

Digitalisierung und autonomes Fahren: Treiber eines neuen Mobilitätssystems

Eine Analyse der Einflussfaktoren auf die Marktdurchdringung
eines Megatrends im Automobilbereich.



Inhaltsverzeichnis

Vorwort	3
Einleitung und Methodik	4
Ausgangslage	6
Definition des „autonomen Fahrens“	6
Forschungsaktivitäten und -projekte in Baden-Württemberg	10
Einflussfaktoren auf die Marktdurchdringung des autonomen Fahrens	16
Nutzerverhalten und Megatrends	16
Infrastruktur	19
Fahrzeugentwicklung, Produktion und Ressourcen	19
Verknüpfung des autonomen Fahrens im Systemkontext	22
Sektorenkopplung	22
Systemische Betrachtung	23
Annäherung an ein Szenario zur Marktdurchdringung des autonomen Fahrens	24
Relevanz der Einflussfaktoren	24
Wirkungsanalyse und Abhängigkeiten der Einflussfaktoren	24
Projektion der Einflussfaktoren	28
Ergebnis der Szenario-Betrachtung und Implikationen	28
Auswirkungen auf Umsatzpotenziale, Wertschöpfung und Beschäftigung sowie ausgewählte Branchen	30
Metaanalyse zu Umsatzpotenzialen aus der Digitalisierung	30
Auswirkungen auf Wertschöpfung und Beschäftigung sowie auf unterschiedliche Branchen	39
Zusammenfassung	44
Literaturverzeichnis	45

Vorwort

Die Automobilwirtschaft befindet sich in einem tiefgreifenden und komplexen, vor allem aber auch sehr dynamischen Wandlungsprozess. Die Entwicklung neuer Antriebstechnologien, die Digitalisierung und die Entstehung neuer Geschäftsmodelle bestimmen diesen Wandlungsprozess und lassen aus dem singulären Automobil ein kommunikatives Element werden, das mit seiner Umwelt über Internet, Sensoren und Kameras interagiert. Dies ermöglicht es neuen Akteuren, in den Markt einzutreten und die Automobilbranche von Grund auf zu verändern. Ein harter, globaler Wettbewerb um die Märkte von morgen hat längst begonnen.

Die größten Herausforderungen liegen allerdings nicht allein in der Einführung neuer Technologien, Produkte und Services, sondern in der zeitlichen Parallelität der Veränderungsanforderungen sowie der Vielschichtigkeit und Dynamik des Transformationsprozesses. Dies erfordert eine systemische Betrachtungs- und Herangehensweise, die Akteure aus Wirtschaft, Wissenschaft, Gesellschaft und Politik miteinander in eine enge Kooperation bringt und über die Grenzen von Branchen und Technologien hinweg vernetzt.

Mit über 160 Mitgliedern greift der Cluster Elektromobilität Süd-West genau diese Kooperationsstärke auf und verfolgt das Ziel, Baden-Württemberg als führenden Anbieter nachhaltiger und intelligenter Mobilitätslösungen zu positionieren. Die aus dem Cluster Elektromobilität Süd-West heraus erarbeiteten Themenpapiere sollen zukunftsgerichtete Technologiethemen darstellen, um die gemeinsame Wissensbasis zu erweitern und neue Diskussionen und Problemlösungsprozesse anzustoßen. Das vorliegende Themenpapier „Digitalisierung und autonomes Fahren: Treiber eines neuen Mobilitätssystems“ knüpft an die 2019 veröffentlichte „Strukturstudie BW⁶ mobil 2019 – Transformation durch Elektromobilität und Perspektiven der Digitalisierung“ an, die neben der Transformation der Automobilwirtschaft durch die Elektrifizierung des An-

triebsstrangs auch die Perspektiven und Folgen, die sich aus der zunehmenden Automatisierung und Vernetzung der Mobilität ergeben, betrachtet.

So wird der Digitalisierung die Rolle eines wesentlichen Treibers des Strukturwandels in der Automobilindustrie und -wirtschaft zugesprochen. Es ist davon auszugehen, dass autonome Systeme in der Zukunft den Markt durchdringen werden und dies weitreichende Veränderungen der gesamten Volkswirtschaft bedeuten kann. Dies hat nicht nur großen Einfluss auf unterschiedlichste Branchen und die dort existierenden Wertschöpfungs- und Beschäftigungsstrukturen, sondern es entstehen dadurch auch neue Anforderungen an die Gestaltung der Mobilität der Zukunft. Das Mobilitätsverhalten der Nutzer wird sich durch sogenannte Megatrends verändern. Das autonome Fahren könnte dies verstärken und zur Entwicklung neuer Geschäftsmodelle beitragen. Das Themenpapier möchte auf Basis einer Analyse aktueller Trends, Entwicklungen, Studien und individueller Expertenaussagen ein derzeit möglichst wahrscheinliches Zukunftsbild zur Marktdurchdringung der Digitalisierung und des autonomen Fahrens entwerfen. Dabei wird betrachtet, welche Einflussfaktoren auf die Marktdurchdringung des autonomen Fahrens wirken können.

Durch die Fahrzeugautomatisierung, die Fahrzeugvernetzung und neue Mobilitätskonzepte werden Veränderungen nicht nur auf die Automobilindustrie im klassischen Sinne zukommen, sondern auch weitere Branchen beeinflusst werden. Dies bedeutet, dass auch neue Zielgruppen als potenzielle neue Märkte zu berücksichtigen sind, für die neue Angebote entwickelt werden müssen. Mit seinem breiten Spektrum an Akteuren aus Industrie und Forschung greift der Cluster Elektromobilität Süd-West diese Herausforderungen im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsprojekten auf und erarbeitet nachhaltige, zukunftsgerichtete Lösungen bis hin zur Marktreife.

Einleitung und Methodik

Im Folgenden wird auf Basis einer Analyse aktueller Trends, Entwicklungen, Studien und individueller Expertenaussagen zum autonomen Fahren ein zum derzeitigen Zeitpunkt möglichst wahrscheinliches Zukunftsbild zur Marktdurchdringung des autonomen Fahrens entworfen. Da die möglichen Entwicklungspfade generell einen sehr breiten Raum von Optionen umfassen und mit steigendem Zeithorizont die Unsicherheit zunimmt, fokussiert dieses Themenpapier die Ermittlung und Bewertung relevanter Szenario-Deskriptoren – also Schlüsselfaktoren, die für die Entwicklung des autonomen Fahrens relevant sind und das Szenario im Kollektiv beschreiben. Hieraus folgt dann eine Ableitung von Aussagen und Implikationen, die eine systematische und kontinuierliche Beobachtung der realen Entwicklung unterstützen können. Dabei wird keine quantitative Berechnung der Marktdurchdringung auf Basis wissenschaftlicher Modelle, sondern bewusst eine qualitative Beschreibung eines disruptiven Szenarios erfolgen.¹ Eine mögliche disruptive Entwicklung mit langfristigem Zeithorizont – wie sie das autonome Fahren darstellen kann – ist mit wissenschaftlichen Methoden nur annäherungsweise abzubilden. Darüber hinaus sind zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht ausreichend Daten und Zahlen vorhanden, die mit quantitativen Methoden analysiert werden können. Vor diesem Hintergrund wurde für diesen Teil der Studie eine auf der „Grounded Theory“ basierende Methodik verwendet, um aus der dünnen Datenlage möglichst treffende Szenarien zu entwickeln und die wirtschaftlichen Potenziale abzuleiten.

Bei der Anfang der 1960er Jahre von den amerikanischen Soziologen Barney Glaser und Anselm Strauss entwickelten Grounded Theory handelt es sich nicht um eine Theorie, sondern um einen Forschungsstil und eine Strategie, um auf der Grundlage von empirischen, meist qualitativen Daten eine Theorie zu „entdecken“. Sie umfasst Einzeltechniken, mit deren Hilfe aus Interviews, Feldbeobachtungen, Dokumenten und

Statistiken schrittweise eine in Daten begründete („grounded“) Theorie entwickelt werden kann. Es handelt sich dabei um einen Forschungsstil, der eine pragmatische Handlungstheorie mit bestimmten Verfahrensvorgaben kombiniert. Dieses Verfahren basiert auf der Theorie des Symbolischen Interaktionismus. Die Grounded Theory stellt eine systematische Strategie oder Heuristik dar, mit deren Hilfe aus „Rohdaten“ theoretische Konzepte entwickelt werden können. Während beim Überprüfen von Theorien die logische Schlussweise der Deduktion im Mittelpunkt steht, verlangt die Grounded Theory einen stetigen Wechsel zwischen Induktion und Deduktion. Die Grounded Theory arbeitet hier mit dem Phänomen-Indikator-Konzept-Modell, wir können also die reale Wirklichkeit bzw. über einen Teil davon nur dann Erkenntnisse gewinnen, wenn wir die aus Interviews, Studien und Beobachtungen gewonnenen Daten einsammeln und in Dokumenten erfassen. Mithilfe dieser Dokumente ist es nun möglich, Indikatoren für Phänomene in der realen Welt zu bestimmen. Diese Indikatoren können wir nun mittels der datenbegründeten Theoriebildung dazu nutzen, Konzepte zu entwickeln und in der Theoriekonstruktion zu vernetzen.

Voraussetzung der diesem Themenpapier zugrunde liegenden Analyse ist die Unterscheidung zwischen der (Hoch-)Automatisierung eines Fahrzeugs und einer Betrachtung eines komplett autonomen Systems, worauf im folgenden Kapitel eingegangen wird. Die konkrete Ableitung von Handlungsempfehlungen ist nicht vorrangiges Ziel dieser Untersuchung. Vielmehr sollen eine möglichst umfassende Darstellung der Einflussfaktoren und eine qualitative Beschreibung der potenziellen Auswirkungen auf die Struktur unterschiedlicher Branchen erfolgen. Zudem werden die durch die Digitalisierung entstehenden Effekte auf Umsatzpotenziale, Wertschöpfung und Beschäftigung im Zusammenhang mit der Automobilindustrie skizziert.

1 | Zwar könnte man argumentieren, dass es sich bei der Entwicklung des autonomen Fahrens um eine weitere Evolution im Fahrzeugbau handelt, doch durch den Einsatz moderner IT-Systeme und Sensorik wird eine komplett neue Art von Fahrzeugen erschaffen, die die alten, von Hand gesteuerten Fahrzeuge ersetzt und die auf ihnen basierenden Geschäftsmodelle von Grund auf verändert oder obsolet macht. Daher sprechen wir im weiteren Verlauf der Studie von einer Disruption des Automobils und des Mobilitätssektors.

Theoretical Sampling

Weitere Auswahl der Quellen auf Basis erster Quellen, um Konsistenz und Repräsentativität sicherzustellen

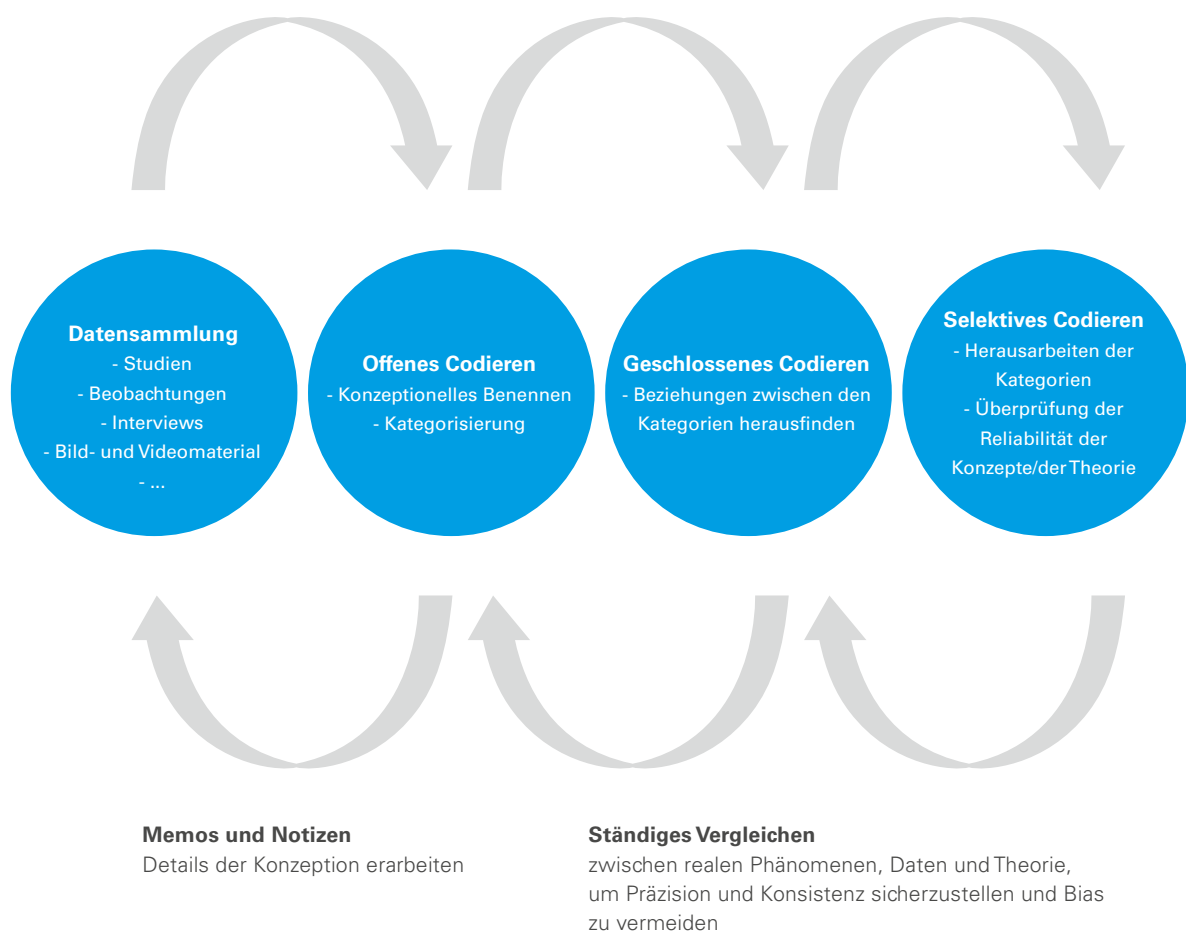


Abbildung 1: Vorgehensmodell zur Grounded Theory

Ausgangslage

„Das autonome Fahren ist natürlich ein ganz wesentlicher Entwicklungspunkt. Es ist spannend, wie man da vorgeht – das werden wir heute vielleicht noch in der Diskussion miteinander bereden können: Level 1 bis Level 5 oder eben gleich in die Vollen [...]. Was mir jedenfalls einleuchtet, ist, dass die Autopilotensysteme, bei denen man nicht einschlafen darf, kein guter Weg waren; das verstehe ich sofort. Sie sagen ja: wenn, dann muss man schon die gesamte Autonomie praktizieren.“ Bundeskanzlerin Angela Merkel, Eröffnungsrede der IAA 2019

Elektrifizierung und Digitalisierung sind vor dem Hintergrund der zunehmenden Bedeutung von Klima- und Umweltschutz wesentliche Treiber des Strukturwandels in der Automobilindustrie. Sie zeigen sowohl neue Wege als auch gleichzeitig neue Anforderungen an die Gestaltung der Mobilität der Zukunft auf. Die Effekte dieses Wandels haben voraussichtlich großen Einfluss auf unterschiedlichste Branchen und die dort existierenden Wertschöpfungs- und Beschäftigungsstrukturen – u.a. diese Effekte werden in Baden-Württemberg auch im „Strategiedialog Automobilwirtschaft“ aufgenommen und diskutiert. Der Automatisierung und Vernetzung des Verkehrs sowie dem autonomen Fahren sind hierbei eine besondere Stellung und Wirkung im Gesamtprozess zuzuschreiben.

Definition des „autonomen Fahrens“

Entscheidend für die weiteren Ausführungen ist die Differenzierung zwischen dem hochautomatisierten und dem autonomen Fahren, wobei folgende Beschreibung auf der Begriffsabgrenzung der Daimler AG aufbaut. In der Zulassungsdiskussion des VDA Arbeitskreises „Automatisiertes Fahren“ mit der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) haben sich die deutschen OEMs auf folgende grundsätzliche Stufen des autonomen Fahrens geeinigt (Daimler AG, 2017).

Hochautomatisiert

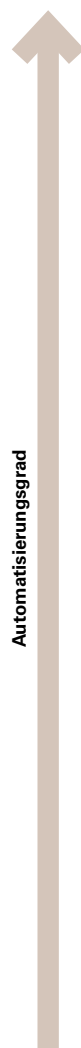
Das automatische System erkennt seine Grenzen selbst und fordert in diesem Fall die Übernahme durch den Fahrer rechtzeitig an. Fahrfremde Tätigkeiten des Fahrers sind begrenzt möglich.

Vollautomatisiert oder auch autonom

Das System kann alle Situationen autonom bewältigen, eine Überwachung durch den Fahrer ist nicht erforderlich. Fahrfremde Tätigkeiten sind dem Fahrer erlaubt. Ebenso ist in dieser Stufe fahrerloses Fahren möglich.

Diese Differenzierung findet sich in ausführlicher Darstellung auch in der Definition der BASt wieder (Abbildung 2).

Nomenklatur	Fahraufgaben des Fahrers nach Automatisierungsgrad
Vollautomatisiert	<p>Das System übernimmt Quer- und Längsführung vollständig in einem definierten Anwendungsfall</p> <ul style="list-style-type: none"> - Der Fahrer muss das System dabei nicht überwachen - Vor dem Verlassen des Anwendungsfalles fordert das System den Fahrer mit ausreichender Zeitreserve zur Übernahme der Fahraufgabe auf - Erfolgt dies nicht, wird in den risikominimalen Systemzustand zurückgeführt - Systemgrenzen werden alle vom System erkannt. Das System ist in allen Situationen in der Lage, in den risikominimalen Systemzustand zurückzuführen
Hochautomatisiert	<p>Das System übernimmt Quer- und Längsführung für einen gewissen Zeitraum in spezifischen Situationen</p> <ul style="list-style-type: none"> - Der Fahrer muss das System dabei nicht überwachen - Bei Bedarf wird der Fahrer zur Übernahme der Fahraufgabe mit ausreichender Zeitreserve aufgefordert - Systemgrenzen werden alle vom System erkannt. Das System ist nicht in der Lage, aus jeder Ausgangssituation den risikominimalen Zustand herbeizuführen
Teilautomatisiert	<p>Das System übernimmt Quer- und Längsführung (für einen gewissen Zeitraum oder/und in spezifischen Situationen)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Der Fahrer muss das System dauerhaft überwachen - Der Fahrer muss jederzeit zur vollständigen Übernahme der Fahrzeugführung bereit sein
Assistiert	<p>Fahrer führt dauerhaft entweder die Quer- oder die Längsführung aus. Die jeweils andere Fahraufgabe wird in gewissen Grenzen vom System ausgeführt</p> <ul style="list-style-type: none"> - Der Fahrer muss das System dauerhaft überwachen - Der Fahrer muss jederzeit zur vollständigen Übernahme der Fahrzeugführung bereit sein
Driver only	<p>Fahrer führt dauerhaft (während der gesamten Fahrt) die Längsführung (Beschleunigen/Verzögern) und die Querführung (Lenken) aus</p>



Automatisierungsgrad

Quelle: BASf, 2017

Abbildung 2: Definition verschiedener Automatisierungsgrade der BASf

Auch in der Definition nach SAE (SAE International, ehemalige Bezeichnung Society of Automotive Engineers) ist diese Unterscheidung zu finden. Sie definiert den höchsten Grad der Automatisierung (Level 5) als „[...] die durchgängige Ausführung aller Aspekte der dynamischen Fahraufgabe durch ein automatisiertes Fahrsystem unter allen Fahr- und Umweltbedingungen, die von einem menschlichen Fahrer bewältigt werden können [...]“. In dieser Definition gibt es also kein menschliches „Rückfallsystem“, das – im Notfall – die Fahraufgabe übernehmen kann. Dies ist der entscheidende Unterschied zwischen hochautomatisiertem und autonomem Fahren.

In aktuell laufenden Projekten hat sich jedoch immer wieder herausgestellt, dass die aktuell genutzten Definitionen der Level 0 bis 5 oftmals nicht passgenau sind. So kann z. B. ein Fahrzeug in einem beschränkten Bereich, der mit entsprechender Sensorik ausgestattet ist, bereits heute auf SAE Level 5 operieren, außerhalb dieses Bereiches jedoch nicht. Hier wäre eine genauere Definition wünschenswert, um die tatsächlichen Fähigkeiten von autonom fahrenden Fahrzeugen besser zu beschreiben (Buchholz, 2018). Darüber hinaus sind die Level bei BAST, VDA und SAE unterschiedlich definiert bzw. beschrieben.

Level	BAST	VDA	SAE
0	Driver Only	Driver Only	Keine Automation
1	Assistiert	Assistiert	Fahrassistenz
2	Teilautomatisiert	Teilautomatisiert	Teilautomatisierung
3	Hochautomatisiert	Hochautomatisiert	Bedingte Automatisierung
4	Vollautomatisiert	Vollautomatisiert	Hohe Automatisierung
5		Fahrerlos	Volle Automatisierung

Für die weitere Untersuchung gilt demnach eine Definition des autonomen Fahrens als jegliche Form der Mobilität, die ohne Fahrer auskommt oder auskommen kann. „Autonom“ wird dabei verstanden als selbstständig, unabhängig und mit individueller Entscheidungsfreiheit versehen. Diese Definition ist zum derzeitigen Stand noch kein offizielles Ergebnis eines

umfassenden Diskussionsprozesses, dient hier aber dem Selbstverständnis des Betrachtungsumfangs des Themenpapiers.

Die Strategien und Wege, um zum vollständig autonomen Fahren zu gelangen, unterscheiden sich: Das deutsche Vorgehen (angelehnt an den klassischen Automobilhersteller) ist eher dadurch gekennzeichnet, den Umfang der jeweils eingesetzten assistierenden und automatisierenden Systeme von Ebene zu Ebene im Sinne der Automatisierungsgrade zu erhöhen, um schließlich rein autonom fahrende Fahrzeuge anbieten zu können. Soweit dieses Vorgehen gegenwärtig beurteilt werden kann, werden so im Ergebnis aber Fahrzeuge entwickelt, die in kritischen Situationen trotzdem die Intervention eines Fahrers ermöglichen bzw. erfordern. Fahrzeuge dieser Art würden weiterhin über ein Lenkrad und über Brems- und Gaspedal verfügen.

Die amerikanischen Wettbewerber, insbesondere Google bzw. Waymo, aber auch Uber und Ford, gehen den entgegengesetzten Weg, indem sie von Grund auf Fahrzeuge für Level 5 entwickeln, also ohne Lenkrad, Brems- und Gaspedal. Das menschliche „Rückfallsystem“ existiert hier nicht. Der entscheidende Unterschied liegt in der Herangehensweise, die entweder den Fahrer in den Mittelpunkt stellt und das System um ihn herum optimiert (und damit auch Pedal

und Lenkrad hat) oder das System mit seiner grundlegenden Transportfunktion in den Mittelpunkt stellt (und damit haben Pedale und Lenkräder keine sinnvolle Funktion mehr). So können beispielsweise auch die Schwierigkeiten und Herausforderungen bei der Abstimmung zwischen Mensch und Computer in kritischen Situationen umgangen werden, die z. B. heute noch auftreten, wenn die Assistenzsysteme des Fahrzeugs an ihre Grenzen geraten und der menschliche Fahrer eingreifen muss. Notwendige Voraussetzung ist dabei ein gewisses Maß an Vertrauen in die Entscheidungsfindung des autonomen Systems, das jedoch landes- und kulturspezifisch unterschiedlich ausgeprägt ist: In China und den USA beispielsweise ist dieser Wert generell höher ausgeprägt, in Deutschland niedriger (IMO, 2017). Sowohl die Herangehensweise als auch die Akzeptanzfrage werden je nach kultureller Prägung und individuellem Rechtsverständnis unterschiedlich bewertet.

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass über einen Zeitraum von mehreren Jahren Mischformen des Automatisierungsgrades existieren werden. Dies bedeutet ebenfalls, dass Rechtsnormen zu schaffen sind, die zum einen die „gewachsenen“ Anwendungen im Verkehr abdecken und zum anderen Öffnungen oder Neuregelungen für neue Verkehrsformen ermöglichen.

In welchem Ausmaß die Disruption durch autonomes Fahren ausgelöst wird, kann heute nur sehr schwer beantwortet werden. Eine Vielzahl von Experteneinschätzungen geht jedoch davon aus, dass autonome Systeme in der Zukunft den Markt durchdringen werden und dies weitreichende Veränderungen der gesamten Volkswirtschaft bedeuten kann.

Wesentlicher Aspekt des autonomen Fahrens ist die Abkehr vom Ziel, den Menschen zu einem „besseren Fahrer“ zu machen oder ihn in die Lage zu versetzen, das Fahrzeug sicherer zu steuern. Dies eröffnet Entwicklern, Herstellern und der damit verbundenen Industrie neue Möglichkeiten: Hier wird beispielsweise mechanische Technik verzichtbar (z. B. für den Menschen konzipierte Bediensysteme wie Pedale und Lenkrad), so dass Aufwand, Kosten und Gewicht eingespart werden können, auch wenn im Gegenzug neue elektronische Systeme hinzukommen (Carl, 2015). Autonome Systeme zielen also in der Entwicklung und Konstruktion nicht mehr (nur) auf den individuellen Fahrer, sondern auf ihre generelle Transportaufgabe im zukünftigen Mobilitätssystem ab. Dies führt in Kombination mit dem derzeitigen Trend der „Sharing Economy“ und einer abnehmenden persönlichen und individuellen Wertschätzung des Fahrzeugbesitzes bzw. dessen sinkender Wahrnehmung als Statussymbol zu neuen Anforderungen und Nutzungsmustern. Unabhängig davon wird es aber aller Voraussicht nach trotzdem immer Bedarfe nach individuellem Besitz und Differenzierung geben.

Die Übergangsszenarien zum rein autonomen Fahren im Zeitablauf sind vielfältig. In Anlehnung an eine evolutionäre Entwicklung über die verschiedenen Automatisierungsgrade existieren erste Darstellungen, wann welche Anwendungsfälle eintreten könnten. In diesem Zusammenhang ist ein Zitat von Amnon Shashua, CEO und Gründer des Sensor- und Chipherstellers Mobileye, interessant, der die reine technische Entwicklung in den Kontext weiterer Rahmenbedingungen und Einflussfaktoren setzt:

„Die wahre Herausforderung ist nicht technologischer, sondern juristischer und gesellschaftlicher Art. Die Regulierungsbehörden nehmen dabei eine entscheidende Rolle ein. Wir merken, dass die Behörden in den meisten Ländern der technischen Entwicklung auf keinen Fall im Weg stehen wollen.“ Amnon Shashua, Mobileye, 2017

Ausgehend von bisherigen Studien zu diesem Thema (u. a. e-mobil BW, 2017 sowie die MEGAFON-Studie – Abschlussbericht Modellergebnisse geteilter autonomer Fahrzeugflotten des öffentlichen Nahverkehrs, 2016) sind folgende Szenarien hin zum rein autonomen Fahren möglich (siehe Abbildung 3). Hierbei werden die wesentlichen Zeiträume genannt, in denen unterschiedliche automatisierte Fahrfunktionen nach Anwendungszweck differenziert zu erwarten sind.

Roadmaps für verschiedene Szenarien der Automatisierung im Straßenverkehr

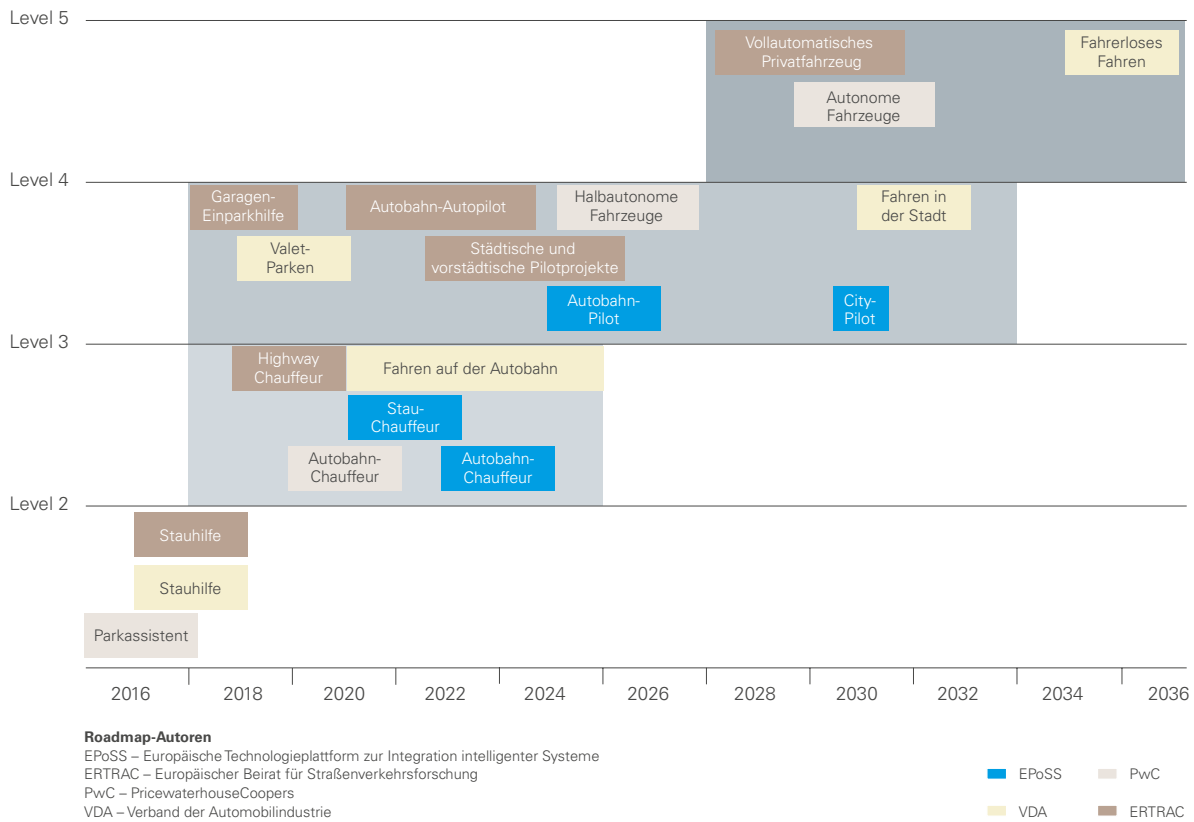


Abbildung 3: Szenarien und Anwendungsfälle der Automatisierung im Straßenverkehr

Forschungsaktivitäten und -projekte in Baden-Württemberg

In Baden-Württemberg sind neben den Unternehmen der betroffenen Branchen, also den Fahrzeugherstellern und speziell den großen Zuliefererbetrieben, auch Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten aus dem akademischen Umfeld stark vertreten. Einen Überblick hierzu bieten die Patentanalysen aus der Strukturstudie BW^e mobil 2019. Daneben gibt es seit Jahren eine Vielzahl von Forschungsaktivitäten in Baden-Württemberg. Vorrangig sind hier geförderte Projekte sowie die AG Intelligent Move aus dem Cluster Elektromobilität Süd-West zu nennen. Exemplarisch wird auf das Projekt Autoples (Quelle: Internet Autoples) verwiesen. Weitere Studien der e-mobil BW zeigen eine aktive Forschungslandschaft mit einer Reihe von innovativen Themen auf. Die Studien „Automatisiert. Vernetzt. Elektrisch.“ sowie

„Automatisiertes Fahren im Personen- und Güterverkehr“ sind ausgewählte Beispiele einer Reihe von Studien (Quelle: e-mobil BW – Studienverzeichnis).

In Deutschland unterstützen vereinzelte Bundesländer, darunter Baden-Württemberg, entsprechende Forschungsprojekte mit öffentlichen Fördermitteln. Auf internationaler Ebene sind hingegen Kalifornien und China als Hauptakteure und -treiber zu nennen, was u. a. auch daran liegt, dass z. B. die Stanford University über eigene, frei einsetzbare Finanzmittel verfügt, um so unabhängig innovative Projekte voranzubringen. Hiesige Forschungseinrichtungen sind hingegen meistens auf staatliche Mittel angewiesen und müssen sich so auch an der politischen Forschungsagenda orientieren. Eine Auswahl der zahlreichen Projekte zum autonomen Fahren in Baden-Württemberg wird im Folgenden beispielhaft skizziert.

Testfeld Autonomes Fahren Baden-Württemberg (TAF BW)



Auf dem Testfeld „Autonomes Fahren Baden-Württemberg“ können Unternehmen und Forschungseinrichtungen zukunftsorientierte Technologien und Dienstleistungen rund um das vernetzte und automatisierte Fahren im alltäglichen Straßenverkehr erproben. Dies umfasst z. B. automatisiertes Fahren von Pkw, Bussen und Nutzfahrzeugen, auch in konkreten Anwendungsfällen wie Straßenreinigung oder Zustelldienst. Zudem werden hier die regulatorischen und rechtlichen Rahmenbedingungen fortgeschrieben und in die Zukunft projiziert, sodass in der Aufbauphase u. a. Verkehrsflächen unterschiedlichster Art vorbereitet, hochgenaue 3D-Karten erzeugt sowie Sensoren zur Echtzeiterfassung des Verkehrs und dessen Einflussfaktoren installiert werden (Testfeld Autonomes Fahren, 2017).

Zur Konzeption, Planung und zum Aufbau des Testfelds stellt das Verkehrsministerium Baden-Württemberg bis zu 2,5 Mio. Euro zur Verfügung. Mit dem Aufbau des Testfelds wurde 2016 begonnen, die offizielle Inbetriebnahme erfolgte im Mai 2018. Die Aufgaben der Testfeld-Betreiber-Gesellschaft übernimmt der Karlsruher Verkehrsverbund KVV.

Exkurs: Experteninterview zum autonomen Fahren

Das Interview wurde während der EVS30 im Oktober 2017 in Stuttgart mit Vertretern von „Testfeld Autonomes Fahren Baden-Württemberg“ in Karlsruhe geführt.

Welche möglichen Geschäftsmodelle sehen Sie durch autonomes und vernetztes Fahren? Was werden die wesentlichen Kosten und Erlösfaktoren sein? Welche Akteure werden Ihrer Ansicht nach den Ton angeben?

Wir werden vor allem Sharing-Konzepte sehen. Auf den Straßen können wir mehr Fahrzeuge erwarten. Ein Problem werden Leerfahrten sein, was z. T. zu einer Verdoppelung des Verkehrs bei Hol- und Bringdiensten führen kann. Städtischer Pkw-Verkehr wird eher schwierig zu realisieren sein und noch einige Zeit auf sich warten lassen. Nischenlösungen sind bereits heute relevant, zum Beispiel: Ein Bus fährt autonom an den Bordsteinrand (keine Schäden, optimaler Abstand) oder auch voll automatisiert auf Betriebshöfen (geschlossene Anwendungsfelder). Eine wirtschaftliche Prognose, wann welche Lösungen wirtschaftlich umsetzbar sind, ist heute noch sehr schwierig zu erstellen.

Wie sehen Sie autonomes Fahren in der Gesellschaft? Gibt es in der Bevölkerung eine Akzeptanz für selbst-fahrende Fahrzeuge?

Hinsichtlich der Akzeptanz können wir eine recht weite Spreizung feststellen, aktuell erscheint es so, dass es eine Mehrheit gibt, die hier sehr aufgeschlossen ist, auch wenn weiterhin abweichende Meinungen zu vernehmen sind. Kommunale Unterstützung inkl. einer Beteiligung von betroffenen Bürgern scheint ein Schlüssel zu sein, um die notwendige Akzeptanz zu schaffen. Auf diese Weise können viele Menschen mit der neuen Technik in Kontakt

kommen. Manuelles Fahren zu verbieten ist eine schwierige Option.

Wie schätzen Sie das technologische Umfeld ein? Was sind die Treiber für autonome Fahrzeuge? Welche Normen sind hier relevant, welche Regelungen? Wie schätzen Sie die Entwicklung für die Zeithorizonte 2020 bzw. 2030 ein? Werden wir auch automatisierte Tankvorgänge bzw. Ladevorgänge sehen? Welche Antriebsstränge werden wir bei automatisierten Fahrzeugen mehrheitlich sehen?

Wir sehen zwar ein Zusammenspiel aus externen und internen Informationen, jedoch können und sollen die Informationen aus der Infrastruktur nur temporär unterstützen. Das Fahrzeug muss vollständig allein fahren können. Das Testfeld bietet Raum, um schnell loszulegen, neue Ideen und Technologien auszuprobieren und um Erfahrungen zu sammeln. Aktuell wird unterschiedliche Sensorik getestet, das Ziel ist es, vom Showcase zu einem robusten System zu gelangen. Der Test erfolgt sowohl mit Verbrennern als auch mit Elektrofahrzeugen, da der Antriebsstrang für das autonome Fahren unerheblich ist.

Wie sehen Sie das politische Umfeld und den rechtlichen Rahmen? Welche Rolle spielt das StVG? Wer hat die Verantwortung bei Unfällen? Wie muss sich die Führerscheinausbildung entwickeln?

Der Rechtsrahmen muss für neue Geschäftsmodelle angepasst werden. Ein Beispiel sind die Lenkzeiten bei Lkw-Fah-

ren bzw. dann autonom fahrenden Lkw. Der Datenschutz ist ein großes Thema, da für die Anwendungen, die sich aus autonom fahrenden Fahrzeugen ergeben, auch sehr viele Daten gebraucht werden. SAE Level 5 benötigt noch kein Update des Rechtsrahmens, da fast alles technologieoffen gestaltet ist. Vor 2030 ist nicht mit grenzüberschreitenden, weltweiten Daten- und Technologiestandards zu rechnen. Die aktuellen Entwicklungen sind in vielen Bereichen noch ergebnisoffen, da sie bisher auf wenigen Erfahrungswerten beruhen. China könnte aufgrund der politischen Einflussnahme deutlich schneller Entwicklungen vorantreiben und Standards setzen.

Wo sehen Sie die Herausforderungen in der Digitalisierung? Welche Rolle spielen IT-Sicherheit, Datenschutz und Anonymisierung? Wem werden in Zukunft die Daten gehören? Wie hoch schätzen Sie das Risiko von Hackerangriffen ein? Welche Rolle werden Themen wie „Big Data Analytics“ spielen?

Datenschutz und Sicherheit sind die zentralen Themen und werden es bleiben. Alle anderen Herausforderungen werden gelöst werden.

Welche Anforderungen werden durch das autonome und vernetzte Fahren an die Kommunikationsinfrastruktur gestellt? Was wird benötigt, um die Car2Car-, Car2Infrastructure- und Car2X-Interaktion sicherzustellen? Welche Rolle wird hier der 5G-Standard spielen?

Kommunikation für autonomes und vernetztes Fahren ist eng im Zusammenhang mit der allgemeinen Vernetzung zu sehen. Nur mit einer entsprechenden Kommunikation wird das Gesamtsystem performant funktionieren. Aktuell ist das noch wenig relevant, aber mit der Zunahme der Fahrzeugzahlen wird es relevanter, ob die Infrastruktur hierzu ausreichend ist. Die 5G-Technologie wurde noch nicht in einem realen Testfeld praktisch getestet.

Wie wichtig wird die Infrastruktur für High-Speed-Datenübertragung sein und wie sehen Sie hier den Fortschritt in Deutschland? Wie sehen Sie die Netzabdeckung in ländlichen Regionen? Welche Leitsysteme werden relevant sein? Wird für Baustellen eine erweiterte Sensorik/Aktorik benötigt? Wie sieht Ihre Wunschinfrastruktur für den Zeithorizont 2020 bzw. 2030 aus?

Im Testfeld ist dies alles gegeben, aber der Anspruch ist, dass Fahrzeuge ohne intelligente Infrastruktur auskommen. Allerdings hilft es beim Anschub, wenn entsprechen-

de, vorhandene Technik genutzt werden kann. Erfahrungswerte sind anders nicht schnell zu erhalten.

Wie sehen Sie die Akzeptanz beim Nutzer? Wird der Komfort ein entscheidender Faktor? Sind Nebentätigkeitsmöglichkeiten während des Fahrens relevant? Wie sehen Sie Sharing-Konzepte?

Hier ist ein Zitat aus dem Münchner Kreis (2013) hilfreich: „Reisezeit ist verlorene Lebenszeit“, soweit es keine Reise ist, die nur diesem Selbstzweck dient. Wichtig ist, im Fahrzeug verbunden zu sein, um kommunizieren zu können. Ideen wie kostenfreier Transport gegen Werbung lassen spannende Geschäftsmodelle entstehen. Hier wird es viele neue Geschäftsmodelle rund um die dann freie Zeit im Fahrzeug geben.

Wie werden sich die Fahrzeuge, vor dem Hintergrund des autonomen Fahrens, entwickeln? Wie werden sich Komponenten, Sicherheit und Design der Fahrzeuge in den Zeiträumen bis 2020 bzw. 2030 entwickeln?

Dies ist hochgradig davon abhängig, ob sich die Fahrzeuge noch im Eigentum des Fahrers befinden oder ob sich Sharing-Konzepte durchsetzen. Treiben wird dies eine neue Generation von Nutzern, die stärker nutzenorientiert ist und weniger Wert auf den Besitz eines Fahrzeugs legt. Bis 2030 sind keine radikalen Umbrüche zu erwarten. Durch einen Generationswechsel wird es in Summe jedoch langfristig zu Umwälzungen kommen.

Hat autonomes Fahren direkte Auswirkungen auf den Verkehr? Wird eine Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Verkehrsschildern relevant? Wie kann die Kommunikation der Fahrzeuge mit Passanten aussehen? Werden Staus automatisch umfahren?

Grundsätzlich besteht die Gefahr, dass es mehr Verkehr geben wird (bei Level 5 sowie auch bereits bei Level 4). Die Grundannahme dahinter ist, dass sich die Mobilität in der Zeit zwar nicht verändert, sich der Radius jedoch vergrößert (15 Minuten zu Fuß, mit dem Fahrrad, mit dem Auto ...). Der Städtebau wird sich verändern müssen, aber die Richtung ist noch offen. Bestehende Infrastruktur wird dabei zunehmend zu einem Problem, da sie nicht mehr den neuen Anforderungen genügt. Im Bereich E-Mobilität und speziell Ladeinfrastruktur kann das autonom fahrende Fahrzeug zu Entlastungen führen. In Summe wird es weniger Fahrzeuge, aber mehr Verkehr geben. Der ruhende Verkehr wird „verschwinden“.

Tech Center a-drive

Das Tech Center a-drive bündelt die Kompetenzen auf dem Gebiet des autonomen Fahrens in Baden-Württemberg. Schwerpunkte sind die Erforschung und Entwicklung von Technologien zur robusten Wahrnehmung sowie Untersuchungen zur gesellschaftlichen Akzeptanz hochautomatisierter und autonomer Fahrfunktionen (Tech Center a-drive, 2017).

Die TAF-BW-Konsortialpartner FZI und KIT sind gemeinsam mit der Universität Ulm sowie dem Industriepartner Daimler AG im Tech Center a-drive aktiv. Fördergeber sind das Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg sowie das Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg. Insgesamt stehen für das Projekt 7,5 Mio. Euro zur Verfügung, die von der Daimler AG (5 Mio. Euro) und dem Land Baden-Württemberg (jeweils 1,25 Mio. Euro vom Wissenschafts- und Wirtschaftsministerium) getragen werden.

MEC-View

Exemplarisch sei hier das Projekt „MEC-View“ unter Führung der Robert Bosch GmbH hier vorgestellt.

Der MEC-View Ansatz basiert auf der Evaluation einer infrastrukturseitigen Umfeld-Sensorik, die Objektdaten für ein lokales Umfeldmodell zur Erweiterung des Erfassungsbereichs fahrzeuggebundener Sensorik zur Verfügung stellt. Um die Fusion der infrastrukturseitigen und fahrzeugseitigen Umfeldmodelle zu gewährleisten, werden eine hochauflösende digitale Karte, ein performantes Mobilfunknetz sowie ein Mobile Edge Computing (MEC) Server eingesetzt. Das Konzept wird an einer Pilotanlage in der Stadt Ulm implementiert, um das automatisierte Auffahren auf eine vorfahrtberechtigte Straße im städtischen Verkehr zu erproben (Projekt MEC-View, 2017).

Exkurs: Motivation des Projekts „MEC-View“

Um die Verkehrssicherheit und -effizienz zu erhöhen, arbeiten viele Automobilhersteller und -zulieferer am automatisierten Fahren. Dabei übernimmt das Fahrzeug vorübergehend die Steuerung und wird zum „Chauffeur“, der Fahrer zum Passagier: Das Auto beschleunigt, bremst, setzt den Blinker und wechselt die Spur, ohne dass der Fahrer aktiv werden muss.

Auf Autobahnen wird all das schon seit mehreren Jahren erfolgreich getestet: Erprobungsfahrzeuge übernehmen hier bereits das Steuer und fahren selbstständig. Die Einführung solcher „Autobahnpiloten“ für Serienfahrzeuge ist in Vorbereitung und wird für Anfang des nächsten Jahrzehnts erwartet.

Was aber auf mehrspurigen Straßen ohne Quer- und Gegenverkehr möglich ist, lässt sich nicht so einfach auf den Innenstadtverkehr übertragen, denn dort treffen

verschiedene Verkehrsteilnehmer aufeinander: etwa Fußgänger, die einen Zebrastreifen überqueren, Radfahrer, die plötzlich die Spur wechseln, und Linienbusse, die spontan von einer Haltestelle losfahren.

Die Sensoren eines automatisierten Fahrzeugs können viele Objekte und Flächen in einer Stadt nicht erfassen, weil diese durch Hindernisse verdeckt sind. Daher benötigen diese Fahrzeuge Informationen über das Umfeld – auch aus anderen Quellen.

Im schwäbischen Ulm erforschen die Projektpartner, was benötigt wird, damit sich hochautomatisierte Fahrzeuge sicher im Mischverkehr mit konventionellen Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmern bewegen können.

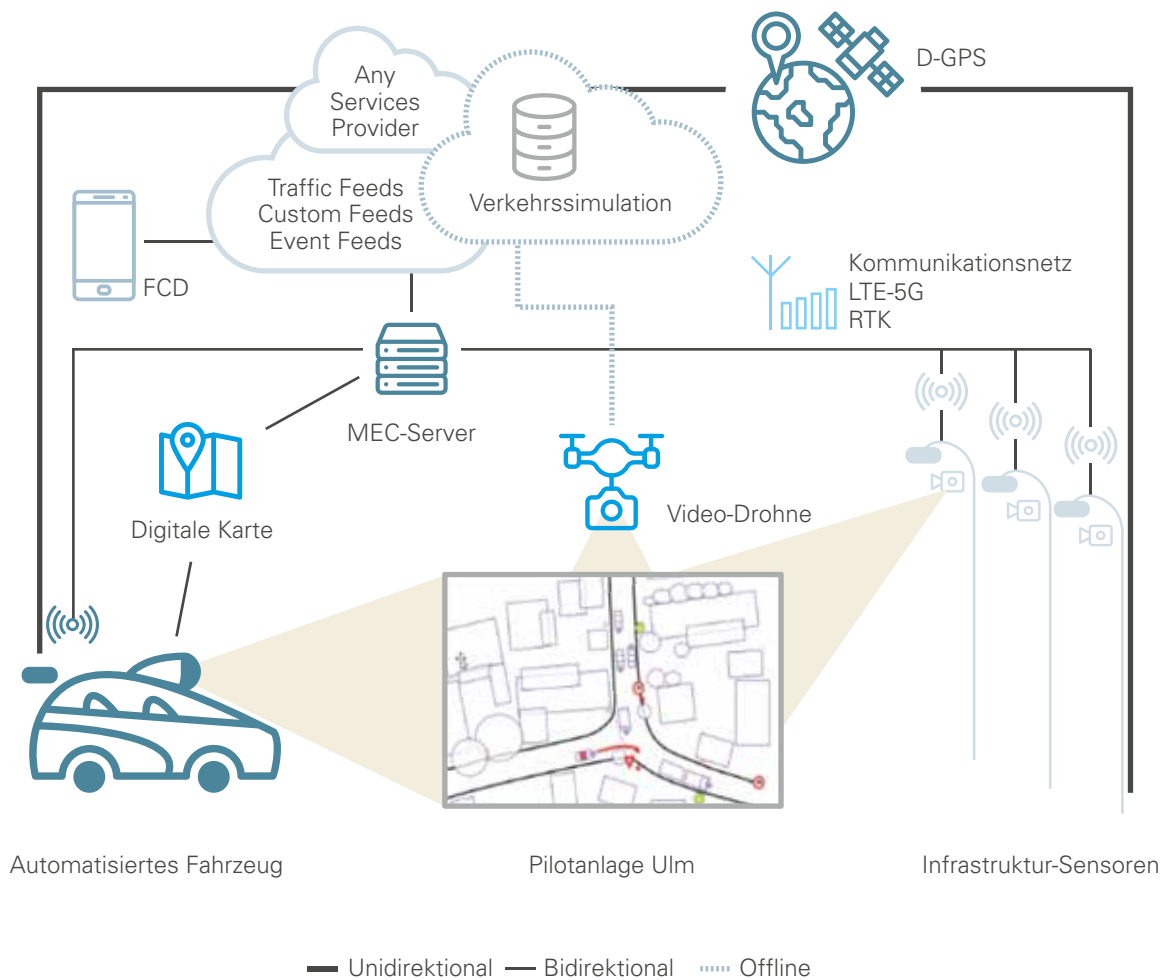


Abbildung 4: Gesamtsystem Mobile-Edge-Computing-basierte Objekterkennung für hoch- und vollautomatisiertes Fahren

Quelle: Projekt MEC-View, 2017

IT-Sicherheit und autonomes Fahren

Mit dem Projekt „IT-Sicherheit und autonomes Fahren“ sollen sowohl präventive Maßnahmen als auch die Erkennung von Angriffen sowie die Ergreifung geeigneter Gegenmaßnahmen erforscht werden. Zudem wird eine Reihe weiterer Herausforderungen adressiert, die sich durch die zukünftige Automatisierung und Vernetzung von Fahrzeugen ergeben. Dies beinhaltet unter anderem neue Ansätze zur Erkennung von Straftaten sowie Verfahren für die Nachvollziehbarkeit von Entscheidungen automatisierter Fahrfunktionen, die auf maschinellen Lernverfahren beruhen.

Neben den technischen Aspekten sind in diesem Zusammenhang zudem auch juristische Fragestellungen wie z. B. Datenschutzaspekte zu betrachten. Diese Aktivitäten werden in Kooperation mit dem Testfeld Autonomes Fahren Baden-Württemberg (TAF BW) stattfinden.

Profilregion Mobilitätssysteme Karlsruhe

Der Kerngedanke des Leistungszentrums ist es, disziplin- und organisationsübergreifend Kompetenzen und Personen zur gemeinsamen Erforschung und Entwicklung von zukunftsweisenden Mobilitätslösungen zu vernetzen. Da-

durch fungiert die Profilregion auch als zentrale Anlaufstelle für Netzwerkpartner und Kunden im Sinne eines „One-Stop-Shops“, agiert als Impulsgeber und Berater für die Transformation des Mobilitätssystems und fördert aktiv den Transfer wissenschaftlicher Forschungsergebnisse in die wirtschaftliche und gesellschaftliche Umsetzung. Durch die Bündelung der Kompetenzen und den daraus gezogenen Mehrwert für die beteiligten Forschungseinrichtungen sollen global einsetzbare Lösungen für nachhaltige und nutzerorientierte Mobilitätssysteme geschaffen werden.

DiaMANT – Dialog für automatisierte Mobilität: Anwendungen – Nutzerinteressen – Technik

Das Projekt verfolgt im Hinblick auf das automatisierte, vernetzte und elektrische Fahren zwei wesentliche Ziele. Zum einen soll der aktuelle Stand der Technik der interessierten Bevölkerung präsentiert und erläutert und so ein Dialog initiiert werden. Zum anderen soll die Entwicklung durch ausgewählte Maßnahmen weiter vorangetrieben werden. Die Validierung dieser neuen technischen Entwicklungen für das automatisierte und vernetzte Fahren ist eines der Kernelemente. Dabei werden automatisierte Fahrzeuge im Realbetrieb getestet und durch den Einbezug von Bürgern auf deren Akzeptanz geprüft. Zudem werden die im Projekt gewonnenen Forschungsergebnisse die wissenschaftliche und fachliche Kompetenz auf dem Gebiet des automatisierten Fahrens weiter stärken. Mit dem Demonstrations- bzw. Pilotbetrieb sollen mögliche Verbesserungspotenziale bzgl. der Gesamtsensorik für das automatisierte Fahren erarbeitet werden. Die Pilotphase dient außerdem als Grundlage für ein Geschäftsmodell im Rahmen der wirtschaftlichen und technischen Organisation der Abläufe eines Regulärbetriebs.

InKoMo 4.0 – Innovationspartnerschaften zwischen Kommunen und Mobilitätswirtschaft 4.0

InKoMo 4.0 bringt Anbieter digitaler Mobilitätslösungen mit Kommunen zusammen, um digitale Mobilität in der Fläche zu fördern. Eine beim Städtetag BW angesiedelte Geschäftsstelle unterstützt die Vernetzung von potenziellen Partnern, u.a. in Form von Vernetzungstreffen von Vertretern der Testfelder für autonomes Fahren. Zudem organisiert die Geschäftsstelle im Rahmen diverser Veranstaltungen Workshops zum autonomen Fahren in der Kommune. Das InKoMo-Förderprogramm unterstützt die Vorhaben von Innovationspartnerschaften finanziell. Es adres-

siert neben den Schwerpunktthemen intelligente Verkehrssteuerung und -optimierung sowie innovative Mobilitätslösungen auch automatisierte Systeme.

SmartLoad

Das Projekt SmartLoad erforscht Methoden zum Nachweis der erforderlichen Zuverlässigkeit und Sicherheit neuer Elektroniksysteme für hochautomatisiertes elektrisches Fahren. Dies betrifft die Entwicklung, die Zulassung und den Betrieb. Standardbasierte Testwerkzeuge und Architekturen für effiziente Nachweisverfahren in der Simulation werden auf Prüfständen und im Realbetrieb erstellt.

Das Projekt steht zudem für die Validierung neuer Produkte und Prozesse und ist damit mehr als reine Prototypenentwicklung. Standardbasierte Testwerkzeuge und Architekturen für effiziente Nachweisverfahren in der Simulation werden auf Prüfständen und im Realbetrieb erstellt. Der Nachweis der erforschten Architekturen und Methoden wird an einem Demonstratorfahrzeug sowie an Referenzanwendungen aus den Bereichen interurbaner Individualverkehr, Nutzfahrzeuge und öffentlicher Personennahverkehr gezeigt.

Einflussfaktoren auf die Marktdurchdringung des autonomen Fahrens

Um einen Überblick zu geben, welche Einflussfaktoren auf die Marktdurchdringung des autonomen Fahrens wirken können, wurden in Experten-Workshops sog. Szenario-Deskriptoren entwickelt, diskutiert und eine Clusterung der Deskriptoren zu Einflussbereichen vorgenommen. Im Anschluss werden diesen Deskriptoren Relevanzfaktoren zugeordnet, die eine Annäherung an eine qualitative Beschreibung eines möglichst konsistenten und in sich stimmigen Szenarios ermöglichen. Die Betrachtung wurde nicht abschließend wissenschaftlich bewertet, zeigt jedoch die Bandbreite – und damit Komplexität – der Einflussfaktoren auf. So wurde der Fokus im Rahmen dieser Studie explizit nicht auf den Rechtsrahmen gelegt.

Die Einflussfaktoren sind also eine Kombination aus politischen Rahmenbedingungen (z.B. Gesetzgebung), gesellschaftlichen Voraussetzungen und Bedarfen (z.B. Akzeptanz, Vertrauen, Flexibilität), technologischen Angeboten (z.B. Entwicklung der künstlichen Intelligenz) und ökonomischen Interessen (z.B. neue Geschäftsmodelle und Anwendungszwecke). Überlagert werden diese Einflussfaktoren durch die derzeitigen Megatrends, die sich z. T. direkt auf das zukünftig mögliche Nutzerverhalten auswirken.

Nutzerverhalten und Megatrends

Bei der Analyse der Einflussfaktoren auf die Marktdurchdringung des autonomen Fahrens ist der Nutzer und dessen zukünftiges Mobilitäts- und Verhaltensmuster im Einflussbereich „Bedarf“ enthalten. Aufgrund unklarer Wirkung der Megatrends ist dieser Deskriptor jedoch schwierig zu definieren und nicht trennscharf abzugrenzen: Aktuell gehen Analysen insbesondere im Automobilsektor stark von der Prämisse aus, dass Fahrzeuge einen dezidierten Käufer und damit Eigentümer haben. An diesem Eigentum entlang haben sich Geschäftsmodelle

wie Versicherungen, Werterhalt (Services), Pflege, Zubehör etc. entwickelt, auch Steuermodelle basieren auf dieser Grundannahme. Dem gegenüber steht ein anderer Megatrend – die „Sharing Economy“. Dies meint das systematische „Nutzen statt Besitzen“ und bezieht sich sowohl auf materielle Gegenstände als auch auf z. B. eine gemeinsame Nutzung von Räumen und Flächen, insbesondere durch Privatpersonen und Interessengruppen. Im Mittelpunkt steht dabei die „Collaborative Consumption“, also ein gemeinschaftliches Konsumverhalten (Dredge & Gyimóthy, 2017). Nach Aussage einiger Experten könnte das autonome Fahren diesen Trend zusätzlich unterstützen und verstärken, sodass eine Vielzahl klassischer Geschäftsmodelle durch neue Ansätze ersetzt wird.

Eine Verstärkung erfährt dieser Megatrend durch einen weiteren Aspekt: den demografischen Wandel. Dieser führt zu einer grundlegenden Veränderung in der Altersstruktur der Bevölkerung, sodass – übertragen auf den Anwendungsfall des autonomen Fahrens – eine Vielzahl potenzieller Anwender entweder noch nicht berechtigt ist, ein Fahrzeug zu führen, oder altersbedingt nicht mehr (sicher) in der Lage ist, selbstständig zu fahren. Diesen Nutzerszenarien sind keine expliziten Einflussfaktoren zugeordnet. Da Aussagen weder zur Relevanz dieses Deskriptors noch in einer Spezifikation eindeutig zu benennen sind, ist eine genaue Einordnung schwierig. Die Auswirkungen der Veränderung in der Altersstruktur sind aber möglicherweise disruptiv (Horváth, 2016).

Ein weiterer Aspekt, der sich aus dem Nutzerverhalten direkt ableiten lässt, ist die Frage, was der Nutzer mit der „gewonnenen“ Zeit macht, die nicht für die Fahraufgabe erforderlich ist. Generell existiert eine sehr hohe Zahlungsbereitschaft für neue Dienstleistungen und Angebote. Ohne auf die Auswirkung der Geschäftsmodelle im Kontext von Beschäftigungseffekten einzugehen, zeigen folgende Zahlen, welche Umsatzpotenziale und Volumina hier zu erwarten sind (Horváth, 2016).

Lfd. Nr.	Einflussbereich	Name
1.1	Rechtsrahmen und Politik	EU-weite Regelungen
1.2	Rechtsrahmen und Politik	Rechtsrahmen – Gesetzgebung (Bund, Land)
1.3	Rechtsrahmen und Politik	Förderung und Verbote
1.4	Rechtsrahmen und Politik	Versicherungen
2.1	Akzeptanz	Vertrauen (Technologie und rechtliche Aspekte)
2.2	Akzeptanz	Sicherheit
2.3	Akzeptanz	Akzeptanz in der Gesellschaft
2.4	Akzeptanz	Verknüpfung alte und neue Welt der Mobilität
2.5	Akzeptanz	Arbeitsplätze
3.1	Technologie	Zuverlässigkeit der Technologie
3.2	Technologie	Entwicklung der künstlichen Intelligenz
3.3	Technologie	Datennutzung
3.4	Technologie	Technologie allgemein
4.1	Preis/Kosten	Kosten für autonome Funktionen/Mobilität
4.2	Preis/Kosten	Preismodelle
5.1	Infrastruktur	Infrastruktur (inkl. Finanzierung)
5.2	Infrastruktur	Energieversorgung autonomer Fahrzeuge
5.3	Infrastruktur	Finanzierung Infrastruktur
6.1	Einsatzzweck	Räumliche Zuordnung (Stadt, Land, gesonderter Zweck)
6.2	Einsatzzweck	Wegfall ruhender Verkehr
6.3	Einsatzzweck	Pendlerverkehr
7.1	Bedarf	Einfachheit der Nutzung
7.2	Bedarf	Flexibilität in der Nutzung
7.3	Bedarf	Klima und Umwelt
7.4	Bedarf	Motivation zum Wandel
8.1	Geschäftsmodell	Neue Kunden
8.2	Geschäftsmodell	Mobilität Mehrwerte
8.3	Geschäftsmodell	Neue Angebote
8.4	Geschäftsmodell	Internationalität

Tabelle 1: Deskriptoren zum Szenario „Durchdringung autonomes Fahren“

Am meisten wert sind den Autofahrern Mehrwertdienste für Kommunikation und Produktivität sowie zur Erfüllung von Grundbedürfnissen



Automatisiertes Auto (Szenario A)

29 €

28 €

28 €

24 €

24 €

20 €



Produktivität
(z. B. arbeiten, online shoppen, Weiterbildung)



Kommunikation
digital o. telefonisch
(z. B. Familie, Freunde, Dienstleister)



Grundbedürfnisse
(z. B. Essen, Trinken, Schlafen, Umziehen)



Wohlfühlen
(z. B. Fitness-/Entspannungsübungen, Pflege)



Information
(z. B. Umgebung, Produkte, Nachrichten)



Unterhaltung
(z. B. Gaming, Filme, Lesen)

Durchschnittliche Zahlungsbereitschaft pro Bedürfnis



23 €
Deutschland



28 €
USA (Kalifornien)



25 €
Japan



Fahrerlose Kapsel (Szenario B)

37 €

36 €

35 €

30 €

27 €

24 €



Kommunikation
digital o. telefonisch
(z. B. Familie, Freunde, Dienstleister)



Produktivität
(z. B. arbeiten, online shoppen, Weiterbildung)



Grundbedürfnisse
(z. B. Essen, Trinken, Schlafen, Umziehen)



Wohlfühlen
(z. B. Fitness-/Entspannungsübungen, Pflege)



Information
(z. B. Umgebung, Produkte, Nachrichten)



Unterhaltung
(z. B. Gaming, Filme, Lesen)

Durchschnittliche Zahlungsbereitschaft pro Bedürfnis



28 €
Deutschland



35 €
USA (Kalifornien)



32 €
Japan

Quelle: Horváth, 2016

Abbildung 5: Zahlungsbereitschaft für diverse Nutzerbedürfnisse im Zusammenhang mit dem automatisierten bzw. autonomen Fahren

Infrastruktur

Ein weiterer Einflussfaktor, der analog dem Nutzerverhalten einer besonderen Wertung bedarf, ist die Infrastruktur. Dabei gilt es zwischen baulicher Infrastruktur (Straßenbau, Ausstattung wie u. a. Lichtsignalanlagen und Ampeln), digitaler Infrastruktur (die der Kommunikation sowie der Sensorik und Aktorik dient) sowie Energie-Infrastruktur im Kontext neuer Antriebskonzepte zu unterscheiden. In diesem Kontext ist auch das Thema der Finanzierung des Wandels und damit verbunden die Frage nach öffentlichen und privaten Investitionen bzw. Risikokapital von besonderer Bedeutung.

Derzeit lässt sich noch nicht abschätzen, welche Effekte die für das autonome Fahren notwendigen Investitionen in die Infrastruktur aus betriebswirtschaftlicher und volkswirtschaftlicher Sicht haben.

Das Potenzial der Automatisierung und Vernetzung des Verkehrs kann nur ausgeschöpft werden, wenn Ausbaumaßnahmen der digitalen Infrastruktur umgesetzt werden. Entsprechend gehen die Autoren davon aus, dass dadurch die Verkehrsdichte reduziert und Verkehrsflüsse verbessert werden können, sodass weniger volkswirtschaftlicher Schaden durch Staus entsteht. Dies, so die Empfehlung der Studie, sollte in den Verkehrswege- und Städtebauplänen berücksichtigt werden (Bradlow & Jayachandra, 2015). Auch der deutsche Verkehrswegeplan könnte vor dem Hintergrund der sich voraussichtlich ändernden Anforderungen geprüft werden.

Neben diesen verkehrlichen Aspekten der Infrastruktur sind insbesondere die zukünftigen Antriebskonzepte von Bedeutung: Bisher differenzieren Studien im Kontext des autonomen Fahrens kaum nach verbrennungsmotorisch betriebenen und elektrischen Antrieben. Dies ist aber für die Einbindung autonomer Systeme in das Energiesystem und für die Entwicklung bedarfsorientierter Tank- und Ladeinfrastruktur von essenzieller Bedeutung. Autonome Systeme werden voraussichtlich auch autonom tanken bzw. Energie aufnehmen, sodass von einer anders gearteten – möglicherweise auch nicht flächendeckenden – Ladeinfrastruktur ausgegangen werden könnte. Eine engere Kopplung der Ladeprozesse an die Anforderungen der Energie-Infrastruktur wird so an Relevanz gewinnen.

Fahrzeugentwicklung, Produktion und Ressourcen

Auch das Angebot autonomer Systeme, deren Entwicklung und Produktion spielen für die Durchdringung im Markt eine besondere Rolle. Generell sind hier aktuell zwei grundlegend unterschiedliche strategische Herangehensweisen zu erkennen, die sich in eine eher evolutionäre Weiterentwicklung und in eine grundlegend neue Gestaltung von Fahrzeug- und Mobilitätsangeboten untergliedern lässt. Letztere Herangehensweise ist im Sinne dieser Untersuchung Grundlage für einen disruptiven Markthochlauf autonomer Systeme:

- Zum einen folgen „klassische“, im Wesentlichen deutsche Automobilhersteller der Philosophie, die Automatisierung mittels eines inkrementellen Ansatzes weiter zu perfektionieren, bis am Ende ein autonomes Fahrzeug steht.
- Zum anderen werden disruptive Konzepte im Wesentlichen von Akteuren getrieben, die keine Automobilbauhistorie besitzen. Diese zielen mit Entwicklungsaktivitäten direkt auf das Konzept des autonomen Fahrzeuges und die Optimierung dieses Ansatzes.

Eine „richtige“, erfolgsgarantierende Vorgehensweise zeichnet sich bislang noch nicht ab. Insbesondere auch wirtschaftliche Aspekte für ein Übergangsszenario, in dem Finanzmittel für neue Entwicklungen erst vereinnahmt werden müssen, sprechen für das schrittweise Vorgehen. Vergangene Beispiele zeigen aber auch, dass neue Konzepte und Geschäftsmodelle sehr schnell in den Markt eintreten und bestehende Lösungen in zunehmender Geschwindigkeit verdrängen können (z. B. Digitalkameras, Smartphones etc., aber auch Uber, Lyft und Co. im Bereich Mobilität). Da mehrere wirtschaftlich höchst potente Akteure diesem Ansatz folgen, ist eine aufmerksame Marktbeobachtung sehr zu empfehlen.

Neben der Entwicklung neuer Mobilitätsangebote nehmen neue Produktionstechnologien sowie die entsprechend notwendigen Ressourcen Einfluss auf die Marktdurchdringung des autonomen Fahrens. An dieser Stelle fehlen jedoch aktuelle Untersuchungen, ob neue Produktionstechniken wie der 3D-Druck und die Robotik allgemein signifikante Auswirkung auf das Thema haben. Ein Aspekt, der sowohl auf Fahrzeuge selbst als auch auf die Produktion starke Auswirkung haben wird, ist die dynamische Weiterentwicklung der Informationstechnologie. Hier bilden insbesondere Systeme, die sich mit künstlicher Intelligenz und selbstlernenden Algorithmen

men befassen, eine Grundlage, die durchaus kurzfristig zu strukturellen Veränderungen führen kann. Auch hier sind keine empirischen Daten vorhanden, sondern lediglich eine Vielzahl von Veröffentlichungen, die ein entsprechendes Meinungsbild vermitteln.

Exemplarisch sollen im Folgenden die unterschiedlichen Ansätze zur Fahrzeugentwicklung anhand von drei Beispielen aufgezeigt werden. Diese stehen jeweils auch stellvertretend für neue Produktions- und Geschäftsmodellansätze und vermitteln gleichzeitig ein Bild disruptiver Ideen und Ansätze.

Entwicklung auf Basis bestehender Fahrzeuge – Optimierung

Der Audi A8 vereint laut Presseberichten und Aussagen des Herstellers eine Vielzahl von Assistenzsystemen, die in ihrer Vernetzung bislang in keinem Serienfahrzeug verfügbar waren. Zitat des Herstellers:



Audi A8

© Tramino/istockphoto

„Denn Sie verfügen hier über eine bisher einzigartige Fülle vernetzter Systeme. Dieses intelligente Geflecht aus Sensoren und Algorithmen unterstützt Sie auf Wunsch von der Autobahn bis zum Parkplatz in nahezu jeder Fahrsituation und macht das Vorankommen noch komfortabler, souveräner und sicherer. Die bis zu 41 Assistenzsysteme erkennen und bewerten die aktuelle Umgebung während der Fahrt, liefern Ihnen bei Bedarf zusätzliche Informationen und greifen in Stufen ein, wenn es kritisch werden sollte. Mit dieser umfassenden Ausstattung gelingt ein entscheidender Schritt auf dem Weg zum autonomen Fahren.“ (Quelle: Audi AG, 2017)

Der Audi A8 steht als Synonym für die Kompetenzen der Premium-Fahrzeughersteller und zeigt die Entwicklung von der Theorie in die Serie.

Da die Serienfahrzeuge von Tesla einen hohen Grad an Automatisierung mit zukunftsfähigem Design aufweisen, ist hier Tesla als weiteres Beispiel zu nennen. Das Design von Tesla ermöglicht eine Umsetzung der Automatisierungsstufen vier und fünf (Fahrerkabine ohne Pedale und Lenkrad) unter minimalem Aufwand.

Entwicklung neuer Fahrzeugkonzepte – Mobilitätsökosystem



Rinspeed SNAP 2018

© Dmitry Eagle Orlovshutterstock

Neue Fahrzeugkonzepte, die sich deutlich von einer reinen Weiterentwicklung des klassischen Fahrzeugs unterscheiden, sind ein weiterer Ansatz, um über das Fahrzeug hinausgehende Lösungsansätze und Szenarien zu betrachten. Dies kann zur Integration autonomer Mobilitätsdienste und neuer Geschäftsmodelle ins Mobilitätssystem führen. Im Bereich der Concept-Cars werden klassische Kompetenzen und neue Ideen vereint. Zitat des Anbieters Rinspeed:

„Selbstfahrende Autos, vollgestopft mit schnelllebigen IT-Komponenten, werden in absehbarer Zukunft die Verkehrsprobleme nicht nur im urbanen Raum lösen helfen. Dafür hat die Schweizer Ideenschmiede Rinspeed mit dem aktuellen Concept Car ‚Snap‘ ein durchdachtes und einmaliges Mobilität-Ökosystem entworfen: Rinspeed-Boss Frank M. Rinderknecht implementiert die alterungsanfällige Hard- und Software in die nutzungsintensive Fahrplattform („Skateboard“) - und trennt dieses von der langlebigen Fahrgastzelle („Pod“). Fortan gehen beide eigene Wege – wobei der Pod sogar immobil sinnvoll werden kann: vom variablen Shopping-Pod über den geräumigen Camping-Pod und den gemütlichen Kuschel-Pod bis hin zum atemberaubenden, vollvernetzten Nutzererlebnis für die Insassen der Personenkabine. Hier setzt nur die Fantasie den möglichen Ausgestaltungen Grenzen.“ (Quelle: Rinspeed)

Ein weiteres Beispiel liefert der Hersteller Navya: Die Fahrzeuge sind auf bestimmten Routen in den Städten Las Vegas und Paris im permanenten Einsatz.



© Sebastian DURAND/shutterstock



© Sebastian DURAND/shutterstock

Autonome Shuttles von Navya in Paris

Entwicklung von autonomen Systemen – Mobilität neu und anders gedacht



© JasonDoly/stockphoto

Google sieht das eigentliche Marktpotenzial bei der Entwicklung des Google Car nicht in der klassischen Fahrzeugproduktion und dem Fahrzeugverkauf, sondern in der Erhebung, Verwaltung und Kommerzialisierung der Daten. Hinzu kommen Überlegungen, die auch die klassische Produktion mit 3D-Druck-Technologien, mit individuellen Designs aus dem Internet und völlig neue Wertschöpfungsketten beschreiben. Diese, bis hin zu „Services on Demand“ in quasi Echtzeit, weisen dann kaum noch Gemeinsamkeiten mit dem klassischen Automobil auf. Mobilität wird aus einer neuen Wertschöpfungsperspektive betrachtet und gesteuert.

Verknüpfung des autonomen Fahrens im Systemkontext

Sektorenkopplung

Die Bereitstellung von Mobilität unter Betrachtung der Sektorenkopplung – insbesondere zur Energiewirtschaft – ist differenziert nach den verschiedenen Verkehrsträgern zu betrachten (Ausfelder, 2017). Die grundsätzliche Wende hin zu Fahrzeugen mit elektrischen Antriebssystemen (z. B. rein batterieelektrisch) aus der Motivation von Klima- und Umweltschutzgründen wird ausführlich im Rahmen der Strukturstudie BW^e mobil 2019 diskutiert. Der implizite Handlungsdruck entsteht durch die Pariser Klimaschutzverträge aus dem Jahr 2015, die eine völkerrechtlich verbindliche Vereinbarung darstellen. Unterschiede in der Eignung zur vollständigen Elektrifizierung entstehen aus den Anforderungsprofilen und Anwendungsfällen der einzelnen Verkehrsträger. Insgesamt werden im Verkehrssektor heute etwa 900 TWh Primärenergie pro Jahr eingesetzt, woran der Straßenverkehr den weitaus größten Anteil hat (Quaschnig, 2016).

Die Betrachtung der Energiebereitstellung für autonome Systeme wird auch im Kontext der Energiewende zu neuen Ansätzen führen: Batteriefahrzeuge sind mobile Energiespeicher, die durch den autonomen – und damit auch den durch Algorithmen intelligent gesteuerten – Einsatz neue Geschäftsmodelle ermöglichen. Die intelligente Verbindung der Energieströme mit der Mobilität ist derzeit nur ansatzweise erforscht. Die Geschwindigkeit, mit der jedoch die Klimaschutzziele umgesetzt werden müssen, zeigt eindeutig auf den Zwang, die Sektoren enger zu koppeln, um hier maximale Synergie zu erzeugen: Würden eine Million Benzin- und Diesel-Pkw durch Elektrofahrzeuge ersetzt, so würde dafür eine zusätzliche Strommenge von ca. 3 TWh benötigt. Der Ersatz aller 44 Millionen Benzin- und Diesel-Pkw in Deutschland würde demnach zu einer Erhöhung des Strom-

bedarfs um rund 130 TWh pro Jahr führen. Der Gesamt-Energieverbrauch in Deutschland liegt derzeit bei 550 TWh. Der mögliche Beitrag zur Flexibilisierung durch Elektroautos hängt jedoch stark davon ab, inwieweit die Nutzer bereit sein werden, ihre Batterien dem System zur Verfügung zu stellen (Ausfelder, 2017). Dieses Thema könnte durch den Einsatz autonomer Flotten, die nicht mehr im Eigentum des Nutzers stehen, eine zusätzliche Bedeutung bekommen und entsprechenden Einfluss auf die Ausgestaltung der Energiewirtschaft haben. Gleichfalls könnte der Ausbau der Ladeinfrastruktur damit von den bisherigen Prämissen entkoppelt werden, sodass sich neue, ggfs. zentral gesteuerte Konzepte umsetzen lassen.

Über den Ansatz der Sektorenkopplung sind auch andere Industrien – z. B. Transport, Landwirtschaft, Rohstoffindustrie – betroffen. Der Einsatz autonomer Systeme wird auch hier zu neuen Verfahren und Abläufen führen. Analog zur Energiewirtschaft sind die Synergien an dieser Stelle nur rudimentär erforscht. Eine wissenschaftliche Bewertung auf Basis von Fakten ist bislang nicht möglich.

Um das Thema der Sektorenkopplung und dessen Bedeutung noch mit einer weiteren Facette zu untermauern, sei die seit langem betriebene Forschung zu cyberphysischen Systemen (CPS) und darauf aufbauend die Entwicklung künstlicher Intelligenz erwähnt. Sowohl autonome Systeme in der Entwicklung als auch alle erforderlichen Kommunikations- und Interaktionsfähigkeiten dieser Systeme sind übergreifend zu betrachten. Die digitale Vernetzung physischer Elemente (Internet of Things) sowie die Möglichkeiten der aus den Transaktionen gewonnenen Daten (Big Data) lassen viel Raum für neue Geschäftsmodelle. Leider muss auch hier festgestellt werden, dass es kaum faktenbasierte Aussagen gibt und die Entwicklung im Kontext der Forschungs-

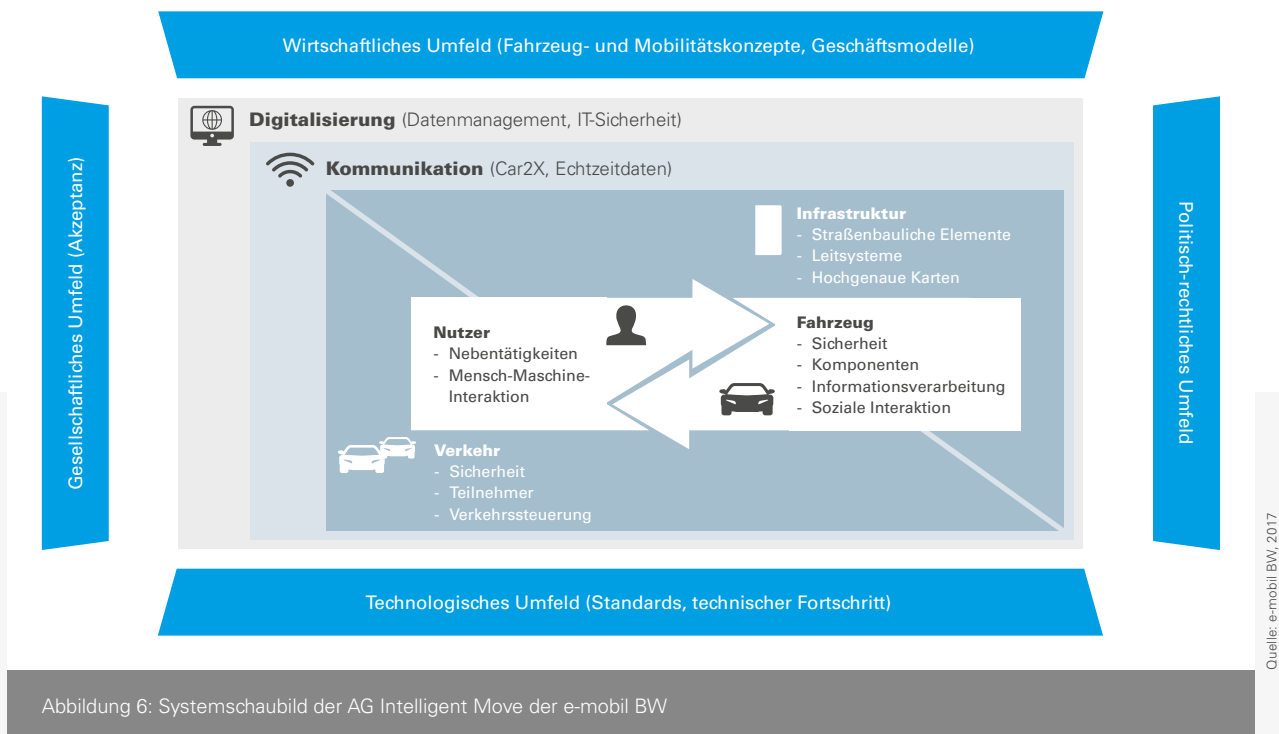


Abbildung 6: Systemschaubild der AG Intelligent Move der e-mobil BW

und Innovationslandschaft nur schwer dem systemischen Ansatz folgt. Fachspezifische Expertise, wie sie sowohl in der Ausbildung als auch in der Forschung existiert, ist leider kein hinreichendes Kriterium, um den bereits klar absehbaren Megatrends adäquat zu folgen.

Systemische Betrachtung

Das autonome Fahrzeug soll aus Sicht der klassischen OEMs den bestehenden Typus von Fahrzeugen schrittweise um zusätzliche Hard- und Software-Features ergänzen und so auch für zusätzliche Umsätze sorgen. Seine Kernfunktion besteht jedoch darin, die neuen Wettbewerber, insbesondere aus der amerikanischen Datenindustrie, abzuwehren, um die bestehende Struktur der Automobilindustrie in die Zukunft zu führen. Die mit dem geänderten Teileportfolio eines autonomen Fahrzeugs verbundene veränderte, primär digital orientierte Zuliefererstruktur wird dies aller Voraussicht nach aber ebenso wenig zulassen wie die für neue Mobilitätssysteme erforderlichen Datennetzwerke und deren Betreiber. So führt beispielsweise schon die geänderte Annahme „weg vom Produkt Auto, hin zu Daten als Services“ zu einer Verschiebung der Unternehmenserträge und damit partiell auch der Einkommen der Beschäftigten zu den Soft-

ware- und Datenkonzernen. „Die Gesamtheit dieser Wandlungsprozesse wird voraussichtlich eine ökonomische Dynamik entfalten, die im Fahrzeugbau kaum noch eine Mutter auf eine Schraube passen lassen wird.“ (IMO, 2017).

Ausgehend von dieser Perspektive bleibt für das in dieser Studie untersuchte Durchdringungsszenario zum autonomen Fahren eine Übergangszeit, in der ein systemischer Ansatz weiter zu entwickeln ist. Systemischer Ansatz bedeutet also, nicht nur den Fahrzeugbau zu betrachten, sondern neue Anwendungsfelder und Geschäftsoptionen mit in die Betrachtung zu integrieren. Technologie und Anwendung des autonomen Fahrens sind nur sehr bedingt mit individuellem Personenverkehr alter Prägung zu vergleichen. Systemgrenzen werden verschwinden und systemübergreifende Ansätze werden an Bedeutung zunehmen.

Nachfolgendes Schaubild zeigt die aktuellen Herausforderungen, die Digitalisierung, Kommunikation und autonomen Systemen für die Mobilität von morgen bedeuten – wissenschaftlich, dass sich Mobilität von "übermorgen" deutlicher in den Bereichen Fahrzeug, Infrastruktur und Verkehr differenzieren lässt. Die oben genannten Schlüsselfaktoren zeigen diese Tendenz bereits heute.

Annäherung an ein Szenario zur Marktdurchdringung des autonomen Fahrens

Nachfolgende Darstellungen basieren auf den 1976 am Battelle-Institut entwickelten Szenariotechniken. Diese setzen sich aus folgenden Schritten zusammen:

- Themenfelddefinition und Sammlung der Einflussfaktoren
- Analyse der Einflussfaktoren nach Relevanz
- Wirkungsanalyse zur vernetzten Darstellung einzelner Faktoren
- Projektion zu jedem Einflussfaktor
- Szenario-Bildung auf Basis einer Konsistenzmatrix
- Aussagen und Schlussfolgerungen

Relevanz der Einflussfaktoren

Für die weitere Betrachtung ist eine Zuordnung der Relevanz des jeweiligen Einflussfaktors erfolgt. Diese subjektive Einschätzung gilt nur annäherungsweise, stellt aber für die weitere Betrachtung eine wesentliche Grundlage dar (siehe Tabelle 2). Die Einstufungen reichen von 0,1 (geringe Relevanz) bis 3,0 (höchste Relevanz).

Größte Relevanz für die Marktdurchdringung des autonomen Fahrens ist nach dem Ergebnis eines eigens durchgeführten Experten-Workshops die Gesetzgebung im Sinne von Regularien, Normen und Standards. Diese sollten vor dem Hintergrund der Anforderungen, die sich aus der Übertragung der Fahraufgabe vom Menschen auf ein autonom agierendes System und auf Basis international einheitlicher Standards – zumindest aber EU-weiter Standards – ergeben, angepasst werden. Die Politik und der Gesetzgeber haben direkten Einfluss auf die Ausgestaltung dieser Regularien.

Zweiter wichtiger Einflussfaktor ist der Einsatzzweck und die damit verbundene räumliche Zuordnung autonom agierender Fahrzeuge. Hier ist insbesondere eine Untergliederung nach

autonomen Systemen in urbanen und ländlichen Räumen von hoher Relevanz. Je nach Anforderungsprofil und Transportaufgabe können unterschiedliche autonome Systeme in unterschiedlichen Anwendungsszenarien agieren. Die daraus entstehenden Marktpotenziale und Geschäftsmodelle werden so voraussichtlich in unterschiedlichen Intensitäten bedient. Auch die Übernahme von Sonderaufgaben (z.B. Müllabfuhr, Landwirtschaft) spielt für die Marktdurchdringung eine wichtige Rolle. Mit dem Einsatzzweck unmittelbar verbunden sind ebenfalls die Einflussfaktoren, die sich auf die Preise und Kosten autonomer Mobilitätsangebote und -funktionen beziehen. Diese werden in dieser Einschätzung an fünfter Stelle gelistet.

Weitere, laut Experten relevante Einflussfaktoren sind die Akzeptanz – definiert über das Vertrauen in autonom agierende technische Systeme in einem definierten Rechtsrahmen – sowie eng damit verknüpft die Entwicklung eigenständiger, lernender Systeme hoher künstlicher Intelligenz.

Wirkungsanalyse und Abhängigkeiten der Einflussfaktoren

Zur Definition eines Szenarios zum autonomen Fahren wurde anschließend im Rahmen einer Wirkungsanalyse untersucht, welches die treibenden Kräfte im System sind und welche eher zu den getriebenen Aspekten gehören respektive kaum durch Innovation gezielt veränderbar sind. Die Gegenüberstellung in einer Wirkungsmatrix umfasst das Beziehungsgeflecht, das sich im Sinne einer Wirkungsbilanz in folgende Kategorien untergliedern lässt.

- **Treibend:** Was hat in der Wirkung einen großen Einfluss auf das Gesamtsystem?
- **Ausgeglichen:** neutrale Wirkung
- **Getrieben:** Was ist nicht oder kaum im definierten Zeitraum zu beeinflussen?

Lfd. Nr.	Einflussbereich	Name	Relevanz
1.2	Rechtsrahmen und Politik	Rechtsrahmen – Gesetzgebung	3,0
6.1	Einsatzzweck	Räumliche Zuordnung (Stadt, Land, gesonderter Zweck)	2,9
2.1	Akzeptanz	Vertrauen (Technologie und rechtliche Aspekte)	2,7
3.2	Technologie	Entwicklung der künstlichen Intelligenz	2,6
4.1	Preis/Kosten	Kosten für autonome Funktionen/Mobilität	2,6
1.1	Rechtsrahmen und Politik	EU-weite Regelungen	2,5
5.1	Infrastruktur	Infrastruktur (inkl. Finanzierung)	2,4
2.5	Akzeptanz	Arbeitsplätze	2,3
7.1	Bedarf	Einfachheit der Nutzung	2,3
7.2	Bedarf	Flexibilität in der Nutzung	2,3
1.3	Rechtsrahmen und Politik	Förderung und Verbote	2,0
2.2	Akzeptanz	Sicherheit	2,0
2.3	Akzeptanz	Akzeptanz in der Gesellschaft	2,0
3.4	Technologie	Technologie allgemein	2,0
8.4	Geschäftsmodell	Internationalität	2,0
3.3	Technologie	Datennutzung	1,9
8.3	Geschäftsmodell	Neue Angebote	1,9
2.4	Akzeptanz	Verknüpfung alte und neue Welt der Mobilität	1,8
7.3	Bedarf	Klima und Umwelt	1,8
8.1	Geschäftsmodell	Neue Kunden	1,8
1.4	Rechtsrahmen und Politik	Versicherungen	1,5
5.2	Infrastruktur	Energieversorgung autonomer Fahrzeuge	1,5
3.1	Technologie	Zuverlässigkeit der Technologie	1,0
6.2	Einsatzzweck	Wegfall ruhender Verkehr	1,0
4.2	Preis/Kosten	Preismodelle	0,8
5.3	Infrastruktur	Finanzierung Infrastruktur	0,7
6.3	Einsatzzweck	Pendlerverkehr	0,7
7.4	Bedarf	Motivation zum Wandel (Hype?)	0,4
8.2	Geschäftsmodell	Mobilität Mehrwerte	0,2

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 2: Szenario-Deskriptoren nach Relevanz

Weiterhin sind alle Aspekte auch durch die Vernetzung untereinander zu bewerten. Je enger eine Beziehung zwischen den Einflussfaktoren ist, desto stärker tritt die jeweilige Wirkung ein. Die Darstellung von Wirkungen und Beziehungen wurde in dieser Vorgehensweise auf die drei Kategorien

„schwach“, „mittel“ und „stark“ eingeschränkt. Da jedes mit jedem Element im Zusammenhang steht und nicht deterministisch beschrieben werden kann, genügt als valide Annäherung dieses grobe Muster.

Die Verknüpfung aller genannten Faktoren in einer Relevanz-Wirkungscharakter-Matrix zeigt die Abhängigkeiten auf (siehe Tabelle 4): von rechts nach links zunehmend die drei Wirkungskategorien und von unten nach oben aufsteigend die Relevanz der Einflussfaktoren.

Grafisch ergibt sich damit eine verdichtete Darstellung (siehe Abbildung 7; die Nummerierung der Deskriptoren entspricht der in den Tabellen zuvor). Sie verdeutlicht den Zusammenhang von Wirkung und Vernetzung. Die Größe der Kreise illustriert die Bedeutung bzw. Wirksamkeit des Einflussfaktors.

Die Bewertung wird anhand einer Matrix dargestellt und befüllt. Dies wird in folgender Tabelle 3 komprimiert durch den Vernetzungsgrad dargestellt.

Nr.	Deskriptor	Vernetzungsgrad	Vernetzung	Wirkungsbilanz
3.2	Entwicklung der künstlichen Intelligenz	38 %	Schwach	Treibend
8.4	Internationalität	29 %	Schwach	Treibend
3.3	Datennutzung	52 %	Mittel	Treibend
2.2	Sicherheit	43 %	Mittel	Treibend
5.2	Energieversorgung autonomer Fahrzeuge	46 %	Mittel	Treibend
6.1	Räumliche Zuordnung – Stadt, Land, ges. Zweck	50 %	Mittel	Treibend
6.2	Wegfall ruhender Verkehr	32 %	Schwach	Treibend
1.4	Versicherungen	36 %	Schwach	Ausgeglichen
3.1	Zuverlässigkeit der Technologie	48 %	Mittel	Ausgeglichen
8.2	Mobilität Mehrwerte	50 %	Mittel	Ausgeglichen
1.3	Förderung und Verbote	61 %	Stark	Ausgeglichen
5.3	Finanzierung Infrastruktur	16 %	Schwach	Ausgeglichen
1.1	EU-weite Regelungen	48 %	Mittel	Ausgeglichen
4.1	Kosten für autonome Funktionen/Mobilität	48 %	Mittel	Ausgeglichen
5.1	Infrastruktur	41 %	Mittel	Ausgeglichen
2.3	Akzeptanz in der Gesellschaft	88 %	Stark	Ausgeglichen
2.4	Verknüpfung alte und neue Welt der Mobilität	66 %	Stark	Ausgeglichen
3.4	Technologie allgemein	43 %	Mittel	Ausgeglichen
2.1	Vertrauen (Technologie und rechtliche Aspekte)	38 %	Schwach	Ausgeglichen
6.3	Pendlerverkehr	39 %	Schwach	Ausgeglichen
7.3	Klima und Umwelt	41 %	Mittel	Getrieben
7.4	Motivation zum Wandel (Hype?)	64 %	Stark	Getrieben
8.1	Neue Kunden	54 %	Mittel	Getrieben
8.3	Neue Angebote	63 %	Stark	Getrieben
4.2	Preismodelle	41 %	Mittel	Getrieben
7.1	Einfachheit der Nutzung	57 %	Mittel	Getrieben
2.5	Arbeitsplätze	34 %	Schwach	Getrieben
7.2	Flexibilität in der Nutzung	50 %	Mittel	Getrieben
1.2	Rechtsrahmen – Gesetzgebung	32 %	Schwach	Getrieben

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 3: Wirkungsbilanz und Vernetzungsgrad der Deskriptoren

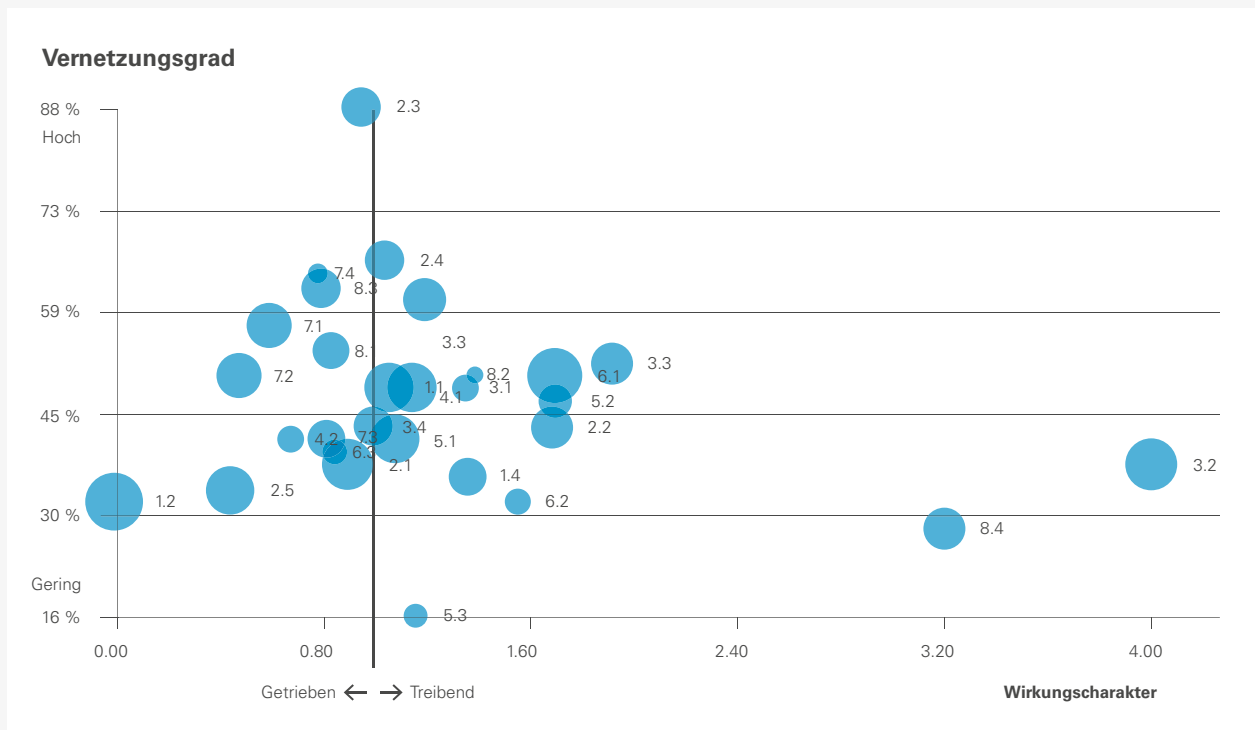
Wirkungscharakter			
Relevanz	Getriebene Faktoren (ZS/SpS: <0,9)	Faktoren mit ausgeglichener Wirkungsbilanz (ZS/SpS: 0,9–1,4)	Treiber (ZS/SpS: >1,4)
Hohe Relevanz (Relevanzwert 3)	1.2 Rechtsrahmen – Gesetzgebung	1.1 EU weite Regelungen 2.1 Vertrauen (Technologie und rechtliche Aspekte) 4.1 Kosten für autonome Funktionen/Mobilität	3.2 Entwicklung der künstlichen Intelligenz 6.1 Räumliche Zuordnung (Stadt, Land, gesonderte Zwecke)
Mittlere Relevanz (Relevanzwert 2)	2.5 Arbeitsplätze 7.1 Einfachheit der Nutzung 7.2 Flexibilität in der Nutzung 7.3 Klima und Umwelt 8.1 Neue Kunden 8.3 Neue Angebote	1.3 Förderung und Verbote 2.3 Akzeptanz in der Gesellschaft 3.4 Technologie allgemein 5.1 Infrastruktur 1.4 Versicherungen 2.4 Verknüpfung alte und neue Welt der Mobilität	2.2 Sicherheit 8.4 Internationalität 3.3 Datenschutz 5.2 Energieversorgung autonomer Fahrzeuge
Geringe Relevanz (Relevanzwert 1)	4.2 Preismodelle	3.1 Zuverlässigkeit der Technologie 5.3 Finanzierung Infrastruktur 6.3 Pendlerverkehr	6.2 Wegfall ruhender Verkehr
Keine Relevanz (Relevanzwert 0)	7.4 Motivation zum Wandel Hype?)	8.2 Mobilität Mehrwerte	

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 4: Gruppierung der Deskriptoren nach Relevanz und Wirkungscharakter

(Hinweis: Die Abkürzungen ZS und SpS stehen für Zeilen- und Spaltensummen und dienen zur Berechnung der Faktoren)

Bei der Darstellung werden in mehreren Bereichen Annäherungen und Einschätzungen verwendet, die folglich nur eine mögliche Zukunft darstellen.



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 7: Grafische Darstellung der Wirkungsanalyse

Projektion der Einflussfaktoren

Eine einfache Projektion mit je drei Perspektiven zu jedem der 29 Deskriptoren sowie eine damit verbundene Konsistenzprüfung ergeben kein klares Bild, welche Zukünfte sich mit einer hohen Wahrscheinlichkeit entwickeln könnten. Allein die ersten 50 möglichen Szenarien sind im Wahrscheinlichkeitsmaß (arithmetisches Mittel der Eintrittswahrscheinlichkeiten) quasi identisch und somit ist ein Vergleich zu den anderen Szenarien kaum aussagekräftig.

Lediglich die Aussage, dass optimistischere Einschätzungen eine leicht höhere Eintrittswahrscheinlichkeit haben als pessimistische, kann getroffen werden. Dieser Aussage liegt jedoch eine subjektive Einschätzung zugrunde, die derzeit nicht weiter durch Fakten unterfüttert werden kann. Das Ergebnis ist folglich kritisch zu würdigen und lässt viele Interpretationsmöglichkeiten zu. Was sich aus der Szenariobetrachtung allerdings zeigt, ist die Tatsache, dass es sich um höchst komplexe Wechselwirkungen der einzelnen Einflussfaktoren handelt und dass die bereits zuvor getroffene Aussage aus der Wirkungsanalyse bestätigt wird. Faktoren mit hohem Wirkungscharakter werden die Szenarien wesentlich stärker beeinflussen.

Ergebnis der Szenario-Betrachtung und Implikationen

Aus den bisherigen Analysen lässt sich nach heutigem Stand noch kein verlässliches Szenario ableiten, wann und unter welchen Bedingungen tatsächlich mit einer Durchdringung gerechnet werden kann. Vielfältige mögliche Ausprägungen der Einflussfaktoren legen den Schluss nahe, dass es zu unterschiedlichen Anwendungsfällen und damit auch zu unterschiedlichen Graden und Geschwindigkeiten der Durchdringung kommen wird.

Exemplarisch sind hier die Anwendungsfälle zu Platooning-Konzepten der Logistikbranche zu nennen. Diese aktuell noch auf den technischen Verbund der Fahrzeuge ausgelegten Versuche werden sehr schnell eine Weiterentwicklung erfahren. Ziel ist es, lediglich noch das erste Fahrzeug im Verbund durch einen realen Fahrer überwachen zu lassen, wobei alle Folgefahrzeuge schon vollautomatisiert fahren könnten. Die Kosteneinsparungen wären so hoch, dass es schnell Anwendungsszenarien – vorausgesetzt die Rechtsprechung ermöglicht dies – gäbe.







Implikationen für die Marktdurchdringung des autonomen Fahrens

- I. Es wird Anwendungsfälle geben, die sofort nach Freigabe durch die Rechtsprechung umgesetzt werden würden. Platooning-Konzepte sind ein gutes Beispiel.
- II. Die Hochlaufsznarien setzen sich aus mehreren Anwendungsfeldern (siehe Abbildung 8) zusammen und werden mit lokal sinnvollen Anwendungsfällen starten. Erste konkrete Fälle sind Stand heute umgesetzt (Beispiele aus Deutschland: Bad Birnbach und Stadt Friedrichshafen mit konkreten Testfällen). Die Technik ist weitestgehend bereit zur Anwendung und je nach Anforderungsgrad verfügbar. Anforderungsgrad bedeutet hier praktische Szenarien, wie z. B. die Geschwindigkeit, mit der sich Fahrzeuge bewegen. Sehr geringe Geschwindigkeiten sind aktuell machbar und im praktischen Einsatz; weitere Anforderungen sind zum Teil noch in der Erprobung. Ein Beispiel hierfür ist die Anwendung in geschützten Bereichen, wie z. B. auf einem Flughafen oder einem Campus. Auch hier sind Einsatzmöglichkeiten bereits heute gegeben, wobei insbesondere die Kosten der klassischen und der neuen Fahrzeuge die Durchdringung definieren. Sobald es mehr und geeignete Fahrzeuge gibt, werden die Durchdringung und damit auch die allgemeine Akzeptanz in der Bevölkerung schnell ansteigen.
- III. Die Anpassungen für komplexe Situationen bedürfen vielschichtiger Wandlungsprozesse. Von „sicherer“ Technologie, über Vertrauen und Akzeptanz bis hin zu wirtschaftlich tragfähigen Lösungen. Damit ist absehbar, dass es relativ lange auch Übergangslösungen mit autonomen Fahrzeugen und Individualverkehr (Mischverkehr) geben wird.

Was es braucht, um schließlich eine allgemeine Ablösung des heutigen Individualverkehrs in signifikant großem Umfang zu erhalten, ist heute noch unklar. Eine subjektive Einschätzung mehrerer Experten zeigt folgenden erwarteten Verlauf der Durchdringung des autonomen Fahrens.

- **Phase I bis 2025:** Vorbereitung durch Forschung und reale Tests mit verschiedenen Anwendungsfällen im Industriemaßstab (z. B. Flughafen, Landwirtschaft)
- **Phase II bis 2030:** Konkretisierung von Geschäftsmodellen und Neustrukturierung der gesetzlichen Rahmenbedingungen sowie Anpassungen der Infrastruktur und Herstellungsnetzwerke (insbesondere auch international getrieben).
- **Phase III bis 2035:** Schnell bis sprunghaft anwachsende Zunahme autonomer Fahrzeuge.
- **Phase IV bis 2040:** Die überwiegende Zahl mobiler Einsätze (Personen und Güter) erfolgt mit autonomen Fahrzeugen.

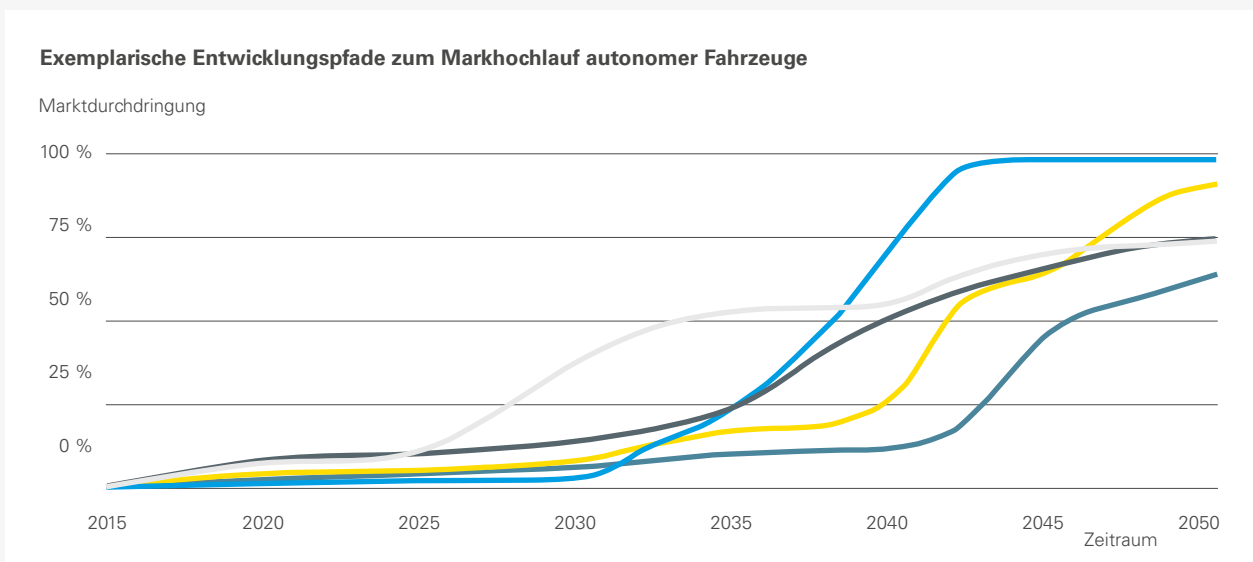
Dieses Schaubild (Abbildung 8) illustriert exemplarisch fünf subjektive Entwicklungspfade zum Markthochlauf autonomer Fahrzeuge, die auf Basis unterschiedlicher Experteneinschätzungen entstanden sind. Das Bild verdeutlicht lediglich mehrfache subjektive Darstellungen, die einen Hochlauf zwischen 2030 und 2040 erwarten. Diese Spreizung über zehn Jahre sowie die Geschwindigkeit des Hochlaufes verdeutlicht sehr anschaulich die doch noch recht unterschiedlichen Einschätzungen.

Was wird befördert?	Wem gehört das Fahrzeug?	Wo kann das Fahrzeug eingesetzt werden?	
		 Autobahn	 Stadt und Autobahn
 Passagiere	 Flotte	Autonome Cruise Pods	Von Geofencing bis zu L5 ¹ -Robotaxis
	 Privat	Von fortschrittlichen Fahrerassistenzsystemen zu privaten autonomen Fahrzeugen	
 Güter		Von Platooning bis zu autonomen Lkw	Von geofenced bis zu L5 ¹ -Robo-Lieferung

¹ Level 5 (Vollautomatisierung) gemäß den Definitionen der SAE International, die in SAE J3016 festgelegt sind.

Quelle: Bertonecello, 2017

Abbildung 8: Strukturierte Anwendungsfälle des autonomen Fahrens



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 9: Subjektive Einschätzungen zur Durchdringung des autonomen Fahrens

Auswirkungen auf Umsatzpotenziale, Wertschöpfung und Beschäftigung sowie ausgewählte Branchen

Die Einflüsse der Digitalisierung und des autonomen Fahrens auf neue Konzepte und Technologien im Mobilitätssektor werden aller Voraussicht nach groß sein – der Zeitpunkt ihres Eintretens ist aber nicht trennscharf darstellbar. Dennoch ist vorauszusehen, dass auch das Thema autonomes Fahren weit mehr positive Effekte als negative haben könnte, sofern es aktiv begleitet und frühzeitig politisch gesteuert wird.

Im Folgenden werden die möglichen Effekte durch Fahrzeugautomatisierung, Fahrzeugvernetzung und neue Mobilitätskonzepte auf unterschiedliche Branchen qualitativ beschrieben. Diese Einschätzungen ergänzen damit die quantitativen Berechnungen zu den Auswirkungen der Elektrifizierung der Strukturstudie *BW^e mobil 2019* auf einer qualitativen – aber weniger belastbaren – Ebene. Für diese qualitative Einschätzung werden auf Basis der Methodik der *Grounded Theory*² im folgenden Teil unterschiedliche Studien herangezogen, um so existierende Analysen zusammenzufassen und deren Kernaussagen darzustellen. Ergänzt werden diese Kernaussagen um qualitative Experteninterviews, sodass eine Einschätzung zu den von Forschung, Industrie und Beratungsunternehmen erzeugten Analysen erfolgen kann. Die Interviews wurden mit Experten der Daimler AG, des Zukunftsinstituts, der Universität Tübingen und der Universität Ulm durchgeführt.

Metaanalyse zu Umsatzpotenzialen aus der Digitalisierung

Die Metaanalyse mehrerer Studien zeigt deutlich, dass durch die Digitalisierung der Automobilwirtschaft weltweit eine Steigerung der Umsätze von bis zu 30 % bis 2030 zu erwarten ist. So sprechen die Studien von Umsatzpotenzialen von 50 bis zu 1.300 Mrd. Euro bis 2030, dies entspricht einer Steigerung von ca. 4–5 % pro Jahr, die allein durch die Digitalisierung realisiert werden können (IAO, 2017; IW Consult, 2017; Frost & Sullivan, 2017; McKinsey, 2016; Viereckl et al., 2015). Beachtenswert bei den Studienergebnissen ist einerseits, dass sehr wenige Studien überhaupt konkrete Zahlen hinsichtlich der Umsatzpotenziale nennen, und andererseits, dass die genannten Zahlen sich in einem breiten Spektrum bewegen und im Extremfall bis zu einem Faktor 30 voneinander abweichen.

So geht z. B. die McKinsey-Studie „Automotive revolution – perspective towards 2030“ davon aus, dass allein in dem durch die Digitalisierung entstehenden Markt bis 2030 ein globaler Umsatz von 1.500 Mrd. US-Dollar erwirtschaftet werden kann. Im Vergleich gehen die Autoren dieser Studie davon aus, dass durch den klassischen Verkauf von Fahrzeugen 5.200 Mrd. US-Dollar und durch den Aftermarket weitere 3.500 Mrd. US-Dollar umgesetzt werden können. Insgesamt stellen die Autoren der McKinsey-Studie dar, dass der Automotive-Markt bis 2030 weltweit auf ein Gesamtvolumen von 6.700 Mrd. US-Dollar ansteigt, was einem durchschnittlichen Wachstum von ca. 4,4 % pro Jahr entspräche. Der Markt für autonomes und vernetztes Fahren soll im gleichen Zeitraum um insgesamt 30 % wachsen (McKinsey, 2016).

2 | Barney G. Glaser, Anselm L. Strauss: Die Entdeckung gegenstandsbezogener Theorie: Eine Grundstrategie qualitativer Sozialforschung. In: Christel Hopf, Elmar Weingarten (Hrsg.): Qualitative Sozialforschung. Klett-Cotta, Stuttgart 1979, ISBN 3-12-923591-4, S. 91–111.

Der Einnahmenpool der Automobilindustrie könnte sich durch Wachstum und Diversifikation mit neuen Dienstleistungen bis 2030 zu einem Markt von ca. 1,5 Billionen US-Dollar entwickeln

Milliarden US-Dollar

HOCHDISRUPTIVES SZENARIO

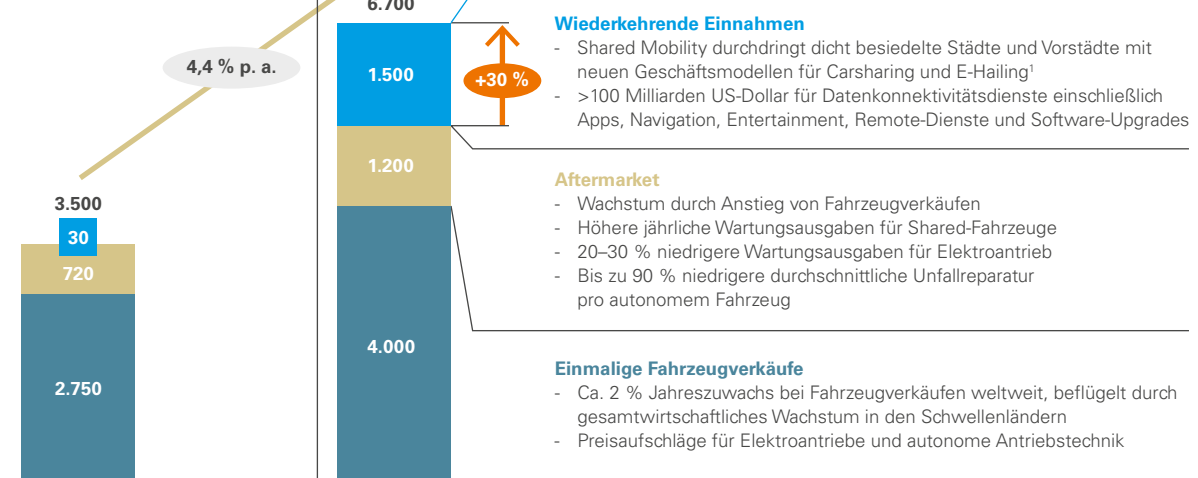
Traditionelle Einnahmen der Automobilindustrie

Neue Einnahmen der Automobilindustrie, 2030

Vorrangig Fahrzeugverkauf

Wiederkehrende Einnahmen steigen erheblich

Heute



¹ Traditionelle Taxis und Mietfahrzeuge ausgenommen.

Quelle: McKinsey 2016

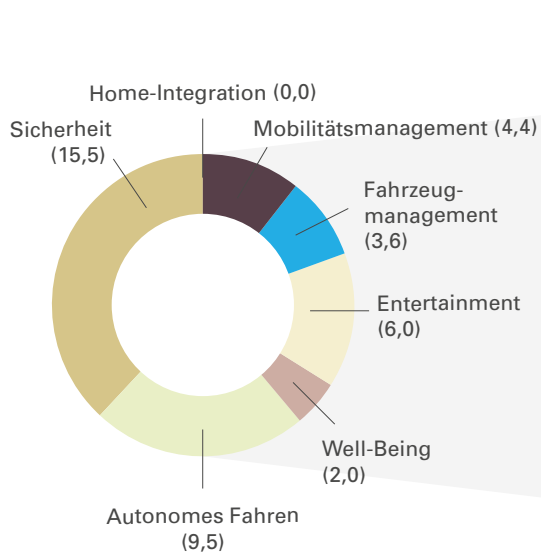
Abbildung 10: Umsatzpotenziale Automobilwirtschaft, High-Disruption-Szenario

Andere Studien, wie z.B. „Racing ahead with autonomous cars and digital innovation“ von Viereckl et al. gehen von einem Umsatzpotenzial von ca. 123 Mrd. Euro aus, allerdings bis zum Jahr 2021. Die Autoren schließen aber trotzdem nicht aus, dass das automatisierte und vernetzte Fahren in den nächsten Jahren das Potenzial hat, das komplette Ökosystem

Automobilwirtschaft disruptiv zu verändern (Viereckl et al. 2015). Aufgegliedert sehen Viereckl et al. im Jahr 2021 vor allem in den Bereichen Sicherheit (ca. 49,3 Mrd. Euro) und autonomes Fahren (ca. 39,6 Mrd. Euro) ein großes Umsatzpotenzial.

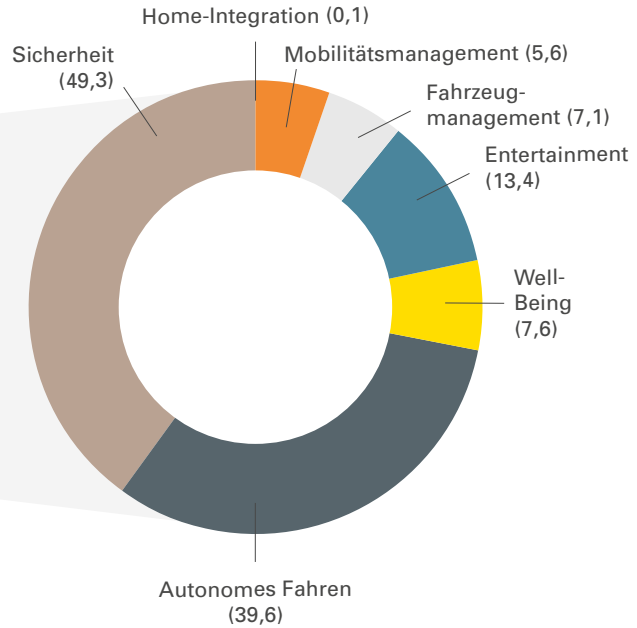
2016

Marktpotenzial in Mrd. Euro
Insgesamt: 40,3 Mrd. Euro



2021

Marktpotenzial in Mrd. Euro
Insgesamt: 122,6 Mrd. Euro



Geschätzter Markt für vernetzte Fahrzeugtechnologien, 2016–21

Quelle: Strategie&

Hinweis: Aufgrund von Rundungen können sich bei Summenbildungen Differenzen ergeben. Nur Pkw, ausgenommen leichte Nutzfahrzeuge.

Quelle: Viereckl, et al., 2015

Abbildung 11: Erwarteter Markt für Connected-Car-Technologien 2016–21

In Anbetracht dieses stark wachsenden Marktes ist es zwingend notwendig, sich frühzeitig auf diesen einzurichten. Wird jedoch der Digitalisierungsgrad der unterschiedlichen Automobilhersteller und potenzieller neuer Marktteilnehmer dargestellt, so muss festgestellt werden, dass die baden-württembergische Automobilindustrie laut einer Analyse aus dem Jahr 2016 keine Vorreiterrolle einnimmt. So führen zwar Daimler, BMW und Audi/Volkswagen die Rangliste bei den klassischen OEMs an, müssen sich jedoch z.B. Tesla und

quereinsteigenden Technologieunternehmen wie Apple, Google usw. geschlagen geben (Winkelhake, 2017). Der Digitalisierungsgrad wird dabei anhand der Parameter „Angebot von digitalen Diensten“, „Partnerschaften im digitalen Bereich“, „Angebot (bzw. zeitnahe Ankündigung) von Fahrzeugen mit Elektroantrieb bzw. auch autonom fahrender Autos“, „organisatorische Anpassungen“ sowie die „Google-Treffer“ der Begriffsverbindung „Herstellernamen + Digitalisierung“ abgeschätzt.

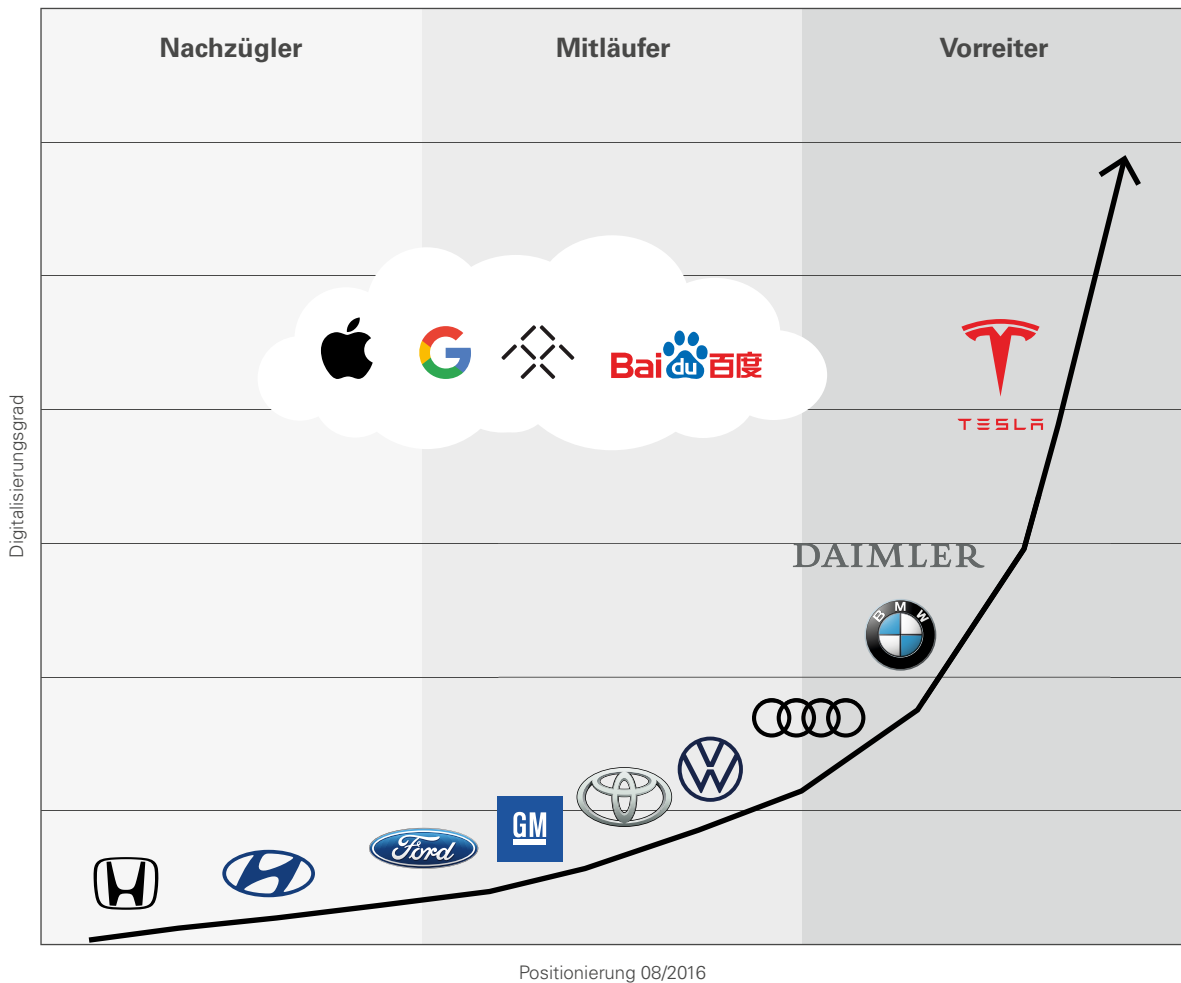


Abbildung 12: Digitalisierungsgrad der Automobilhersteller 2016

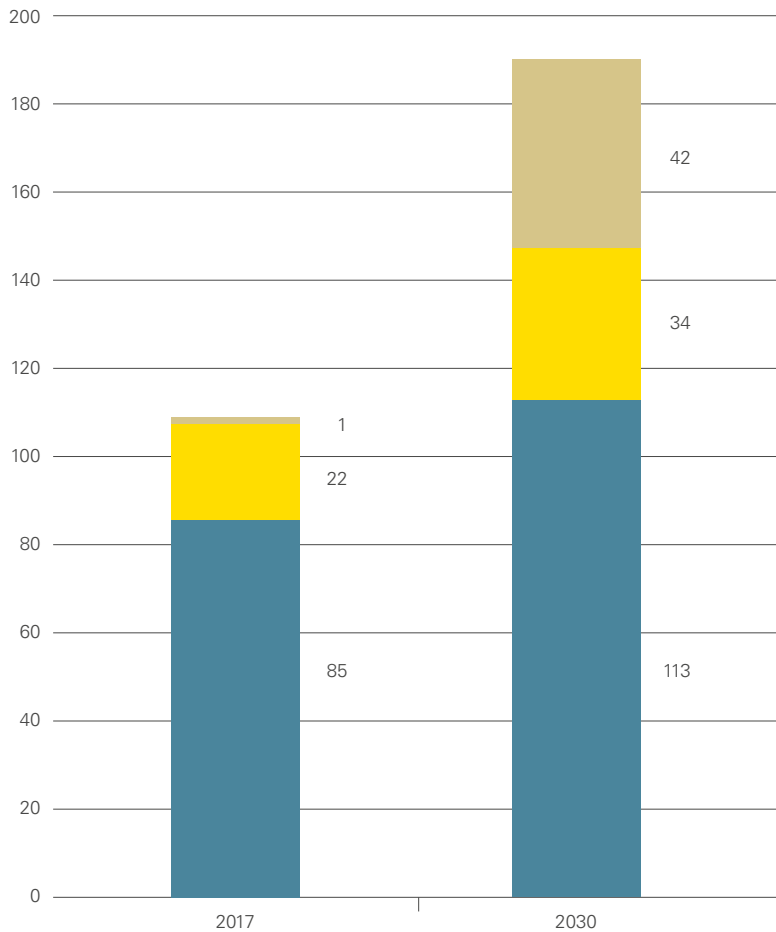
Quelle: Winkelhake, 2016

Dies deckt sich auch mit der im Rahmen der Strukturstudie BW^e mobil 2019 durchgeführten Patentanalyse, aus der hervorgeht, dass die deutschen und baden-württembergischen Automotive-Unternehmen hinsichtlich klassischer Technologien auch zukünftig sehr gut aufgestellt sind, jedoch gerade im Bereich der Digitalisierung – und im Speziellen beim Thema autonomes Fahren – hinter den US-amerikanischen und japanischen Unternehmen liegen.

Im Jahr 2017 wurde im Automobilssektor weltweit ein Umsatz in Höhe von ca. 3.200 Mrd. Euro erwirtschaftet (vgl. McKinsey, 2016). Der baden-württembergische Anteil hieran betrug 108 Mrd. Euro, womit die Automobilwirtschaft in Ba-

den-Württemberg der umsatzstärkste Industriezweig ist. Werden diese Zahlen sowie die Berechnungen des „High Disruption“-Szenarios der McKinsey-Studie zugrunde gelegt, bedeutet das für die baden-württembergische Automobilindustrie, dass sich 2030 durch die Digitalisierung ein Umsatzpotenzial von ca. 42 Mrd. Euro zusätzlich realisieren lassen könnte. Bei diesen Berechnungen wurden die Potenziale für Verkauf, Aftersales und Digitalisierung jeweils linear extrapoliert, um die jeweiligen Umsatzpotenziale für Baden-Württemberg abzuschätzen. Eine detaillierte Abschätzung der Anteile für Baden-Württemberg ist zum jetzigen Zeitpunkt aufgrund der nur sehr spärlich vorhandenen Daten nicht belastbar möglich.

Umsatzpotenziale Automobilwirtschaft Baden-Württemberg in Mrd. Euro



- Umsatzpotenzial Verkauf
- Umsatzpotenzial Aftersales
- Umsatzpotenzial Digitalisierung

Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 13: Umsatzpotenziale Automobilwirtschaft Baden-Württemberg

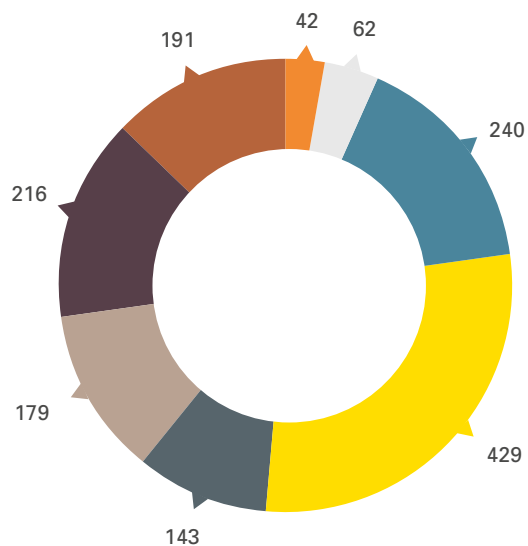
Werden die Umsatzpotenziale für die Digitalisierung bei einer globalen Betrachtung analog gleichmäßig verteilt, lassen sich mit den oben genannten Zahlen (McKinsey, 2016) sowie den Anteilen von Staaten an der weltweiten Produktion der Automotive-Branche (VDA/Statista.de, 2017) im Jahr 2030 Umsatzpotenziale durch die Digitalisierung für China von 429 Mrd. Euro, für Japan von 143 Mrd. Euro und für die USA von 216 Mrd. Euro abschätzen.

Im Folgenden werden drei Dimensionen der Digitalisierung der Automobilwirtschaft aufgespannt: Vernetzung zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur, autonomes Fahren sowie neue Geschäftsmodelle für Mobilitätsdienstleistungen. Diese drei Dimensionen zeigen beispielhaft, wie sich die Automobilindustrie in den nächsten Jahren und Jahrzehnten verändern

kann. Zu den jeweiligen Dimensionen werden kurz einige Beispiele zur Illustration angeführt. Eine detaillierte Abschätzung der Umsatzpotenziale der jeweiligen Dimensionen ist aufgrund der uneinheitlichen Datenlage in den betrachteten Studien nur bedingt möglich. Auch aus den Experteninterviews konnte hier kein detaillierteres Bild gewonnen werden. Um genauere Aussagen zu bekommen, sollten bestehende Modelle für den Bereich autonomes und vernetztes Fahren adaptiert werden und mittels qualitativer Methoden verifiziert werden.

Vernetzung

Die Vernetzung im Bereich der Fahrzeuge, in Kombination mit veränderten Kundenbedürfnissen, führt vor allem im Bereich



- Baden-Württemberg
- Deutschland ohne BW
- Europa (Rest)
- China
- Japan
- Asien (Rest)
- USA
- Rest der Welt

Abbildung 14: Verteilung der Umsatzpotenziale durch die Digitalisierung der Automobilwirtschaft 2030 in Mrd. Euro

Quelle: eigene Darstellung

Infotainment zu neuen Umsatzpotenzialen. Schon heute wird die Verzahnung von Mobiltelefon und Fahrzeug über eine Vielzahl von Schnittstellen immer engmaschiger und unterschiedlichste Dienste von Echtzeit-Verkehrsdaten bis hin zu Musikstreaming sowie die Integration von Smartphone-Applikationen in die Head-Unit sind möglich. Zusammen mit 5G-Mobilfunknetzen und WLAN-11p Netzwerken werden in Zukunft allerdings deutlich umfangreichere Entertainment-Dienste sowie auch fahrtbezogene Dienste, wie eine Assistenz bei Lichtsignalanlagen („Grüne-Welle-Assistent“ oder Warnung bei Baustellen) und virtuelle Verkehrsbeeinflussungsanlagen möglich (Lemmer, 2016; Winkelhake, 2017). Auch sicherheitsrelevante Funktionen können mittels Vernetzung realisiert werden, so z. B. die Vernetzung mit schwächeren Verkehrsteilnehmern wie Fußgängern und Fahrradfahr-

ern, um beispielsweise Kollisionen zu vermeiden oder abzumindern (Lemmer, 2016).

Neben den oben exemplarisch genannten Möglichkeiten wird die Vernetzung auch Einfluss auf Handel und Aftersales haben. So werden durch die Vernetzung der Fahrzeuge mit den Herstellern z. B. viele, vor allem markenunabhängige, Autohäuser immer weniger in den Informationsfluss (z. B. bei Fehlern) einbezogen, da die Daten direkt an den OEM weitergeleitet und dort ausgewertet werden (Dispan, 2017).

Autonomes Fahren

Autonom fahrende Fahrzeuge werden bis 2030 in den großen Städten ca. 30 % der Fahrzeugflotte darstellen und durch die

inhärent höheren Nutzungsgrade bis zu 50 % des Mobilitätsbedarfs in Städten abdecken (Winkelhake, 2016). Dadurch ergeben sich deutliche Auswirkungen auf die Umsätze bestehender Mobilitätsdienstleister wie des Taxigewerbes und der Carsharing-Anbieter, aber auch des ÖPNV.

Vor allem das Kfz-Gewerbe muss sich neue Geschäftsmodelle überlegen, um der Digitalisierung und auch der Elektromobilität zu begegnen. Schon heute sind hier deutliche Umsatzrückgänge spürbar, da Assistenzsysteme beispielsweise zu weniger Lack- und Karosserieschäden führen (Dispan, 2017). Erwartet werden 90 % Umsatzrückgang bei Lack- und Karosseriearbeiten, 20–30 % Rückgang aufgrund der wartungsärmeren reinen Elektrofahrzeuge, aber gleichzeitig ein möglicher Aufwuchs von 20–30% durch „Shared Mobility“ (McKinsey, 2016).

Darüber hinaus könnte sich die Anzahl an Autohäusern deutlich verringern, da diese möglicherweise sukzessive bei einer Marktdurchdringung autonom fahrender Fahrzeuge durch zentrale Distributionszentren ersetzt werden. Aus diesen könnten die Fahrzeuge sich gar selbst autonom an den Kunden ausliefern (Winkelhake, 2017).

Neue Geschäftsmodelle für Mobilitätsdienstleistungen und Plattformökonomie

„Ziel ist es, das Auto zur Plattform zukünftiger Mobilitätskonzepte und zum digitalen Erlebnisraum zu machen. Das Auto der Zukunft muss vernetzt, autonom sowie emissionsfrei sein und die Möglichkeit für Shared Mobility liefern.“ Daimler-Vorstand Ola Källenius im Rahmen der Consumer Electronics Show (CES) Anfang 2017

Aus heutiger Sicht ergeben sich für das Jahr 2030 verschiedene Implikationen für neue Geschäftsmodelle im Bereich der Mobilitätsdienstleistungen. So kann beispielsweise davon ausgegangen werden, dass in den industrialisierten Ländern, insbesondere in den großen Städten, der Markt für Pkws im Privatbesitz gesättigt ist und Wachstumspotenziale zukünftig vor allem durch neue Mobilitätsdienstleistungen generiert werden können (Winkelhake, 2017; Horx, 2018).

Durch die Digitalisierung werden Fahrzeuge verstärkt über den neuen Vertriebskanal der Onlineplattformen verkauft. Dies stellt gerade für die Händler eine Gefahr dar, auch wenn aktuell noch 60 % der Händler die Digitalisierung für „über-

schätzt“ halten. Allerdings wird in der Branche schon heute durchaus anerkannt, dass Amazon, Apple und Co. langfristig eine Gefahr für den klassischen Händler darstellen können (Dispan, 2017).

Immer stärker etabliert sich das Geschäftsmodell, Fahrzeuge über Autovermietungen und andere Mobilitätsdienstleister zu verkaufen. Durch dieses Vertriebsmodell versprechen sich die großen Automobilhersteller schon heute höhere Gewinne, da die meisten Fahrzeuge nicht mehr über das Detailgeschäft³ vertrieben werden müssen und so die Prozesskosten für den Vertrieb von Fahrzeugen sinken. Allerdings verlieren die Hersteller – und noch viel mehr die Händler – in diesem Modell immer stärker den Kontakt zum Endkunden (Dispan, 2017).

Es werden sich für die OEMs auch durch die Sammlung von Daten neue Geschäftsmodelle entwickeln. So kann Renault beim Modell ZOE beispielsweise schon heute das Laden der Batterie untersagen, wenn die Leasingraten nicht gezahlt werden (Dispan, 2017). Dieses Modell kann aber z.B. auch zur kurzfristigen Freischaltung von Features im Auto genutzt werden, wodurch neue Umsatzpotenziale nach dem Verkauf des Autos erschlossen werden können.

Grundsätzlich zeichnet sich ab, dass die Geschäftsmodelle in der Automobilindustrie sich deutlich verändern werden. Die heute noch vorherrschenden, kontrollierten und geschlossenen Ökosysteme werden immer stärker offenen System weichen (Koster, 2016; Winkelhake, 2017). Dies ist vor allem der weiterentwickelten IT-Architektur im Fahrzeug geschuldet, die wiederum dem Kundenwunsch nach immer besserer „Smart Device Integration“ ins Fahrzeug Rechnung trägt. Diese offene Architektur zwingt die klassischen Automobilhersteller, ihre Systeme neuen Anbietern wie Apple, Google und Co. zu öffnen. Gleichzeitig muss sich die Automobilbranche an das höhere Entwicklungstempo in der IT-Branche, in der neue Versionen im Jahresrhythmus üblich sind, anpassen. In diesem Zusammenhang muss die Automobilbranche Wege finden, ihre bisherigen Sicherheits- und Qualitätsstandards trotz des deutlich höheren Entwicklungstempos aufrechtzuerhalten (Winkelhake, 2017). Darüber hinaus wird auch der Automobilhandel eine grundlegende Veränderung erfahren, weg vom stark händlerzentrierten Ansatz zu einem direkten Weg des OEM zum Endkunden. Der Händler spielt dabei (wie Abbildung 15 zeigt) nur noch eine untergeordnete Rolle.

3 | Beim „Detailgeschäft“ handelt es sich um den Einzelvertrieb von Fahrzeugen an Endkunden. Dem steht das „Flottengeschäft“ mit Unternehmenskunden gegenüber.

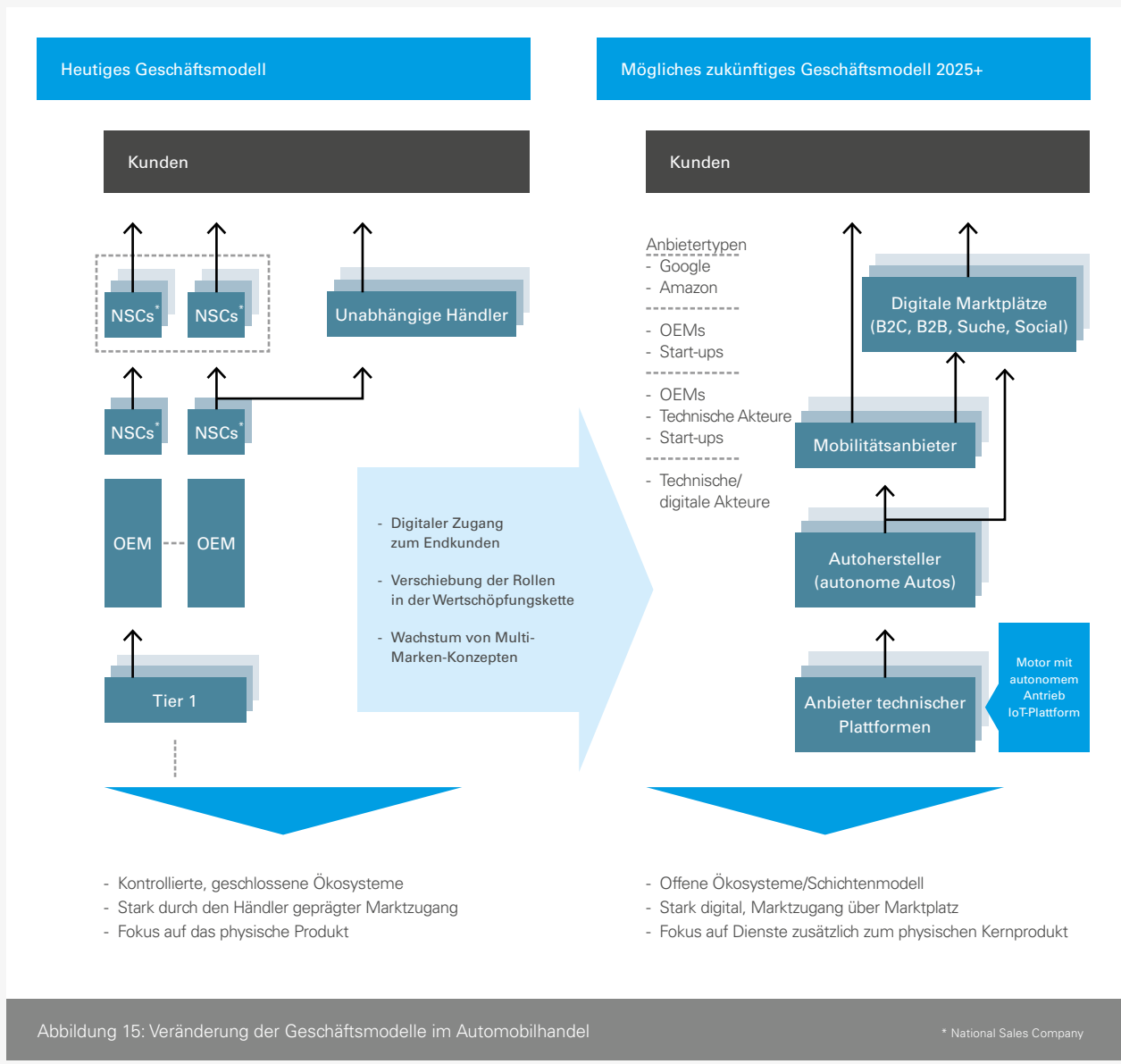


Abbildung 15: Veränderung der Geschäftsmodelle im Automobilhandel

* National Sales Company

Quelle: Koster, 2016

Alle diese Geschäftsmodelle eint, dass sie den Konsumententrends im Automobilmarkt nachkommen müssen, um erfolgreich zu sein. Im Wesentlichen lassen sich dabei folgende Trends für die nächsten Jahre erkennen.

Konsumententrends	Implikationen für die (Auto-)Mobilität
Multigrafie	Lebensentwürfe vollziehen sich immer fragmentierter. Bedürfnisse werden situativer. „Lebensabschnitts-Produkte“ werden wichtiger als Zielgruppenstrategien (Alter, soziale Schicht ...).
Downaging	Konsumenten fühlen sich wesentlich jünger, als ihr tatsächliches biologisches Alter besagt. Keine Ghetto-Produkte, sondern Erlebnisprodukte für den „zweiten Aufbruch“.
Familie 2.0	Netzwerk-, Patchwork- und Fragmentfamilien haben einen hohen und hochdifferenzierten Mobilitätsbedarf, der nicht über den Family Van, SUV oder Kombi bedient werden kann.
Neo-Cities	Auto-Mobilität, die sich den Anforderungen der grünen Zukunftsstädte (zero emission cities) anpasst.
Greenomics	Auto-Mobilität, die einem gesunden und gleichzeitig genussorientierten Lebensstil gerecht wird. Mobilitätslösungen, die ökologisch korrekt sind, aber auch für den Verbraucher nachhaltig wirken.
New Luxury	Produkte, welche die eigene Lebensqualität steigern. Tendenzielle Abkehr von Status- und Prestigegedanken.
Simplify	Vereinfachung; Zeitersparnis; Einfachheit und Unsichtbarkeit von technologischen Prozessen.
Deep Support	Unterstützungsdienstleistungen, die sich individuell den Bedürfnissen des Einzelnen anpassen. Infrastrukturen aus Mikrodienstleistungen, die das Leben zwischen Zuhause und Arbeitsplatz organisieren.
Cheap Chic	Bezahlbare, „clevere“ Produkte, die trotzdem den Wunsch nach Exklusivität, Design und Luxus befriedigen.

© Eigene Darstellung, Quelle: Winterhoff, M.; Kahner, C.; Ulrich, C.; et al., 2015

Abbildung 16: Konsumententrends im Automobilmarkt

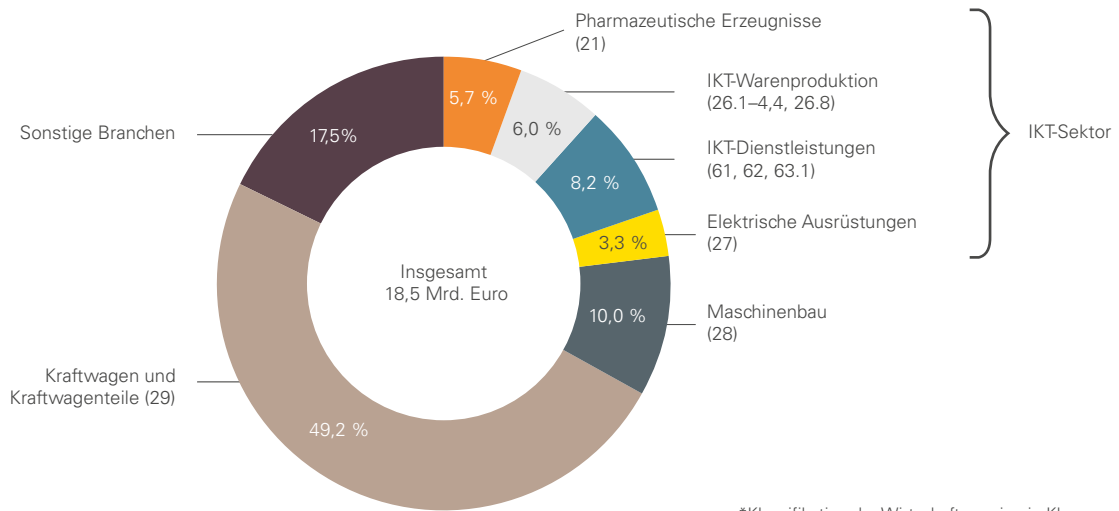
Besonders hervorzuheben für die Automobilindustrie sind hier die Entwicklungen „Greenomics“, „Neo-Cities“ sowie „New Luxury“. Der Trend „Neo-Cities“ wird durch die veränderte Stadtarchitektur und die mit ihr einhergehende Verkehrsplanung dazu führen, dass die heute noch üblichen Fahrzeugkonzepte nicht mehr in die Städte von morgen passen. Dies trifft sowohl für den Antriebsstrang zu als auch für die Notwendigkeit des fahrerlosen Fahrens, um die Bedürfnisse der Menschen zu erfüllen und gleichzeitig den Anforderungen städtischer Verkehrsplaner zu genügen, die beide kein Interesse an mehr Verkehr auf den Straßen haben. Zusätzlich wird dieser Trend durch den Trend der Greenomics noch weiter verstärkt und nicht nur auf die großen Ballungszentren beschränkt. Da sich so die veränderten Anforderungen durch die gesamte Gesellschaft ziehen, werden es arrivierte Fahrzeugkonzepte in Zukunft immer schwerer haben, einen Markt zu finden. Über diese beiden Trends hinaus führt die eher emotional ausgeprägte Entwicklung hin zu „New Luxury“ dazu, das bisherige Statussymbole wie große SUVs usw. in Zukunft einen Bedeutungsverlust erfahren und durch andere Statussymbole wie z.B. Smartphones ersetzt werden. Währenddessen wird die Lebensqualität durch ein Mehr an Freizeit und bewusstem Erleben außerhalb der Arbeitswelt bemessen und weniger an Luxusgegenständen. Über die hier bereits aufgezählten Konsumententrends hinaus geht die mögliche, auch durch das au-

tonome Fahren angestoßene Entwicklung der „Feminisierung des Autokaufs“. Bisher ist der durchschnittliche Autokäufer immer noch männlich, da aber autonom fahrende Fahrzeuge weniger Macht- und Kontrollbedürfnisse erfüllen als manuell gesteuerte, ist zu erwarten, dass in Zukunft der Anteil weiblicher Autokäufer spürbar ansteigen wird. Daraus muss sich eine angepasste Kundenansprache durch die Automobilwirtschaft ableiten, um diese größer werdende Kundengruppe zu adressieren. Allgemein kann von einer Veränderung des Konsumverhaltens ausgegangen werden. Feminisierung ist hier lediglich ein exemplarischer Teil des Ganzen (Horx, 2018).

Vergleich der Forschungsausgaben zum Umsatz

Im Jahr 2017 wurde in Baden-Württemberg so viel wie niemals zuvor in Forschung und Entwicklung investiert: nominal 12,9 Mrd. Euro. Die Automobilbranche trug stärker als in den vorherigen Jahren dazu bei, indem sie ihre Investitionen um 21,8 % im Vergleich zum Vorjahr erhöhte. Damit betrug 2017 ihr Anteil an den gesamten FuE-Investitionen in Baden-Württemberg 38,2 % (Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg 1/2018). Dem gegenüber steht allerdings ein relativ geringer Anteil an FuE-Investitionen im IKT-Sektor, hier wurden 2015 nur 14,2 % der FuE-Investitionen getätigt (Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg 3/2018).

FuE-Aufwendungen des Wirtschaftssektors in Baden-Württemberg 2015 nach ausgewählten Branchen*



Quelle: Statistisches Landesamt

Abbildung 17: FuE-Aufwendungen nach Wirtschaftssektor in Baden-Württemberg 2015

Vor dem Hintergrund, dass gerade in diesem Bereich besondere Anstrengungen notwendig sind, um den Anschluss an die Weltspitze nicht zu verlieren (vgl. Patentanalyse in Strukturstudie BW⁶ mobil 2019), sollten die FuE-Ausgaben deutlich erhöht werden. Werden jedoch die Umsätze der jeweiligen Branchen sowohl mit den FuE-Ausgaben pro Beschäftigten als auch der FuE-Quote⁴ verglichen, wird deutlich, dass schon heute beide Indikatoren im IKT-Sektor höher sind als in der Automobilbranche, zudem deutlich höher als im Maschinenbau (Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg 1/2018, 3/2018). Zu beachten ist jedoch, dass zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Analyse (Anfang 2019) für die Zahlen der FuE-Mittel für die IKT-Branche nur Daten aus 2015, für den Automotive-Sektor und den Maschinenbau jedoch bereits Zahlen aus 2017 vorlagen.

Zusammenfassend weisen aktuelle Studien bis 2030 globale zusätzliche Umsatzpotenziale von 50–150 Mrd. Euro durch die Automatisierung und weitere 40–70 Mrd. Euro durch die Vernetzung und Digitalisierung auf (IAO, 2017; IW Consult, 2017; Frost & Sullivan, 2017; McKinsey, 2016, Viereckl et al., 2015). Der wachsende Markt bietet durch die Automatisierung und Vernetzung, das autonome Fahren und neue Geschäftsmodelle insgesamt große Chancen für zusätzliche Umsätze und Gewinne, auch für die „klassischen“ Automobilhersteller und

Zulieferer. Wesentlich ist dabei, dass es den baden-württembergischen Unternehmen gelingt, diese Wertschöpfungspotenziale frühzeitig wahrzunehmen und in die bestehenden Geschäftsmodelle zu integrieren oder das Portfolio entsprechend zu erweitern.

Auswirkungen auf Wertschöpfung und Beschäftigung sowie auf unterschiedliche Branchen

Konkrete Zahlen in Bezug auf Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte für ein disruptives Szenario des autonomen Fahrens sind nach aktuellem Stand der Wissenschaft und Forschung noch nicht verfügbar. Studien, die nur hochautomatisiertes Fahren im Fokus haben, sehen durchaus positive Effekte im Hochlauf weiterer Automatisierungen, wie zuvor auch an den Umsatzpotenzialen dargestellt.

Jedoch kann für ein disruptives Szenario zur Durchdringung des autonomen Fahrens in einem Zeitraum ab 2030 noch keine wissenschaftliche belegbare Aussage zu konkreten Effekten getroffen werden. Im Gegenteil – gerade die Konzepte des autonomen Fahrens werden neue und andere Wertschöpfungs- und Beschäftigungsstrukturen hervorbringen und sollten Bestandteil weiterführender Untersuchungen sein.

4 | Anteil des Umsatzes, den ein Unternehmen für Forschung und Entwicklung (FuE) ausgibt.

Nachfolgendes Schaubild illustriert die Veränderungspotenziale in der Beschäftigung unterschiedlicher Branchen durch Digitalisierung und autonomes Fahren. Die Einschätzung wurde anhand einer auf der Grounded Theory (Glaser & Strauss, 1979) basierenden Analyse mehrerer Studien erstellt und mittels Expertenworkshops und -interviews verifiziert.

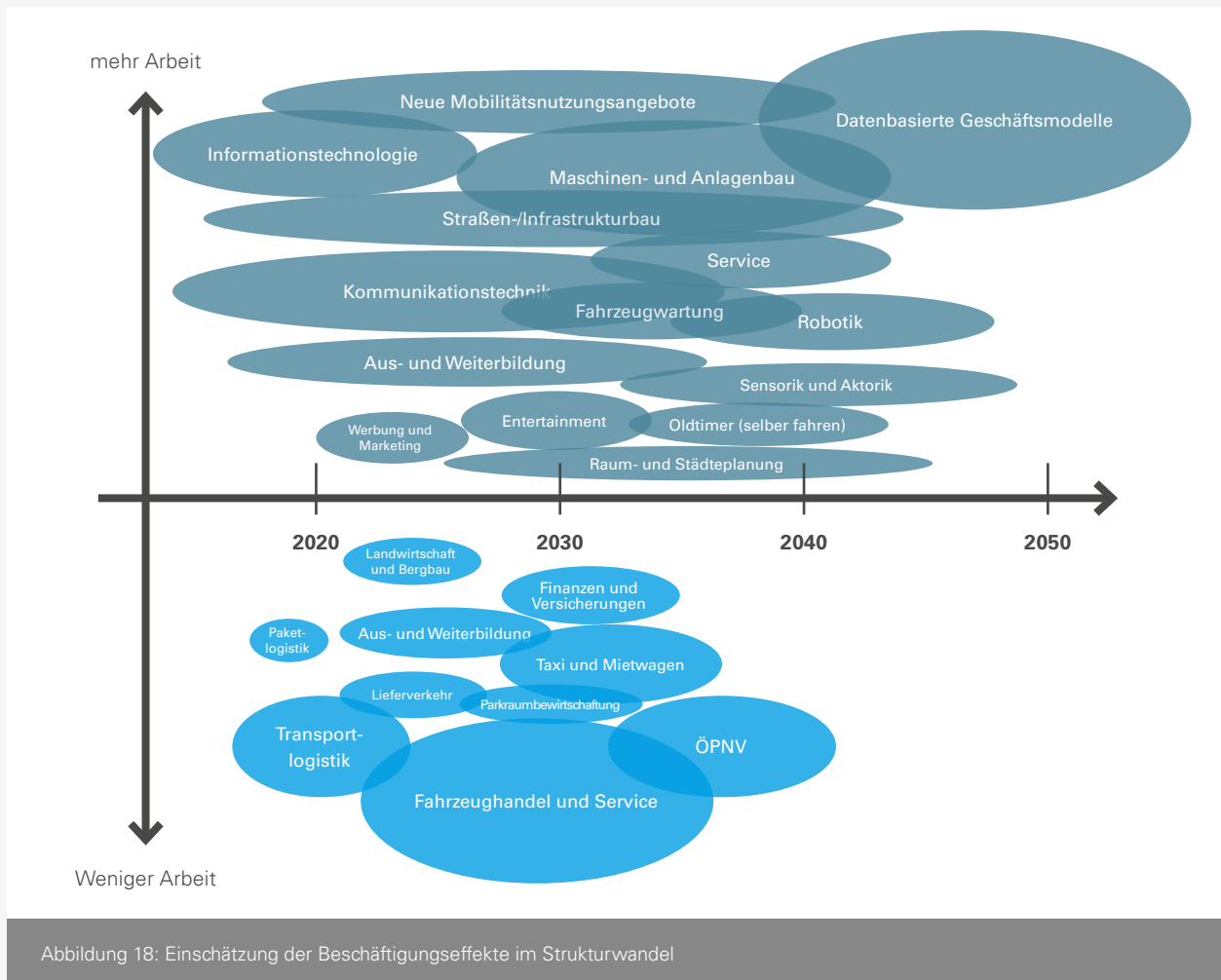


Abbildung 18: Einschätzung der Beschäftigungseffekte im Strukturwandel

Autonomes Fahren ist also nicht nur für die Automobilindustrie im Sinne des klassischen Fahrzeugbaus relevant. Die Veränderungen auch für andere Branchen werden voraussichtlich tiefgreifend sein. Nachfolgende Branchen sind besonders betroffen – ohne, dass hier die Automobilindustrie nochmals explizit genannt ist (Bertoncello, 2017).

- **Fahrzeughandel und Service** – Durch eine zu erwartende Veränderung der Ansprüche an Eigentum hin zu einer geteilten Nutzung der Systeme („Sharing Economy“) werden große Teile der bestehenden Strukturen nicht mehr relevant sein. Der klassische Handel wird voraussichtlich

mit Ausnahme eines Premium-Segments und einiger weniger Spezialisierungssegmente zum Erliegen kommen. Auch werden Reparatur, Wartung und Instandhaltung nicht mehr wie in bisherigem Umfang erforderlich sein, da die Unfallzahlen und auch leichte Schäden, wie z. B. Lack- und Karoserieschäden, deutlich reduziert werden (Dispan, 2017).

- **Landwirtschaft und Bergbau** – Durch die Einführung autonomer Systeme in kontrollierbaren Umgebungen ist diese Branche bereits heute betroffen. Arbeitskosteneinsparungen von bis zu 90 % und CO₂-Vermeidung bis 60 % sind dadurch möglich.

- **Transportlogistik** – Mittelfristig könnten in der Logistik vollautomatisierte Lkw beispielsweise eine bessere Flottenauslastung ermöglichen und Lieferketten effizienter machen. Gleichzeitig werden das Fahrzeug bzw. das Cockpit sich zu einem anderen „Arbeitsplatz“ verwandeln, und Fahrer und menschliche Begleiter werden neue Aufgaben statt des „Fahrens“ übernehmen. Innerbetriebliche Transporte (auf abgegrenzten Arealen) sind bereits heute stark mit fahrerlosen Transportsystemen durchgesetzt, beispielsweise am Hamburger Hafen.
 - **Taxi und Mietwagen** – Kombiniert mit neuen Mobilitätsangeboten wie Carsharing werden selbstfahrende Autos die Geschäftsmodelle verändern. Die Zahl der Fahrzeuge im Carsharing wuchs in den fünf Jahren bis 2017 um über 30 % pro Jahr, die Zahl der Nutzer um 41 %. Investitionen in Start-ups, die neue Mobilitätsdienstleistungen anbieten, stiegen von 44 Mio. (2010) auf 5,1 Mrd. US-Dollar 2014. Möglich ist auch eine zukünftige Verschmelzung mit dem ÖPNV zu einem ganzheitlichen Mobilitätsangebot. Davon ist auch das Carsharing betroffen.
 - **Parkraumbewirtschaftung, ruhender Verkehr und Innenstadtplanung** – Denkbar sind automatisiertes Parken außerhalb der Stadtzentren und engere Parkplätze, in die Autos vollautomatisch manövrieren. So könnten bis zu 25 % des Parkraums für eine andere Nutzung freigemacht werden. Tank- bzw. Ladevorgänge könnten sich in geeigneten zentralen Ladeparks konzentrieren.
 - **Versicherungsbranche** – Das Geschäftsmodell der Kfz-Versicherungen steht vor massiven Änderungen. Bisher stehen individuelle Versicherungen aller Verkehrsteilnehmer gegen menschliches Versagen im Fokus, künftig liegt das Augenmerk voraussichtlich auf der Versicherung weniger Autohersteller sowie Flottenorganisationen gegen ein technisches Versagen der Fahrzeuge.
 - **Finanzbranche** – Durch die veränderte Nutzung könnte der Wunsch nach Eigentum deutlich reduziert werden. Die Finanzierung eines eigenen Fahrzeugs – und damit auch das Kreditgeschäft – würden dann drastisch zurückgehen.
 - **Paketlogistik** – Neue Nutzungsszenarien der Auslieferung könnten den bisherigen manuell gesteuerten Fuhrpark ergänzen oder komplett obsolet machen.
 - **Lieferverkehr** – Bisherige Konzepte werden auf kostenintensives Personal verzichten und neue Formen der Lieferketten etablieren, die mit wesentlich weniger manuellen Arbeitsschritten konzipiert werden. Das betrifft den Lieferverkehr zwischen Industriekunden, im Handel und bis zum Endverbraucher.
 - **ÖPNV** – Könnte sich zum fahrerlosen Transportsystem entwickeln. Menschliche Begleiter werden ggf. neue Aufgaben statt der des „Fahrens“ übernehmen.
 - **Aus- und Weiterbildung** – Fahrlehrerinnen und Fahrlehrer „alter“ Schule wird es immer weniger geben, ebenso wie alle Berufe, die mit dem klassischen Wissen über Verkehr einhergehen.
- Neben den Branchen, die durch das autonome Fahren tendenziell Nachteile und den Wegfall von Geschäftsmodellen erleben, wird es auch Akteure geben, die von den neuen Ansätzen profitieren könnten.
- **Kommunikationstechnik** – Eine Vielzahl neuer Elemente im Energie- und Verkehrssystem kommuniziert miteinander und mit den Leitstellen. Der Kommunikationsbedarf führt zu erhöhtem Bedarf an Infrastruktur, die gebaut und gewartet werden muss. Völlig neue Lieferketten und Servicebereiche werden entstehen, mit voraussichtlich signifikanten Beschäftigungszahlen.
 - **Informationstechnologie** – Da sich der größte Wandel im Bereich der Soft- und Hardware ergeben wird, sind in diesem Umfeld und in allen Bereichen der IT-Industrie starke Zuwächse zu erwarten. Sondereffekte sind für datenbasierte Geschäftsmodelle zu erwarten, die in hohem Maß von der Mobilität als Datengrundlage profitieren werden.
 - **Werbung und Marketing** – Die neu zur Verfügung stehende Zeit, in der nicht selbst das Auto gefahren werden muss, kann anderweitig genutzt werden. Dies eröffnet neue Wege und Möglichkeiten für z. B. Entertainment-Lösungen im Fahrzeug, verbunden mit neuen Potenzialen für Werbung und Marketing (siehe auch Horváth, 2016).
 - **Neue Geschäftsmodelle** – Die frei zur Verfügung stehende Zeit wird durch neue Aktivitäten und Geschäftsmodelle gefüllt. Kreative Angebote werden völlig neue Nutzungsszenarien der Reisezeit hervorbringen.

- Eine signifikant große Gruppe von Experten aus dem Bereich **Automotive Engineering** wird ebenfalls eine hohe Nachfrage erfahren, um den erforderlichen Umbau hin zu neuen Systemen und Lösungen zu gestalten. Insbesondere Baden-Württemberg hat hier besonderes Potenzial.

Es ist grundsätzlich bei allen Prognosen zwischen Umsatzeffekten und Beschäftigungseffekten zu differenzieren. Positive Umsatzentwicklung kann mit weniger Beschäftigung einhergehen und Beschäftigung bedeutet nicht notwendigerweise mehr Umsatz, sondern ggf. nur Verlagerung.

Neben der Zeit, die im Fahrzeug anderweitig genutzt werden kann, sind darüber hinaus auch neue Zielgruppen als potenzielle neue Märkte zu erwähnen. Beispiele hierfür sind Menschen, die heute nicht, nicht mehr oder noch nicht in der Lage sind, eigenständig ein Fahrzeug zu führen. Diese Zielgruppen bzw. damit verbundene Branchen werden voraussichtlich frühzeitig neue Angebote definieren, entwickeln und nutzen.

Änderungen der Umsatz- und Beschäftigungseffekte werden folgende Auswirkungen auf unterschiedliche Branchen haben.

- **Entertainment** – Angebote zur Nutzung der neuen Freizeit werden entstehen. Ausreichende Kommunikationsmöglichkeiten und Konnektivitätstechnologien sind allerdings eine Grundvoraussetzung dafür.
- **Maschinen- und Anlagenbau** – Die neuen Fahrzeuge sind von der Gesamtkonzeption – und als Elektrofahrzeuge ausgelegt – weniger komplex als bisherige Verbrennungsfahrzeuge. Allerdings wird der Umbau der Produktionsanlagen einen erhöhten Bedarf an neuen Anlagen mit sich bringen.
- **Robotik** – Vollautonome Fahrzeuge und Roboter beruhen auf ähnlichen Technologien. Die zunehmende Verbreitung selbstfahrender Autos wird daher auch den Markterfolg von Robotern in anderen Bereichen beschleunigen.
- **Sensorik und Aktorik** – Analog der Robotik ist ein deutlicher Technologieschub in diesem Bereich zu erwarten, sodass auch angrenzende Industriesektoren profitieren.
- **Service** – Neue Produktionsanlagen müssen installiert und betrieben sowie die betrieblichen Anläufe neu organisiert werden. Der Umbau einer bestehenden Produktionslandschaft zu einer neuen oder anderen Produktion wird ebenfalls mehrere Jahre bis Jahrzehnte andauern. Neue Geschäftsmodelle sind hier ebenfalls zu erwarten.

- **Fahrzeugwartung** – Autonome Fahrzeuge könnten eigenständig Servicezentren anfahren, sodass hohe Zentralisierungseffekte zu erwarten sind, um Effizienzen maximieren zu können. Ein komplett neuer Industriezweig könnte hier entstehen.

- **Straßenbau** – Der Ausbau der **Infrastruktur** wird generell einen deutlichen Aufschwung erleben, da für den hochautomatisierten Verkehr bedarfsgerechte Umbaumaßnahmen erforderlich werden. Parallel zur Durchdringung mit autonomen Fahrzeugen wird es eine Zunahme an Baumaßnahmen geben. Hier ist insbesondere auch der Rückbau für ruhenden Verkehr in den Städten zu nennen.

- **Städteplanung** – Die Planung und Umsetzung einer veränderten Infrastruktur muss langfristig in den Planungs- und Umsetzungsprozessen verankert werden.

- **Aus- und Weiterbildung** – Die Menschen, die die neuen Systeme bedienen wollen, müssen ausgebildet und geschult werden. Das gesamte Bildungssystem wird sich als Generationenprojekt auf neue Anforderungen einstellen.

Wenn die aufgezeigten Beschäftigungseffekte gemeinsam betrachtet werden, zeigt dies, dass in dem Wandel durch Digitalisierung und autonomes Fahren eine Chance liegt, die mehr positive statt negativer Effekte hervorbringen kann. Es liegt nahe, den Wandel aktiv zu gestalten, um die positiven Effekte erzielen zu können. Die negativen Effekte kommen umso stärker zum Tragen, je passiver sich Politik und Wirtschaft verhalten. Insgesamt wird in Studien der Beschäftigungsbedarf durch Fahrzeugvernetzung in Deutschland auf ca. 6.000 bis 11.000 Personen geschätzt, Fahrzeugautomatisierung hat laut Studienaussagen und je nach Betrachtungsumfang ein positives Beschäftigungspotenzial von weltweit ca. 70.000 bis 120.000 Stellen (Cacilo & Haag, 2017). Für die baden-württembergische Automobilindustrie wird durch Automatisierung mit einem Potenzial von bis zu 10.000 Vollzeit-äquivalenten gerechnet (IAO, 2017).

In den kommenden Jahren der Veränderung der Strukturen durch die neue Mobilität ist primär die heutige Lieferkette der klassischen Automobilindustrie betroffen. Nachfolgende Grafik der TU Chemnitz aus dem Jahr 2013 zeigt die Veränderung der Kernbereiche (Götze, 2013):

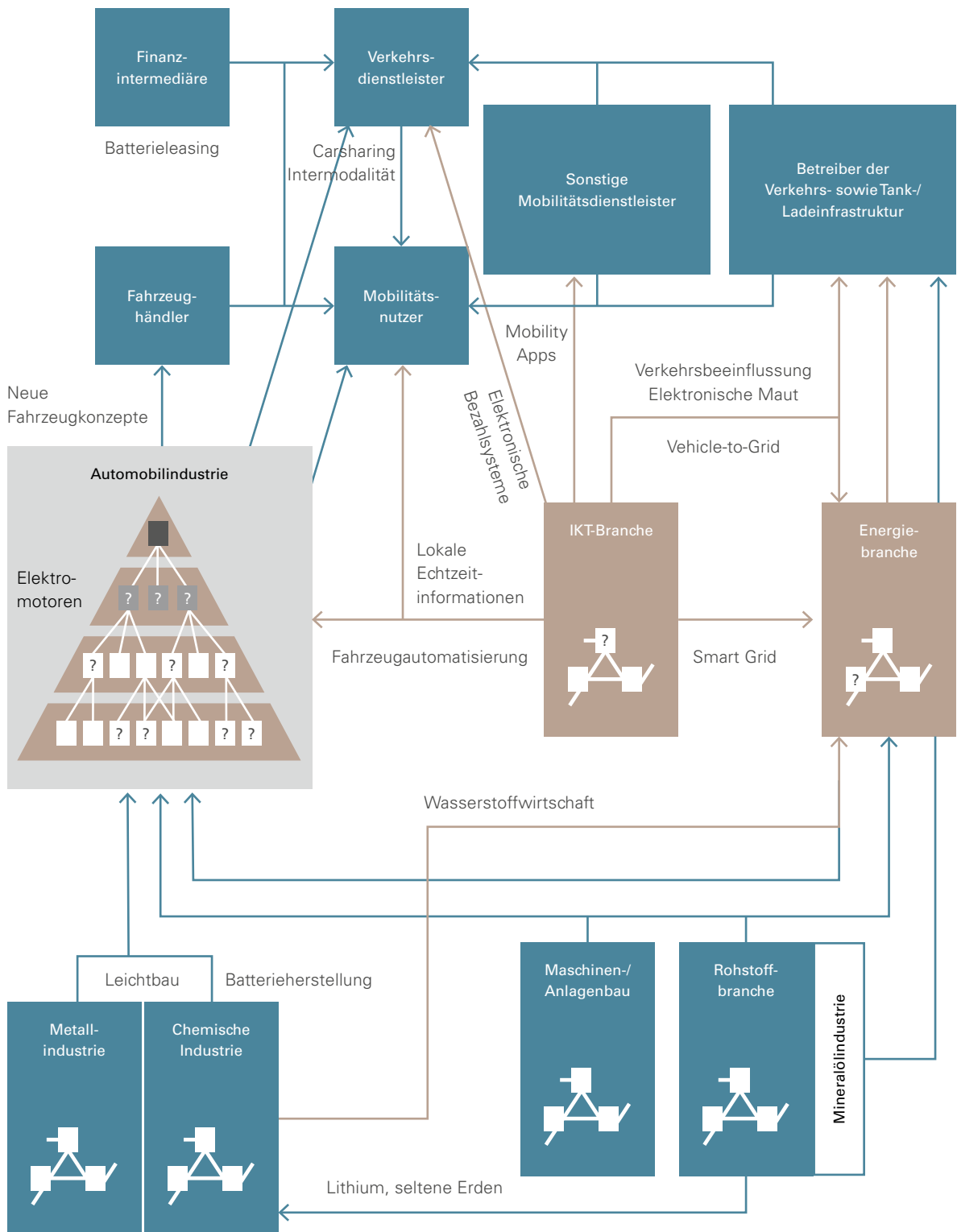


Abbildung 19: Strukturverschiebung in der Wertschöpfungskette innerhalb des Automobilsektors

Zusammenfassung

Die Durchdringung mit ersten autonomen Systemen hat bereits begonnen und ist in geschützten Bereichen Normalität, z.B. bei Industrieanwendungen. Auf öffentlichen Straßen sind derzeit weltweit Testfahrzeuge unterwegs. Abgeleitet aus einer Vielzahl an Expertenmeinungen und -einschätzungen ergibt sich ein mögliches Szenario, das in den kommenden fünf bis zehn Jahren eine deutliche Zunahme von autonomen Fahrzeugen zeigen wird. Der möglicherweise jedoch disruptive Wandel in Beschäftigungsstrukturen und Wertschöpfungsprozessen wird sich voraussichtlich erst ab 2030 einstellen. Der Umsetzungsgeschwindigkeit der klimapolitischen Ziele kommt dabei eine hohe Bedeutung zu, da der Handlungsdruck auf die OEMs, die noch auf den Verbrennungsmotor setzen, steigt und elektrische Antriebe auch das autonome Fahren forcieren können. Damit werden Umweltaspekte von lediglich getriebenem Faktor aus der Technologieperspektive zum treibenden Faktor in einer Mobilitätsbetrachtung.

Nach Möglichkeit ist für die aktive und wirksame Gestaltung von Veränderungsprozessen der richtige Zeitpunkt in allen relevanten Systemfacetten zu suchen. Dieser Zeitpunkt wird durch intensives Monitoring der Veränderungsprozesse in der Zukunft annäherungsweise bestimmbar sein. Dabei dürfen aber partikuläre Interessen einzelner (wenn auch großer) Akteure nicht den Einstiegszeitpunkt in den Wandel – und damit die aktive Gestaltung des Veränderungsprozesses – behindern oder erschweren. Wichtig ist, zu verstehen, dass Trends nicht nur durch technologische Entwicklungen hervorgerufen werden, sondern auch auf den Wünschen und Vorstellungswelten von Stakeholdern und Konsumenten beruhen. Somit sind auch Trendanalysen zum einen immer abhängig von objektiven Tatbeständen, zum anderen aber auch von der öffentlichen Diskussion, der Darstellung in den Medien und letztlich des Marktes (Schnieder, 2011).

Wesentlich für die Ausgestaltung des durch die Digitalisierung und das autonome Fahren bedingten Transformationsprozesses ist dabei die Anpassung der rechtlichen Rahmenbedingungen, die einen deutlich größeren Einfluss hat als alle technischen Herausforderungen. Neben den rechtlichen Fragestellungen, die mit der Digitalisierung der Automobilwirtschaft und dem autonomen Fahren einhergehen, sind ebenso gesellschaftliche Fragestellungen zu beachten. So können diese beiden Punkte durchaus zu einer Verschiebung der Marktdurchdringung um bis zu 20 Jahre führen (Horx, 2018).

Der ordnenden und strukturgebenden Rolle des Staats, inklusive seiner gesellschaftlichen Verpflichtung zum sozialverträglichen Ausgleich von Nachteilen in der Bevölkerung, kommt weiterhin eine wichtige Aufgabe zu. Vertrauen in die Veränderungsfähigkeit von Industrie, Politik und Gesellschaft wird auch zur Akzeptanz des autonomen Fahrens und zu neuen, flexiblen Mobilitätslösungen beitragen, sodass letztlich die Chancen zur positiven Gestaltung eines Wandels bewusst wahrgenommen und gestaltet werden können.

Abschließend bleibt, übereinstimmend mit der Acatech-Studie „Neue autoMobilität“, festzuhalten, dass trotz der oben aufgeführten, qualitativ erhobenen Aussagen eine konkrete Analyse zu quantitativen Umsatzpotenzialen, Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekten durch die Digitalisierung der Automobilwirtschaft heute noch nicht glaubwürdig vorgenommen werden kann. Sicher jedoch ist, dass die Digitalisierung zu einer Umwälzung fast aller Bereiche des Arbeitsmarkts und somit auch der Automobilwirtschaft führen wird – in welchem Ausmaß und mit welcher Geschwindigkeit, wird vom jeweiligen Industriebereich abhängen (Lemmer, 2016).

Literaturverzeichnis

AUDI AG: Aussagen zum Audi A8, Internet:
<https://www.audi.co.cr/de/brand/de/neuwagen/a8/a8/layer/drawer-audi-ai.html>; letzter Zugriff: 18. September 2018

Ausfelder et al.: „Sektorkopplung“ – Untersuchungen und Überlegungen zur Entwicklung eines integrierten Energiesystems (Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft), München 2017

Autoples: Projektdetails zum Forschungsthema „Automatisiertes Parken und Laden von Elektrofahrzeug-Systemen“; Internet: <https://www.emobil-sw.de/autoples/>; letzter Zugriff: 18. September 2018

BAST – Bundesanstalt für Straßenwesen: Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung (2012); Internet: https://www.bast.de/BAST_2017/DE/Publikationen/Foko/Downloads/2017-2010/2012-11.pdf?__blob=publicationFile&v=1

Bertoncello, Michele, McKinsey & Company: Autonomes Fahren verändert Autoindustrie und Städte; Internet: <https://www.mckinsey.de/autonomes-fahren-veraendert-autoindustrie-und-staedte>; letzter Zugriff: 04.12.2017

Buchholz, Michael: Telefoninterview, durchgeführt am 31.07.2018

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Berlin; September 2015: Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren

Bradlow, Hugo, und Jayachandra, Arjun; Telstra Corporation Ltd: How digital infrastructure can substitute for physical infrastructure; The United States Studies Centre at University of Sidney, July 2015

bw-invest.de: Automobilwirtschaft; <https://www.bw-invest.de/standort/branchen-cluster/automobilwirtschaft/>; letzter Zugriff 23.07.2018

Carl, Michael, ThinkTank 2b AHEAD: Warum selbstfahrende Autos kein Lenkrad haben; Trendanalyse, Ausgabe 04/2015

Cacilo, Andrej; Schmidt, Sarah; Wittlinger, Philipp; Herrmann, Florian; Bauer, Wilhelm; Sawade, Oliver; Doderer, Hannes; Hartwig, Matthias; Scholz, Volker; Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie: Hochautomatisiertes Fahren auf Autobahnen – industriepolitische Schlussfolgerungen (18.11.2015); Internet: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/H/hochautomatisiertes-fahren-auf-autobahnen.pdf?__blob=publicationFile&v=1; Letzter Zugriff 16.02.2018

Daimler AG, Definition „Autonomes Fahren“; Internet: <https://www.daimler.com/innovation/produktinnovation/autonomes-fahren/>; letzter Zugriff: 04.12.2017

Daimler AG, Geschäftsbericht 2016, Internet: <https://www.daimler.com/dokumente/investoren/berichte/geschaeftsberichte/daimler/daimler-ir-geschaeftsbericht-2016.pdf>; letzter Zugriff: 23.07.2018

Demircioglu, Ahmet: Telefoninterview, durchgeführt am 30.07.2018

Dispan, Dr. Jürgen, Informationsdienst des IMU Instituts – Heft 1/2017, „Kraftfahrzeug-Gewerbe in Deutschland: Entwicklungstrends und Herausforderungen. Branchenreport 2017“, Stuttgart, 2017

e-mobil BW, Studienverzeichnis;
Internet: <https://www.emobil-sw.de/service/publikationen/>;
letzter Zugriff 18. September 2018

Springer Gabler Verlag (Herausgeber), Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Sharing Economy, Internet: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/688938792/sharing-economy-v6.html>; letzter Zugriff 16.02.2018

Geiger, Andreas: Telefoninterview,
durchgeführt am 30.07.2018

Götze, Uwe, Technische Universität Chemnitz, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften: Strukturverschiebungen in der Wertschöpfungskette innerhalb des Automobilssektors (20.02.2013); Internet: https://www.tu-chemnitz.de/wirtschaft/bwl3/DownloadAllgemeinOffen/Publikationen/ForschungsCampus_Goetze.pdf; letzter Zugriff 04.12.2017

Horváth & Partners, Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Studie „The Value of Time. Nutzerbezogene Servicepotenziale durch autonomes Fahren“ (2016), Internet: https://www.iao.fraunhofer.de/lang-de/index.php?option=com_content&view=article&id=1715&Itemid=1&lang=de; letzter Zugriff: 16.02.2018

Horx, Matthias: Telefoninterview,
durchgeführt am 18.07.2018

Institut der deutschen Wirtschaft; Autonomes Fahren: Kennzeichen D; 13.09.2017,
Internet: <https://www.iwd.de/artikel/autonomes-fahren-kennzeichen-d-361105/>; letzter Zugriff: 11.12.2017

Koster, A.: Das vernetzte Auto im Zentrum der digitalen Disruption, Vortrag Automobil Elektronik Kongress, Ludwigsburg, 14./15. Juni 2016

Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie Baden-Württemberg (e-mobil BW) (2017b): Automatisiertes Fahren im Personen- und Güterverkehr
Lemmer, K. (Hrsg.): Neue autoMobilität. Automatisierter Straßenverkehr der Zukunft (acatech STUDIE), München: Herbert Utz Verlag 2016.

Maurer, Markus; Gerdes, J. Christian; Lenz, Barbara; Winner, Hermann; Berlin, Heidelberg; Springer Vieweg 2015;
Autonomes Fahren: technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte

McKinsey & Company: „Automotive Revolution – perspective towards 2030: How the convergence of disruptive technology-driven trends could transform the auto industry“; 2016 (<https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/high%20tech/our%20insights/disruptive%20trends%20that%20will%20transform%20the%20auto%20industry/auto%202030%20report%20jan%202016.ashx>)

MEGAFON-Studie – Abschlussbericht Modellergebnisse geteilter autonomer Fahrzeugflotten des öffentlichen Nahverkehrs; Internet: https://www.isv.uni-stuttgart.de/vuv/publikationen/downloads/MEGAFON_Abschlussbericht_V028_20161212.pdf; letzter Zugriff 10. September 2018

Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg, August 2016;
Arbeitspapier: Intelligente Mobilität der Zukunft: Digitalisierung in der Schlüsselrolle

Mec-View; Projekt Mobile-Edge-Computing-basierte Objekterkennung für hoch- und vollautomatisiertes Fahren; Internet: <http://www.mec-view.de/>; letzter Zugriff 16.02.2018

Quaschnig, Volker; Sektorkopplung durch die Energiewende; Hochschule für Technik und Wirtschaft HTW Berlin; 20.06.2016

Rinspeed AG: Internet: https://www.rinspeed.eu/de/CES-Las-Vegas-2018_17_aktuelles.html; letzter Zugriff 18. September 2018

Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft (vbw), Mai 2016;
Position – Automatisiertes Fahren: Infrastruktur

Schnieder, Wolfgang; Springer Verlag 2011;
Früherkennung und Intuition

Schumann, Detlef, BridgingIT GmbH; September 2016;
6. DIQ Symposium „Verkehrswege 2030“: Die Vision des
automatisierten Fahrens

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg;
Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg 1/2018

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg;
Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg 3/2018

Tech Center a-drive: Ethik-Kommission zum
automatisierten Fahren; Internet: [https://taf-bw.de/ethik-
kommission-zum-automatisierten-fahren-legt-bericht-vor/](https://taf-bw.de/ethik-kommission-zum-automatisierten-fahren-legt-bericht-vor/),
letzter Zugriff: 04.12.2017

Tech Center a-drive: Internet: <http://www.tcadrive.de/>, letzter
letzter Zugriff: 04.12.2017

Testfeld Autonomes Fahren Baden-Württemberg:
Internet: <https://taf-bw.de/>; letzter Zugriff 04.12.2017

VDA/Statista.de; März 2017; Anteile von Staaten und
Regionen an der weltweiten Pkw-Produktion im Jahr 2016;
[https://de.statista.com/statistik/daten/studie/216467/
umfrage/anteile-einzelner-staaten-und-regionen-an-der-pkw-
produktion/](https://de.statista.com/statistik/daten/studie/216467/umfrage/anteile-einzelner-staaten-und-regionen-an-der-pkw-produktion/); letzter Zugriff: 31.07.2018

Vetter, Philip: Was der Strom für ein Elektroauto pro
Jahr kosten wird (03.01.2018); Internet: [https://www.welt.de/
wirtschaft/article172139579/Elektroautos-Ladesaeulen-kos-
ten-mindestens-360-Milliarden-Dollar-bis-2025.html](https://www.welt.de/wirtschaft/article172139579/Elektroautos-Ladesaeulen-kosten-mindestens-360-Milliarden-Dollar-bis-2025.html);
letzter Zugriff 05.01.2018

Viereckl, Dr. Richard; Ahlemann, Dietmar; Koster, Alex;
Jursch, Sebastian: Racing ahead with autonomous cars and
digital innovations; autotechreview Volume 4, Issue 12,
Dezember 2015

Vogt, M., et al.: Transparenz durch das Nutzer-Begriffsnetz
und den Nutzercube; Ergebnispapier Nr. 01 der Begleit- und
Wirkungsforschung im Schaufensterprogramm, Juli 2015

Wirtschaftswoche, Interview mit Amnon Shashua, Chef und
Gründer des Sensor- und Chipherstellers Mobileye;
[http://www.wiwo.de/unternehmen/it/mobileye-chef-shashua-
tesla-verfolgt-den-falschen-ansatz-/20680492-all.html](http://www.wiwo.de/unternehmen/it/mobileye-chef-shashua-tesla-verfolgt-den-falschen-ansatz-/20680492-all.html);
letzter Zugriff 11.12.2017

Winkelhake, Uwe: Die Digitale Transformation der
Automobilindustrie, Berlin, Springer Vieweg 2017

Winterhoff, M.; Kahner, C.; Ulrich, C.; et al.: Zukunft der
Mobilität 2020: Die Automobilindustrie im Umbruch.
Studie Arthur D Little. [https://aloe-iao.dfki.uni-kl.de/
AloeMultimediaServlet/content?contentId=IY3Kauj&sessionI
d=AloeAnonymousSession_311967159829597072-1516755917346](https://aloe-iao.dfki.uni-kl.de/AloeMultimediaServlet/content?contentId=IY3Kauj&sessionId=AloeAnonymousSession_311967159829597072-1516755917346)
(2015). Letzter Zugriff: 04.12.2017

Impressum

Herausgeber

Cluster Elektromobilität Süd-West c/o
e-mobil BW GmbH – Landesagentur für neue
Mobilitätslösungen und Automotive Baden-Württemberg

Autoren

BridgingIT GmbH
Sven Lierzer, Detlef Schumann

Redaktion und Koordination des Themenpapiers

e-mobil BW GmbH

Layout/Satz/Illustration

markentrieb
Die Kraft für Marketing und Vertrieb

Fotos

Umschlag: Chesky_W/istockphoto
Die Quellennachweise aller weiteren Bilder befinden
sich auf der jeweiligen Seite.

Auslieferung und Vertrieb

e-mobil BW GmbH
Leuschnerstraße 45
70176 Stuttgart
Telefon +49 711 892385-0
Fax +49 711 892385-49
info@e-mobilbw.de
www.e-mobilbw.de

September 2020

© Copyright liegt bei den Herausgebern

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Werk ist einschließlich seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Herausgebers unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen. Für die Richtigkeit der Herstellerangaben wird keine Gewähr übernommen.



www.e-mobilbw.de

e-mobil BW GmbH

Landesagentur für neue Mobilitätslösungen und
Automotive Baden-Württemberg

Leuschnerstraße 45 | 70176 Stuttgart

Telefon +49 711 892385-0 | Fax +49 711 892385-49

info@e-mobilbw.de