



Urbane Mobilität und autonomes Fahren im Jahr 2035

Welche Veränderungen durch
Robotaxis auf Automobilhersteller,
Städte und Politik zurollen

Inhaltsverzeichnis

Executive Summary	04
Autonome Fahrzeuge: die Revolution der Mobilität	06
Fünf Thesen zur urbanen Mobilität im Jahr 2035	12
These #1: Robotaxis verändern unsere Mobilität – autonome Fahrdienste werden Hauptverkehrsmittel	12
These #2: Preiskampf entfacht – autonome Taxi- und Shuttlefahrten werden deutlich günstiger sein als Fahrten mit privaten Autos und dem öffentlichen Nahverkehr	16
These #3: Das Marktpotenzial von autonomen Fahrdiensten ist groß – wenn die Regulierung es zulässt	19
These #4: Weniger Fahrzeuge – aber mehr Verkehr in unseren Städten	21
These #5: Staurisiko nimmt zu – steigende Fahrzeugnutzung führt zu erhöhter Verkehrsbelastung	23
Auswirkungen: die Renaissance des Automobilzeitalters	26
Chancen für Automobilhersteller und Mobilitätsanbieter	26
Herausforderungen für Kommunen und Politik	29
Ausblick	31
Anhang: Methodik und Datengrundlagen	32
Bislang erschienen in der Studienreihe „Datenland Deutschland“	42
Ansprechpartner	44

Executive Summary

Im Jahr 2035 wird sich aller Voraussicht nach in Deutschland die persönliche Mobilität radikal verändert haben. Viele Autos auf unseren Straßen fahren bereits vollautonom und ein großer Teil dieser Fahrzeuge ist nicht im Besitz von Privatpersonen, sondern von Mobilitätsdienstleistern. Diese betreiben eine große Flotte von autonomen Taxis und Shuttles und bieten Fahrten von Tür zu Tür an. Ihr Angebot hat zu signifikanten Preissenkungen für Mobilität geführt und große Veränderungen in der Nutzungsweise von privaten PKW und anderen Verkehrsmitteln gebracht.

Die vorliegende Studie basiert auf einem quantitativen Mobilitätsmodell für deutsche Städte und durchleuchtet, welche Effekte zu erwarten sind, wenn in Zukunft autonome Fahrdienste („Robotaxis/-shuttles“) in Deutschland existieren. Nach diesem Mobilitätsmodell sind – unter bestimmten Annahmen – bis zum Jahr 2035 folgende fünf möglichen Entwicklungen zu erwarten:

These #1 – Robotaxis verändern unsere Mobilität – autonome Fahrdienste werden Hauptverkehrsmittel

Nahezu jeder dritte Weg (32%), den Bewohner in urbanen Regionen zurücklegen, könnte durch autonome Fahrdienste mit selbstfahrenden Fahrzeugen erfolgen. Damit hätten diese den gleichen Anteil an der täglichen Mobilität wie private PKW (32%) und einen mehr als doppelt so hohen Mobilitätsanteil als der öffentliche Nahverkehr (14%). Insgesamt könnte die Fahrdienstflotte in deutschen Städten aus bis zu 560.000 autonomen Taxis und 180.000 autonomen Shuttles bestehen, zusammen sind das 740.000 Flottenfahrzeuge.

These #2 – Preiskampf entfacht – autonome Taxi- und Shuttlefahrten werden deutlich günstiger sein als Fahrten mit privaten Autos und dem öffentlichen Nahverkehr

Durch die Einsparung des Fahrers und die hohe Auslastung könnten Einzelfahrten 25 Prozent günstiger sein als die Fahrt mit dem eigenen Auto. Nutzer von autonomen Shuttles würden sogar nur rund die Hälfte des Preises, die ein aktuelles ÖPNV-Ticket kostet, bezahlen.

These #3 – Das Marktpotenzial von autonomen Fahrdiensten ist groß – wenn die Regulierung es zulässt

Der Betrieb der autonomen Fahrdienstflotten kann pro Jahr ein Umsatzvolumen von bis zu 16,7 Mrd. Euro erreichen – das ist ein Sechstel des Umsatzes, den Autohersteller heutzutage mit dem Verkauf von Neuwagen in Deutschland erwirtschaften. Inwieweit sich dieses Potenzial realisieren lässt, wird vom Geschäftsmodell der Flotten und der künftigen Regulierung abhängen.

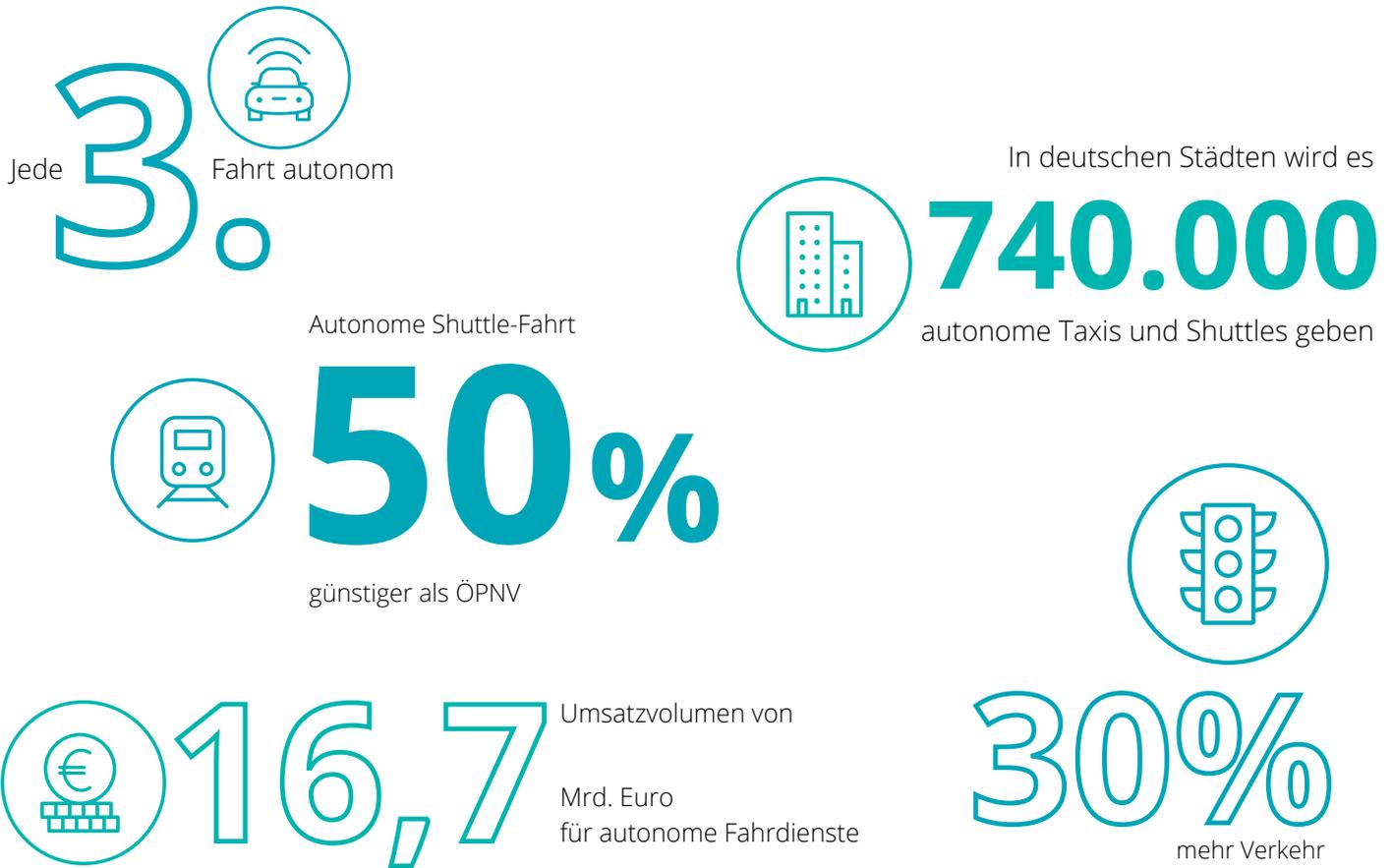
These #4 – Weniger Fahrzeuge – aber mehr Verkehr in unseren Städten

In deutschen Städten und Metropolregionen würden immer mehr Bürger auf ein eigenes Auto verzichten. Der urbane Fahrzeugbestand könnte bis 2035 um insgesamt drei Millionen PKW (-20%) abnehmen. Dennoch führt die Einführung autonomer Fahrdienste potenziell zu einer erhöhten Nutzung von Fahrzeugen. Die täglich mit einem Fahrzeug gefahrenen Kilometer würden pro Person von 26,7 auf 32,9 ansteigen (+23%). Die erhöhte Nutzung führt zugleich zu einem um bis zu 30 Prozent erhöhten Verkehrsaufkommen. Zu Spitzenzeiten könnten sogar bis zu 40 Prozent mehr Fahrzeuge zeitgleich unterwegs sein.

These #5 – Staurisiko nimmt zu – steigende Fahrzeugnutzung führt zu erhöhter Verkehrsbelastung

Aufgrund des steigenden Verkehrsaufkommens würden häufiger Staus entstehen und die Durchschnittsgeschwindigkeit in den Städten um 10 Prozent sinken. Die Fahrtzeit in der morgendlichen Rush Hour würde sich pro Fahrt um durchschnittlich 2,5 Minuten verlängern – und zwar für alle Verkehrsteilnehmer.

Abb. 1 - Urbane Mobilität in deutschen Städten 2035 - in Kennzahlen



Annahmen der Modellberechnungen

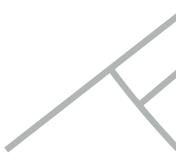
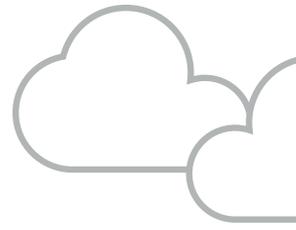
1. Stand der Technik: Bis 2035 sind Neuwagen in der Lage, vollkommen autonom, ohne jegliches Eingreifen eines menschlichen Fahrers zu fahren.
2. Neue Mobilitätskonzepte: Die selbstfahrende Technologie erlaubt neue Mobilitätskonzepte. Wir nehmen an, dass autonome Taxis und Shuttles zukünftig etablierte Fortbewegungsmittel darstellen.
3. Versorgungsbereich: Fahrten mit autonomen Fahrdiensten werden in unserer Studie ausschließlich in urbanen Ballungszentren angeboten.
4. Antriebsart: Wir nehmen an, dass autonome Taxis und Shuttles aufgrund von aktuellen Trends und einer erleichterten Ladefähigkeit von Beginn an elektrisch betrieben sind. Die Entwicklung der Antriebsarten anderer Fortbewegungsmittel liegen nicht im Fokus dieser Studie.
5. Freier Markt: Wir zeigen ein Maximal-Szenario, in dem sich der Markt mit autonomen Fahrdiensten frei und ohne staatliche Einschränkungen entwickelt.
6. Gemeinsamer Straßenverkehr: Private PKW und autonome Fahrdienste nutzen das gleiche Straßennetz.
7. Verkehrsfluss: Ein erhöhter Verkehrsfluss durch autonome Fahrzeuge kann bis 2035 nicht realisiert werden. Wir nehmen an, dass es weiterhin manuell gesteuerte PKW gibt und es damit nicht zu einem optimierten Verkehrsfluss kommen kann.

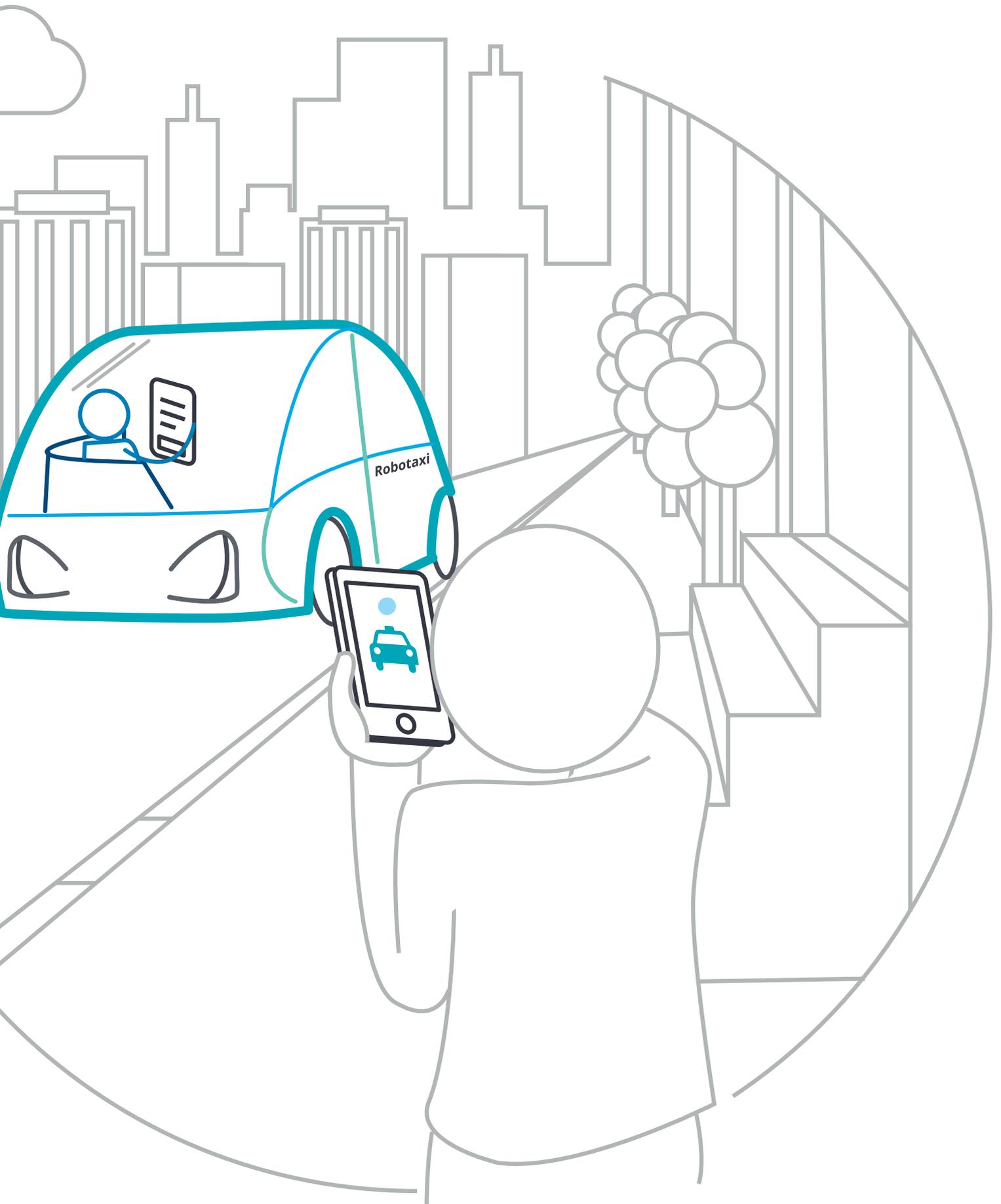
Autonome Fahrzeuge: die Revolution der Mobilität

Autonome Fahrzeuge werden die Mobilität in unseren Städten radikal umwälzen. Fahrdienste mit autonomen Shuttles und Taxen führen zu einem neuen Mobilitätsverhalten und werden die Transportpreise unter Druck setzen.

Hohe Fahrzeuge mit viel Glasfläche, aber ohne Lenkrad, futuristische Touch-Displays und Wohnzimmerflair – in den blitzsauberen Städten der Zukunft, in der autonome Fahrzeuge alle Personen befördern, soll vieles besser sein: weniger Unfälle, weniger Staus und letztlich auch weniger Fahrzeuge.

Befeuert wird die Diskussion durch die jüngsten Erfolge diverser Autohersteller beim teilautonomen Fahren auf normalen Straßen. Es scheint, als wäre die mobile Zukunft zum Greifen nah und die nächste Autogeneration würde schon ohne Menschenhand fahren.





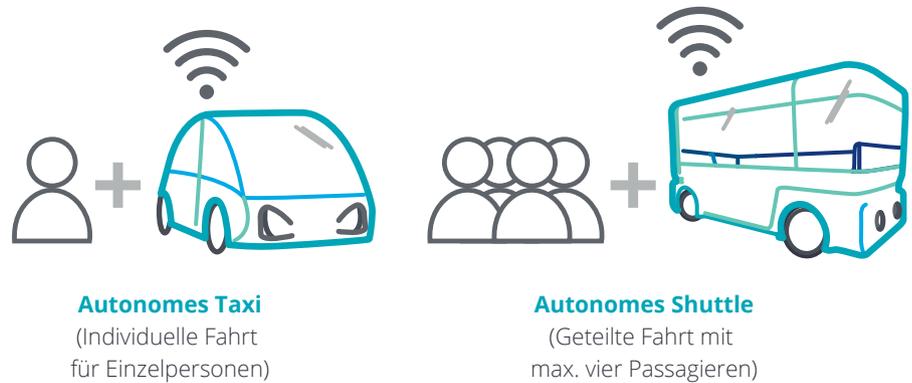
Neue Mobilitätsmodelle entstehen: autonomes Taxi und Shuttle

Tatsächlich werden vollautonome Fahrzeuge, die ohne menschliches Eingreifen fahren (und teilweise nicht einmal mehr Lenkrad oder Pedale haben werden) zu großen Umwälzungen führen. Sie ermöglichen absolut jedem Menschen eine individuelle Mobilität. Die beförderten Personen müssen weder einen Führerschein besitzen noch fahrtauglich sein und können während der Fahrt anderen Tätigkeiten nachgehen. Das Fahrzeug kann nach dem Transport allein weiterfahren, braucht keinen Parkplatz mehr und kann somit vielen Menschen zugleich als Transportmittel dienen.

Diese vollständige Autonomie erlaubt es, Fahrzeugflotten ohne Fahrer zu betreiben und damit einfach zu skalieren. Sie treten damit in direkte Konkurrenz zu Taxis, dem ÖPNV sowie privaten Fahrzeugen und bieten die Bequemlichkeit, Menschen von Tür zu Tür zu bringen. Ohne Fahrer können diese Dienste außerdem sehr günstig angeboten werden.

Aus den Entwicklungen der letzten beiden Jahre lässt sich ableiten, dass Flottenbetreiber vor allem zwei Mobilitätsmodelle anbieten werden.

Abb. 2 – Mögliche Fahrzeugtypen der autonomen Fahrdienste



Das autonome Taxi, häufig auch „Robotaxi“ genannt, wird jeweils bis zu zwei Personen mit einem Fahrzeug von ihrem Ursprungsort ans Ziel befördern. Diese Art entspricht am ehesten dem klassischen Taxidienst.

Das autonome Roboshuttle ist ein fahrerloses Sammeltaxi, das während der Fahrt diverse Personen aufnimmt und an die jeweiligen Zielorte bringt. Dabei nimmt es Umwege und längere Fahrtzeiten in Kauf, ist aber für die Kunden preislich günstiger. Auch hierbei werden die Personen von Tür zu Tür befördert.

Die Buchung solch eines Fahrzeugs könnte per App, Sprache oder basierend auf künstlicher Intelligenz erfolgen: Letztere könnte im besten Fall aufgrund von Terminkalendern und Verhaltensmustern erkennen, wann eine Person wohin möchte, und es gäbe eine geringe Wartezeit.

Erwartete Effekte autonomer Fahrzeuge und -flotten

Die Vorteile für den Einzelnen sind verlockend: Man könnte sich direkt vor seinem Haus von einem Auto abholen und zur Arbeit fahren lassen. Während der Fahrt ließe sich die Zeit sinnvoll nutzen. Man müsste sich nicht um das Fahrzeug kümmern, bräuchte keinen Parkplatz und auch keinen Führerschein. Autonome Fahrzeuge verändern die Art, sich fortzubewegen, grundlegend.

Aber nicht nur das: Man muss so ein Fahrzeug auch nicht mehr selbst besitzen, wenn es in kürzester Zeit zur Abfahrt bereitsteht. Egal, wo man sich gerade befindet, ein bequemes, leises, modernes Auto wäre über diverse Flottenanbieter immer verfügbar.

Wie so häufig, wenn große Umwälzungen in einer Industrie oder einem gesellschaftlichen Bereich anstehen, sind die Erwartungen in der Öffentlichkeit hoch und oft positiv besetzt.

Weniger Autos, weniger Verkehr, weniger Stau?

Selbstfahrende Taxis sollen bis zu zehn Privatautos ersetzen¹ und damit jedes zweite Fahrzeug überflüssig machen². Durch die geringere Autoanzahl, die bessere Auslastung und die technische Inter-Auto-Kommunikation sollen zudem der Verkehrsfluss besser und der Verkehr geringer werden. Die Fahrzeit wird zur Arbeits- und Freizeit, lässt sich also sinnvoller nutzen. Eine Parkplatzsuche ist überflüssig – das Auto fährt nach dem Transport einfach weiter. Darüber hinaus soll das Fahren durch Sharing-Konzepte und hohe Auslastung günstiger werden und Privatautos überflüssig machen.

Es gibt jedoch auch Untersuchungen für einzelne Städte, die davon ausgehen, dass der Verkehr zunehmen könnte³. Zudem befürchtet die Autoindustrie, dass durch die breite Nutzung von Sharing-Angeboten Autoabsatz sowie Branchenumsatz einbrechen könnten.

Politiker, Stadtplaner und Automobilhersteller sollten sich nicht von der Euphorie mitreißen lassen: Viel wichtiger ist es, fundierte Aussagen darüber zu treffen, wie sich Mobilität und Verkehr in den nächsten zehn bis 15 Jahren entwickeln werden, wenn es autonome Fahrzeuge gibt. Werden sich nur positive Effekte einstellen oder wird es auch kritische Entwicklungen geben, über die man jetzt schon nachdenken muss?

Wie so häufig, wenn große Umwälzungen anstehen, sind die gesellschaftlichen Erwartungen hoch

¹ Studie der TU München 2017, Quelle: Wiwo, <https://www.wiwo.de/technologie/mobilitaet/autonome-autos-ein-robo-taxi-kann-zehn-privatautos-ersetzen/19629082.html>, abgerufen am 14.08.2019.

² Studie der University of Michigan, Transportation Research Institute (UMTRI): <https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/110789/103157.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, abgerufen am 14.08.2019.

³ ETH Zürich: <http://www.mobilityplatform.ch/de/shop/show-item/product/28135/>, abgerufen am 14.08.2019.

Ziel der Studie: verlässliche Antworten für das Jahr 2035

Das Ziel dieser Studie ist daher, basierend auf vorhandenen und verlässlichen Zahlen und Fakten auf empirischer Basis Voraussagen über die Mobilität im Jahr 2035 für ganz Deutschland zu treffen. Nur so lassen sich Wunschvorstellungen von verlässlichen Prognosen unterscheiden.

Die zentralen Fragen

1. Wie groß wird der Anteil autonomer Fahrdienste an der täglichen Mobilität sein?
2. Wie viele autonome Taxis und Shuttles wird es zukünftig in Deutschland geben?
3. Was werden die Fahrzeuge und die Fahrten kosten?
4. Welchen Effekt haben autonome Fahrdienste auf den zukünftigen Fahrzeugbestand und die PKW-Neuzulassungen?
5. Führen autonome Taxis und Shuttles wirklich zu geringerem Verkehr und weniger Staus?

Datengrundlage und Online-Experiment

Die vorliegende Analyse ist die erste ihrer Art, denn sie basiert auf einer umfangreichen Datengrundlage und analysiert den künftigen Markt für autonome Fahrzeugflotten in Deutschland. Unter anderem sind folgende Daten in das Modell eingeflossen:

- Repräsentatives Online-Experiment mit über 2.000 potenziellen Nutzern zu Akzeptanz und Zahlungsbereitschaft für autonome Fahrdienste
- Aktuelle Bewegungsmuster und Pendlerverflechtungen in 109 deutschen Städten
- Alters-, Bevölkerungs- und Beschäftigungsstatistiken der Metropolregionen
- Verkehrsstatistiken deutscher Städte
- Topografie urbaner Räume in Deutschland

Das Datenmaterial stammt unter anderem von der OECD, staatlichen Statistikbehörden, Eurostat, dem ADAC und aus dem TomTom Traffic Index.

Umfangreiches Mobilitätsmodell für ganz Deutschland

Auf Basis der erhobenen und zusammengeführten Daten haben wir ein Modell erstellt, das den täglichen Bedarf an individueller Mobilität in 109 deutschen Städten abbildet. Es zeigt, mit welcher Nachfrage nach autonomen Taxis und Shuttles zu rechnen ist und welches Angebot an autonomen Fahrzeugen dafür benötigt wird.

Die Kalkulationen berücksichtigen, wie sich die Mobilität der unterschiedlichen Bevölkerungsgruppen im Tagesablauf verändert. Dazu gehören je nach Tageszeit präferierte Fortbewegungsmittel, zurückgelegte Distanzen und durchschnittliche Geschwindigkeiten innerhalb deutscher Städte.

Im Ergebnis kalkuliert das Modell anhand dieser städtischen Gegebenheiten, wie viele autonome Fahrten pro Stunde bzw. Tag zu erwarten sind und wie viele Fahrzeuge dafür bereitgestellt werden müssen. Es errechnet die Auslastung der Taxis/Shuttles pro Tageszeit, die durchschnittliche Strecke pro Fahrt und Tag sowie die damit verbundenen Betriebskosten.

Für die Herangehensweise haben wir sowohl die Bevölkerungsstruktur in Deutschland (Städte, Metropolregionen) als auch das Mobilitätsverhalten für 109 urbane Regionen aus bestehenden statistischen Daten genau analysiert und ausgewertet. Hierzu wurden für jede einzelne Metropolregion die Bereiche bestimmt (anhand von Bevölkerungsdichte und Bewegungsverhalten), die sich für den Betrieb von autonomen Flotten wirtschaftlich eignen.

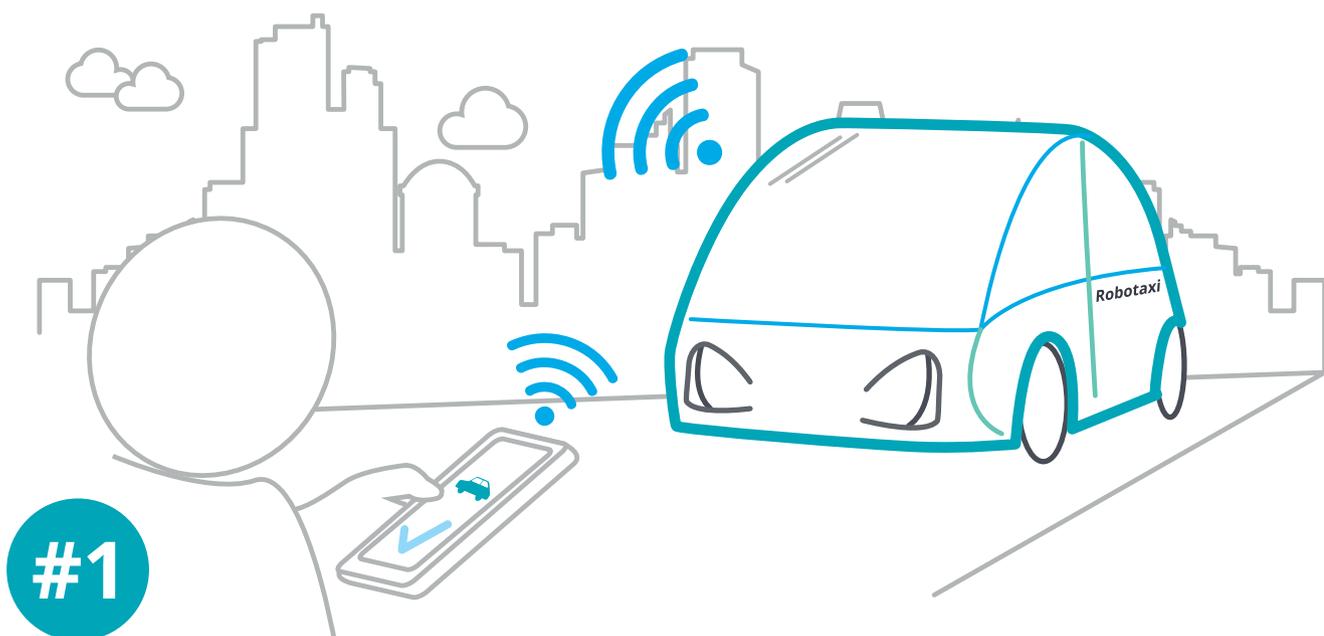
Hinzu kommen ausführliche Kostenabschätzungen für die Herstellung der Fahrzeuge und den Flottenbetrieb im Jahr 2035. Daraus haben wir Preisabschätzungen für die Flottenbetreiber bei typischen Fahrten vorgenommen und über ein umfangreiches Online-Experiment mit mehr als 2000 Konsumenten ermittelt, wie viele Personen solche Angebote wahrnehmen würden.

Weitere und detaillierte Informationen zum empirischen Modell und zum Vorgehen enthält der Anhang: Methodik und Datengrundlagen ab Seite 32.

Das Mobilitätsmodell analysiert für 109 deutsche Städte, mit welcher Nachfrage nach autonomen Taxis und Shuttles zu rechnen ist und welches Angebot an autonomen Fahrzeugen dafür bereitgestellt werden muss.

Fünf Thesen zur urbanen Mobilität im Jahr 2035

Die Ergebnisse der Modellberechnungen lassen sich in fünf Thesen fassen, die die Veränderung der Mobilität, Preisentwicklung, Marktpotenziale und die Entwicklung von Fahrzeugbestand und Verkehrsaufkommen beschreiben.



These #1: Robotaxis verändern unsere Mobilität – autonome Fahrdienste werden Hauptverkehrsmittel

Auch wenn es etliche Personen gibt, die sich fürs autonome Fahren begeistern können, stellt sich doch die Frage: Wie viele Verkehrsteilnehmer wären tatsächlich bereit, auf autonome Fahrzeuge bei wirtschaftlich sinnvollen Preisen umzusteigen? Für die Studie wurden daher über 2.000 Personen in einem repräsentativen Online-Experiment befragt. Die Proban-

den sollten sich dafür in wechselnde Alltagssituationen hineinversetzen und dann entscheiden, welches Verkehrsmittel sie wählen würden. Sie wurden auch mit verschiedenen Fahrzeiten sowie Kilometerpreisen konfrontiert, um die Zahlungs- und Wechselbereitschaft zu ermitteln. Die Personen werden dabei vom autonomen Fahrdienst von Tür zu Tür transportiert und müssen auch zu Stoßzeiten maximal nur 10 Minuten auf ein autonomes Fahrzeug warten.

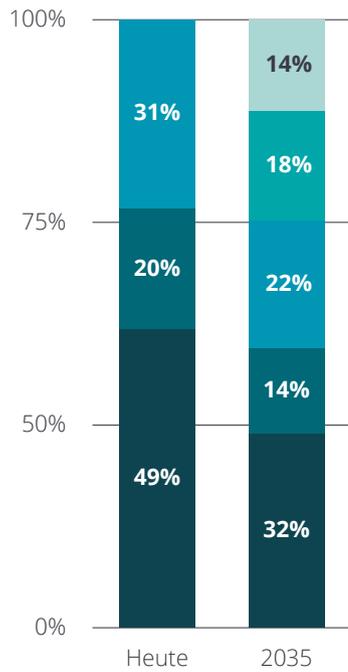
Befragung verschiedener Nutzergruppen: 32 Prozent aller Verkehrsteilnehmer sind bereit, umzusteigen

Das Ergebnis des Experiments zeigt das enorme Potenzial für autonome Flotten: Insgesamt 32 Prozent der Verkehrsteilnehmer würden auf ein autonomes Flottenfahrzeug umsteigen,

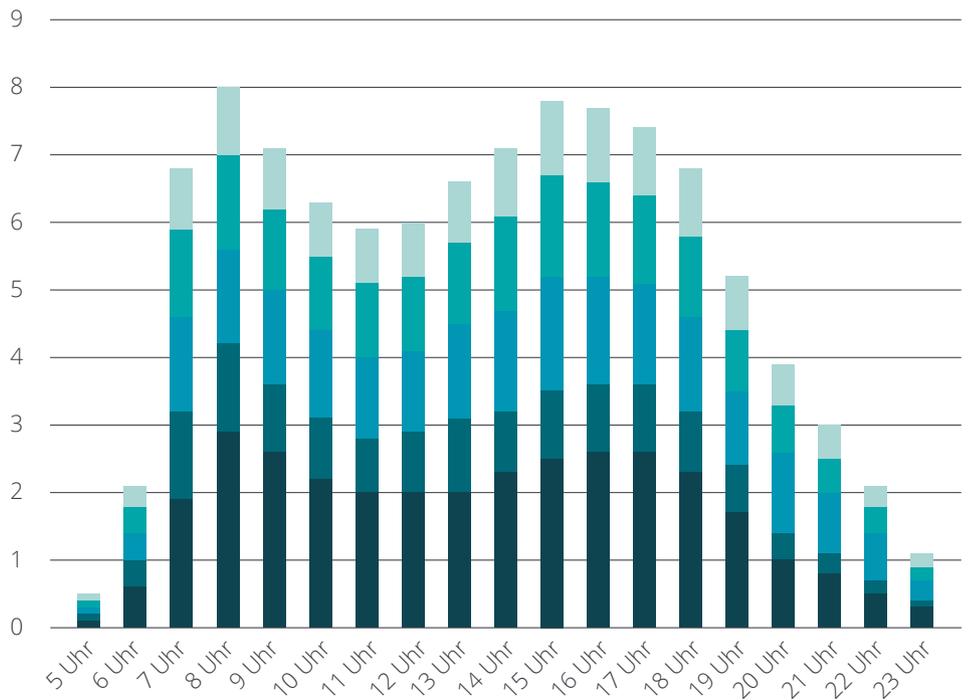
wenn sie maximal 10 Minuten auf dessen Ankunft warten müssten und die Preise entsprechend unserer Kalkulation erhoben würden (siehe These #2). Jeder dritte Weg würde somit in autonomen Fahrdiensten zurückgelegt. Das autonome Taxi hat mit 18 Prozent eine etwas höhere Akzeptanz als das Shuttle, obwohl es mehr kostet.

Abb. 3 – Anteil der Fortbewegungsarten an der täglichen Mobilität in deutschen Städten sowie die Anzahl der Wege nach Fortbewegungsart und Uhrzeit

Anteil an täglicher Mobilität im Versorgungsbereich (heute und 2035)



Anzahl Trips pro Stunde in Mio. (2035)



Auto
 ÖPNV
 Fuß/Fahrrad
 Autonomes Taxi
 Autonomes Shuttle

Quelle: Mobilität in Deutschland, Deloitte Research

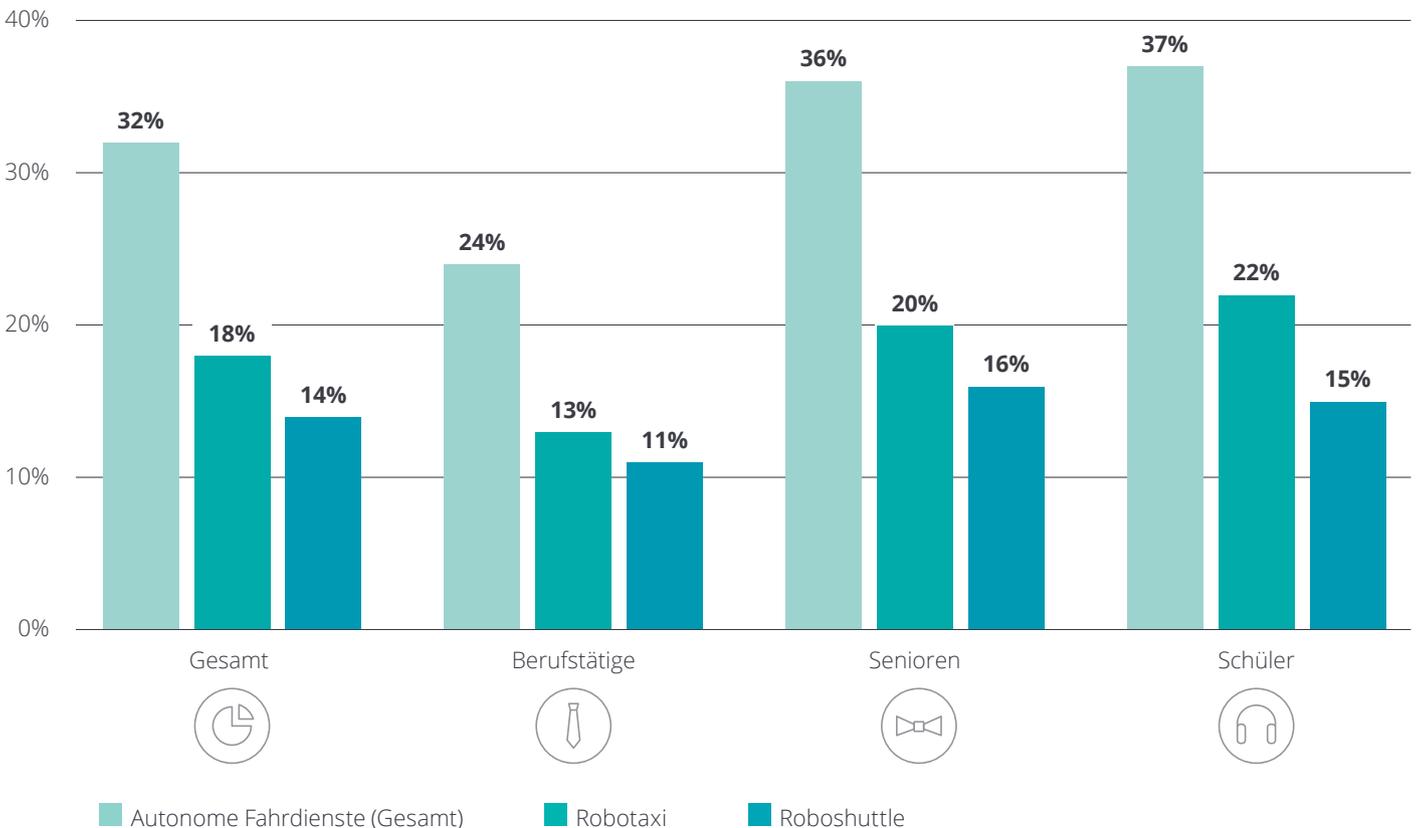
Die meisten autonomen Fahrzeuge werden morgens zwischen 7:00 und 10:00 Uhr und nachmittags zwischen 14:00 und 18:00 Uhr benötigt. Zu Spitzenzeiten am Nachmittag sind es rund 2,6 Mio. Personen, die autonome Fahrdienste nutzen.

Jedoch würden nur 24 Prozent der Berufstätigen zu einem autonomen Fahrdienst wechseln. Viel höher sind die

Anteile bei Senioren und Schülern. 36 Prozent der Senioren würden wechseln und sogar 37 Prozent der Schüler. Gerade die jungen Verkehrsteilnehmer würden dabei deutlich häufiger zum autonomen Taxi greifen (22%) als zum Shuttle (15%).

Jede dritte Fahrt erfolgt im Jahr 2035 mit einem autonomen Flottenfahrzeug.

Abb. 4 – Anteil der Nutzer autonomer Fahrdienste nach Altersgruppen bei Online-Experiment (mit 2.000 Teilnehmern und entsprechender Wartezeit und Preisen*)



Quelle: Deloitte Research

* Hinweis: In dem verwendeten Szenario gilt eine maximale Wartezeit von 10 Minuten und ein Kilometerpreis für Robotaxi und -shuttle von 34 Cent beziehungsweise 15 Cent.

Autofahrer würden besonders häufig zu autonomen Fahrdiensten wechseln – Berufstätige sind am wenigsten wechselbereit

Personen, die aktuell mit dem Auto als Fahrer oder Mitfahrer unterwegs waren, würden am häufigsten wechseln. Bei Schülern und Senioren sind dies 40 bzw. 38 Prozent, bei berufstätigen Autofahrern dafür nur gut jeder Vierte. Allgemein ist die Gruppe der Berufstätigen am skeptischsten

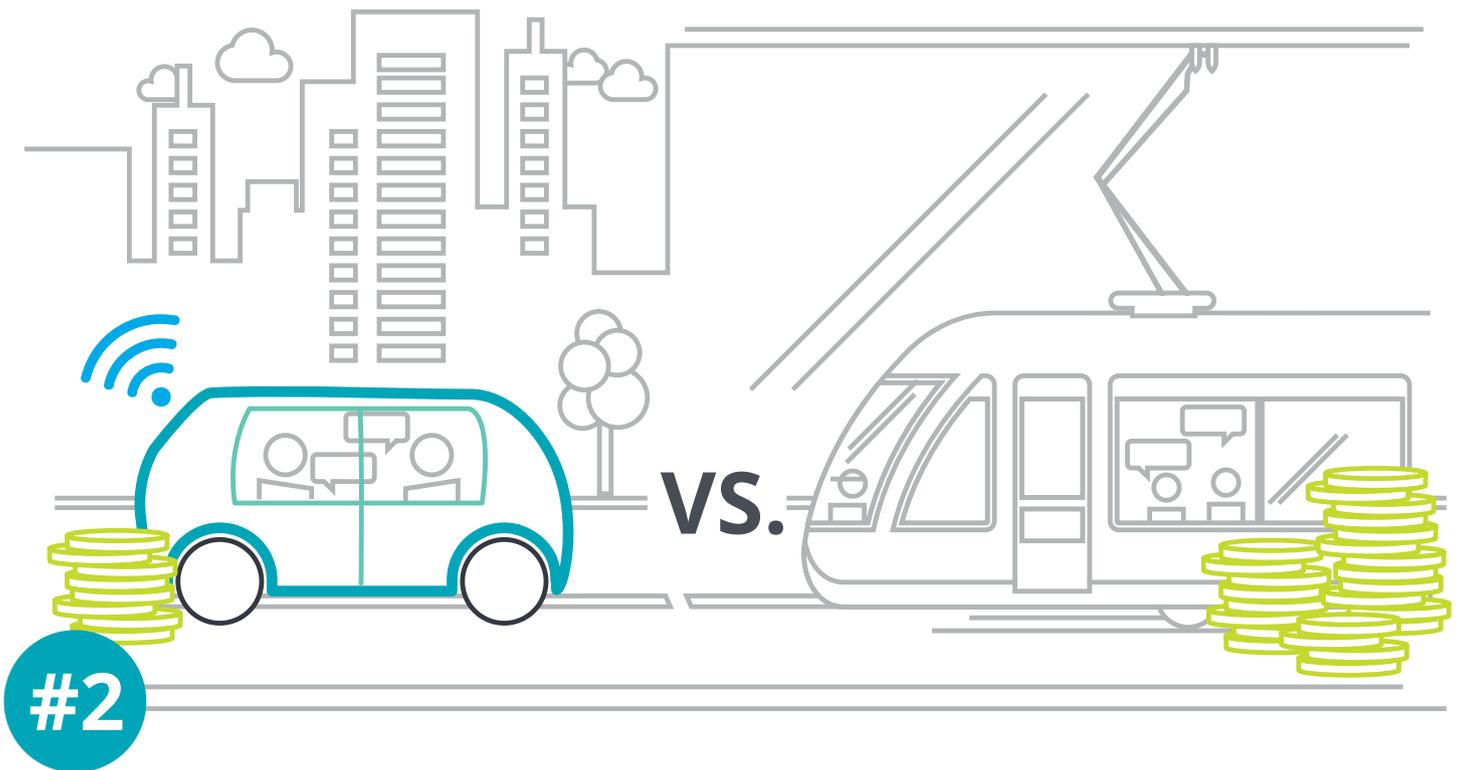
gegenüber der zukünftigen Nutzung von autonomen Fahrdiensten. Dennoch gibt es viele wechselwillige Verkehrsteilnehmer, die bisher per ÖPNV, Fahrrad oder zu Fuß unterwegs waren. Die Zahl der zu Fuß oder per Fahrrad zurückgelegten Wege würden um 30 Prozent sinken, während etwas mehr als jeder vierte ÖPNV-Nutzer das Taxi oder Shuttle nutzen würde.

Abb. 5 – Wechselbereitschaft zum autonomen Fahrdienst nach Altersgruppe und aktuellem Fortbewegungsmittel bei Online-Experiment (mit 2.000 Teilnehmern und entsprechender Wartezeit und Preisen*)

Altersgruppe	Aktuelles Fortbewegungsmittel	Autonomer Fahrdienst (Gesamt)	Autonomes Taxi	Autonomes Shuttle
 Berufstätige	Auto (Fahrer/Mitfahrer)	26%	15%	12%
 Berufstätige	Fuß/Fahrrad	24%	13%	11%
 Berufstätige	ÖPNV	23%	12%	11%
 Senioren	Auto (Fahrer/Mitfahrer)	38%	22%	17%
 Senioren	Fuß/Fahrrad	34%	19%	15%
 Senioren	ÖPNV	32%	18%	14%
 Schüler	Auto (Fahrer/Mitfahrer)	40%	25%	16%
 Schüler	Fuß/Fahrrad	36%	21%	14%
 Schüler	ÖPNV	34%	20%	14%

Quelle: Deloitte Research

* Hinweis: In dem verwendeten Szenario gilt eine maximale Wartezeit von 10 Minuten und ein Kilometerpreis für Robotaxi und -shuttle von 34 Cent beziehungsweise 15 Cent.



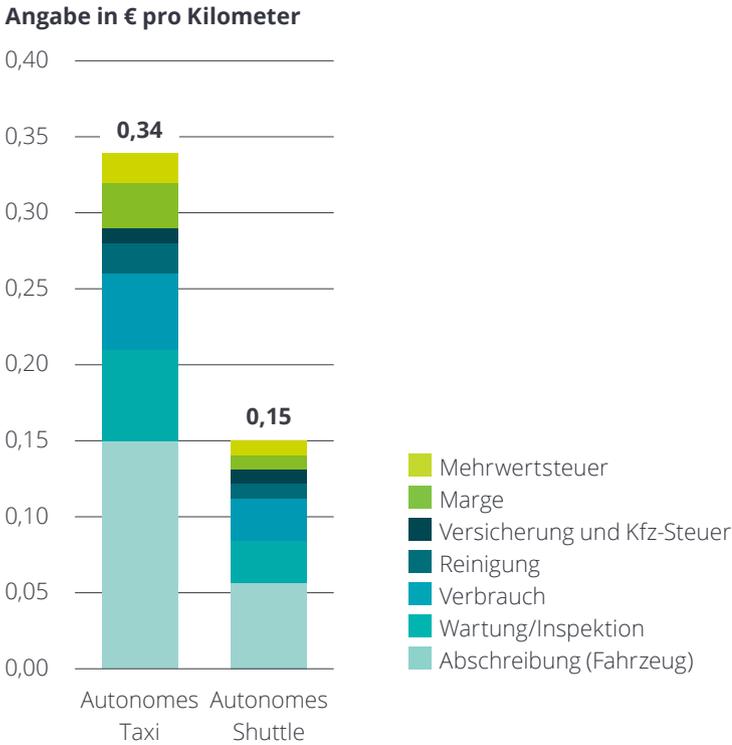
These #2: Preiskampf entfacht – autonome Taxi- und Shuttlefahrten werden deutlich günstiger sein als Fahrten mit privaten Autos und dem öffentlichen Nahverkehr

Die Akzeptanz eines Fortbewegungsmittels steht und fällt mit dem Preis. Die in These #1 dargestellte Nachfrage kann je nach preislicher Gestaltung stark variieren. Eine entscheidende Frage ist also: Was wird – seriös berechnet – eine Fahrt mit einem autonomen Taxi/Shuttle kosten?

Die folgende Grafik zeigt, wie sich der Preis eines Fahrzeugkilometers für ein elektronisch betriebenes, autonomes Taxi/Shuttle zusammensetzt (die genaue Datengrundlage der Berechnung findet sich im Anhang). Auch eine branchenübliche Gewinnmarge für den Betreiber ist bereits eingerechnet.

Der Kilometer mit einem autonomen Taxi wird um 25 Prozent günstiger sein als die Fahrt mit dem eigenen Privatwagen.

Abb. 6 – Zusammensetzung der Preise für einen gefahrenen Kilometer mit autonomem Taxi/Shuttle



Diese Vorgaben ergeben einen Kilometerpreis für das autonome Taxi von 34 Cent. Er beträgt damit nur noch ein Achtel im Vergleich zu einem heutigen (normalen) Taxi (2,60 Euro pro km⁴) und wäre 25 Prozent günstiger als die heutige Fahrt im eigenen Mittelklassewagen (VW Golf, 44 Cent pro km⁵). Stell- und Parkplatzkosten für den privaten PKW sind hierbei nicht berücksichtigt.

Auffällig ist, dass Abschreibung und Abnutzung ca. 40 Prozent des Fahrpreises ausmachen, der Verbrauch (Strom) aber nur einen Anteil von 14 (autonomes Taxi) oder 19 Prozent (Shuttle) hat. Veränderungen des Strompreises für die Fahrzeuge wirken sich also nur marginal auf die Kilometerkosten aus.

Für die Shuttlefahrt haben wir über eine spezielle Routenplanung mehr als 120 Routen in deutschen Städten mit zwei zusätzlichen Stopps zugrunde gelegt. Die Gesamtstrecke pro Nutzer nimmt damit um ca. 50 Prozent zu und dauert zeitlich gesehen 65 Prozent länger (durch Umwege und Ein- und Ausstiege). Da aber im Schnitt drei Personen transportiert werden, sinkt der Kilometerpreis auf 0,15 Euro pro Fahrgast. Für eine Fahrt über 10 Kilometer entstehen also nur Kosten von 1,50 Euro. Das ist gut die Hälfte eines durchschnittlichen ÖPNV-Tickets in deutschen Städten (2,80 Euro) – und die Person wird von Tür zu Tür transportiert!

⁴ Eurostat, http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=urb_ctr&lang=de, abgerufen am 14.08.2019.

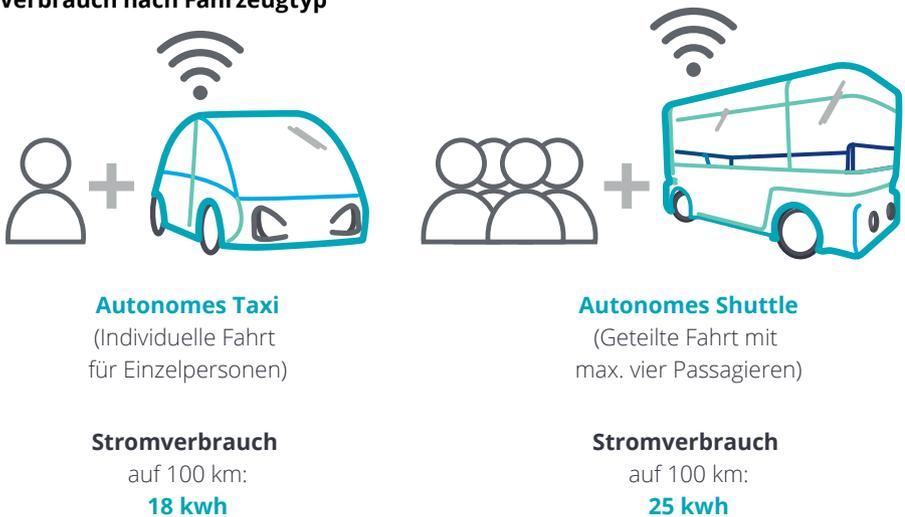
⁵ ADAC Autokosten-Rechner, <https://www.adac.de/infotestrat/autodatenbank/autokosten/autokosten-rechner/default.aspx>, abgerufen am 14.08.2019.

Die Preise machen klar, dass autonome Flotten eine sehr ernstzunehmende Konkurrenz zum privaten PKW und zum ÖPNV sind und sich viele Personen dafür entscheiden könnten, ein autonomes Flottenfahrzeug für den Weg zur Arbeit und für Einkäufe zu nutzen.

Der Strompreis für 1 kWh spielt bei den Kosten pro Kilometer nur eine geringe Rolle.

Abb. 7 – Zentrale Annahmen zu Kosten der autonomen Taxis und Shuttles

Verbrauch nach Fahrzeugtyp



Annahmen für Anschaffungs- und Betriebskosten eines autonomen Flottenfahrzeugs



Anschaffungspreis des Fahrzeugs: 35.000 Euro (25.000 für Fahrzeug + 10.000 für Technik)



Strompreis: 0,21 Euro pro kWh



Wartung/Inspektion: 0,05 Euro pro km



Reinigung: 0,01 Euro pro km



Versicherung & Kfz-Steuer: 900 Euro jährlich

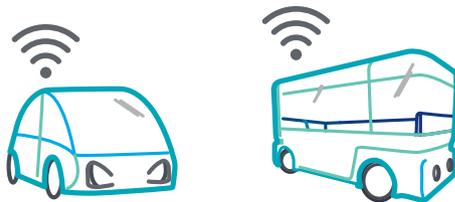


These #3: Das Marktpotenzial von autonomen Fahrdiensten ist groß – wenn die Regulierung es zulässt

Nicht nur für die Nutzer, auch für die Anbieter von autonomen Flottendiensten ergeben sich zahlreiche Chancen. Pro Tag werden sie nach den Berechnungen unseres Modells insgesamt 32,9 Mio.

Fahrten durchführen, davon 18,8 Mio. mit autonomen Taxis. Um die Fahrten erbringen zu können, sind 560.000 autonome Taxis und 180.000 autonome Shuttles notwendig (insgesamt 740.000 Fahrzeuge).

Abb. 8 - Errechnete Fahrzeuganzahl und tägliche Fahrten im urbanen Deutschland im Jahr 2035



	Autonomes Taxi	Autonomes Shuttle	Gesamt
Anzahl	560.000 Stk.	180.000 Stk.	740.000 Stk.
Fahrten pro Tag	18,8 Mio.	14,1 Mio.	32,9 Mio.
Fahrgäste pro Tag & Fahrzeug	34	79	44
Tagesdistanz	348 km	373 km	354 km

Das Umsatzvolumen des Marktes für autonome Fahrdienste kann im Jahr 2035 rund 16,7 Mrd. Euro betragen.

Über die durchschnittlichen Fahrtstrecken und -preise ergibt sich dadurch ein täglicher Umsatz von 59,5 Mio. Euro, was zu einem Jahresumsatz von 16,7 Mrd. Euro führt (bei durchschnittlich 280 Einsatztagen im Jahr).

Zugleich könnte der Effekt von autonomen Fahrdiensten auf Neuwagenverkäufe relativ gering sein. Laut unseren Berechnungen werden Letztere in unserem Szenario nur um 25.000 Stück sinken. Gemessen an den jährlich 3,3 Mio. Neuzulassungen in Deutschland beträgt der Rückgang somit lediglich 0,7 Prozent.⁶ Da ein durchschnittlicher Neuwagen aktuell rund 30.250 Euro

kostet, würde der Rückgang von Neuwagenkäufen zu Umsatzeinbußen von 760 Mio. Euro führen.⁷ Die zusätzlichen Umsätze aus dem Markt mit autonomen Fahrdiensten (16,7 Mrd. Euro) wären also um ein Vielfaches höher.

Die Zahlen zeigen also, dass sich für die Anbieter autonomer Fahrzeugflotten enorme Umsatzpotenziale bieten. Noch nicht einberechnet sind dabei Einnahmen für die Nutzung von Diensten in den Fahrzeugen sowie Werbung, die sich über große Displays in den Fahrzeugen ausspielen ließe.

Marktverschiebungen: Einem Umsatzrückgang von 760 Mio. Euro im Neuwagengeschäft steht ein Umsatzpotenzial autonomer Fahrzeugflotten in Höhe von 16,7 Mrd. Euro gegenüber.

⁶ Hinführung zum Ergebnis: Da autonome Fahrdienste in unserem Szenario nur in urbanen Regionen angeboten werden, bleibt die Zahl der Neuwagenverkäufe in ländlichen Regionen unbeeinflusst und stabil. Der Effekt auf Neuwagenkäufe zeigt sich also nur in städtischen Regionen und diese repräsentieren lediglich ein Drittel der deutschlandweiten Verkaufszahlen (1,1 Mio. Neuwagen). Von den 1,1 Mio. Neuwagenkäufern würde laut unseres Konsumentenexperiments rund ein Viertel auf den Kauf verzichten, sollte es ein Angebot autonomer Fahrdienste geben (-265.000 Neuwagen). Jedoch wird der Absatzzrückgang durch Neuwagenkäufe der autonomen Fahrdienstbetreiber ausgeglichen. Durch die hohe Auslastung der Robotaxis und -shuttles müsste 1/3 der 740.000 Flottenfahrzeuge erneuert werden (+240.000 Neuwagen). Der zusätzliche Neuwagenkauf durch die Betreiber der autonomen Fahrdienste gleicht also beinahe den Rückgang der privaten PKW-Käufe aus. Netto sinkt die Zahl der Neuwagenkäufe somit nur um 25.000 Stück.

⁷ DAT Report 2018: Durchschnittspreis in Deutschland verkaufter Neuwagen.



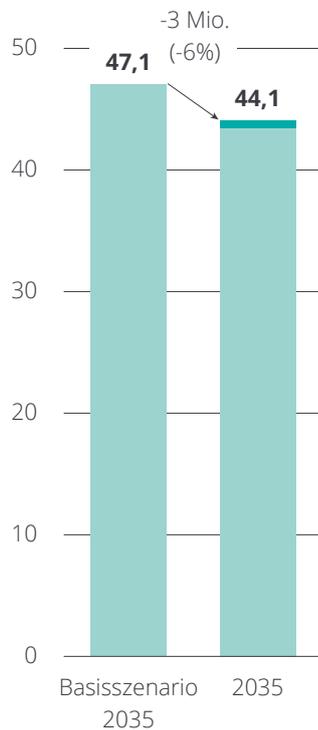
These #4: Weniger Fahrzeuge – aber mehr Verkehr in unseren Städten

Wie wird es 2035 auf unseren Straßen aussehen? Die Anzahl neu zugelassener Autos verändert sich kaum (siehe These #3). Allerdings wird die Nutzung der bestehenden Fahrzeuge stark ansteigen

In Gesamtdeutschland gibt es aktuell ca. 47,1 Mio. PKW. Nur ein Drittel davon befindet sich in den von uns untersuchten urbanen Regionen, das sind rund 15,6 Mio. Fahrzeuge. Laut unseren Berechnungen würde der Bestand auf 11,9 Mio. sinken (-25%). Hinzu kommen aber 0,74 Mio. autonome Fahrzeuge, was in Summe 12,6 Mio. Fahrzeuge ergibt. Das sind 3 Mio. oder 20 Prozent weniger Fahrzeuge weniger als heute.

Die Reduktion des städtischen Fahrzeugbestands um 20 Prozent bringt vor allem eine Entlastung in Bezug auf den Parkraum, den die Städte somit besser nutzen können.

Abb. 9 – Bestand an PKW in Deutschland im Jahr 2035 ohne (Basisszenario) und mit autonomen Fahrdiensten (in Mio. Fahrzeugen)



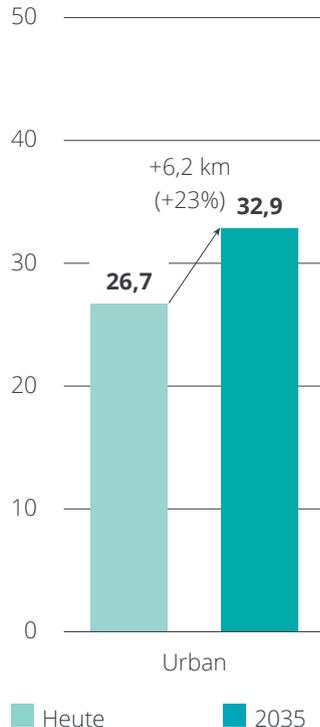
■ Private PKW ■ Autonome Flotte

Mehr gefahrene Kilometer pro Person pro Tag

Der Rückgang der angemeldeten Fahrzeuge lässt aber keine Rückschlüsse darauf zu, wie viele Autos zeitgleich auf den Straßen unterwegs sind. Da die autonomen Fahrzeuge viel intensiver genutzt werden – auch von Personen, die heutzutage noch den ÖPNV nutzen oder zu Fuß oder mit dem Fahrrad unterwegs sind – steigt die Anzahl der Fahrten insgesamt deutlich an.

Heutzutage fährt eine Person in urbanen Gebieten am Tag durchschnittlich 26,7 Kilometer mit dem Auto. Das sind sowohl berufliche als auch private Fahrten. Bedingt durch die neuen autonomen Fahrzeugflotten wird dieser Wert im Jahr 2035 auf 32,9 Kilometer pro Tag und Person anwachsen – eine Steigerung um 23 Prozent.

Abb. 10 – Täglich mit dem Auto zurückgelegte Kilometer pro Person in urbanen Regionen Deutschlands



30 Prozent mehr Verkehr durch gleichzeitig fahrende Autos

Außerdem wird sich die Anzahl der gleichzeitig auf den Straßen befindlichen Fahrzeuge sogar um 30 Prozent erhöhen. Dies scheint auf den ersten Blick erstaunlich, weil die Zahl der angemeldeten Autos sinkt. Die Fahrzeuge der autonomen Flotten fahren jedoch den ganzen Tag und nicht nur zwei- oder dreimal wie die meisten privaten PKWs.

Für diese enorme Steigerung gibt es diverse Gründe:

- Berufstätige ÖPNV-Nutzer, Fahrradfahrer und Fußgänger wechseln in großer Zahl zu den Fahrdiensten und erhöhen damit die Anzahl der Autofahrten.
- Die Altersgruppen der Schüler (die keinen Führerschein haben) und Senioren (die nicht mehr fahren wollen oder können) nutzen die autonomen Fahrdienste.
- Es gibt zusätzliche Leerfahrten, um einen Kunden zu erreichen oder zum Aufladen zu fahren.

Diesen Effekt kann man heute schon in New York beobachten, wo zusätzliche, günstige Fahrdienste (Ride Hailing) zu einer deutlich gestiegenen Zahl von Fahrten pro Person geführt haben.



These #5: Staurisiko nimmt zu – steigende Fahrzeugnutzung führt zu erhöhter Verkehrsbelastung

Die steigende Anzahl urbaner Autofahrten hat Konsequenzen für die Verkehrsbelastung der Städte. Unser Mobilitätsmodell prognostiziert, dass bei der erhöhten Nachfrage nach Autofahrten (autonome Flotte und private PKW) zwei wesentliche Effekte zu erwarten sind:

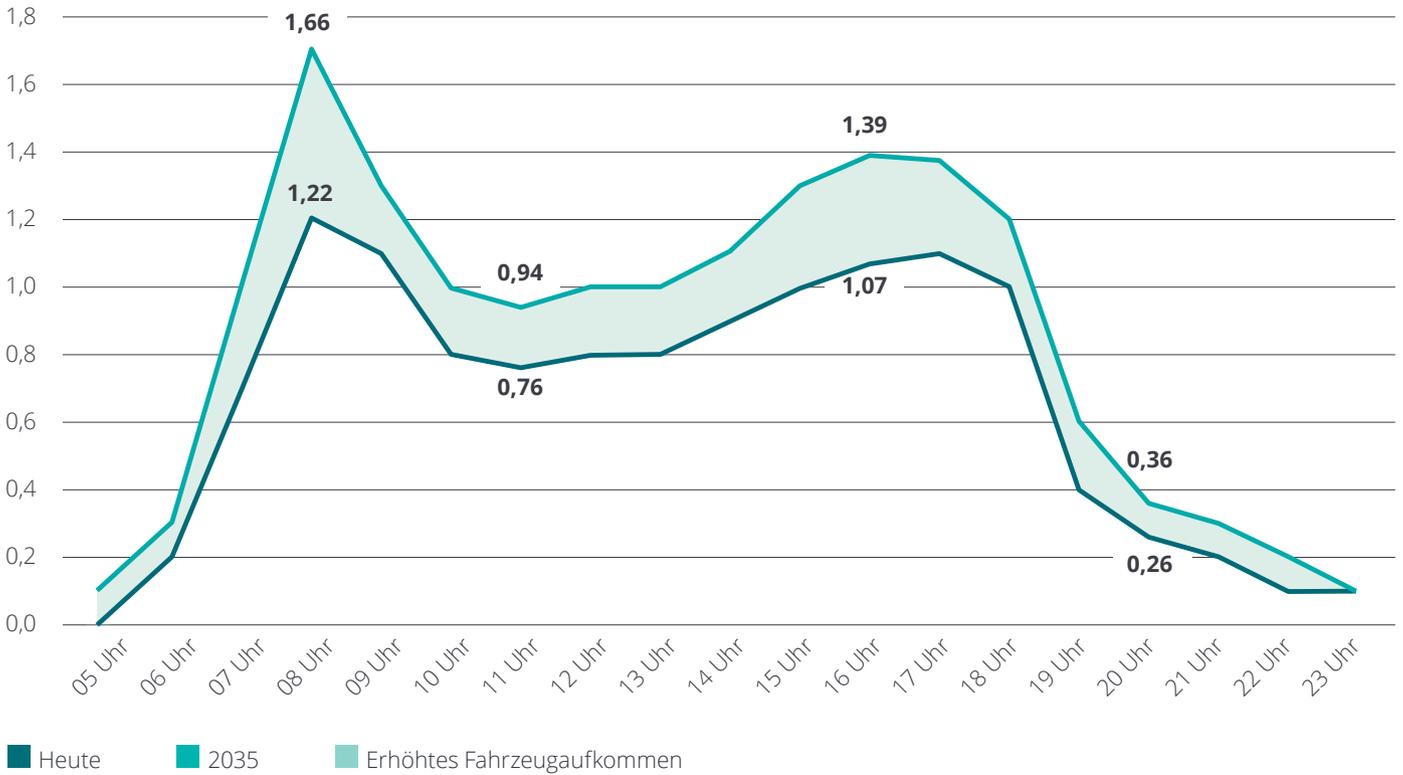
- Die Anzahl zeitgleich auf der Straße fahrender Fahrzeuge nimmt zu.
- Der Verkehrsfluss sinkt und das Staurisiko wird deutlich erhöht.

Mehr Staus: Im Schnitt dauert jede Fahrt 10 Prozent länger

Mehr Verkehr führt auch zu mehr Verkehrsbelastung und zu mehr Staus. Da für 2035 noch davon auszugehen ist, dass viele nicht-autonome Fahrzeuge im Straßenverkehr unterwegs sind, greifen Verbesserungen wie die maschinelle Kommunikation zwischen den Fahrzeugen (V2V) noch nicht umfassend.

Zu Spitzenzeiten (morgens zwischen 8:00 und 9:00 Uhr) kann das Verkehrsaufkommen sogar um 36 Prozent im Vergleich zu heute steigen.

Abb. 11 – Sich gleichzeitig auf urbanen Straßen befindende Autofahrer nach Uhrzeit (in Mio.)



Die höhere Verkehrsbelastung wird etliche weitere Straßen in den Städten an ihre Belastungsgrenzen bringen und damit den Verkehrsfluss deutlich verlangsamen. Zur morgendlichen Hauptverkehrszeit wird sich daher die durchschnittliche Fließgeschwindigkeit von 33,5 km/h auf ca. 30 km/h reduzieren. Eine Autofahrt dauert dann also 10 Prozent länger, im Schnitt sind das 2,5 Minuten mehr.

Für die Nutzer der autonomen Flottenfahrzeuge ist das wahrscheinlich noch einfacher zu ertragen, weil sie während der Fahrt arbeiten oder entspannen können. Für alle anderen erhöht es den Druck, sich nach Alternativen umzusehen. Nur die deutlich stärkere Nutzung von autonomen Shuttles kann diesen Effekt umkehren.

Die Verlagerung von Fußgänger-, Fahrrad- und ÖPNV-Verkehr zu autonomen Fahrdiensten führt zu mehr Verkehr, mehr Staus und längeren Fahrtzeiten.

Auswirkungen: die Renaissance des Automobilzeitalters

Eines der Hauptergebnisse der Studie ist, dass der Einsatz von großen selbstfahrenden Flotten die Attraktivität der Auto- und Shuttlenutzung für viele Menschen im urbanen Raum erhöht. So gesehen ist der Abgang auf das Automobilzeitalter deutlich verfrüht – ganz im Gegenteil: Die neuen Mobilitätsformen bieten der Automobilindustrie die Chance, sich neu zu erfinden.

Chancen für Automobilhersteller und Mobilitätsanbieter

Die Flottendienstleistungen haben ein großes Umsatzpotenzial, das sich durch Optimierungen noch steigern lässt. Allerdings könnten schnell wenige Player den Markt beherrschen.

Die Anzahl der Fahrzeugneuzulassungen in Deutschland wird aller Voraussicht nach im Vergleich zu heute nur leicht abnehmen. Einerseits führen die anhaltende Urbanisierung und die damit verbundene Tatsache, dass viele Haushalte aufgrund alternativer Verkehrsangebote zumindest auf einen Zweitwagen verzichten, zu einem Rückgang der privaten Neuzulassungen. Außerdem wird dieser Trend durch einen abnehmenden Statussymbol-Effekt⁸ verstärkt.

Andererseits führt die deutlich erhöhte Abnutzung von Fahrzeugen im autonomen Flottenbetrieb zu einer kürzeren Lebens-

dauer und einer schnelleren Ersatzbeschaffung (die insgesamt motorisiert gefahrenen Kilometer in Deutschland nehmen durch die autonomen Fahrdienste weiter zu). Auf Basis der Berechnungen und Annahmen dieser Studie heben sich die beiden Effekte nahezu auf.

Zukünftig steht somit vielmehr die Dienstleistung des Personentransports im Mittelpunkt als der private Autobesitz. Solange aber die motorisiert zurückgelegten Personenkilometer weiter zunehmen, bieten diese Entwicklungen für Automobilhersteller neben bedeutenden Veränderungen in der Wertschöpfungskette auch vielfältige Chancen.

⁸ Deutsche Welle: Das Auto – Vom Statussymbol zum Nutzgegenstand, <https://www.dw.com/de/das-auto-vom-statussymbol-zum-nutzgegenstand/a-38045277-0>, abgerufen am 14.08.2019.



Das Marktpotenzial beträgt fast ein Sechstel der Autoverkäufe in Deutschland

Das Marktpotenzial für autonome Fahrdienstleistungen ist sehr lukrativ und mit einem berechneten Umsatzvolumen von 16,7 Mrd. Euro im Jahr 2035 ein großes neues Geschäftsfeld für Automobilhersteller und Dienstleister.

Die Preise für autonome Fahrten werden dabei deutlich unter den Kosten der privaten PKW-Nutzung liegen. Der wesentliche Grund hierfür liegt in einer deutlich höheren Auslastung der Flottenfahrzeuge im Vergleich zum eigenen Auto. Private PKWs werden heute weniger als 5 Prozent am Tag tatsächlich genutzt und blockieren zudem die restliche Zeit Parkplätze, was insbesondere im urbanen Raum aufgrund von Flächenmangel mit zunehmenden Kosten verbunden ist. Dies lässt die Attraktivität, ein eigenes Auto zu besitzen, insbesondere für Stadtbewohner weiter sinken.

Ein weiterer Grund für ein attraktives Preisniveau autonomer Fahrdienste liegt in den sinkenden Anschaffungskosten für entsprechende Fahrzeuge. Die Herstellungskosten werden aufgrund von Skaleneffekten und Technologie-Entwicklungen beim autonomen Fahren über die nächsten Jahre noch deutlich sinken.

Es wird anfangs eine hohe Wettbewerbsdynamik geben

Der Markt für autonome Fahrdienste wird heiß umkämpft sein. Neben den traditionellen Automobilherstellern drängen auch Mobilitätsanbieter wie Autovermietungen sowie neue Herausforderer aus dem Technologie-Sektor in den Markt. Noch ist nicht absehbar, wer am Ende das Rennen gewinnt.

Mit Blick auf die Markt- und Wettbewerbsdynamik deuten jedoch Parallelen aus dem Ride-Hailing-Geschäft darauf hin, dass sich auf Städte-Level ein „The Winner takes it all“-Prinzip abzeichnet.

Wer die größte Flotte in einer urbanen Region betreibt, kann den Nutzern die durchschnittlich kürzesten Wartezeiten bieten (Kundenzufriedenheit) und gleichzeitig die Leerfahrten auf ein Minimum reduzieren (Kostenführerschaft). Langfristig werden sich deshalb voraussichtlich nur wenige Anbieter mit entsprechenden Größenvorteilen beim Flottenbetrieb durchsetzen und den Markt dominieren.

Private autonome Fahrzeuge sind ein Nischenmarkt

Neben autonomen Fahrzeugflotten wird es sicherlich auch einen Nischenmarkt für autonome Fahrzeuge im Privatbesitz geben: Aufgrund der höheren Fahrzeuganschaffungskosten im Vergleich zu klassischen Autos wird dieses Segment allerdings wohl nur einer gut betuchten Klientel vorbehalten bleiben, ähnlich dem heutigen Oberklasse-Segment im Premiumbereich.

Die zukünftigen Differenzierungsmerkmale in diesem Segment werden voraussichtlich weniger mit Fahrfreude verbundene Eigenschaften wie Motorleistung und Beschleunigungsvermögen sein als vielmehr Komfort-Faktoren, um die Zeit während der Fahrt produktiv oder auch zur Entspannung besser nutzen zu können. Aber auch hier gibt es für Automobilhersteller zahlreiche Möglichkeiten zur Differenzierung, um sich als Marke von der Konkurrenz abzusetzen.

Was Autohersteller schon heute bedenken sollten

Autohersteller sind daher schon jetzt gut beraten:

- Sich stärker auf den Betrieb von Flotten zu fokussieren und das Prinzip Mobility-as-a-Service (MaaS) umzusetzen (sowohl in Eigenregie als auch als Zulieferer für Mobilitätsanbieter. Auf jeden Fall wird das Total-Cost-of-Ownership-Prinzip im Vertrieb mit Flottenbetreibern deutlich an Bedeutung gewinnen im Vergleich zum heutigen Privatkundengeschäft).
- Optimierungen vorzunehmen, um attraktive Kilometerpreise, lange Laufzeiten, geringe Wartungskosten und möglichst hohe Margen zu erzielen.
- Sich darüber Gedanken zu machen, wie sie ihre Marke neu positionieren, wenn das Fahrzeug weniger als Statussymbol, sondern vor allem als Transportmittel angesehen wird.
- Die Nutzer der Flotten als Kunden für weitere Dienste (z.B. Virtual-Reality-Angebote, Reiseführer-Modus) und als Werbeadressaten zu betrachten.

Herausforderungen für Kommunen und Politik

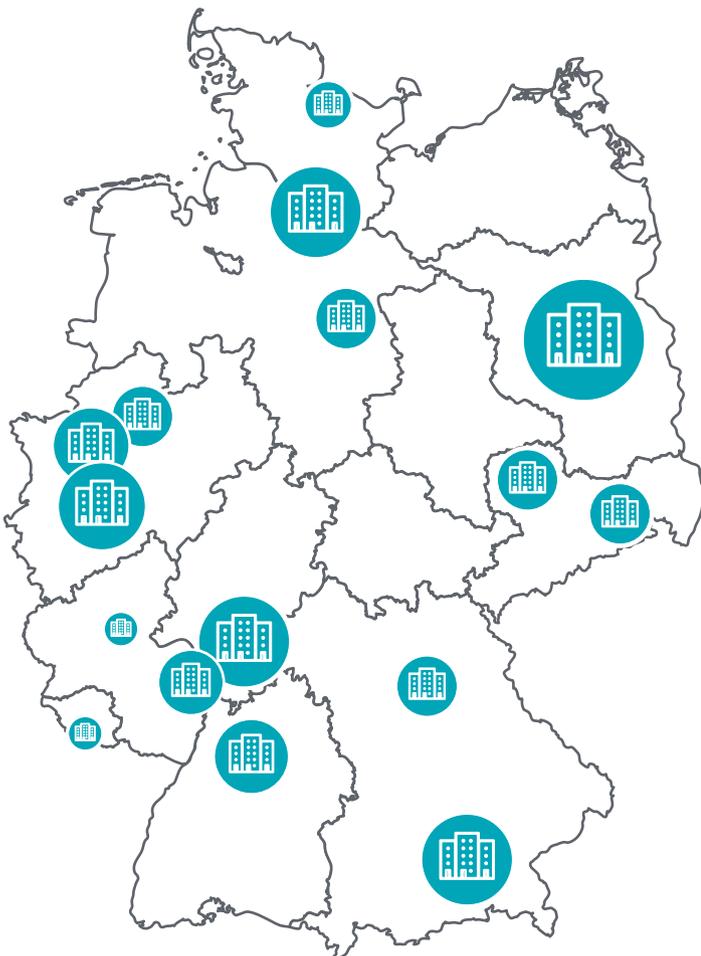
Dem frei werdenden Parkraum steht eine um 30 Prozent höhere Verkehrsbelastung gegenüber. Die öffentliche Hand muss klären, wie sie auf die Veränderung reagiert und ob sie reglementierend eingreifen soll.

Es werden deutlich weniger Parkplätze benötigt

Die Ergebnisse der Analyse zeigen, dass die Anzahl der benötigten Parkplätze bis 2035 stark zurückgehen wird, da der Fahrzeugbestand in den Städten um 20 Prozent schrumpft. Dieser frei werdende Platz könnte für zusätzliche Rad- und Fußwege genutzt werden, um diese Fortbewegung aktiv zu unterstützen. Allerdings könnten viele freie Parkplätze im Stadtgebiet auch neuen Verkehr anziehen.

Der um 20 Prozent schrumpfende Autobestand entschärft die Parkplatznot in den Städten und gibt Raum für neue Nutzungsmöglichkeiten.

Abb. 12 – Errechnete Anzahl der Fahrzeuge der autonomen Fahrdienste pro Stadt im Jahr 2035



Stadt	Autonome Fahrzeuge
Berlin	95.000
München	55.000
Hamburg	47.000
Frankfurt am Main	41.000
Köln	33.000
Düsseldorf	23.000
Stuttgart	22.000
Mannheim	19.000
Nürnberg	15.000
Dresden	13.000
Leipzig	12.000
Hannover	12.000
Münster	7.000
Kiel	7.000
Saarbrücken	4.000
Koblenz	4.000

Zunehmender Verkehr verlangt nach smarterer Regulierung

Die Studie zeigt aber auch, dass Städte und Kommunen nicht darauf hoffen können, dass autonome Fahrdienste die Verkehrsbelastung senken – denn genau das Gegenteil könnte eintreten. Die Nutzung des ÖPNV wird ohne Impulse oder anderweitige Eingriffe abnehmen. Ebenso wird die Zahl der Fußgänger und Radfahrer zurückgehen, während die Nutzung von Autos ansteigt.

Um weitere Verkehrsbelastungen zu vermeiden, kann es daher notwendig sein, den Fahrbetrieb im Stadtgebiet nicht allein aus Umwelt-, sondern auch aus Verkehrsgründen zu regulieren. Die Regulierung sollte sich jedoch nicht auf die bloße Limitierung

der autonomen Fahrzeugflotte fokussieren, sondern vielmehr einen smarten Ansatz verfolgen, der wechselseitige Beeinflussungen aller Beteiligten und Verkehrsangebote berücksichtigt und die bestmögliche Zusammenstellung des Mobilitätsangebotes anstrebt.

Gelingt dieser Eingriff, könnten die Vorteile von autonomen Fahrdiensten – in Form von flexibler, preisgünstiger und effizienter Fahrzeugnutzung – eine echte Aufwertung für die städtische Mobilität und Vernetzung darstellen. Durch die nutzenorientierte Einbindung von autonomen Fahrdiensten könnten Städte ihre Bevölkerung langfristig effizienter und kostengünstiger transportieren und an Attraktivität gewinnen.

Kommunen und Städte sind heute schon gefordert, Ideen und Maßnahmen zu entwickeln, um für einen fließenden Verkehr in der Stadt der Zukunft zu sorgen. Smarte Regulierung könnte ein Lösungsansatz sein.

Ausblick

Die Ergebnisse unserer Studie zeigen, dass selbstfahrende Taxis und Shuttles weitreichende Effekte auf unser städtisches Leben im Jahr 2035 haben werden. Die Vorteile autonomer Fahrdienste liegen dabei auf der Hand, denn sie bieten eine schnelle, kostengünstige und individuelle Mobilität – und das für alle Bewohner, zu jeder Tageszeit.

Autonome Fahrdienste werden nicht dazu führen, dass der private PKW-Besitz oder der öffentliche Nahverkehr verschwinden, vielmehr wird ein neuer, zusätzlicher Markt für Mobilität entstehen und die Transportbranche insgesamt wachsen. Die städtische Bevölkerung hat in Zukunft somit eine größere Auswahl an Fortbewegungsmitteln und kann je nach Bedarf zwischen diesen wählen.

Für Automobilhersteller sind die Ergebnisse unserer Studie zunächst einmal positive Nachrichten, zeigen sie doch, dass autonome Fahrdienste zu einem Anstieg autobasierter Fahrten führen und nicht mit einem signifikanten Rückgang von Neuzulassungen zu rechnen ist. Nichtsdestotrotz wird sich die Automobilbranche grundlegend verändern und neben Wachstumschancen auch zahlreiche Risiken erfahren. Denn wenn sich Automobilhersteller zu Mobilitätsdienstleistern wandeln und für

Kunden mehr die eigentliche Fahrt als die Marke des Fahrzeugs in den Vordergrund rückt, dann erhöht sich zwar das Umsatzpotenzial, aber damit auch der Wettbewerb mit direkten sowie branchenfremden Konkurrenten.

Städte und Kommunen blicken bereits heute mit Sorge auf die tagtäglichen Verkehrsbelastungen ihrer Straßen. Die Ergebnisse unserer Modellierung zeigen, dass der Verkehr mit der Einführung autonomer Fahrdienste weiter zunehmen könnte. Städte sollten deshalb schon heute Konzepte erarbeiten, wie sich autonome, elektrisch betriebene Fahrzeuge und Fahrdienste bestmöglich in den Stadtverkehr integrieren lassen und wie bestehende Fortbewegungsmittel gezielt gefördert und ausgebaut werden können. Gelingt dies, kann die jeweilige Kommune ihre Lebensqualität und Anziehungskraft bewahren oder sogar steigern. Dies kann in Bezug auf den Standortwettbewerb entscheidende Vorteile generieren.

Unsere Analyse ist die erste Studie, die eine valide Perspektive für Gesamtdeutschland im Jahr 2035 aufzeigt. Sie vermittelt somit Entscheidern in Wirtschaft, Politik und Kommunen ein realistisches Bild auf die Mobilität der Zukunft und soll ihnen als Denkanstoß für künftige Handlungsoptionen dienen.

Anhang: Methodik und Datengrundlagen

In den folgenden Abschnitten finden sich detaillierte Beschreibungen der Datenbasis und Methodik unserer Studie. Darin zeigen wir, welche Quellen und Kalkulationen die Grundlage bilden und welche Annahmen für unsere Modellierung getroffen wurden.

Datengrundlage

Das Datenmaterial der Studie stammt aus den Jahren 2017 bis 2019, dazu gehören die Studie „Mobilität in Deutschland 2017“ des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, Daten der OECD, des statistischen Bundesamts, von Eurostat, TomTom Traffic Index und dem ADAC.

Grundannahmen

Grundannahmen für die Berechnung der autonomen Fahrzeugflotten im Jahr 2035 waren:

- Die Bestellung der Fahrzeuge erfolgt sehr einfach per App, Sprachanweisung oder basierend auf künstlicher Intelligenz.
- Die maximale Wartezeit auf ein Fahrzeug beträgt 10 Minuten.
- Die Beförderung erfolgt von Tür zu Tür.
- Die autonomen Fahrzeuge sind rein batteriebetriebene Elektroautos.

Damit die gemeinsame Nutzung von Fahrzeugen wirtschaftlich erfolgreich betrieben werden kann, ist eine Mindestmenge an mobiler Bevölkerung notwendig. Dieser Netzwerkeffekt sorgt dafür, dass

- bereits kurz nach der Anforderung ein Fahrzeug bereitsteht (das funktioniert nur mit vielen Fahrzeugen auf kleinem Raum),
- eine hohe Auslastung entsteht, die für den wirtschaftlichen Betrieb notwendig ist,
- immer genügend freie Fahrzeuge zur Verfügung stehen.

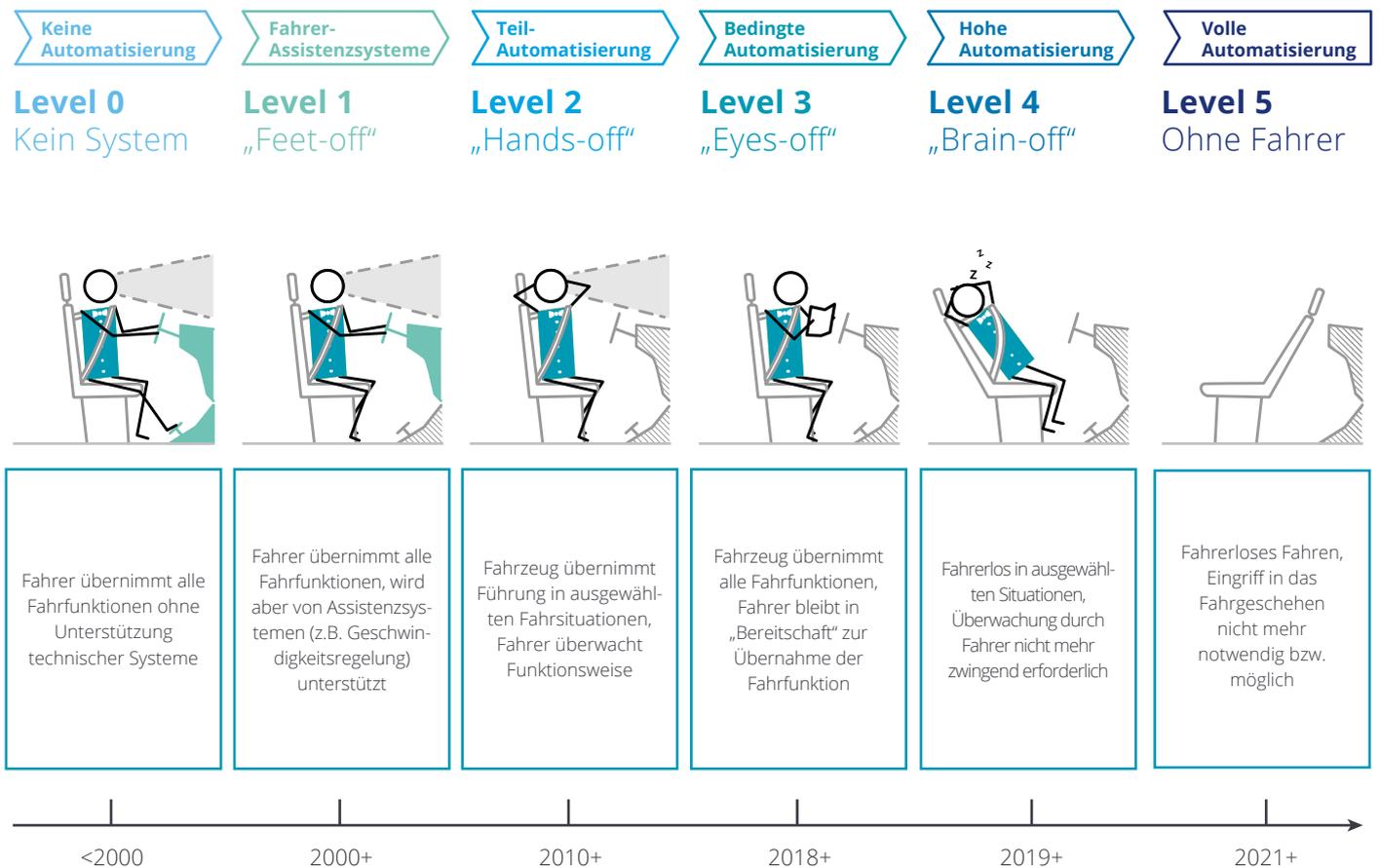
Erst wenn diese Voraussetzungen stimmen, wird der Service angenommen und funktionieren.

Definition autonomer Fahrzeuge

Basis der Betrachtung sind vollautonom agierende Fahrzeuge. Die Autoindustrie hat dazu ein Modell entwickelt, das sechs Stufen der Automatisierung kennt (von Stufe 0 bis 5). In den Stufen 0 bis 2 gibt es keine bis wenige Assistenzsysteme, die den Fahrer beim Fahren unterstützen. In Stufe 3 kann das Fahrzeug schon allein fahren, der Fahrer muss aber jederzeit in der Lage sein, die Führung wieder zu übernehmen. Solche Systeme existieren bereits oder stehen kurz vor der Marktreife.

Die Stufen 4 und 5 beschreiben Systeme, die vollständig autonom fahren können. In Stufe 4 kann ein Mensch noch die Kontrolle übernehmen, in Stufe 5 ist das nicht mehr möglich – diese Fahrzeuge verfügen weder über ein Lenkrad noch über Pedale. Die Fahrzeuge der Stufe 5 bilden die Grundlage dieser Studie.

Abb. 13 – Entwicklungsstufen selbstfahrender Technologien



Metropolregionen als Kerngebiete der autonomen Fahrdienste

Wie in den vorherigen Kapiteln der Studie deutlich geworden ist, ist eine zentrale Annahme unserer Studie, dass autonome Fahrdienste ihre Kerngebiete in städtischen Zentren und deren verdichteten Räumen haben werden. Denn um die Wirtschaftlichkeit und Vorteile für die Nutzer zu garantieren, sind dicht besiedelte Räume mit entsprechend hoher Auslastung der Fahrzeuge notwendig. Zur Bestimmung der geeigneten Räume wurde eine Datenbank der OECD verwendet, welche die Metropolregionen Deutschlands identifiziert. Diese wurden anschließend detailliert analysiert und in ihre einzelnen Postleitzahlengebiete

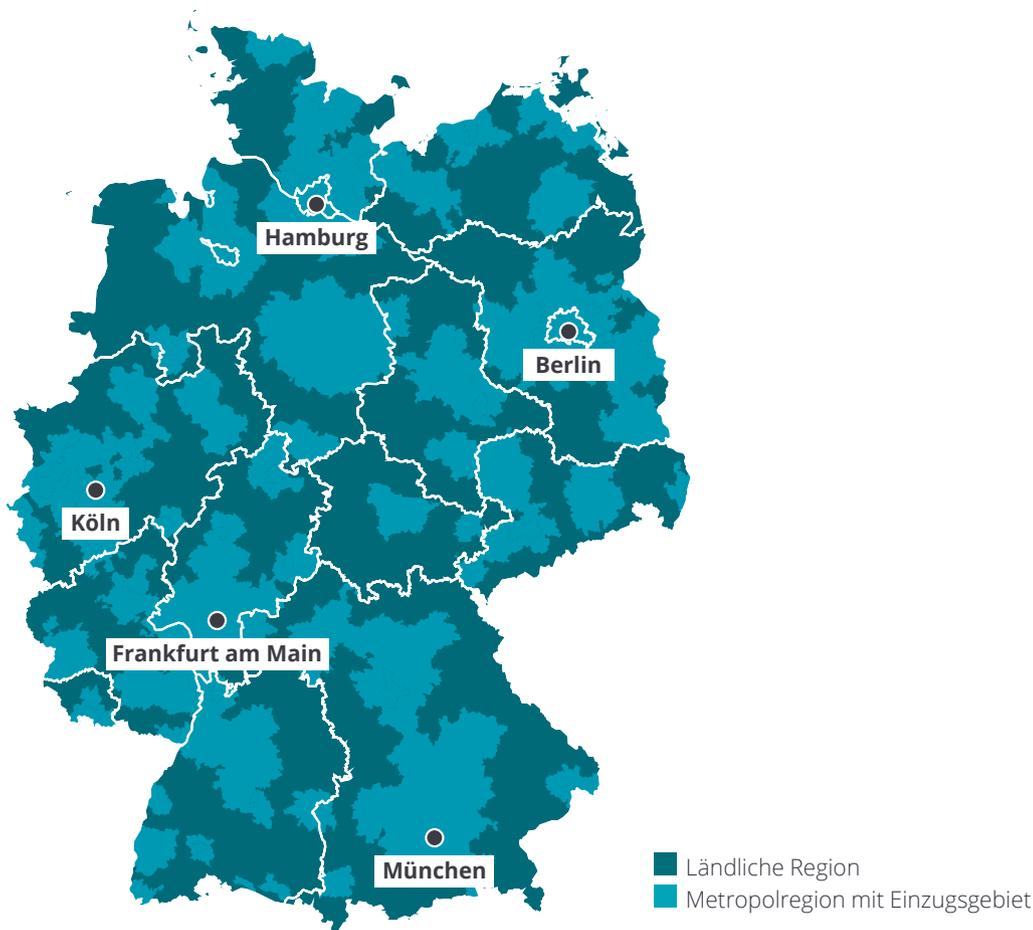
aufgeschlüsselt, um die Kerngebiete autonomer Fahrdienste innerhalb der Metropolregion zu definieren.

In Deutschland gibt es 109 große Städte und Metropolregionen, in denen jeweils mindestens 50.000 Menschen wohnen. Die Karte zeigt die Verteilung in ländliche Regionen (dunkel) und in Metropolregionen mit Einzugsgebieten (hell).

Meistens sind die Einzugsgebiete am Rande der Metropolregionen, aus denen täglich Arbeitnehmer ins Zentrum pendeln, jedoch nicht mehr so dicht besiedelt, dass sich dort eine Fahrzeugflotte betreiben ließe. Daher wurden für die Studie durch einen

Split in Postleitzahlengebiete und genaue Analyse der Einwohnerdichte und Pendlerströme die Kerngebiete identifiziert, in denen ausreichend viele Menschen leben. Sollten diese Kerngebiete dabei Transitgebiete umschließen, die nicht den Kriterien entsprechen, aber täglich von Pendlern durchfahren werden, wurden diese ebenfalls zu den Kerngebieten hinzugefügt.

Abb. 14 – Metropolregionen Deutschlands nach OECD-Klassifizierung

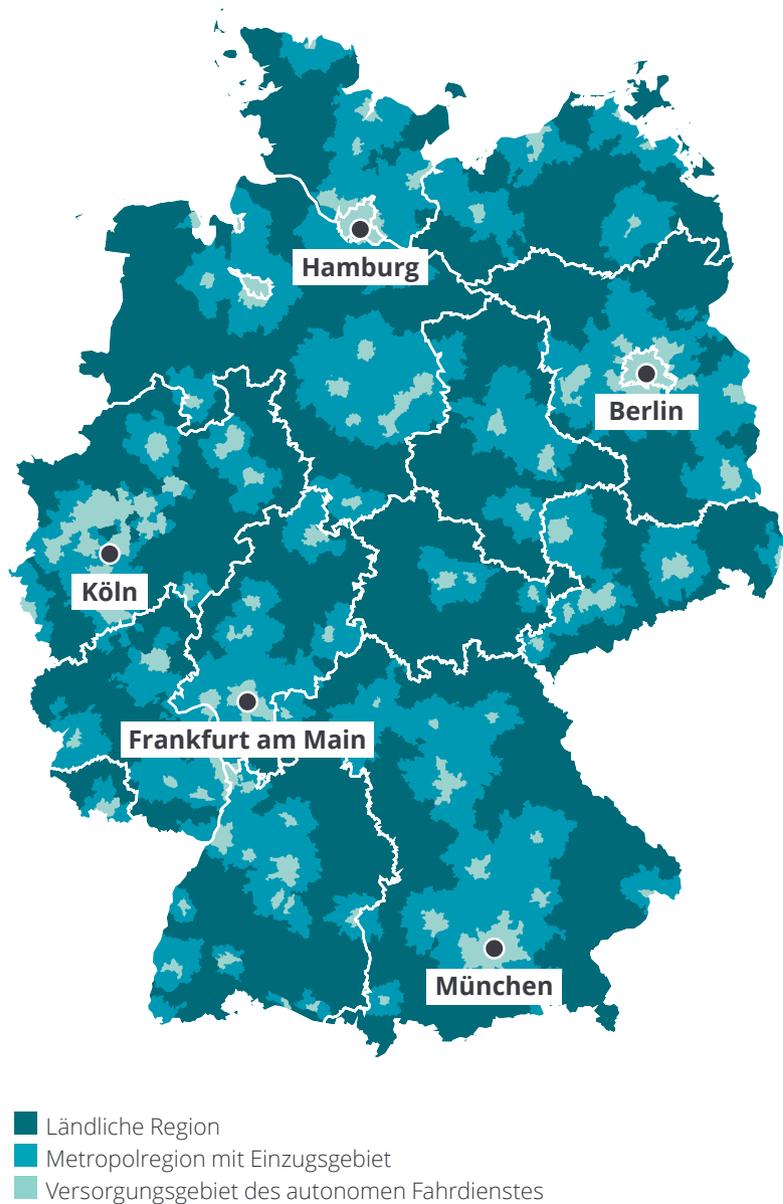


Stadt	Fläche der Metropolregion (in km²)	Fläche des autonomen Flottenbereichs (in km²)	Anteil des autonomen Flotten- bereichs an Metropolregion
Berlin	8.970	2.180	24%
München	6.460	1.650	26%
Hamburg	6.330	1.340	21%
Frankfurt am Main	4.060	740	18%
Köln	1.960	550	28%
Düsseldorf	1.230	420	34%
Stuttgart	1.930	390	20%
Mannheim	1.970	660	34%
Nürnberg	3.350	420	13%
Dresden	2.660	390	15%
Leipzig	2.820	330	12%
Hannover	3.220	210	7%
Münster	1.740	310	18%
Kiel	1.990	210	11%
Saarbrücken	950	220	23%
Koblenz	1.490	320	21%

Aus der genauen Analyse der Siedlungsdichte ergeben sich 109 Versorgungsgebiete, in denen 40 Prozent der deutschen Bevölkerung leben. Diese Areale nehmen aber nur 7 Prozent der Fläche der Bundesrepublik Deutschland ein. Dies zeigt die hohe Bevölkerungsdichte und hohe Anzahl potenzieller Kunden auf relativ kleiner Fläche.

Auf der Karte sind die Gebiete hellgrün markiert. Deutlich zu sehen ist, dass sie oft über den Innenstadtbereich hinausgehen, weil gerade in den dicht besiedelten „Speckgürteln“ großer Städte die Pendler-rate sehr hoch ist.

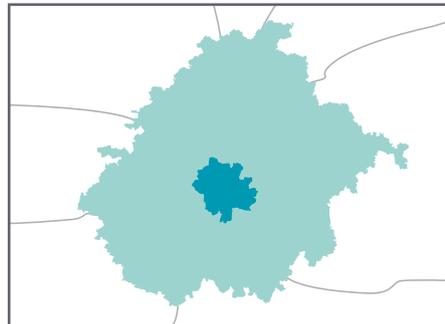
Abb. 15 – Für den Betrieb autonomer Flotten geeignete Flächen



In den Kernbereichen der Ballungsgebiete leben 40 Prozent der Bevölkerung auf 7 Prozent der Fläche Deutschlands.

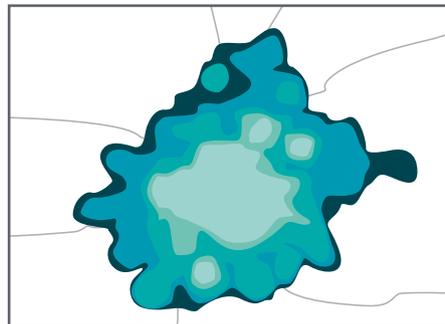
Abb. 16 – Zuteilung autonomer Fahrdienstbereiche am Beispiel von München

Ein gutes Beispiel hierfür ist die Region München. Der Kernbereich („Stadt München“) ist relativ klein, der Agglomerationsbereich (das Einzugsgebiet) jedoch sehr viel größer.



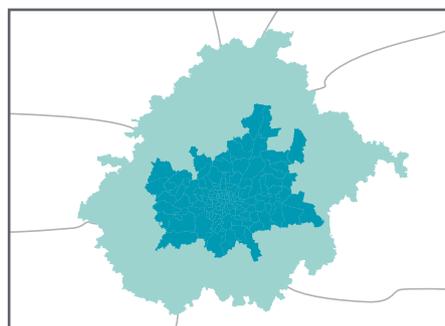
■ Agglomerationsbereich von München
■ Stadtgebiet München

Betrachtet man dagegen die Einwohnerzahlen der gesamten Region, ergibt sich ein deutlich anderes Bild. Auch die Stadtränder und angrenzende Gemeinden (wie Garching, Unterschleißheim und Wolfratshausen) haben eine ähnlich hohe Bevölkerungsdichte und Pendlerquote wie der Stadtkern.



Bevölkerungszahl pro PLZ (in Tausend)
■ 50
■ 30
■ 25
■ 15
■ 0,5

Da sich auch die Bereiche zwischen dem Stadtkern und den dicht besiedelten Randbereichen, der „Transitbereich“, für den Betrieb einer autonomen Fahrzeugflotte eignen, haben wir diese Gebiete zum Versorgungsgebiet hinzugefügt. Im Ergebnis entsteht ein rund fünfmal größeres Gebiet.



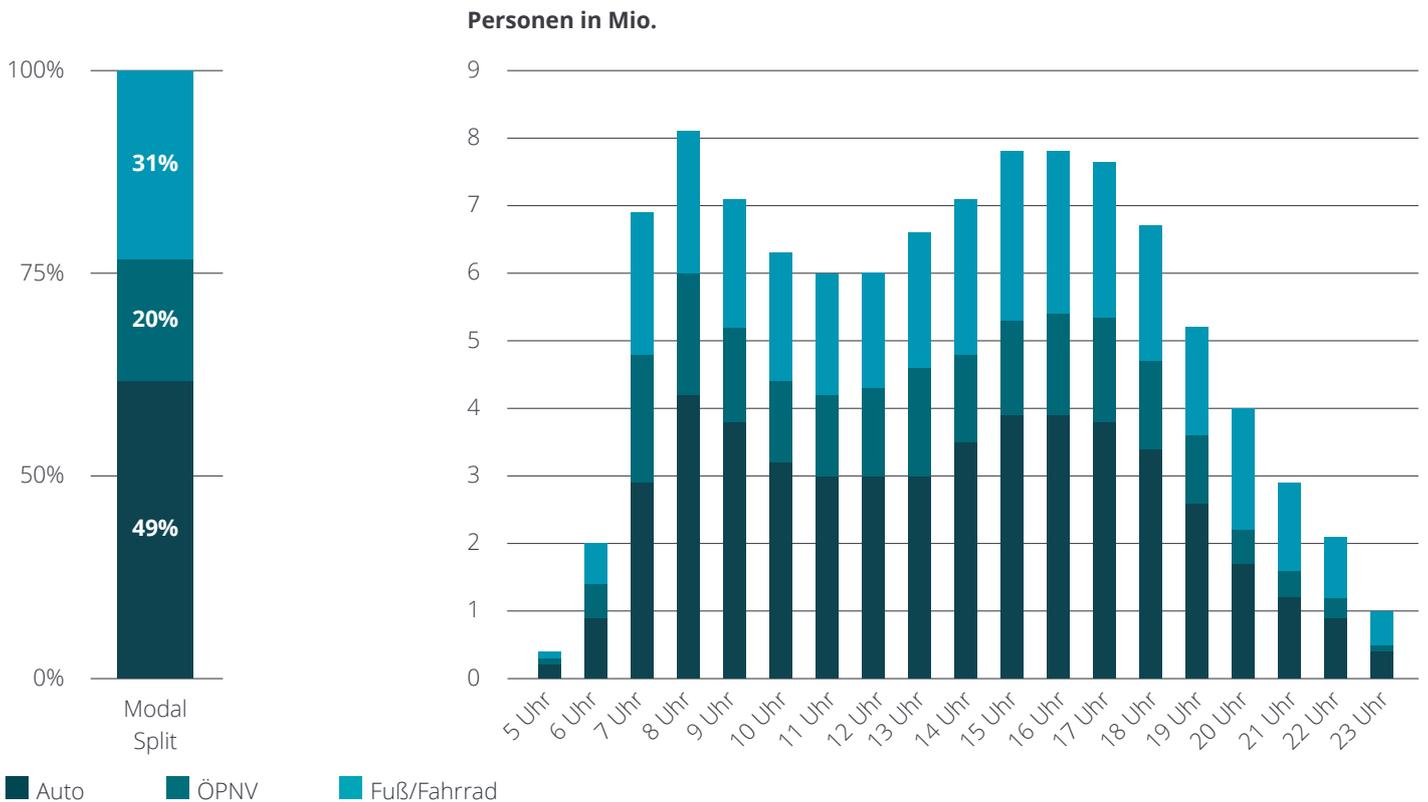
■ Agglomerationsbereich von München (kein Flottenangebot)
■ Erweitertes Stadtgebiet von München (Flottenbetrieb)

Das Mobilitätsverhalten in urbanen Regionen

Für die Berechnung zukünftiger autonomer Fahrzeugflotten im Jahr 2035 ist es wichtig zu wissen, wie und wann sich Personen heutzutage fortbewegen. Wenn ein bestimmter Bestandteil davon in Zukunft auf autonome Fahrzeuge umsteigt, lässt sich bestimmen, wie groß diese Flotten sein müssen, um den Bedarf decken zu können.

Knapp die Hälfte der Mobilität an Werktagen macht in deutschen Städten der Autoverkehr aus (49%). Mit 31 Prozent bilden Fahrradfahrer und Fußgänger die zweitgrößte Gruppe. Der öffentliche Nahverkehr transportiert lediglich ein Fünftel aller Menschen.

Abb. 17 – Aktueller Modal Split und mobile Personen (in Mio.) nach Uhrzeit in urbanen Regionen Deutschlands



Über den Tag verteilt ergeben sich dabei deutliche Lastspitzen. So sind an einem Werktag zwischen 7:00 und 9:00 Uhr besonders viele Menschen unterwegs. Ab 15:00 setzt der typische Feierabendverkehr ein, der erst ab 18:00 Uhr deutlich nachlässt. Zu den Stoßzeiten nutzen sogar mehr als 50 Prozent aller Personen das Auto.

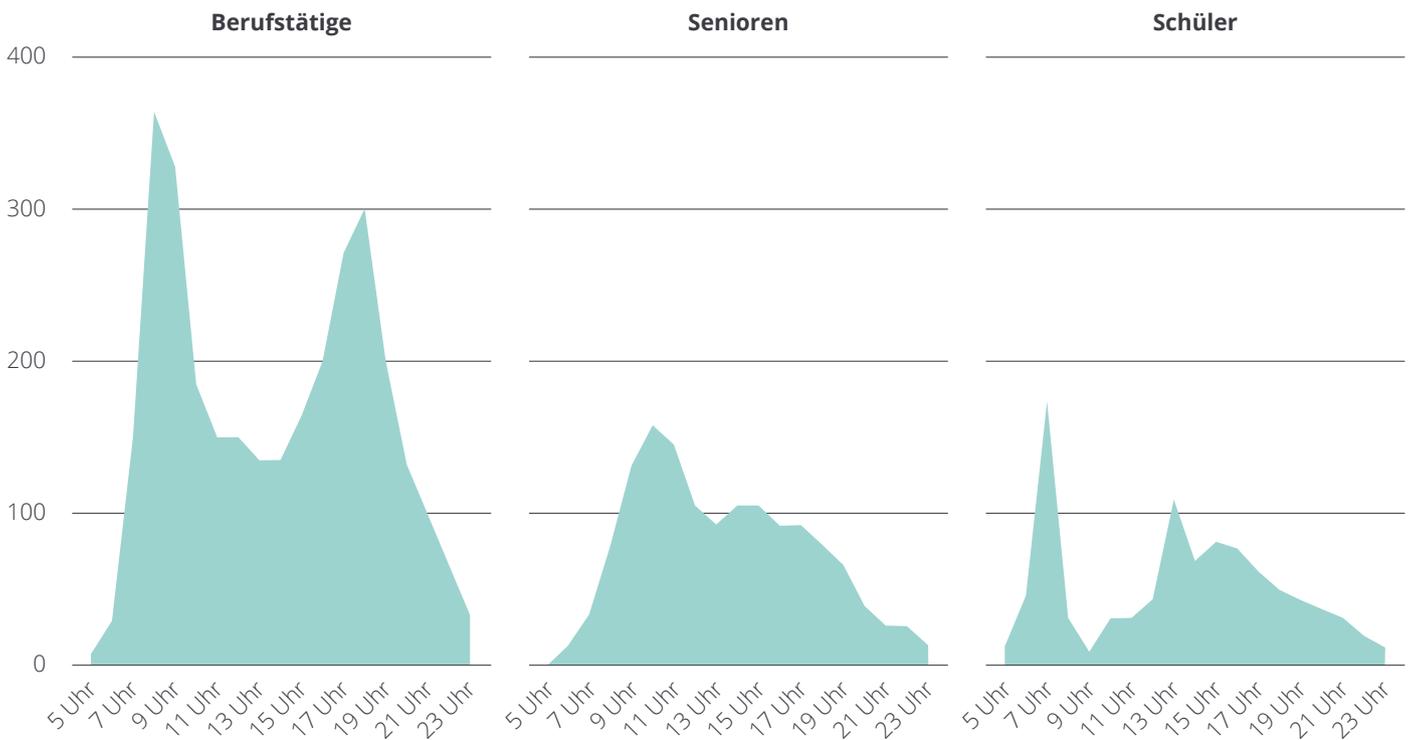
Für die Planung von Flottengrößen ist außerdem wichtig, dass die Bereitschaft, auf ein Fahrzeug zu warten, in den Stoßzeiten eher gering ausfällt. Eine Fahrzeugflotte muss daher für die Spitzenlastzeiten ausgelegt sein, um angenommen zu werden.

Unterschiede zwischen den Generationen

Deutliche Unterschiede in der Mobilität ergeben sich bei verschiedenen Altersgruppen. Berufstätige Personen sind vor allem morgens und abends unterwegs, Schüler haben morgens und mittags die meisten Wege zu machen. Senioren bewegen sich dagegen häufig am Vormittag mit einer deutlichen Spitze zwischen 10:00 und 11:00 Uhr.

Schüler und Senioren sind die Altersgruppen, die bisher vor allem zu Fuß, mit dem Fahrrad und per ÖPNV unterwegs sind. Dies kann und wird sich mit autonomen Fahrzeugen deutlich verändern.

Abb. 18 – Mobile Personen nach Altersgruppe und Uhrzeit am Beispiel von München (in tausend)



Zu Stoßzeiten sind 8 Millionen Menschen in deutschen Städten unterwegs.

Preisberechnung

Die Berechnung der Kilometerpreise für autonome Taxis und Shuttles nimmt an, dass die Preise für Elektroautos deutlich fallen. Für das Fahrzeug selbst haben wir einen Preis von 25.000 Euro angenommen, hinzu kommen 10.000 Euro für die Technik des autonomen Fahrens.

Weitere Daten für die Preise sind:

- Das autonome Taxi verbraucht ca. 18 kWh auf 100 km, das Shuttle 22 kWh.
- Der gewerbliche Strompreis für 1 kWh beträgt 0,21 Euro und entspricht damit den aktuellen Preisen von 2019.
- Wartung, Inspektion und Reinigung werden mit 5 Cent/km veranschlagt.
- Pro Fahrt kommen beim autonomen Taxi 2,3 km für die leere Anfahrt hinzu, beim autonomen Shuttle sind es nur 0,9 km.
- Die Laufleistung eines Fahrzeugs bis zum Ersatz durch ein neues beträgt 300.000 km.
- Für jeden Kilometer schlägt der Betreiber eine branchenübliche Gewinnmarge auf, die den Margen von Premiumherstellern im Leasing-Geschäft entspricht.
- Als Mehrwertsteuer werden 7 Prozent veranschlagt (wie für Taxis üblich).
- Für die Fahrzeuge kosten Versicherung und Steuer jährlich 900 Euro.
- Beim Shuttle gehen wir davon aus, dass durchschnittlich drei, aber maximal vier Personen transportiert werden.

Für die zusätzlichen Distanzen und Fahrzeiten eines Shuttles wurden 120 beliebige Shuttle-Routen mithilfe der GraphHopper Directions API erstellt, die zwei zusätzliche Stopps beinhalten. Die Shuttlerouten führen durch die Mittelpunkte vier aneinandergrenzender PLZ-Gebiete. Durch den Vergleich mit der direkten Verbindung von

Start und Ziel ergeben sich eine um 50 Prozent längere Strecke und eine um 65 Prozent längere Fahrzeit.

Wie bei allen Preisangaben nehmen wir die Kaufkraft von 2019 an. Wir haben also für die Modellberechnung zur einfacheren Vergleichbarkeit keine Inflationskorrekturen für das Jahr 2035 vorgenommen.

Mobilitätsverhalten und Online-Experiment

Um die Wahl des Fortbewegungsmittels zu ermitteln, haben wir ein Online-Experiment mit 2000 Teilnehmern nach dem Stated-Preference-Ansatz durchgeführt. Die Teilnehmer sollten sich dazu in eine Alltagssituation (Arbeit, Freizeit) hineinversetzen, in der sie eine gewisse Wegstrecke zurücklegen mussten. Dafür standen ihnen verschiedene Fortbewegungsmittel mit entsprechenden Konditionen (Preis, Wartezeit, Laufweg) zur Auswahl (inklusive autonomen Fahrzeugen). Die Konditionen und Situationen wurden zwischen den Befragten variiert, um Verhaltensänderungen ermitteln zu können.

Das Ergebnis war ein Modell, das in der Lage ist, die Nachfrage nach autonomen Flottenfahrzeugen mit unterschiedlichen Konditionen zu berechnen.

Datengrundlage waren auch hier die Erkenntnisse aus der Studie „Mobilität in Deutschland 2017“, nach der jede Person im Versorgungsgebiet durchschnittlich drei Wege pro Tag zurücklegt. Ebenso ließ sich die Anzahl der Fahrten für jede Stunde eines Tages bestimmen.

Ableitung und Berechnung aller weiteren Daten

Mit den Daten der Studie und der Umfrage können alle restlichen Daten der Studie abgeleitet werden. Dazu gehören:

- Veränderung der Nutzung der Verkehrsmittel für verschiedene Tageszeiten und Personengruppen
- Durchschnittlich gefahrene Kilometer pro Tag, pro Fahrt und pro Person und damit die höhere Verkehrsbelastung in 2035
- Anzahl der Flottenfahrzeuge, die minimal nötig sind, um auch bei Peak-Zeiten eine maximale Wartezeit von 10 Minuten einhalten zu können
- Lebensdauer der Flottenfahrzeuge bei einer angenommenen Laufleistung von 300.000 Kilometern
- Berechnung der Umsätze pro Tag und Jahr aufgrund der gefahrenen Kilometer pro Tag
- Veränderungen des Fahrzeugbestandes und der durchschnittlichen Fahrzeit

Weitere Grundannahmen der Berechnungen

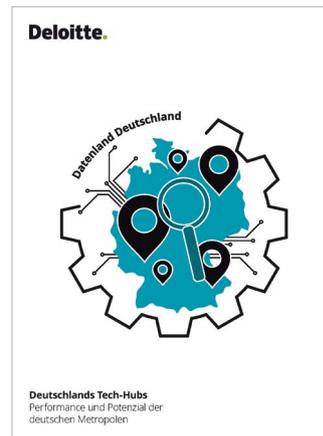
Zu den Grundannahmen bei dieser Vorgehensweise gehört, dass sich der Mobilitätsbedarf von Personen im Jahr 2035 nicht wesentlich von dem im Jahre 2019 unterscheidet. Außerdem haben wir keinen Inflationsfaktor einberechnet: Die Preise für Fahrten 2035 entsprechen der Kaufkraft von 2019 – das macht es einfacher, Vergleiche zu heute zu ziehen.

Ein Online-Experiment mit über 2.000 Teilnehmern in Deutschland zeigt, wie groß die Nachfrage nach autonomen Taxis und Shuttles ist und in welchen Alltagssituationen Bürger diese neuen Mobilitätsarten nutzen würden.

Bislang erschienen in der Studienreihe „Datenland Deutschland“



**Datenland Deutschland –
Der deutsche Technologie-
sektor – Vom Hardware-
zum Service-Standort**
(Mai 2019)



**Datenland Deutschland –
Deutschlands Tech-Hubs –
Performance und Potenzial
der deutschen Metropolen**
(November 2018)



**Datenland Deutschland –
MINT-Talent Monitor –
Erwartungen und
Einstellungen deutscher
MINT-Studenten**
(April 2018)



**Datenland Deutschland –
Renaissance der
Innovation – Der Deloitte
Innovation Survey**
(September 2017)



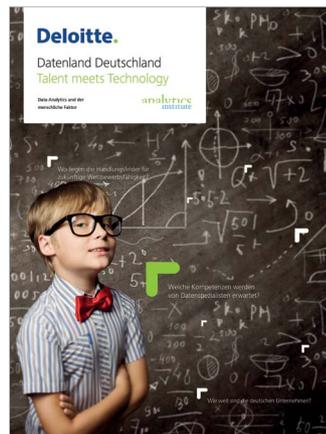
**Datenland Deutschland –
Digitale Wettbewerbs-
fähigkeit – Wo steht der
Standort Deutschland?**
(Januar 2017)



**Datenland Deutschland –
Index Digitale Wett-
bewerbsfähigkeit –
Deutsche Städte im
Vergleich**
(Februar 2016)



**Datenland Deutschland –
Connected Car**
(September 2015)



**Datenland Deutschland –
Talent meets Technology**
(September 2015)



**Datenland Deutschland –
Die Generationenlücke**
(Januar 2015)



**Datenland Deutschland –
Die Transparenzlücke**
(Herbst 2014)



Ansprechpartner



Nicolai Andersen

Partner | Leiter Innovation
Tel: +49 (0)40 32080 4837
nicandersen@deloitte.de



Dr. Alexander Börsch

Direktor | Chefvolkswirt & Leiter Research
Tel: +49 (0)89 29036 8689
aboersch@deloitte.de



Mark Bommer

Associate Manager | Economist & Research
Tel: +49 (0)89 29036 4710
mbommer@deloitte.de



Dr. Thomas Schiller

Partner | Leiter Automotive
Tel: +49 (0)89 29036 7836
tschiller@deloitte.de



Dr. Harald Proff

Partner | Leiter Operations
Tel: +49 (0)211 8772 3184
hproff@deloitte.de



Thomas Pottebaum

Direktor | Strategy & Operations
Tel: +49 (0)151 5800 4516
tpottebaum@deloitte.de



Katrin Rohmann

Partner | Leiter Public Sector
Tel: +49 (0)30 25468 127
krohmann@deloitte.de



Nikolay Kolev

Partner | Deloitte Digital
Tel: +49 (0)89 29036 7896
nkolev@deloitte.de



Andrew Goldstein

Partner | Deloitte Digital
Tel: +49 (0)89 29036 7678
angoldstein@deloitte.de

Deloitte.

Diese Veröffentlichung enthält ausschließlich allgemeine Informationen, die nicht geeignet sind, den besonderen Umständen des Einzelfalls gerecht zu werden, und ist nicht dazu bestimmt, Grundlage für wirtschaftliche oder sonstige Entscheidungen zu sein. Weder die Deloitte GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft noch Deloitte Touche Tohmatsu Limited, noch ihre Mitgliedsunternehmen oder deren verbundene Unternehmen (insgesamt das „Deloitte Netzwerk“) erbringen mittels dieser Veröffentlichung professionelle Beratungs- oder Dienstleistungen. Keines der Mitgliedsunternehmen des Deloitte Netzwerks ist verantwortlich für Verluste jedweder Art, die irgendetwas im Vertrauen auf diese Veröffentlichung erlitten hat.

Deloitte bezieht sich auf Deloitte Touche Tohmatsu Limited („DTTL“), eine „private company limited by guarantee“ (Gesellschaft mit beschränkter Haftung nach britischem Recht), ihr Netzwerk von Mitgliedsunternehmen und ihre verbundenen Unternehmen. DTTL und jedes ihrer Mitgliedsunternehmen sind rechtlich selbstständig und unabhängig. DTTL (auch „Deloitte Global“ genannt) erbringt selbst keine Leistungen gegenüber Mandanten. Eine detailliertere Beschreibung von DTTL und ihren Mitgliedsunternehmen finden Sie auf www.deloitte.com/de/ueberUns.

Deloitte erbringt Dienstleistungen in den Bereichen Wirtschaftsprüfung, Risk Advisory, Steuerberatung, Financial Advisory und Consulting für Unternehmen und Institutionen aus allen Wirtschaftszweigen; Rechtsberatung wird in Deutschland von Deloitte Legal erbracht. Mit einem weltweiten Netzwerk von Mitgliedsgesellschaften in mehr als 150 Ländern verbindet Deloitte herausragende Kompetenz mit erstklassigen Leistungen und unterstützt Kunden bei der Lösung ihrer komplexen unternehmerischen Herausforderungen. Making an impact that matters – für rund 286.000 Mitarbeiter von Deloitte ist dies gemeinsames Leitbild und individueller Anspruch zugleich.