

Mobilität – Quo vadis? Ein Ausblick in die autonome Zukunft

Marcus Dodt

Head of Research bei der Think-Tank-Beratungsgesellschaft #FORTSCHRITT, marcus.dodt@fortschritt.co

Matthias Achim Teichert

Co-Founder und Geschäftsführer der Think-Tank-Beratungsgesellschaft
#FORTSCHRITT, achim.teichert@fortschritt.co

1	Einleitung.....	19
2	Entwicklung der Verkehrsträger in einer autonomen Verkehrslandschaft	19
3	Urbanes Mobilitätsszenario	28
4	Suburbanes Mobilitätsszenario.....	30
5	Rurales Mobilitätsszenario	31
6	Magistrales Mobilitätsszenario	31
7	Fazit	32

Abstract:

Dieser Beitrag betrachtet eine Mobilitätslandschaft, in der sich Mobilität bereits maßgeblich in Richtung autonomer Mobilitätsangebote und -dienstleistungen entwickelt hat. Der Weg in diese neue Welt der Mobilität ist mit einer Vielzahl an Herausforderungen und Unwägbarkeiten verbunden und wird die aktuell bestehenden Marktstrukturen nachhaltig verändern. Im Rahmen einer qualitativen Interviewstudie wurden 75 Experten aus verschiedenen Branchen und Sektoren der Mobilität dazu befragt, wie sich die Mobilität in einem autonom geprägten Szenario darstellen und wie sich die einzelnen Verkehrsträger entwickeln könnten. Eine Inhaltsanalyse brachte sechs Kernbereiche hervor: (a) Bedürfnisse; (b) Entwicklung; (c) Vorteile/Nutzen; (d) Anforderungen; (e) Umsetzung/Herausforderungen; (f) Regulatorik. Im Zentrum der Betrachtung standen die Verkehrsträger PKW, Zug/Bahn, Flugzeug/Drohne sowie Rad/Roller, die vor dem Hintergrund verschiedener Siedlungsgeographien (urban, suburban, rural und magistral) differenziert betrachtet wurden. Insgesamt sprechen die Experten der autonomen Mobilität ein hohes Game-Changer-Potenzial zu, das die Art und Weise der Fortbewegung grundlegend verändern wird. Gleichzeitig kann bilanziert werden, dass der genaue Ablauf des Systemwechsels noch völlig unklar ist und autonome Mobilität – auch im Hinblick auf die ökologische Dimension – nicht der alleinige Heilsbringer sein wird.

JEL Classification: O18

Keywords: autonome Mobilität, Dual Use, Mobilitätswende, Zukunftsszenario.

1 Einleitung

Wir haben uns in diesem Beitrag mit der Frage beschäftigt, wie sich die Mobilität der Zukunft in einer größtenteils durch autonome Verkehrsträger dominierte Verkehrslandschaft darstellen wird. Die zentrale Frage lautete: Wie werden sich die Verkehrsträger in den nächsten Jahren entwickeln und wie wird die Mobilität in einem autonomen Mobilitätsszenario aussehen? Hierzu haben wir 75 Experten aus unterschiedlichen Branchen und Sektoren interviewt, die alle über einen direkten wirtschaftlichen Bezug zur Mobilität verfügten. Die Rekrutierung der Teilnehmer erfolgte über persönliche Kontakte oder über die jeweils ausgewiesenen Ansprechpartner bzw. Pressestellen der Unternehmen. Ihre Position im Unternehmen gaben die Teilnehmer mit Bereichsleiter/Vorstand (35%), Team-/Abteilungsleiter (36%) und Experte (z. B. Wissenschaftler; 29%) an. Sie deckten sämtliche Bereiche der Wertschöpfung sowie Verkehrsträger ab und bildeten somit eine Stichprobe mit ausgewiesener Expertise.

2 Entwicklung der Verkehrsträger in einer autonomen Verkehrslandschaft

Mit der eingangs aufgestellten Leitfrage sollten die Experten aus ihrer Sicht das „Big Picture“ der Mobilität der Zukunft sowie den Weg dorthin beschreiben. Aufgrund des sehr hohen Informationsgehalts der Antworten erfolgte die Auswertung in zwei Teilen. Zunächst wurden allgemeine und übergeordnete Aussagen gefiltert und induktiv zu Kategorien zusammengefasst. Anschließend wurden konkrete Aussagen zu einzelnen Verkehrsträgern nach Siedlungsgeographien differenziert und aufbereitet.

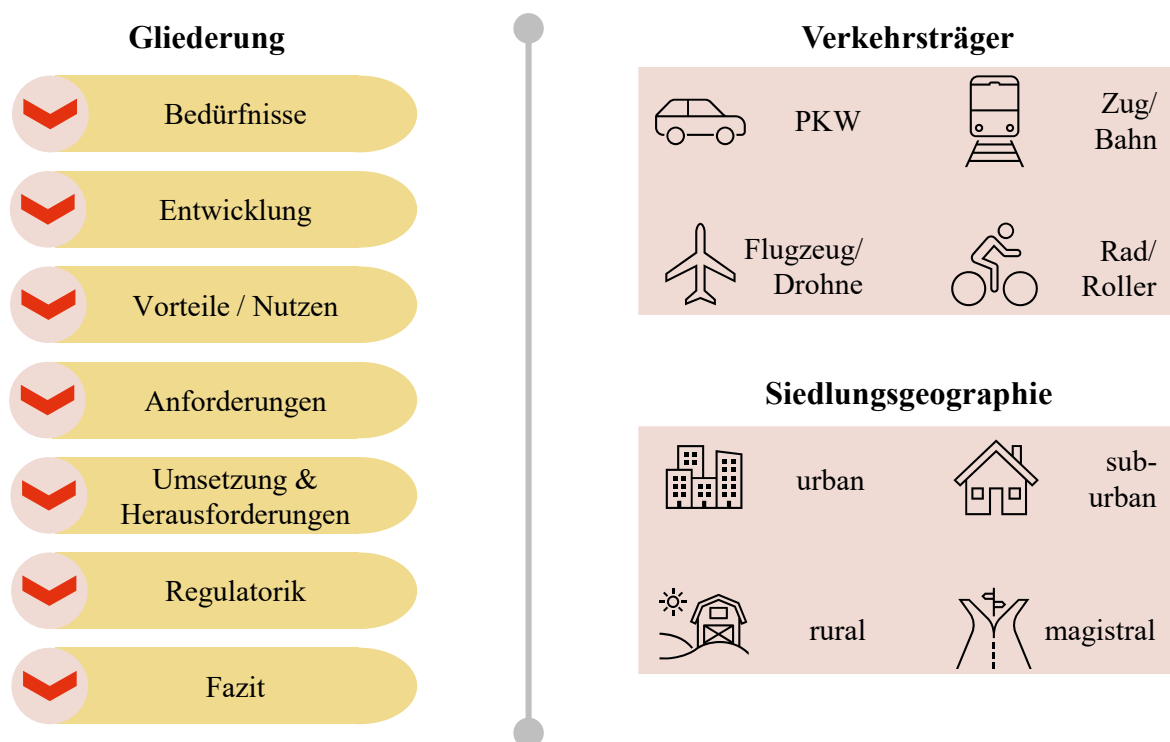


Abbildung 1: Struktur des Beitrags

2.1 Bedürfnisse

Wie komme ich von A nach B? Diese zentrale Frage muss effizient, einfach, komfortabel, ökologisch, sicher und spontan zu beantworten sein. Individuelle Mobilität ist ein Grundbedürfnis jedes Einzelnen, das dadurch bestimmt sein wird, Entscheidungen selbstständig zu treffen und mitzugestalten. Mehr individuelle Mobilität wird einhergehen mit personalisierter, individualisierter und auf die Bedürfnisse und Präferenzen der Nutzer abgestimmten Angebotspalette. Dabei liegt der Fokus schon heute nicht mehr ausschließlich auf der reinen Bereitstellung von Mobilität, sondern bereits vermehrt auf der Zweitverwendung der Transitzeit (Dual Use). Je nach Anlass der Fahrt (z. B. Einkauf, Reise, Ausflug, etc.) ergeben sich weitere Bedürfnisse und Ansprüche an die parallelen Nutzungsmöglichkeiten, die von den Anbietern bedient werden müssen. Mit Blick auf den Generationenwechsel ist bei der jüngeren Zielgruppe eine erhöhte Affinität und Empfänglichkeit für derartige Angebote zu erwarten, die jedoch gleichzeitig hohe Ansprüche an die gesamtökologische Verträglichkeit stellen. Weiterhin sollen zukünftige Mobilitätskonzepte die Einbindung aller Altersklassen ermöglichen, weshalb auch die Bedürfnisse, Sorgen und Ängste der älteren Generationen berücksichtigt werden müssen.

2.2 Entwicklung

Die Dynamik in der Entwicklung des Mobilitätssektors hat in den letzten 30 Jahren kontinuierlich an Fahrt aufgenommen, jedoch bis dato noch nicht zu gravierenden, marktverändernden Neuerungen geführt. Aus Sicht der Experten wird die E-Mobilität diese Entwicklung zwar weiter beschleunigen, aber auch nicht den großen Durchbruch beschieren. Dieser wird sich erst dann einstellen, sobald vollautonome Fahrzeuge für den Markt bereitstehen.

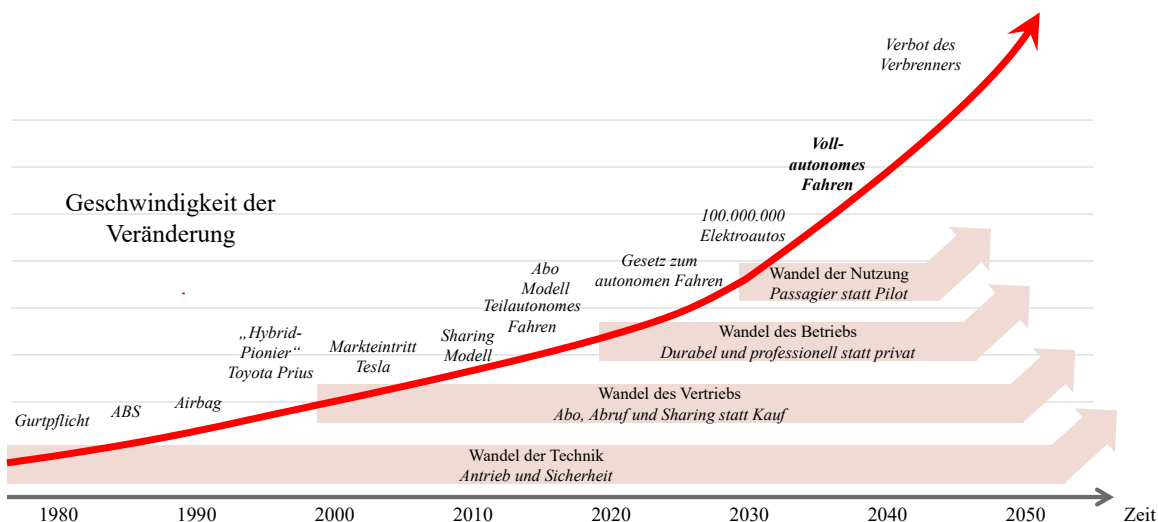


Abbildung 2: Entwicklung der Mobilität

Die Nachfrage nach intermodaler Mobilität wird steigen und vielfältige Angebot hervorbringen, die für den Einzelnen deutlich mehr Nutzungsoptionen für die Transitzeit bieten. Der Bedarf an Mobilität wird weiterhin sehr hoch sein und aufgrund der bequemen und verfügbaren Optionen zu mehr Verkehr als heute führen. Einen zentralen Aspekt der Mobilitätswende stellt in diesem Zusammenhang der Wandel in der Eigentumsstruktur dar, der sich in einer Auflösung der Eigentumsfixierung manifestieren wird. Ob durch privatwirtschaftliche, öffentliche oder genossenschaftliche Betreiber organisiert: Ein industrialisiert umgesetzter Flottenbetrieb mit Robo-Taxis wird den motorisierten Individualverkehr (MIV) sowie in Teilen auch den heute üblichen ÖPNV ablösen. Dieser Kulturwandel vom Individualgut zum Sharing-Gut wird einhergehen mit einer Professionalisierung, wenngleich nicht immer primären Ökonomisierung des Betriebs. Die in der Folge zur Verfügung stehende breite Auswahl an Mobilitätsangeboten wird notwendig sein, um hinsichtlich Abdeckung und Verfügbarkeit den Kippunkt der Akzeptanz zu überschreiten und die Endkunden zum Wechsel zu motivieren. Dabei geht der Trend zu kleineren Einheiten und zu einer höheren Standardisierung der Prozesse. So können Effizienzsteigerungen in der Nutzung der einzelnen Verkehrsträger erreicht werden (höhere Auslastung, weniger stehende Fahrzeuge). Im Idealfall sind die Fahrzeuge 24/7 abzüglich Laden und Wartung im Einsatz. Hinsichtlich der Reisegeschwindigkeit prognostizieren die Experten eine Reduzierung der Höchstgeschwindigkeit, im Gegenzug jedoch eine Erhöhung der Fließgeschwindigkeit, was in der Summe zu einer Verkürzung der Gesamtreisezeit führt. Bei der Bahn werden Strecken- und Netzausbau zu höheren Geschwindigkeiten und somit einer Ausdehnung des Aktionsradius führen.

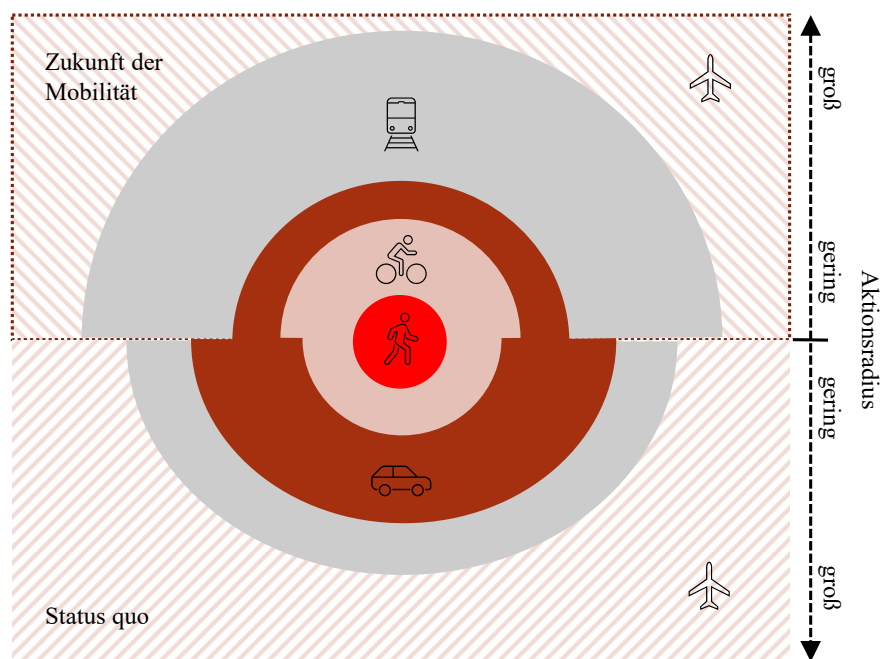


Abbildung 3: Aktionsradius der verschiedenen Verkehrsträger

Es ist jedoch davon auszugehen, dass Teile der Bevölkerung aus Gründen der Selbstbestimmung bewusst auf autonome Mobilitätsangebote verzichten und – solange möglich und zulässig – auf den selbst gesteuerten MIV zurückgreifen werden. Zusätzlich zu den autonomen Konzepten werden private Fahrzeuge daher sowohl im Einzelbesitz oder in Kleingemeinschaften erhalten bleiben. Autonomes Fahren wird und kann nicht der Heilsbringer für alles sein.

Abschließend beurteilten die Experten das Potenzial neuer Verkehrsinfrastrukturkonzepte (z. B. Monorail, Transrapid, Seilbahn, etc.) und kamen mehrheitlich zu dem Schluss, dass es diese Konzepte zu Beginn aufgrund der hohen Initialkosten immer schwer haben werden. In der Praxis werden daher in der Regel bestehende Strukturen (z. B. Straßenbahnnetze) genutzt und ausgebaut, anstatt ggf. auf langfristig sogar bessere bzw. zukunftsreichere Konzepte umzusteigen. So zumindest die Prognose für Deutschland bzw. Europa, wo bereits sehr belastbare Strukturen existieren. In anderen Regionen, wie z. B. Asien besteht hingegen aufgrund des wirtschaftlichen Wachstums und des daraus folgenden gesellschaftlichen Aufschwungs ein höherer Druck und somit eine höhere Offenheit für alternative Formen der Mobilität.

2.3 Vorteile/Nutzen

Die Nutzung bzw. die Bereitstellung von Mobilitätsangeboten wird nach Einschätzung der Experten aufgrund der optimierten Betriebs- und Wartungsprozesse je gefahrenem Kilometer günstiger werden. Zudem können smarte Verkehrssteuersysteme in den Ballungsräumen den Verkehrsfluss koordinieren und regeln, wodurch weniger Stau entsteht und Fahrzeiten verlässlicher werden. Ebenso kann eine smarte Steuerung der Fahrzeuge auf der Basis von Car2Car bzw. Car2x-Kommunikation dazu beitragen, die Sicherheit im Straßenverkehr zu erhöhen und Unfälle zu minimieren („Faktor Mensch“ entfällt). Im Hinblick auf die Energieversorgung kann eine überwiegend autonome Verkehrslandschaft einen Beitrag zur Optimierung eines intelligenten Stromnetzes (smart grid) leisten und beispielsweise durch intelligente Ladezyklen Überkapazitäten abbauen oder Netzschwankungen ausgleichen.

Neben den technisch bedingten Vorteilen bestehen darüber hinaus weitere gesellschaftliche und alltagspraktische Vorteile. So ermöglichen autonome Robo-Taxis eine Mobilität für Personengruppen (z. B. Senioren oder Menschen ohne Führerschein), die sonst nur bedingt oder teilweise gar nicht mehr am Straßenverkehr teilnehmen können. Die selbstfahrenden Zellen bieten zudem eine weitestgehend stressfreie Mobilitätsvariante, da der aktive Beitrag der Insassen zur Fahrzeugsteuerung entfällt (Pilot wird zum Passagier). Die dadurch „gewonnene“ Zeit erzeugt eine Dual Use Komponente, die bisher dem Zug oder dem Flugzeug vorbehalten war. Mobilität im Straßenverkehr wird somit nicht mehr als „zeitfressendes“ Hindernis wahrgenommen, sondern als verfügbare Zeit, die für private oder berufliche Zwecke genutzt wer-

den kann. Auf dem Weg zur Arbeit kann so beispielsweise bereits – über das Telefonat via Freisprecheinrichtung oder Headset hinaus – gearbeitet werden. Hieraus ergeben sich neue Use Cases und Geschäftsmodelle, die ein enormes ökonomisches Potenzial bergen. Im Bereich der Logistik erwarten die Experten neue Konzepte für die „Letzte Meile“, die sowohl aus autonomen Zustellfahrzeugen aber auch aus einer optimierten Nutzung von Shuttlediensten (Effizienzsteigerung bei Auslastung und Leerfahrten) bestehen können.

2.4 Anforderungen

Die Anforderungen an die technischen Fähigkeiten der Zellen bzw. Fahrgefäße werden zunehmen. Dies betrifft nicht nur Assistenzsysteme und Sensorik, sondern auch eine grundsätzliche technische Aufrüstung der gesamten Einheit bzw. des gesamten Systems. Eine Anbindung an das 5G-Netz wird neben der Kommunikation zwischen den Zellen (Car2Car) im Rahmen einer Echtzeitsteuerung ebenso bedeutend sein, wie die Versorgung der internetbasierten Services in den Zellen selbst. Neben einer technischen Grundversorgung wie Lademöglichkeiten und Schnittstellen (z. B. USB, WLAN und Bluetooth) spielen Komfort und ggf. Exklusivität für die Möglichkeit von Dual Use eine wichtige Rolle. Die Anforderungen, die sich aus Anbietersicht hieraus ergeben, werden im Vergleich zu heute massiv ansteigen und zu einem Konzepttransfer aus anderen Branchen führen. Leitfragen werden sein: Wie bzw. womit verbringt der Kunde seine Zeit in der Bahn/im Flugzeug und wie ist dies auf den PKW adaptierbar?

Die Zellen werden stärker auf das Interieur (Gestaltung und Design) sowie eine deutlich längere Betriebszeitdauer (> 1 Millionen km) ausgelegt sein als heutige Fahrzeuge. Innerhalb dieser Lebensdauer wird der Innenraum in bestimmten Intervallen erneuert bzw. ausgetauscht, während der Rest der Zelle aufgrund langlebigerer Bauteile bestehen bleibt. Um weitere Synergien in der Herstellung und Wartung zu nutzen, wird die Bauweise sowie das Interieur deutlich standardisierter und homogener gestaltet sein. Im Hinblick auf die Kosten werden die derzeit im privaten Betrieb oft sehr hohen und ärgerlichen Reparaturkosten weniger relevant und für den Kunden bereits eingepreist sein. Vielmehr nehmen aus Betreibersicht die Opportunitätskosten für einen Betriebsausfall zu (ein stehendes Fahrzeug oder ein Flugzeug am Boden bringt keinen Umsatz).

Einen bedeutenden Faktor stellt zudem das Thema Sicherheit dar, das – wie im vorherigen Kapitel *Vorteil/Nutzen* bereits beschrieben – mitunter den Bereich Unfall- und Risikovermeidung beinhaltet. Bei den Insassen, aber auch den anderen Verkehrsteilnehmern (z. B. Fußgängern und Radfahrern), muss ein Vertrauen in die Technik geschaffen werden, um in der Bevölkerung eine breite Akzeptanz zu erzeugen. Darüber hinaus besteht aus Nutzersicht jedoch auch ein erhöhtes, subjektives Sicherheits-

bedürfnis, was die gemeinsame Nutzung autonomer Zellen mit anderen (unbekannten) Fahrgästen angeht. Das Thema Videoüberwachung wird hier im Hinblick auf den Datenschutz einer rechtlichen Klärung bedürfen. Letztlich ist zum Bereich Sicherheit die IT-Security zu nennen, da aufgrund der Vernetzung und hochtechnisierten Verkehrsinfrastruktur ein gesteigertes Risiko für Cyberangriffe besteht.

2.5 Umsetzung & Herausforderungen

Wenn in den Städten „über Nacht“ alles auf autonom umgestellt werden könnte, dann könnte dies den Experten zufolge industriell organisiert und leicht implementiert werden. Es ist jedoch eher von einem stufenweisen Integrationsprozess auszugehen, in der autonome Fahrzeuge (kleinere Zellen oder auch Busse) im urbanen Bereich ihre eigenen Fahrspuren/Korridore erhalten und gleichzeitig der Individualverkehr durch regulatorische Eingriffe sukzessive abnimmt und schlussendlich abgelöst wird. In dieser Übergangsphase besteht die große Herausforderung in der Co-Existenz zweier unterschiedlicher Systeme. Die Kommunikation zwischen den Fahrzeugen mit „alter“ und „neuer“ Technik und die Einbindung beider Systeme in die bestehende bzw. neu zu schaffende Verkehrsinfrastruktur und Signaltechnik (z. B. Schilder und Ampeln) sind hier nur zwei spannende Problemstellungen.

In suburbanen und ruralen Siedlungen wird der Individualverkehr nach mehrheitlicher Meinung länger bestehen bleiben und mit der Zeit um autonome Mobilitätsangebote ergänzt. In ländlichen Räumen kann den Experten zufolge jedoch davon ausgegangen werden, dass nie alle Verkehrsträger Level 5 des autonomen Fahrens erreichen werden. Am leichtesten wird der autonome Verkehr auf der Autobahn zu realisieren sein, da dort aufgrund der vergleichsweise einfachen Verkehrsführung, einem gleichmäßigen Verkehrsfluss (das Tempolimit wird kommen) und der Abwesenheit anderer Verkehrsteilnehmer (Fußgänger, Radfahrer, etc.) die Komplexität deutlich geringer ist. Schienenfahrzeuge sind in dieser Hinsicht technisch bereits deutlich weiter entwickelt (z. B. fahrerlose Métro in Paris) und werden in Zukunft fahrgesteuerte Züge ablösen.

Weitere Herausforderungen bestehen im Bereich des Flottenaufbaus und -managements im Hinblick auf die technische Umsetzung, die Finanzierung sowie das Know-how, solche Flotten zu betreiben. Sharing-Anbieter oder Vermieter haben hier bereits einen Erfahrungs- und Wissensvorsprung, den sie bei der Überführung in neue Geschäftsmodelle einfließen lassen können. Im Rahmen des Betriebs kommt dem dynamischen Preismanagement (dynamic pricing), wie es beispielsweise bereits in Geschäftszweigen wie der Hotellerie, bei Reiseveranstaltern oder Fluganbietern gängige Praxis ist, eine besondere Bedeutung zu, um Preise an bestimmte Tageszeiten, Wochen- oder Feiertage und Ferienzeiträume anzupassen. In diesem Zusammenhang stellt die Bereitstellung entsprechender Software eine weitere Herausforderung dar.

Abschließend wurden seitens der Experten infrastrukturelle Aspekte bzgl. der Stadtplanung, und hier insbesondere der Straßenraumgestaltung (Fahrbahn, Gehwege, Parkflächen, Ladezonen, etc.) genannt. Die meisten Beispiele bezogen sich auf den abnehmenden Bedarf an Parkplätzen und die im Gegenzug steigende Relevanz von lokaler Kraftstromversorgung. Diese und weitere Punkte werden die Städte verändern und bereits jetzt in Fachkreisen hinsichtlich der Finanzierung diskutiert.

2.6 Regulatorik

Seitens der Hersteller sehen die Experten große Herausforderungen bei der Entwicklung und Etablierung von Industriestandards. Diese werden – ggf. mit staatlichen und kundenseitigen Anforderungen – im Rahmen der Selbstregulierung erarbeitet und festgelegt. Neben diesen technischen Fragestellungen wird zudem eine umfangreiche Regulatorik (Nachjustierung) im Bereich des Straßenverkehrs notwendig sein. Einen einheitlichen Rechtsrahmen für das Straßenverkehrs- und Zulassungsrecht schafft das Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr (WÜ)¹. Während automatisiertes Fahren bereits von dieser Regelung erfasst wird, ist eine Grundlage für vollautomatisierte und autonome Fahrsysteme im WÜ jedoch noch nicht enthalten. Aus diesem Grund fehlen auch für die nationalen Verkehrsregeln und Zulassungsvorschriften die Möglichkeit, solche Fahrsysteme in die Gesetzgebung aufzunehmen. Aufgrund des hohen Abstimmungs- und Verwaltungsaufwands wird den Experten zufolge bis zum allgemein verfügbaren Level-5-Angebot noch mindestens zehn Jahre technologischer und regulatorischer Fortschritt erforderlich sein. China und die USA hingegen gehören derzeit nicht zu den Teilnehmerstaaten des WÜ und können daher eigenständig (und somit schneller) über die Zulassung autonomer Lenkanlagen² entscheiden.

Weitere regulatorische Eingriffe sind im Bereich der Dienstleistungskonzessionen zu erwarten. Die Experten sehen einerseits ökonomische Sicherheiten und Planbarkeit für die Anbieter sowie andererseits deren vertragliche Verpflichtungen. Aufgrund des hohen Investments in den Flottenbetrieb und die Infrastruktur werden dem Betreiber temporär und geographisch monopolistische oder oligopolistische Strukturen zugesichert, die einen rentablen Betrieb ermöglichen (vgl. Linienausschreibung bei der

¹ Das Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr (WÜ) vom 8. November 1968 ist ein völkerrechtlicher Vertrag, der seine aktuell 84 Vertragsparteien verpflichtet, einheitliche Zulassungs- und Verkehrsregeln zu erlassen, und der damit Rahmenbedingungen für die Gestaltung des nationalen Verkehrsrechts schafft. Ziel ist es, den internationalen Straßenverkehr zu harmonisieren und die Sicherheit auf den Straßen durch die Annahme einheitlicher Verkehrsregeln zu erhöhen.

² „autonome Lenkanlage“: eine Anlage mit einer Funktion in einem komplexen elektronischen Steuersystem, die bewirkt, dass das Fahrzeug einer festgelegten Fahrspur folgt oder seine Fahrspur aufgrund von Signalen ändert, die außerhalb des Fahrzeugs ausgelöst und von dort übertragen werden. Der Fahrzeugführer hat dabei nicht unbedingt die Hauptverantwortung für das Führen des Fahrzeugs.

Bahn). Im Gegenzug verpflichtet sich der Anbieter, auch weniger lukrative Strecken/Linien zu bedienen. Auf diese Weise wird ein „Wildwuchs“ an Dienstleistern verhindert und gleichzeitig die Versorgung der Bevölkerung gewährleistet.

Bei den einzelnen Verkehrsträgern bestehen laut Experten diverse regulatorische Optionen. Im Bereich der Luftfahrt könnte eine CO₂-Steuer die Attraktivität der Kurzstrecke senken und somit die Verlagerung zur Bahn beschleunigen. Diese wiederum profitiert seit dem 1. Januar 2020 vom ermäßigten Umsatzsteuersatz von 7% und wird vom Bund durch umfangreiche Infrastrukturprojekte gefördert. Im urbanen Räumen scheint die City-Maut, wie sie in vielen europäischen Großstädten schon lange üblich ist, ein probates Mittel zur Steigerung der Lebensqualität (Verbesserung der Luftqualität) und Verbesserung des Verkehrsflusses zu sein, mit dem auch in Deutschland zu rechnen sein wird. In diesem Zusammenhang wird einerseits die Erhöhung der Parkplatzgebühren, andererseits aber auch eine Ausweitung von Park & Ride Angeboten erwartet.

2.7 Zwischenfazit

Die Experten beschreiben das autonome Verkehrsszenario durchweg als Game Changer in der Mobilität. Allerdings ist der Weg dorthin mit einigen Unsicherheiten behaftet, die neben der konkreten technischen Beschaffenheit (z. B. Industriestandards) auch die Umsetzungsdauer betreffen. Es wird von 20 bis 40 Jahren ausgegangen, die es benötigt, um eine flächendeckende Versorgung bis zur letzten Meile sicherzustellen. Aufgrund des immensen Aufwands, den dieser Systemwechsel mit sich bringt, reicht die Prognose der Experten bzgl. dessen Umsetzung von zurückhaltend über vorsichtig optimistisch bis grundlegend überzeugt. Wie im Kapitel *Entwicklung* beschrieben, wird sich die Transformation der Mobilität zunächst moderat vollziehen und im zunehmenden Verlauf immer mehr Dynamik aufnehmen.

Ein großer Konsens besteht darin, dass die Mobilität der Zukunft differenzierter, diverser, effizienter und individueller an die Bedürfnisse der Kunden ausgerichtet sein wird. Weiterhin wird sich das Mobilitätsverhalten hinsichtlich positiver Nachhaltigkeit verändern. Die ökologische Dimension der Nachhaltigkeit kann jedoch erst dann beurteilt werden, wenn die Technologie eingeführt ist. Deshalb ist eine Prognose diesbezüglich zum jetzigen Zeitpunkt nur schwer zu treffen.

Bedürfnisse	Mobilität muss effizient, einfach, individuell, komfortabel, sicher und spontan sein.	Mobilität muss eine Zweitverwendung der Transitzeit ermöglichen (Dual Use).	Mobilität muss den Anspruch an eine gesamtökologische Verträglichkeit erfüllen.
Entwicklung	Wandel in der Eigentumsstruktur führt zu einer Vermischung von MIV und ÖPNV.	Im neuen Mix der Verkehrsträger wird es zu einer Verschiebung der Aktionsradien kommen.	Es wird eher auf bestehende Infrastruktur und Verkehrskonzepte gesetzt, als gänzlich neue Lösungen einzuführen.
Vorteil/Nutzen	Optimierung des Betriebs führt zu geringeren Kosten je gefahrenem km.	Höhere Sicherheit und alternative Nutzung der Transitzeit (Dual Use).	Potenzial für neue Logistikkonzepte, insb. auf der „letzten Meile“.
Anforderungen	Höhere Anforderungen an technische und sensorische Ausstattung (Konnektivität).	Langlebigkeit und Austauschbarkeit einzelner Bauteile und Interieurelemente.	Sicherheit im Bereich der Unfall- und Risiko-vermeidung sowie der IT-Security.
Umsetzung & Herausforderungen	Stark abhängig von jeweiliger Siedlungs-geographie; Co-Existenz unterschiedlicher Systeme.	Flottenaufbau und -management hinsichtlich Finanzierung, Know-how, Software, Technik.	Infrastruktur, Stadtplanung, Straßenraumgestaltung und Energieversorgung.
Regulatorik	Entwicklung und Etablierung von Industriestandards.	Einheitlicher (europ.) Rechtsrahmen für das Straßenverkehrs- und Zulassungsrecht.	Konzessionen und Steuern als Motivation für Wirtschaft und Gesellschaft.
Fazit	Autonomes Fahren hat das Potenzial zum Game Changer, kann aber nicht das alleinige Heilmittel sein.	Die Dauer und der genaue Ablauf des Systemwechsels sind noch unklar.	Es werden sich nur ökologisch nachhaltige Lösungen durchsetzen.

Tabelle 1: Autonomes Mobilitätsszenario im urbanen Bereich

Die Aussagen der Experten, die konkreten Bezug zu einzelnen Verkehrsträgern und Siedlungsgeographien nahmen, wurden separat ausgewertet. Im folgenden Abschnitt sind die Rückmeldungen zu den Verkehrsträgern im urbanen, suburbanen und ruralen Raum sowie und auf den Hauptverkehrslinien (magistral) dargelegt.

3 Urbanes Mobilitätsszenario

Der urbane Raum wird den Experten zufolge die erste Siedlungsgeographie sein, in der autonome Mobilitätsdienstleistungen getestet und ausgerollt werden. Durch neue Konzepte und Innovationen, insbesondere beim Megatrend *Sharing* und *Pooling*, wird sich die Art und Weise der Fortbewegung und somit das Stadtbild spürbar verändern. Die bestehenden Konzepte aus MIV, ÖPNV, Mikromobilität und in Teilen sogar der Logistik werden zusehends verschwimmen und sich für den Endkunden im Gegenzug wie individuelle Lösungen anfühlen. Dabei verlagert sich der Nutzen der Kunden verstärkt zum Dual Use der Fahrzeit.

Der PKW-fixierte MIV wird in den Städten aufgrund der Flächenknappheit und umweltpolitischen Überlegungen zunehmend unter Druck geraten, aber vorerst das führende Verkehrsmittel bleiben. Noch ist offen, inwieweit und vor allem wie schnell autonom fahrende Shuttle und intermodale ÖPNV-Angebote den privaten PKW zurückdrängen werden. Mit der Zeit wird jedoch der politische, gesellschaftliche und ökologische Druck zu regulatorischen Eingriffen führen. Kommerzielle Shuttle-Anbieter werden diese Chance nutzen und mit ihren Konzepten zielgerichtet in den Wettbewerb einsteigen.

Der ÖPNV wird ebenfalls eine bedeutende Rolle einnehmen und nach dem vorübergehenden Akzeptanzverlust durch Corona wieder an Bedeutung gewinnen. Es bleibt jedoch noch ungewiss, ob die öffentlichen Verkehrsbetriebe selbst als Betreiber auftreten oder ihre staatliche Aufgabe der Daseinsvorsorge unter strengen Auflagen an private Anbieter vergeben. In beiden Fällen ist mit einer Verbesserung der aktuell bestehenden Kernprobleme, der Grundflexibilität sowie der Verfügbarkeit zu rechnen. Die Fahrpläne und Liniennetze werden sich zu flexiblen On Demand-Lösungen verändern und dadurch zunehmend als individuelle Lösung wahrgenommen.

Abgesehen von staatlichen Garantien und Sicherheiten bzgl. der Grundversorgung steht der ÖPNV allerdings vor großen Herausforderungen. Einerseits besteht kostenseitig ein Handlungsdruck zur Umstellung auf autonome Einheiten (Reduktion der Personalkosten), andererseits verfügen die (öffentlichen) Verkehrsbetriebe über vergleichsweise weniger finanzielle Mittel und Know-how bei den Themen Software und Daten als die OEM bzw. Vermieter. Dagegen können sie mit großen Betriebshöfen, Wartungskapazitäten und Know-how im industriellen Betriebspunkten. Gelingen sowohl die Finanzierung als auch der Wissenstransfer, kann der ÖPNV den skizzierten Wandel vollziehen und in Zukunft attraktive und konkurrenzfähige bzw. verbesserte Mobilitätsdienstleistungen anbieten.

	PKW	Zug/Bahn (ÖPNV)	Flug- zeug/Drohne	Rad/Roller
Wandel	<ul style="list-style-type: none"> •weniger MIV/Besitz •Eigentum wird uninteressant •mehr Verkehr bei weniger Fahrzeugen 	<ul style="list-style-type: none"> •Busse und Bahnen fahren weitgehend autonom •wenig Veränderung, da bereits Passagier 	<ul style="list-style-type: none"> •Drohnen in 50 Jahren vorstellbar •Innerdeutscher Flugverkehr verlagert sich auf die Schiene 	<ul style="list-style-type: none"> •Fahrradmobilität wird sich weiterentwickeln
Betrieb/Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> •mehr Gemeinschaftsoptionen (Sharing) •kleinere Zellen mit höherer Auslastung •weniger Standzeit = weniger Parkplätze •abgestimmt/inter-modular wird üblich 	<ul style="list-style-type: none"> •kleinere Einheiten, höhere Taktdichte = bessere Verlässlichkeit •mehr Haltestellen bzw. Haltezonen (on demand) 	<ul style="list-style-type: none"> •kleine Einheiten für 1-2 Personen •nicht massenkompatibel •kein tragendes Konzept 	<ul style="list-style-type: none"> •überdachte E-Bikes für längere Pendelstrecken
Infrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> •smarte Mobilität, vernetzte Plattform •koordinierter Verkehr, weniger Staus/Unfälle 	<ul style="list-style-type: none"> •„intelligentes“, bedarfsorientiertes Liniennetz 	<ul style="list-style-type: none"> •kostspieliger Infrastrukturaufbau 	<ul style="list-style-type: none"> •Verkehrs- und Versorgungsinfrastruktur muss bereitgestellt werden
Limitationen	<ul style="list-style-type: none"> •Regulatorik wird MIV verdrängen •Verkehr wird ruhiger, langsamer •Komplexität des Systems wird erhöht 	<ul style="list-style-type: none"> •Finanzierung und Regulatorik bremsen Umstellung aus 	<ul style="list-style-type: none"> •zu viele technische und regulatorische Limitationen 	<ul style="list-style-type: none"> •ggf. Überarbeitung des Straßenverkehrsgesetzes

Tabelle 2: Autonomes Mobilitätsszenario im urbanen Bereich

Das Passagieraufkommen aus dem innerdeutschen Luftverkehr wird sich nach mehrheitlicher Meinung der Experten aufgrund des ausgebauten Fernverkehrs der Bahn (Deutschlandtakt) zusehends auf die Schiene verlagern. Der Einsatz von Passagierdrohnen als Flugtaxi wird dagegen kontrovers prognostiziert. Während einige Experten die innerstädtische Nutzung für z. B. Transitflüge aus der Stadt zum Flughafen für realistisch einschätzen, sehen andere Experten die Mobilität mit Flugtaxis vor dem Hintergrund der noch ungeklärten Fragen zu Kosten, Infrastruktur, Regulatorik und Sicherheit eher skeptisch. In jedem Fall würden sich Angebote von Flugtaxis im Premiumsegment bewegen. Abgesehen von der Personenbeförderung sind jedoch Einsatzfelder in der Notfallrettung denkbar.

Im Bereich der Mikromobilität werden sich vermehrt Angebote etablieren, die stärker in intermodale Lösungen eingebunden werden. Ob E-Bike, Roller oder Pedelec, die Reichweiten dieser Verkehrsträger werden steigen und im Zuge der zunehmenden Professionalisierung spezifische/gezielte Anforderungen an den Städtebau und die Infrastruktur stellen. Im Hinblick auf die Last-Mile-Logistik werden Lastenräder bzw. Cargobikes eine gewichtige Rolle bei neuen, innovativen Zustellkonzepten einnehmen. Erste Modellversuche und Forschungsprojekte befinden sich hierzu bereits in der Testphase.

4 Suburbanes Mobilitätsszenario

Im suburbanen Raum werden laut Expertenmeinung zeitversetzt und über einen längeren Zeitraum hinweg ähnliche Entwicklungen stattfinden, wie in urbanen Umgebungen. Die autonomen Mobilitätsangebote der öffentlichen oder privaten Anbieter werden sukzessive auf die Vorstädte ausgerollt, wodurch auch dort intermodale, vernetzte Konzepte zu einer verbesserten Versorgung führen. Je nach regulatorischer Ausgestaltung bedienen entweder der ÖPNV oder durch ihn bestellte Privatunternehmen die Ein- und Ausfallstraßen und sorgen durch lokale Mikromobilität für eine entsprechende Anbindung und Auslastung. Pedelecs werden zukünftig an Bedeutung gewinnen und im Zuge des Ausbaus von Radschnellwegen zu einer Option für größere Distanzen. Vereinzelt wurden auch Flugtaxis als Transitoption zwischen suburbanen Sammelpunkten und dem Stadtzentrum genannt.

Aus Sicht der Experten besteht je nach örtlichen Gegebenheiten die Notwendigkeit, die Mobilitätsangebote an die Bedürfnisse anzupassen, ggf. sogar durch Reaktivierung stillgelegter Bahnverbindungen. Im Gegensatz zur Stadt besteht nämlich in der Vorstadt nicht unbedingt der zwingende Druck zum Umstieg auf alternative Mobilitätslösungen, da private Fahrzeuge mehrheitlich vorhanden sind. Nur eine Steigerung der Attraktivität im Hinblick auf Flexibilität, Verfügbarkeit, Geschwindigkeit und Kostenvorteile gegenüber einem privaten PKW kann für eine höhere Nachfrage und Akzeptanz sorgen.

5 Rurales Mobilitätsszenario

Im ruralen Raum wird der Wandel zu autonomer Mobilität, obwohl er aufgrund des geringen Verkehrsaufkommens leicht umsetzbar wäre, noch langsamer vonstattengehen, da dort kein „Big Business“ zu erwarten ist. Neben einer unwirtschaftlichen Bevölkerungsdichte und folglich einer geringeren Auslastung wird auch der bis dato schleppende und kostenintensive Infrastrukturausbau (Mobilfunk, Leitsysteme, etc.) das Engagement privater Anbieter auf dem Land bremsen. Vor ähnlichen Barrieren wird auch der ÖPNV stehen. Es ist daher davon auszugehen, dass die rurale Siedlungsgeographie deutlich länger vom Privatverkehr geprägt sein wird und sich dann, je nach lokalen Gegebenheiten und Nachfrage, voraussichtlich auch nur Mischmodelle etablieren werden. Diese sehen dann eine noch höhere Clusterung auf Mobilitäts-Hubs vor, die an suburbane und urbane Räume angeschlossen sind. Aufgrund der Unwirtschaftlichkeit dieser Mobilitätsangebote liegt die Versorgung entweder in der öffentlichen Hand oder muss durch Konzessionen bzw. Subventionen gefördert werden.

6 Magistrales Mobilitätsszenario

Im Bereich der magistralen Mobilität ermöglichen autonome Robo-Taxis aufgrund gesteigerter Dual-Use Optionen eine attraktive Transitlösung für Strecken bis zu 100 km. Während der Fahrzeit sind die Zellen für vielfältige Tätigkeiten ausgelegt und ermöglichen dem Passagier eine alternative Verwendung der Fahrzeit. Auf längeren Strecken hingegen kann die Bahn mit Schnellzügen ihren Geschwindigkeitsvorteil ausspielen. Neben einer verbesserten Konnektivität und Taktung (Deutschlandtakt) werden insbesondere erweiterte Serviceleistungen und technische Ausstattung (z. B. Displays mit Mirrorlink) von Bedeutung sein. Die Experten sehen daher auf der Langstrecke hinsichtlich Preis, Leistung und Ökologie mehrheitlich die Bahn als Verkehrsmittel erster Wahl. Um den zukünftigen Anforderungen für Dual Use auf längeren Strecken jedoch gerecht zu werden, bedarf es einer grundlegenden Überarbeitung des Raumkonzepts hinsichtlich individuell nutzbarer Plätze und mehr Privatsphäre. Zudem wird auch in die Sicherheit und Sauberkeit der Bahnhöfe investiert werden müssen. Im Flugverkehr wird indes eher ein Relevanzverlust erwartet. Bei Inlandsflügen und Flügen innerhalb der EU mit weniger als 600 km Distanz wird sich dies in einer Verschiebung zugunsten der Bahn ausdrücken. Bisher lukrative Business-Strecken werden wegbrechen, da durch Corona die virtuelle Kommunikation in den Unternehmen Einzug gehalten hat und Geschäftsreisen dadurch zukünftig weitestgehend obsolet werden. Flugreisen werden noch mehr dem Premiumsegment zugeordnet und aufgrund der geringeren Kurzstreckennachfrage durch kleinere Flugzeuge bedient. Dies wird zu Schließungen von Regionalflughäfen und einer weiteren Konsolidierung der Fluglinien führen. Einige Experten sagen sogar ein gänzlich Verbot der Inlandsflüge voraus.

7 Fazit

Der Weg zum „autonomen-Fahren-Szenario“ lässt sich, unabhängig von zeitlichen Meilensteinen und zurückhaltenden Meinungsbildern, wie folgt zusammenfassen: Sobald die technischen, rechtlichen und infrastrukturellen Anforderungen erfüllt sind und die empfundene Annehmlichkeit, Bequemlichkeit und Zweckmäßigkeit der autonomen Mobilitätsangebote eine ökonomisch vertretbare Alternative für den Nutzer darstellt und das eigene Auto mehr als „Ballast“ wahrgenommen wird, kann der Kippunkt in der Mobilitätswende erreicht werden. Der Use Case wird sich in der Folge voraussichtlich stufenweise im Wechselspiel zwischen technischen Zwischenlösungen (der Hersteller) und Gewöhnungseffekten (der Nutzer) entwickeln.

Ein weiterer Entwicklungstreiber wird dabei im ökologisch-nachhaltigen Wandel des gesellschaftlichen Mindsets liegen. Es werden sich nur diejenigen Verkehrsträger durchsetzen, die den Wettlauf um die ökologischsten Gesamtkonzepte gewinnen. Allerdings spielt bei all diesen Überlegungen die Siedlungsgeographie eine wesentliche Rolle: Im urbanen Raum wird sich die Mobilität grundlegend verändern und neben technischen Innovationen auch neue Bereitstellungskonzepte mit sich bringen. Im suburbanen Raum werden sich im Spannungsfeld zwischen ruralen Herausforderungen und urbanen Lösungen stark intermodular geprägte Mobilitätskonzepte etablieren und somit die Attraktivität und Lebensqualität positiv beeinflussen. Im ruralen Raum sind nur sehr verhaltene und verzögerte Entwicklungen zu erwarten, während im magistralen Bereich umfangreiche Anstrengungen unternommen werden, die Bahn auf nationalen Langstrecken und europäischen Verbindungen im Vergleich zum Flugzeug konkurrenzfähig zu machen.