung der eingesetzten Prozessoren verknüpft.

Abbildung 6: Entwicklung Leistung und Funktionen von Assistenzsystemen am Beispiel der Prozessoren von MobilEye



Diese Entwicklung stellt Abbildung 6 am Beispiel der Fahrassistentensysteme von MobilEye dar, das inzwischen zum Konzern des amerikanischen Chipherstellers Intel gehört. In den 12 Jahren zwischen 2008 und 2020 hat sich die Leistungsfähigkeit der Prozessoren des Systems um einen Faktor von 5450 auf dann 24 Billionen Operationen pro Sekunde vervielfacht.<sup>11</sup> Ab 2020 hat das System laut dem Hersteller die Kapazitäten, komplett autonomes Fahren zu unterstützen. Die rapide Entwicklung der Prozessorleistung spiegelt Moore's Law fast genau wider – hier ist somit ein zentraler Berührungspunkt zwischen der Automobilindustrie sowie der digitalen Welt und ihren Gesetzmäßigkeiten.

Entscheidend ist schließlich der Blick auf die Wertschöpfungskette. Hier haben sich in den letzten Jahren die amerikanischen Chiphersteller eine Schlüsselposition im Bereich Sensorik und Prozessoren erarbeitet und sind zu starken Wettbewerbern im Bereich der Fahrtassistentensysteme geworden; die deutschen OEMs haben darauf reagiert, indem sie jeweils Kooperationen mit mindestens einem der amerikanischen Konzerne eingegangen sind (Economist 2018).

<sup>11</sup> Der „Autopilot“ in Teslas Model S basierte beispielsweise von 2014 bis 2016 auf dem System der dritten Generation, welches seitens des Herstellers explizit nicht für autonomes Fahren vorgesehen war.

Zunehmend sind es nicht mehr technische, sondern eher regulatorische Schranken, welche die Einführung autonom agierender Fahrzeuge ausbremsen. Langfristig sollte ein internationales einheitliches Regelwerk das Ziel sein, um Skaleneffekte in der Produktion und im Lernen der KI zu maximieren. Mittelfristig wird es sich aber in der Entwicklung und Erprobung als Vorteil erweisen, wenn Gebietseinheiten wie Städte oder Bundesstaaten Bedingungen für den Testbetrieb autonomer Fahrzeuge vorgeben können. In dieser Hinsicht ist die höhere Flexibilität in anderen Ländern – vor allem in den USA (z.B. Cacilo et al. 2015) – aktuell ein Vorteil im internationalen Wettbewerb.

## 2.2.2 Auswirkungen auf Industrie und Zulieferer in Bayern

Aus Zulieferersicht sind die zusätzlichen Komponenten, die das autonome Fahren erfordert, ein interessantes und potentiell lukratives neues Geschäftsfeld. Im Bereich der Sensorik, der rund ein Drittel des Marktvolumens ausmacht, sind deutsche Hersteller mit einem Weltmarktanteil von mehr als 50 Prozent führend (Cacilo und Haag 2018). Die beiden Autoren errechnen insgesamt ein Wertschöpfungspotential durch AF in Deutschland von zwischen 15 und 21 Milliarden Euro im Jahr 2030.

Das autonome Fahren birgt aus heutiger Sicht aber auch drei erhebliche Risiken für die Hersteller und ihre Zulieferer in Bayern. Es besteht zum einen die Gefahr, dass OEMs in diesem Bereich den Anschluss an die internationale Konkurrenz zu verlieren. Die autonomen Fahrzeuge von Waymo haben nach der offiziellen Statistik des amerikanischen Zulassungsamtes in Jahr 2018 mehr als 2 Millionen Testkilometer in Kalifornien zurückgelegt. Dabei ergab sich im Durchschnitt alle 17.950 km eine Situation, welche das Auto nicht selbständig lösen konnte. Auf den nächsten Plätzen folgen GM Cruise (720.000 km gesamt, Eingriff alle 8.380 km) und Zoox (49.500 km, 3.920 km). Von den deutschen Herstellern getestet und berichtet nur Daimler in Kalifornien. Bei rund 2.800 Testkilometern musste das automatische System etwa alle 2,5 km passen – zwischen diesen Werten liegen mehrere Größenordnungen. Strategische Kooperationen (existiert etwa zwischen Daimler/BMW/Bosch) und gezielte Akquisitionen sollten eingesetzt werden, um den Abstand nicht zu groß werden zu lassen.

Das zweite Risiko, insbesondere aus bayerischer Sicht, liegt im sinkenden Differenzierungspotential. In selbstfahrenden Autos spielen Faktoren, durch die sich die bayerischen Premiumhersteller auszeichnen, eine wesentlich geringere Rolle. Zu nennen sind hier insbesondere Fahrdynamik, Haptik oder die Präzision der Lenkung und das Kurvenverhalten. Im Gegenzug werden andere Faktoren wichtiger, in denen die Position der bayerischen Hersteller aktuell weniger stark ist. Aufgrund der freiwerdenden Aufmerksamkeit der ehemals fahrenden Person spielt hier insbesondere die Vernetzung eine wichtige Rolle, die im folgenden Kapitel besprochen wird. Diesen neuen Anforderungen an das Produkt und dementsprechend die eigenen Mitarbeiter müssen die Hersteller und ihre Zulieferer gerecht werden.

Das dritte zentrale Risiko ist der mögliche Effekt des autonomen Fahrens auf die (private) Fahrzeugnachfrage. Fahrerlose Fahrzeuge werden voraussichtlich weniger Zeit im geparkten Zustand verbringen, wodurch sich ihre Nutzung und Auslastung deutlich erhöhen werden. Somit werden in Zukunft in wohlhabenden, urbanen Settings insgesamt weniger Fahrzeuge benötigt. Das Ausmaß eines solchen Effekts ist in hohem Grad vom Entwicklungspfad der Adaption autonomer Fahrzeuge abhängig. In einem Szenario mit hohem Einfluss von und schneller Durchdringung mit AF schätzt McKinsey (2016), dass die globale Autonachfrage aufgrund geringerer privater Käufe im Jahr 2030 um etwa 18 Prozent geringer ausfallen könnte, also 23 Millionen weniger Autos von Privatleuten gekauft würden. Diese Absatzverluste würden nur zum Teil durch die Käufe von Anbietern von Mobilitätsdienstleistungen kompensiert (10 Millionen zusätzlich nachgefragte Autos). In den lang-

sameren Entwicklungsszenarien (siehe Abbildung 1) wäre dieser Effekt auf die Gesamtnachfrage vernachlässigbar klein.

Die Wirkungen des autonomen Fahrens auf Verkehrsemissionen sind nicht eindeutig. Weniger Autos werden jeweils längere Strecken zurücklegen, da ihre Auslastung höher ist. Problematisch wäre es, wenn Nutzer von öffentlichen Nahverkehrsmitteln auf bequemere Robotaxis umsteigen (Clements und Kockelman 2017), während der Nahverkehr von Komplementaritäten auch profitieren könnte (Hall et al. 2018). Hier spielt die Ausgestaltung der Regulierung eine entscheidende Rolle (OECD 2019), wie wir im Abschnitt 2.4 diskutieren. Im Hinblick auf die erhofften Umwelteffekte durch geringere Staubildung und Verbesserung des Verkehrsflusses zeigen Simulationsergebnisse, dass erst ab einer relativ hohen Automatisierungsquote von mehr als 50 Prozent fühlbare Verbesserungen (und damit auch Emissionsreduktionen) bei einer gegebenen Gesamtanzahl von Fahrzeugen zu erwarten sind (Calvert et al. 2017).

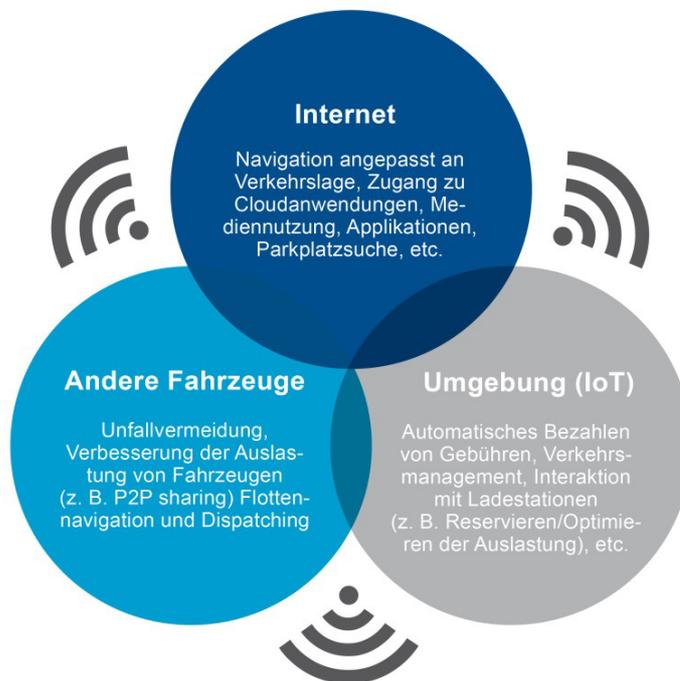
## 2.3 Vernetzte Fahrzeuge – Treiber und Wirkungen

Wie im vorangegangenen Kapitel dargestellt wurde, sind moderne Fahrzeuge mit Kapazitäten zur Erfassung und Verarbeitung großer Datenmengen ausgerüstet. Diese Kapazitäten lassen sich selbstverständlich nicht nur für das autonome Fahren und Fahrassistenz verwenden, sondern können in einer Vielzahl von weiteren Anwendungen zum Einsatz kommen, zum Beispiel im Bereich Sicherheit bei Unfällen: In der EU müssen seit April 2018 neu zugelassene Fahrzeuge im Rahmen des eCall-Programms in der Lage sein, im Fall eines schweren Unfalls (den das Fahrzeug erkennt) automatisch einen Rettungsruf abzusetzen, um schnellere Hilfe zu gewährleisten.<sup>12</sup> In diesem Rettungsruf werden an die Ersthelfer die Position des Fahrzeugs, die Fahrtrichtung und der Unfallzeitpunkt übermittelt. Somit müssen in der EU alle neuen Fahrzeuge in der Lage sein, selbständig Daten zu erfassen und auszutauschen. Bereits heute sind alle Neufahrzeuge in der EU somit „vernetzt“. Verschiedene Studien prognostizieren bis 2030 einen weltweiten Markt für IKT-Hardware und digitale Anwendungen mit einem Volumen von 60 Milliarden Euro (Cacilo und Haag 2018) bis mehr als 220 Milliarden Euro (McKinsey 2017). Wie wir im Folgenden diskutieren, wird dieser Markt aber durch starke Neueinsteiger aus der Internetbranche sehr umkämpft sein.

Für die fahrende Person und andere Autoinsassen kann die Vernetzung des Autos erheblichen Mehrwert schaffen. Wie Abbildung 7 verdeutlicht, ist dabei der Zugang zum klassischen Internet nur eine Komponente, um etwa Routenoptimierung zu betreiben oder cloudbasierte Anwendungen oder Applikationen zu nutzen. Die Vernetzung zu anderen Fahrzeugen, bzw. zu Dingen in der Umgebung, birgt darüber hinaus erhebliches Potential. Miteinander kommunizierende Autos können Kollisionen sogar dann vermeiden, wenn sie sich außer Sicht voneinander befinden. Eine Flotte vernetzter Fahrzeuge kann nicht nur individuelle Routen, sondern die Positionierung und Wege der gesamten Flotte (und damit deren Energieverbrauch) optimieren. Interaktion mit der Umgebung kann ebenfalls zur Sicherheit beitragen, beispielsweise wenn ein Fahrzeug über Probleme mit der Fahrbahnbeschaffenheit gewarnt wird. Darüber hinaus bieten sich neue Mittel zur Entlastung von Ballungsräumen, etwa durch optimierte Erhebung von Straßengebühren. BEVs werden mit Ladestationen kommunizieren müssen, um eine effiziente Auslastung zu erreichen. Über die Funktionen „im Auto“ hinaus bietet die Vernetzung somit die Möglichkeit, durch den Autoverkehr entstehende Probleme und Externalitäten zu reduzieren.

<sup>12</sup> Siehe zum Beispiel <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/ecall-all-new-cars-april-2018> (aufgerufen Juni 2019).

Abbildung 7: Grad der Vernetzung und daraus entstehende Möglichkeiten



Eigene Darstellung

Hinsichtlich der Hardware müssen Hersteller entscheiden, ob sie IKT-Komponenten fest verbauen oder zumindest zum Teil auf die Funktionalitäten der mobilen Geräte der Autoinsassen zurückgreifen, zum Beispiel zum Abruf von Medieninhalten oder zur Nutzung von Apps über Monitore im Auto (vbw 2018a). Den Herstellern entgeht in diesem Fall etwas Wertschöpfung, allerdings kommt auf diesem Weg auch bei älteren Autos noch aktuelle Smartphone-Technik zum Einsatz, die den Präferenzen der Insassen entspricht.

Das Betriebssystem des Autos ist quasi die Schnittstelle zwischen Mensch und Automobil. Es trägt somit erheblich zum Nutzen der Insassen bei. Aufgrund des signifikanten Entwicklungs- und Programmieraufwandes war dies in der Vergangenheit eine Möglichkeit für Premiumanbieter, sich qualitativ von der Konkurrenz zu differenzieren. Mit Android Automotive OS hat Google im Mai 2019 ein open-source Betriebssystem mit Fokus auf BEVs auf den Markt gebracht, das ab 2020 im Volvo Polestar 2 zum Einsatz kommen wird (Welt 2019b). Alle Hersteller können in Zukunft entscheiden, ob sie erhebliche Ressourcen investieren, um eine eigene Betriebssoftware zu entwickeln und auf dem neuesten Stand zu halten, oder sich dem Android Automotive Ökosystem anschließen und diesen Wertschöpfungsbereich für sich aufgeben.

Ein wichtiger Aspekt ist im Zusammenhang mit dem vernetzten Betriebssystem des Autos die Möglichkeit, Funktionalitäten (z.B. Sprachsteuerung, Fahrassistenzsysteme oder Unterhaltungssoftware) jederzeit über das Internet aktualisieren oder erweitern zu können. Wie bei allen mit dem Internet verbundenen Geräten öffnet sich hierdurch aber auch die Möglichkeit von Hacker-Angriffen auf Fahrzeuge – je höher der Grad der Automatisierung des Fahrzeugs, desto schlimmer sind die möglichen Folgen eines solchen Angriffs (Parkinson et al. 2017). Diese Risiken bergen zugleich das Potential eines schnell wachsenden neuen Geschäftsfelds im Bereich der digitalen Sicherheitslösungen, das in Deutschland noch weitestgehend brach liegt (vwd 2018b).

Beim Betrieb des Autos entsteht ein gewaltiger Strom an Daten, zum Beispiel aus den Sensoren, Navigations- und Sicherheitssystemen. Diese Daten sind potentiell für viele verschiedene Akteure wertvoll, da sie beispielsweise Rückschlüsse auf Fahrverhalten und Vorlieben der Besitzer, auf den Zustand und Verschleiß des Fahrzeugs sowie auf die genutzte Infrastruktur zulassen. Diese Daten können einerseits genutzt werden, um Premiumdienste wie Predictive Maintenance oder an das Fahrprofil angepasste Versicherungs- und Finanzierungskonditionen anzubieten. Dieser Wissensvorsprung würde Hersteller wie Tesla – die im Bericht zum ersten Quartal 2019 eigene Versicherungsprodukte angekündigt haben – als Anbieter von Versicherungsleistungen einen systematischen Wissensvorsprung gegenüber unabhängigen Anbietern verschaffen.

Andererseits stellen die generierten Datenmengen Automobilhersteller, die sich typischerweise über Premiumdienste die Rechte an den zugrundeliegenden Daten sichern, vor die Herausforderung, diese Datenmengen in einer auswertbaren Form zu speichern und zu analysieren. Hier ergibt sich ein weiteres Anwendungsfeld, in dem Digitalkonzerne in den Automobilsektor streben: Diese Daten werden nicht mehr lokal im Auto gespeichert, sondern in dedizierte Clouds hochgeladen, wie zum Beispiel die von Microsoft betriebene Volkswagen Automotive Cloud, weil den OEMs in diesem wichtigen Zukunfts-Feld nach eigenen Aussagen die Kompetenzen fehlen.<sup>13</sup> In diesen Bereichen, Software und Data Analytics, drohen somit bereits mittelfristig Abhängigkeiten von den dominierenden amerikanischen Internetfirmen wie Google (Software) sowie Amazon, IBM und Microsoft (Cloud) zu entstehen.

## 2.4 Alternative Mobilitätskonzepte – Treiber und Wirkungen

Um innerhalb einer Stadt von einem Punkt zum anderen zu gelangen, stehen eine Vielzahl von Verkehrsangeboten zur Verfügung. Solche im Eigentum (z.B. Auto oder Fahrrad) konkurrieren mit öffentlichen Verkehrsbetrieben (Bus, S-Bahn und U-Bahn) und privaten Anbietern (klassische Taxiunternehmen und Fahrdienstleister wie Uber oder Lyft) sowie kurzfristigen Möglichkeiten zum Mieten von Fahrrädern, E-Bikes und in naher Zukunft E-Rollern. Je günstiger, schneller und komfortabler das Angebot an alternativen Mobilitätsmöglichkeiten oder Shared Mobility wird, desto geringer ist der Anreiz, in ein eigenes Auto zu investieren. Gleichzeitig steigt aber auch der Anreiz von öffentlichen Nahverkehrsmitteln auf Fahrdienstleister umzusteigen, was in der Realität zu beobachten ist (Graehler et al. 2019).

Laut einer Studie von McKinsey würde die private Fahrzeugnachfrage im Jahr 2030 aufgrund der neuen Alternativen substantiell ca. 10 Prozent sinken, was die höhere Nachfrage durch Anbieter von Mobilitätslösungen selbst bereits einschließt (McKinsey 2016). Die Bedeutung alternativer Mobilitätsangebote wird bis 2030 sprunghaft zunehmen. Im Jahr 2016 lag der Anteil dieser Angebote an den Gesamtumsätzen im Automobilsektor weltweit bei weniger als 2 Prozent; bis 2030 wird laut einer weiteren Studie ein massiver Anstieg auf mehr als 30 Prozent der Branchenerlöse prognostiziert (McKinsey 2017).

Vor diesem Hintergrund ist es von hoher Bedeutung, die Auswirkungen dieser Angebote besser zu verstehen. Zwei Wirkungen sind in jedem Fall eher positiv: Zum einen betreiben Fahrdienstleister überdurchschnittlich moderne und effiziente Fahrzeuge (OECD 2019). Das bedeutet aber zugleich, dass sich die durchschnittliche Kaufentscheidung im Markt stärker in Richtung des Kriteriums der Gesamtkosten des Betriebs (total cost of ownership, TCO) verschieben wird, da kommerzielle Be-

<sup>13</sup> Siehe z.B. <https://www.volkswagenag.com/en/news/stories/2019/02/microsoft-and-volkswagen-jointly-develop-software.html>.

triebe dieses Kriterium heranziehen. Für Premiumhersteller stellt dies ein Risiko dar. In diesem Kontext werden autonome Fahrzeuge laut der Fahrdienstbranche selbst eine kritische Rolle spielen, da auf diese Weise Fahrergehälter eingespart werden können.<sup>14</sup> Die zweite positive Wirkung des steigenden Marktanteils alternativer Mobilitätsangebote liegt darin, dass weniger private Fahrzeuge in den Innenstädten um knappen Parkraum konkurrieren (OECD 2019).

Im Hinblick auf die Auswirkungen auf den Ausstoß von Treibhausgasen durch den Verkehr ist der entscheidende Hebel die Anzahl der zurückgelegten KFZ-Kilometer. Hierfür ist entscheidend, ob der Verzicht auf das eigene Auto oder der Umstieg von Bussen und Bahnen auf einen Fahrdienstleister in der Summe die größere Wirkung hat. Um diese Frage zu untersuchen, erstellten OECD (2019) ein komplexes Simulationsmodell, welches zudem die Variation verschiedener Regulierungsparameter zulässt. Sie vergleichen ein Szenario, in dem die Entwicklung der Fahrdienstleister von Regulierung weitestgehend unbeeinflusst bleibt, mit einem Regulierungsszenario, in dem Shuttledienste auf existierende Nahverkehrsnetze hin ausgerichtet werden und Anreize dafür geschaffen werden, geringere Auslastung von Fahrzeugen und Leerfahrten zu vermeiden. In beiden Szenarien wächst der Markt für alternative Mobilitätsdienste etwas schneller als im business as usual-Szenario (BAU). Die Ergebnisse in Tabelle 5 lassen sich dahingehend interpretieren, wie der wachsende Shared-Mobility Markt aus Emissionsgesichtspunkte reguliert werden sollte. Sie zeigen, dass ein höherer Anteil von Shared Mobility ohne zusätzliche Regulierungsbemühungen dazu führen wird, dass bis 2030 die Fahrzeugkilometer um 5 Prozent (2050: 6 Prozent) und der CO<sub>2</sub>-Ausstoß des Verkehrs sogar um 15 Prozent (2050: 18 Prozent) steigen würde. Mit den flankierenden Regulierungsmaßnahmen hingegen, die auf höhere Nutzung der Fahrzeuge und auf Anbindung auf den ÖPNV ausgerichtet sind, lassen sich bis 2030 die Fahrzeugkilometer um 24 Prozent gegenüber dem BAU-Szenario senken (2050: -51 Prozent) und der CO<sub>2</sub>-Ausstoß sinkt um 3 Prozent, beziehungsweise bis 2050 sogar um 34 Prozent. Nur mit sinnvoller Regulierung können alternative Mobilitätskonzepte somit zum Erreichen der Klimaziele einen positiven Beitrag leisten.

Tabelle 5: Simulationsergebnisse zu Shared Mobility und Regulierung

| Prozentuale Veränderungen im Vergleich zu BAU-Szenario            |              |      |             |      |                          |      |
|---|--------------|------|-------------|------|--------------------------|------|
| Szenario  | Passagier-km |      | Fahrzeug-km |      | CO <sub>2</sub> -Ausstoß |      |
|   | 2030         | 2050 | 2030        | 2050 | 2030                     | 2050 |
| Wenig Regulierung<br>(Nutzungsmuster bleiben wie aktuell)         | 6            | 5    | 5           | 6    | 15                       | 18   |
| Stärkere Regulierung<br>(höhere Auslastung und Anbindung an ÖPNV) | 1            | -4   | -24         | -51  | -3                       | -34  |

Quelle: OECD (2019)

<sup>14</sup> Lyft bringt dieses Argument beispielsweise in seinem offiziellen Börsenprospekt zur Zeichnung an der NYSE vor, siehe: <https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1759509/000119312519059849/d633517ds1.htm>. Dieses Argument wird allerdings von einer neuen Studie am MIT in Zweifel gezogen (Nunez und Hernandez 2019).

Im Shared-Mobility findet sich außerdem noch ein weiterer Bereich, in dem die Gesetzmäßigkeiten des Internets anscheinend auf die Autobranche treffen: Mit Lyft und Uber haben im Jahr 2019 bereits zwei sogenannte Mobilitätsplattformen ihr Debut an der Börse mit Milliardenbewertungen gefeiert. Die beiden Unternehmen eint neben der Branche auch, dass sie noch nie profitabel waren und jede Fahrt mit ihrem Dienst subventionieren. Das Kalkül der Firmen ist in der Theorie zweiseitiger Märkte begründet: Sie verstehen sich als Vermittler, der Mobilitätsnachfrager (die Kunden) mit Mobilitätsanbietern (den einzelnen Fahrern) in Verbindung setzt. Da beide Firmen die Fahrtpreise relativ niedrig setzen, um mehr Kunden anzuziehen, decken die Erlöse die Fahrergehälter und sonstigen Kosten nicht ab. Damit sich das Geschäft auf Dauer lohnen kann, müssen Netzwerkeffekte greifen: Die Kunden- und Fahrerbasis muss jeweils so wachsen, dass das Unternehmen im Markt der „natürliche“ Anbieter wird und die Preise erhöhen kann. Im Geschäftsmodell in seiner jetzigen Form ist das Streben nach Marktdominanz (auf Kosten vorübergehender Verluste) angelegt.

## 2.5 Disruption entlang der Wertschöpfungskette

In der Besprechung der Treiber und Auswirkungen der einzelnen Trends haben wir verschiedene Wirkungskanäle beschrieben, die zu einem Wandel der verschiedenen Wertschöpfungsstufen in der Automobilindustrie führen.

Tabelle 6 fasst zusammen, welche Trends die einzelnen Stufen besonders beeinflussen (markierte Felder) und beschreibt kurz die Mechanismen.

Tabelle 6: Einfluss der CASE-Trends auf einzelne Wertschöpfungsstufen – Übersicht

| Wertschöpfungsstufe  | C<br>onnec-<br>ted  | A<br>utono-<br>mous   | S<br>hared  | E<br>lectric  | Beschreibung  |
|--|---|---|---|---|---|
| <b>Rohstoffe</b>   |   |   |   |    | Bedarf an Batteriematerialien, insbesondere Lithium und Kobalt; Kohlenfasern zum Ausgleich von Gewichtsnachteilen   |
| <b>Komponenten</b>   |   |    |   |    | Fade-out von Antriebsstrangkomponenten; zentrale Rolle der Batterie; erheblicher Wert der Komponenten für AF  |
| <b>Fahrzeugmontage</b>                                     |   |   |   |    | geringere Fertigungskomplexität bei BEVs  |
| <b>Vertrieb</b>  |   |   |   |   | Möglichkeit der Nutzung von generierten Daten für Vertriebszwecke; zunehmende Bedeutung digitaler Geschäftsmodelle; Verkauf zunehmend an Betreiber  |
| <b>Finanzierung<br/>Versicherung</b>                       |  |  |   |  | Aufgrund verfügbarer Daten über Fahrverhalten und Risiken haben Hersteller Vorteile bei Versicherung und Finanzierung   |
| <b>Werkstätten,<br/>Reparatur,<br/>Instandhaltung</b>      |  |  |  |  | Weniger Verschleißteile in BEVs; mittelfristig weniger Unfallschäden durch vernetzte, autonome Fahrzeuge; höhere Fahrleistung von shared Fahrzeugen; Investitions- und Weiterbildungsbedarf durch neue Antriebs- und Digitaltechnik |
| <b>Energieerzeugung und -zulieferung</b>                   |  |  |   |  | Energiebedarf des Verkehrs muss zunehmend über Strom abgedeckt werden; zusätzlicher Anreiz, Emissionen in der Stromerzeugung zu senken; Datenanalysen müssen dazu beitragen, Ladevorgänge effizient zu gestalten                    |
| Quelle: Eigene Darstellung angelehnt an Nieuwenhuis (2018) |   |   |   |   |   |

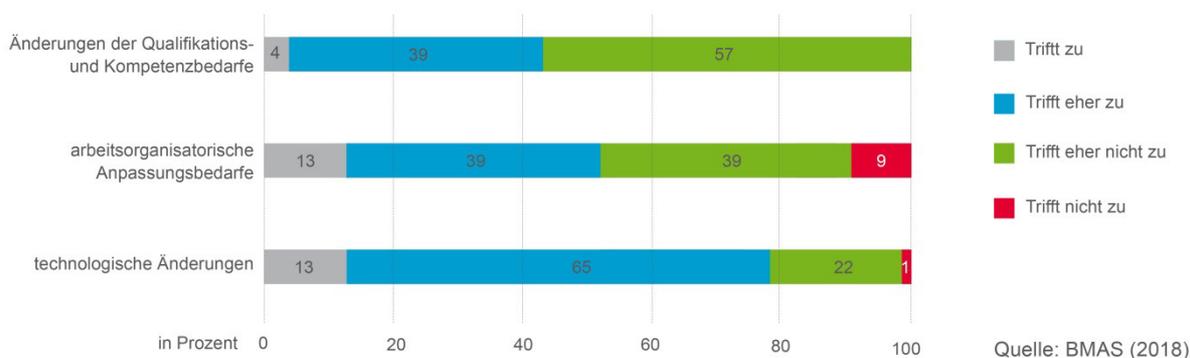
### 3 Auswirkungen auf Beschäftigte und Beschäftigung

Im Rahmen des Wandels der Mobilität wird es auch Verlierer geben. Wie im vorigen Kapitel dargestellt wurde, rechnen die Branchenunternehmen mit einem Fade-Out der Produktion von Komponenten, welche ausschließlich oder vordringlich in Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren zum Einsatz kommen – insbesondere betroffen ist der Antriebsstrang mit Motoren und Getriebe. Dieser Bereich beschäftigt in Bayern schätzungsweise 55.000 Personen, deren Produktivität (und somit wahrscheinlich Gehälter) oberhalb des Branchenschnitts liegen. Der potentielle Entlassungsdruck hängt von der Geschwindigkeit ab, mit der der weltweite Absatz von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren schrumpft. Legt man die gleichen Annahmen zugrunde wie andere existierende Studien, so wären bis 2030 etwa 15.000 – 31.000 gut bezahlte Arbeitsplätze betroffen. Bei einer graduellen Entwicklung kann dies laut Unternehmensvertretern durch die natürliche Altersfluktuation abgedeckt werden.

Vor dem Hintergrund der massiven technischen Umwälzungen im Zusammenspiel der vier CASE-Trends sind die Ergebnisse einer Delphi-Befragung von Unternehmen der Automobilindustrie durch das Bundesministerium für Arbeit und Soziales zur Zukunft der Beschäftigung besonders eindrücklich (BMAS 2018). Unternehmensvertreter wurden zu ihrer Einschätzung im Hinblick darauf befragt, wie gut ihr Unternehmen auf bestimmte Herausforderungen des Strukturwandels vorbereitet sei.

Abbildung 8: Wahrgenommene Herausforderungen des Strukturwandels

#### Unternehmen der Automobilindustrie sind vorbereitet auf zukünftige ...



Mit 78 Prozent der Befragten sah sich die überwiegende Mehrheit der Unternehmen auf die technologischen Änderungen vorbereitet (trifft zu oder trifft eher zu). Bei den notwendigen Veränderungen in der Arbeitsorganisation ist es nur noch ca. jedes zweite Unternehmen, das sich vorbereitet sieht (52 Prozent). Am wenigsten vorbereitet – insbesondere im Vergleich zu den reinen technologischen Änderungen – sahen sich die Unternehmen im Hinblick auf die geänderten Qualifikations- und Kompetenzbedarfe: Hier gaben nur 3 Prozent der Unternehmen an, die Aussage treffe zu, und 39 Prozent meinten zumindest, sie sei eher zutreffend; aber 57 Prozent der Antwortenden verorteten hier Probleme. Aus Sicht der Unternehmen werden sich dementsprechend die Rahmenlehrpläne für die berufliche Ausbildung in den kommenden Jahren radikal ändern müssen, 87 Prozent halten dies für wahrscheinlich (BMAS 2018). Wenig überraschend waren die meistgenannten Kompetenzen, deren Bedeutung in den kommenden 10 Jahren zunehmen wird, „IKT Kompetenzen“ und „Maschinen und vernetzte Systeme“ – hier gingen jeweils 78 Prozent der Antwortenden

von steigender Bedeutung aus. Hierzu passt die genannte Einstellungsinitiative von Bosch im Bereich KI.

Darüber hinaus gingen 95 Prozent der Antwortenden davon aus, dass die Rolle von informellem „on the job“ Lernen stark zunehmen werde – ein Grund hierfür ist, dass es noch an formellen Studien- und Weiterbildungsrichtung an der Schnittstelle zwischen Mobilität und Digitalisierung mangelt (Cacilo und Haag 2018). Qualifizierte Absolventen und Personen mit Berufserfahrung in diesen Bereichen sind begehrt und umkämpft. Ein Vorteil der Automobilhersteller und der prominenten Tier-1 Zulieferer ist, dass sie zu den Top-Arbeitgebern gezählt werden und damit Vorteile im Recruiting haben.<sup>15</sup>

Die Firma Dräxlmeier zählt hingegen zu den größeren Zulieferern, die weniger im Fokus der öffentlichen Aufmerksamkeit stehen. Das Unternehmen verfolgt eine innovative Strategie und hat hinsichtlich der Absolventenknappheit auf zwei Wegen mit Investitionen im Ausland die Initiative ergriffen: In der Republik Moldau hat die Firma einen Studiengang für Ingenieurwesen und Management im Fahrzeugbau inhaltlich mitgestaltet. Mit der rumänischen Universität Timisoara kooperiert die Firma im Studien- und Forschungsbereich Information Systems.<sup>16</sup> Nicht jede Firma verfügt allerdings über die Mittel, solche Initiativen umzusetzen – hieraus ergibt sich gemeinsamer Handlungsbedarf für Firmen, Hochschulen und Politik.

Einen wichtigen Schritt in diese Richtung stellen die Arbeit und die Beschlüsse des Zukunftsforums Automobil Bayern dar. Über die „Qualifizierungschance Automobil Bayern“ werden bis zum Jahr 2023 bis zu 50.000 Beschäftigungen auf sämtlichen Qualifikationsniveaus Angebote zur Weiterbildung eröffnet.

<sup>15</sup> Siehe zum Beispiel das aktuelle Focus Business Ranking der Top-Arbeitgeber (Focus 2019), bei dem BMW auf Platz 3 und Daimler auf Platz 5 landet. Auf der anderen Seite sind die beiden vordersten Plätze von SAP und Google belegt, die um ähnliche Bewerberprofile konkurrieren.

<sup>16</sup> Siehe <https://www.draexlmaier.com/unternehmen/verantwortung/mitarbeiter/>.

## 4 Empfehlungen an die Politik

Im Verlauf dieser Studie haben wir verschiedene Felder identifiziert, in denen Handlungsmöglichkeiten oder -bedarf für die Politik bestehen. In diesem abschließenden Kapitel formulieren wir die wichtigsten Empfehlungen, die sich aus den Wirkungen der CASE-Trends auf die bayerische Automobilindustrie ergeben.

### 4.1 Elektromobilität

- Anstatt einer Subventionierung von Zellfertigung, die wenig Arbeitsplätze und geringe Wertschöpfung erzeugt, sollten Forschungsbemühungen in den Bereichen Material- und Batterieforschung intensiviert und gefördert werden.
- Die Förderung von BEVs erhöht den Handlungsdruck bei der Energiewende und der Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes in der Stromerzeugung; der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck von BEVs in der Lebenszyklusbetrachtung geht aktuell in Deutschland tatsächlich laut der Studie des Europäischen Parlaments (2018) zu rund einem Viertel auf die in der Zellfertigung aufgewandte Energie und zur Hälfte auf den CO<sub>2</sub>-Ausstoß zur Stromgewinnung für das Laden zurück.

### 4.2 Autonomes Fahren

- Um den internationalen Anschluss nicht zu verlieren, sollten Pilotprojekte für AF von Herstellern oder Betreibern in Regionen oder Städten ermöglicht und gefördert werden („Pilotstädte“ und lokale Ausnahmegenehmigungen).
- Parallel sollte ein innovationsfreundlicher Regulierungsrahmen für AF weiter vorangetrieben werden. Eine europäische Lösung wäre im Hinblick auf Skaleneffekte von Vorteil.

### 4.3 Vernetzte Fahrzeuge

- Es ist notwendig zu erforschen und zu klären, wie das Eigentum an Daten, die im Betrieb von Fahrzeugen gesammelt werden, wirtschaftlich effizient gestaltet werden sollte – auch im Hinblick auf eine Vermeidung von Monopolisierungstendenzen aufgrund von Skalen- und Netzwerkeffekten.

### 4.4 Shared Mobility

- Zur Reduktion von Emissionen ist die Auslastung von Fahrzeugen ein entscheidender Hebel; Gesetzgebung und Regulierung sollten im Bereich Shared Mobility Konzepte belohnen, welche Leerfahrten minimieren und darauf abzielen, mehrere Fahrgäste pro Fahrt zu transportieren.
- Aus dem gleichen Grund sollte verhindert werden, dass automobiler Fahrdienstleister den öffentlichen Personennahverkehr kannibalisieren. Soweit möglich, sollten die Regulierungen für Mobility Services so entworfen sein, dass sie das öffentliche Nahverkehrsnetz in Städten effizienter und attraktiver machen.

## 4.5 Zukunft der Beschäftigung

- Für die „Jahrhundertaufgabe im Bereich der Fort- und Ausbildung“ (Cacilo und Haag 2018) im Rahmen der Transformation und Digitalisierung des Automobilsektors ist eine gemeinsame Anstrengung von Hochschulen, Unternehmen und Politik notwendig, um systematisch den Bedarf an Qualifikationen zu analysieren und dementsprechend neue Lehrstühle sowie Forschungs- und Lehrprogramme zu gestalten.
- Die Initiative der Bayerischen Regierung, im Rahmen des Bayerischen Zukunftsforums Automobil Strategien und Maßnahmen für die Qualifizierung für den Strukturwandel sowie für die Weiterentwicklung des Arbeitsrechts in der Arbeitswelt 4.0 zu erarbeiten, geht in die richtige Richtung. Die aktive Einbindung von Wirtschaft, u.a. durch den BIHK und die Arbeitnehmerseite ist zu begrüßen.

## Literaturverzeichnis

- Bardt, H. (2017): „Deutschland hält Führungsrolle bei Patenten für autonome Autos“, (No. 61.2017), IW-Kurzberichte.
- Bayerisches Landesamt für Statistik (2019): „Verarbeitendes Gewerbe in Bayern 2018“, Statistische Berichte, April 2019.
- BCG (2018a): “The future of battery production for electric vehicles”, Studie, September 2018, verfügbar unter: <https://www.bcg.com/publications/2018/future-battery-production-electric-vehicles.aspx>
- BCG (2018b): “The electric car tipping point”, Studie, Januar 2018, verfügbar unter: <https://www.bcg.com/publications/2018/electric-car-tipping-point.aspx>
- Berylls (2018): “Batterie-Produktion heute und morgen”, Studie, März 2018.
- BIHK (2019): „IHK-Report Patente in Bayern 2019 - Die wichtigsten Technologieprofile und Patentanmelder in Bayern“, Industrie- und Handelskammern in Bayern, März 2019.
- Bloomberg (2019): „Zoox Can Cruise San Francisco Without Drivers. Now It Needs Money“, verfügbar unter <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-03-18/zoox-can-cruise-san-francisco-without-drivers-now-it-needs-money>
- BMAS (2018): “Qualität der Arbeit, Beschäftigung und Beschäftigungsfähigkeit im Wechselspiel von Technologie, Organisation und Qualifikation – Branchenbericht: Automobil”, Forschungsbericht 522/1, Dezember 2018, Berlin.
- BMW i (2019): „Nationale Industriestrategie 2030 - Strategische Leitlinien für eine deutsche und europäische Industriepolitik“, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Februar 2019, Berlin.
- Bratzel, S. (2014): „Die junge Generation und das Automobil–Neue Kundenanforderungen an das Auto der Zukunft?“, In Automotive Management (pp. 93-108). Springer Gabler, Berlin, Heidelberg.
- Buchal, C., Karl, H. und H.-W. Sinn (2019): „Kohle- und Dieselmotoren, Windmotoren und Dieselmotoren: Was zeigt die CO<sub>2</sub>-Bilanz?“, ifo Schnelldienst 8/2019, 40-54.
- Cacilo, A., und M. Haag (2018): „Beschäftigungswirkungen der Fahrzeugdigitalisierung: Wirkungen der Digitalisierung und Fahrzeugautomatisierung auf Wertschöpfung und Beschäftigung“, (No. 406), Study der Hans-Böckler-Stiftung.
- Cacilo, A., Schmidt, S., Wittlinger, P., Herrmann, F., Sawade, O., und Doderer, H. (2015): „Hochautomatisiertes Fahren auf Autobahnen–industriepolitische Schlussfolgerungen“, Dienstleistungsprojekt 15/14, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMW i). Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO.
- Calvert, S.C., Schakel, W.J. und J.W.C. van Lint (2017): “Will Automated Vehicles Negatively Impact Traffic Flow?” Journal of Advanced Transportation, Article ID 3082781.

- CAM (2019): "E-Mobilität im internationalen Vergleich. Konsolidierte Absatztrends im Gesamtjahr 2018 und Prognose 2019", Center for Automotive Management, Branchenstudie, Bergisch-Gladbach, Januar 2019.
- Catapult (2017): „Market Forecast for Connected and autonomous vehicles“, Studie, Juli 2017.
- Clements, L. und K. Kockelman(2017): „Economic effects of automated vehicles“, Transportation Research Record, 2606(1), 106-114.
- e-mobil BW (2019): „Strukturstudie BWe mobil 2019 – Transformation durch Elektromobilität und Perspektiven der Digitalisierung“, herausgegeben durch e-mobil BW GmbH – Landesagentur für neue Mobilitätslösungen und Automotive Baden-Württemberg, Stuttgart, Februar 2019.
- Economist (2018): „Autonomous vehicles are just around the corner“, 1. März 2018, verfügbar unter: <https://www.economist.com/special-report/2018/03/01/autonomous-vehicles-are-just-around-the-corner>
- Europäisches Parlament (2018): "Research for TRAN Committee - Battery-powered electric vehicles: market development and lifecycle emissions", Studie, Brüssel.
- EY (2019): „Weltweite Investitionen im Automobilsektor“, Studie, Mai 2019, Stuttgart.
- Falck, O., Ebnet, M., Koenen, J., Dieler, J., & Wackerbauer, J. (2017). "Auswirkungen eines Zulassungsverbots für Personenkraftwagen und leichte Nutzfahrzeuge mit Verbrennungsmotor (No. 87)", ifo Forschungsberichte.
- Focus (2019): „Das sind die Top-Arbeitgeber Deutschlands“, 20.2.2019, verfügbar unter: [https://www.focus.de/finanzen/karriere/berufsleben/focus-business-ranking-das-sind-die-top-arbeitgeber-deutschlands\\_id\\_10349040.html](https://www.focus.de/finanzen/karriere/berufsleben/focus-business-ranking-das-sind-die-top-arbeitgeber-deutschlands_id_10349040.html)
- Graehler Jr, M., Mucci, R. A., & Erhardt, G. D. (2019): "Understanding the Recent Transit Ridership Decline in Major US Cities: Service Cuts or 1 Emerging Modes?", working paper.
- Hache, E., Seck, G. S., Simoen, M., Bonnet, C., und S. Carcanague (2019): "Critical raw materials and transportation sector electrification: A detailed bottom-up analysis in world transport", Applied Energy, 240, 6-25.
- Hall, J. D., Palsson, C., und J. Price (2018): "Is Uber a substitute or complement for public transit?", Journal of Urban Economics, 108, 36-50.
- Helbig, C., Bradshaw, A. M., Wietschel, L., Thorenz, A., und A. Tuma (2018): „Supply risks associated with lithium-ion battery materials“, Journal of cleaner production, 172, 274-286.
- Handelsblatt (2018): „VW muss wegen neuer CO<sub>2</sub>-Vorgaben 600.000 E-Autos mehr pro Jahr produzieren“, Artikel vom 20. Dezember 2018, <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/folge-der-eu-beschluesse-vw-muss-wegen-neuer-co2-vorgaben-600-000-e-autos-mehr-pro-jahr-produzieren/23780206.html>.
- Handelsblatt (2019): „VW steigt in Batteriezellfertigung ein – Fabrik entsteht am Standort Salzgitter“, Artikel vom 13. Mai 2019,

<https://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/elektroautos-vw-steigt-in-batteriezellfertigung-ein-fabrik-entsteht-am-standort-salzgitter/24337064.html>.

- Hill, G., Heidrich, O., Creutzig, F., P. Blythe (2019): "The role of electric vehicles in near-term mitigation pathways and achieving the UK's carbon budget", Applied Energy, 251, 113111.
- Kim, H. C., Wallington, T. J., Arsenault, R., Bae, C., Ahn, S., und J. Lee (2016): "Cradle-to-gate emissions from a commercial electric vehicle Li-ion battery: a comparative analysis", Environmental science & technology, 50(14), 7715-7722.
- McKinsey (2016): „Automotive revolution – perspective towards 2030 – How the convergence of disruptive technology-driven trends could transform the auto industry“, Studie, verfügbar unter: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/disruptive-trends-that-will-transform-the-auto-industry>
- McKinsey (2017): „The Automotive Revolution is Speeding up“, McKinsey Center for Future Mobility, Studie, 2017.
- MIR (2018): "TOP 100 Automobilzulieferer in Deutschland 2018“, Meyer Industry Research Branchenreport, München.
- MobilEye (2018): „The Evolution of MobilEye“, verfügbar unter: <https://www.mobileye.com/our-technology/evolution-eyeq-chip/>
- Nieuwenhuis, P. (2018): "Alternative business models and entrepreneurship: the case of electric vehicles", International Journal of Entrepreneurship and Innovation 19 (1) , S. 33-45.
- Nunes, A., und Hernandez, K. D. (2019): "Autonomous Vehicles and Public Health: High Cost or High Opportunity Cost?", mimeo.
- OECD (2019): "ITF Transport Outlook 2019", Studie des OECD International Transport Forum, Paris, verfügbar unter <https://doi.org/10.1787/25202367>.
- Öko-Institut (2018): "Ensuring a Sustainable Supply of Raw Materials for Electric Vehicles: A Synthesis Paper on Raw Material Needs for Batteries and Fuel Cells."
- Parkinson, S., Ward, P., Wilson, K., und J. Miller (2017): "Cyber threats facing autonomous and connected vehicles: Future challenges", IEEE transactions on intelligent transportation systems, 18(11), 2898-2915.
- Statistisches Bundesamt (2019): „Produzierendes Gewerbe – Betriebe, Tätige Personen und Umsatz des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden nach Beschäftigtengrößenklassen“, Fachserie 4 Reihe 4.1.2, Mai 2019.
- StMWi (2018): „Industriebericht Bayern 2018“, Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Energie und Technologie, München.
- SZ (2019): „Bosch stürzt in die Dieselkrise“, erschienen am 26. März 2019, verfügbar unter: <https://www.sueddeutsche.de/bayern/diesel-autozulieferer-bosch-stellenabbau-bamberg-1.4383714>

vbw (2018a): „Veränderungen der bayerischen Automobilindustrie durch automobiler Megatrends“, Vereinigung der bayerischen Wirtschaft e.V., München, 2018.

vbw (2018b): „Zukünftige Herausforderungen für die bayerische Automobilindustrie“, Vereinigung der bayerischen Wirtschaft e.V., München, 2018.

Welt (2019a): „Deshalb ist eine Batteriefabrik in Deutschland nicht sinnvoll“, 6.2.2019, abrufbar unter: <https://www.welt.de/wirtschaft/article188325239/Elektroautos-Deshalb-ist-eine-Batteriefabrik-in-Deutschland-nicht-sinnvoll.html>.

Welt (2019b): „Das Android-Auto nimmt BMW und Daimler einen entscheidenden Trumpf“, 17.5.2019, abrufbar unter: <https://www.welt.de/wirtschaft/webwelt/article193670357/Android-Automotive-Gooles-Software-kommt-ins-Auto.html>

WiWo (2019): „Bosch macht autonomes Fahren zum Milliardenprojekt“, 30.1.2019, abrufbar unter: <https://www.wiwo.de/unternehmen/auto/game-changer-bosch-macht-autonomes-fahren-zum-milliardenprojekt/23926732.html>



Industrie- und Handelskammern  
in Bayern

## Impressum

### **Verleger und Herausgeber:**

Bayerischer Industrie- und Handelskammertag e. V. (BIHK)  
Vorstand Dr. Eberhard Sasse und Dr. Manfred Gößl  
Max-Joseph-Straße 2  
80333 München  
☎ +49 89-5116-0  
@ info@bihk.de  
🌐 bihk.de

### **Verantwortlich:**

Dr. Ute Berger, Urs Weber, IHK für München und Oberbayern

### **Verfasser:**

ifo Institut – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung an der Universität München e. V.  
ifo Zentrum für Industrieökonomik und neue Technologien  
Prof. Dr. Oliver Falck  
ARC Econ GmbH  
Dr. Johannes Koenen

### **Gestaltung:**

Busch Branding, München

### **Bildnachweis:**

Titel: www.istockphoto.com: ©julos

Stand: Juni 2019

Die Inhalte wurden vom ifo Institut erstellt und entsprechen nicht notwendigerweise den Positionierungen der IHK.  
Alle Rechte liegen beim Herausgeber. Ein Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur mit ausdrücklicher schriftlicher Genehmigung des Herausgebers gestattet.