



Ernst-Peter Jeremias (MLS)

Löst die Elektromobilität unser Klimaproblem im Sektor Verkehr?

Vortrag in der Klasse für Naturwissenschaften und Technikwissenschaften am 14. November 2019

Veröffentlicht: 4. Juni 2020

0. Zusammenfassung

Deutschland, Europa und die gesamte Welt stehen vor einem enormen Wandel in der Energie- und Verkehrspolitik. Klimaschutz, Klimafolgenanpassung und Schutz der Ressourcen sind im Fokus des öffentlichen Interesses. Aber es wurde national und international bereits viel Zeit verschenkt. Notwendige Maßnahmen dürfen jetzt jedoch nicht zu Aktionismus führen. Die Herausforderungen werden erhebliche finanzielle Mittel binden und erfordern vor allem die Akzeptanz der Menschen. Die Energiewende gibt es nicht zum Nulltarif.

Der Realismus gebietet es anzuerkennen, dass diese Entwicklung Zeit benötigen wird. Deshalb ist JETZT ein koordiniertes und zielgerichtetes Handeln erforderlich. Mit diesem Beitrag sollen dazu einige Überlegungen und Thesen beitragen werden, wie sich insbesondere unsere Mobilität und der daraus resultierende Verkehr verändern können und müssen.

In diesem Vortrag werden also einige Gedanken bezüglich unserer Mobilität der Zukunft und zum Beitrag, den die Elektromobilität dabei leisten kann, eingebracht.

Der motorisierte Individualverkehr in den entwickelten Industrienationen, und hier insbesondere in Deutschland, dominiert sowohl auf der Kurz-, wie auch auf der Langstrecke. Dabei ist Mobilität ein gesellschaftliches Bedürfnis, das sowohl durch die heutige Arbeitswelt als auch durch die Erwartungen der Menschen an die Gestaltung ihres Lebens determiniert ist. Die Gestaltung des Lebensumfeldes hinsichtlich Mobilität und resultierendem Verkehr hat sich dem angepasst. Das sich abzeichnende Problem ist, dass diese historische Entwicklung dem Schutz unseres Klimas und der Ressourcen zunehmend schadet. Hier ist ein schnelles Umdenken erforderlich. Neue Mobilitätskonzepte müssen gedacht und vor allem umgesetzt werden.

Ein konkreter Lösungsansatz ist der Ersatz der bisherigen Verbrennungsmobilität durch Elektromobilität. Die technische Zukunftsdiskussion wird dabei davon geprägt, ob hier eine direkte Stromnutzung oder der Weg über den Wasserstoff präferiert werden soll. Aus der Analyse des Mobilitätsverhaltens der Menschen kann abgeleitet werden, dass ein vorrangiges Bedürfnis besteht, sowohl in der Stadt als auch auf dem Land kurze Strecken, insbesondere die „erste“ beziehungsweise die „letzte Meile“, möglichst zeiteffektiv, bequem und sicher zu absolvieren.

Eine Eins-zu-Eins-Umsetzung der heute vorrangigen Verbrennungsmobilität auf die Elektromobilität bei Personenkraftfahrzeugen, welcher Ausprägung auch immer, wird volkswirtschaftlich, energetisch und ressourcenmäßig nicht sinnvoll und sehr wahrscheinlich auch nicht möglich sein. Vielmehr müssen zukünftig öffentliche Verkehrsmittel, die eine hohe Ressourcen- und Energieeffizienz ermöglichen, den Hauptteil der Mobilitätsbedürfnisse übernehmen. Sie sind dazu attraktiver und vor allem kostengünstiger auszubauen.

Für das Pendeln auf der verbleibenden Kurzstrecke und auf der „ersten“ und „letzten Meile“, für die Anbindung der ländlichen Regionen an die städtischen Zentren sind dann batterieelektrisch betriebene Kraftfahrzeuge (BEV Battery Electric Vehicle), möglichst in Mehrfachnutzung durch Car- und Ridesharing, einzusetzen. Die heute bereits verfügbaren BEV können die dafür erforderlichen Reichweiten zwischen 100 und 200 km bereits problemlos realisieren. Damit können reichweitenmäßig in der Regel über zwei Drittel der Mobilitätsbedürfnisse der Menschen abgedeckt werden, auch in den ländlichen Räumen Deutschlands. Deshalb werden zukünftig batterieelektrische Personenkraftfahrzeuge

vorrangig den Bedarf in diesem Segment abdecken. Neben einem sinnvollen Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur besteht insbesondere Bedarf an halböffentlichen und privaten Ladestationen zu Hause und am Arbeitsplatz. Erfahrungen zeigen, dass immerhin bis zu 80 % der Ladevorgänge zu Hause und am Arbeitsplatz stattfinden. Es ist zu erwarten, dass insbesondere das Laden von Elektroautos in den städtischen Wohnquartieren eine große organisatorische und technische Herausforderung werden wird.

Auch der möglichst „grüne“ Wasserstoff wird im Verkehr der Zukunft seinen Platz einnehmen. Er wird insbesondere für den Güterverkehr auf nicht elektrifizierten Bahnstrecken, für Lastkraftwagen und Busse im Langstreckenverkehr und für Spezialanwendungen benötigt. Eine Spezialanwendung ist beispielsweise die Luftfahrt.

Im Zuge einer Sektorenkopplung, also einer Nutzung von regenerativ erzeugter Elektroenergie in den Sektoren allgemeine Stromversorgung, Wärmeversorgung, Industrie und Gewerbe sowie Verkehr, ist die erforderliche Strombilanz sicherzustellen. Der höhere Umwandlungswirkungsgrad bei der direkt elektrischen Stromnutzung im BEV ist hier ein großer energetischer Vorteil dieser Technologie in der Kraftfahrzeugtechnik.

Dezentrale Photovoltaik- und Kleinwindanlagen auf vorhandenen Dach- und Nutzflächen müssen in Verbindung mit zukünftig lastoptimierten, privaten und semiprivaten Ladestationen die öffentlichen Stromnetze entlasten. Perspektivisch sind die Stromkosten auch durch Integration der BEV-Stromspeicher (bidirektionales Laden) und stationärer elektrischer Zwischenstromspeicher in das Lastmanagement der Stromnetze zu senken.

Die Umsetzung der vorstehend beschriebenen Vision unserer Mobilität von Morgen bedarf der Einsicht der Menschen in die Notwendigkeit, traditionelle Denk- und Verhaltensweisen in der Mobilität zu verändern. Dieser Aspekt wird heute aus Sicht des Autors offensichtlich noch politisch und fachlich unterschätzt. Die beschriebene Veränderung der Mobilitätsbedürfnisse muss wohl als eine Generationenaufgabe verstanden werden. Eine längerfristige zeitliche Überschneidung traditioneller und neuer umweltfreundlicher Verkehrsmittel und -konzepte wird deshalb unvermeidbar sein. Das umso mehr, da bereits Jahrzehnte in der deutschen Verkehrspolitik nahezu wirkungslos verstrichen sind, eine moderne, zukunftsorientierte Mobilität in der Gesellschaft zu organisieren.

1. Veranlassung

Mobilität ist in unserer heutigen Zeit eine wichtige Grundlage menschlicher Existenz, sowohl in Deutschland, in Europa und weltweit. Seit der Erfindung des Verbrennungsmotors in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts hat das Mobilitätsbedürfnis der Menschen über viele Jahrzehnte zu einer bevorzugt individuellen Motorisierung in der Gesellschaft geführt. Unsere moderne Gesellschaft ist also durch individuelle Motorisierung maßgeblich geprägt und wird inzwischen als ein Grundbedürfnis empfunden.

Im Zeitalter der Ressourcenschonung und des Klimaschutzes, der Ablösung von Vermögens- durch Einkommensenergien, steht das Thema des Wechsels von der Verbrennungs- zur Elektromobilität ganz oben auf der Agenda der gesellschaftlichen Diskussion. Im umstrittenen Klimaschutzpaket der Bundesregierung hat der Sektor Verkehr zu Recht einen besonderen Stellenwert. Seit 1990 ist die Freisetzung von 160 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten pro Jahr in diesem Sektor bis heute nahezu konstant geblieben. Und das obwohl hier in der Vergangenheit durch technische Weiterentwicklung und Energieeffizienzsteigerungen der Verbrennungsmotoren erhebliche Fortschritte erreicht wurden. Aber die zunehmende Größe, Leistungssteigerungen der Verbrennungsmotoren und die wachsende Anzahl von Personenkraftfahrzeugen haben Energieeinsparungen und daraus resultierende Emissionsminderungen bis heute nahezu neutralisiert.

Kann nun das elektrisch angetriebene Kraftfahrzeug die heute aufgeworfenen Probleme lösen? Oder müssen wir Mobilität neu denken? Und wenn ja, wie? Hier findet man heute noch sehr interessegeprägte Denkweisen und Strategien vor. Der Autor dieses Beitrags, der seit über zwei Jahren und 30.000 km selbst mit einem Elektro-Personenkraftwagen unterwegs ist, berichtet im Folgenden über seine Erfahrungen, seine Gedanken und Schlussfolgerungen und möchte sich damit in die aktuelle Diskussion zum Thema „Mobilität von morgen“ einbringen.

2. Neue Herausforderungen in unserer Gesellschaft

Die kilometerbezogenen bzw. spezifischen Emissionen des Treibhausgases Kohlendioxid sind seit 1995 im Schnitt um 15 Prozent bei Personenkraftwagen (PKW) und bei Lastkraftwagen (LKW) um 30 Prozent gesunken. Technische Fortschritte und Innovationen in der Motorentechnik haben das ermöglicht. Das Mehr an Verkehr hebt jedoch die bislang erreichten Verbesserungen im Klima- und Umweltschutz zum Teil wieder auf. Der PKW-Verkehr hat zwischen 1995 und 2018 um knapp 14 % zugenommen. Der Verkehrsaufwand durch LKW ist zwischen 1995 und 2018 um 81 % angestiegen.

Die Bundesregierung hat sich aber zum Ziel gesetzt, die deutschen Treibhausgas-Emissionen bis 2020 um 40 % gegenüber 1990 zu mindern. Auch der Verkehrssektor muss dafür seinen Beitrag leisten – bis 2016 ist im Vergleich zu 1990 jedoch ein Anstieg um 2,2 % zu verzeichnen (Umweltbundesamt, 2020).

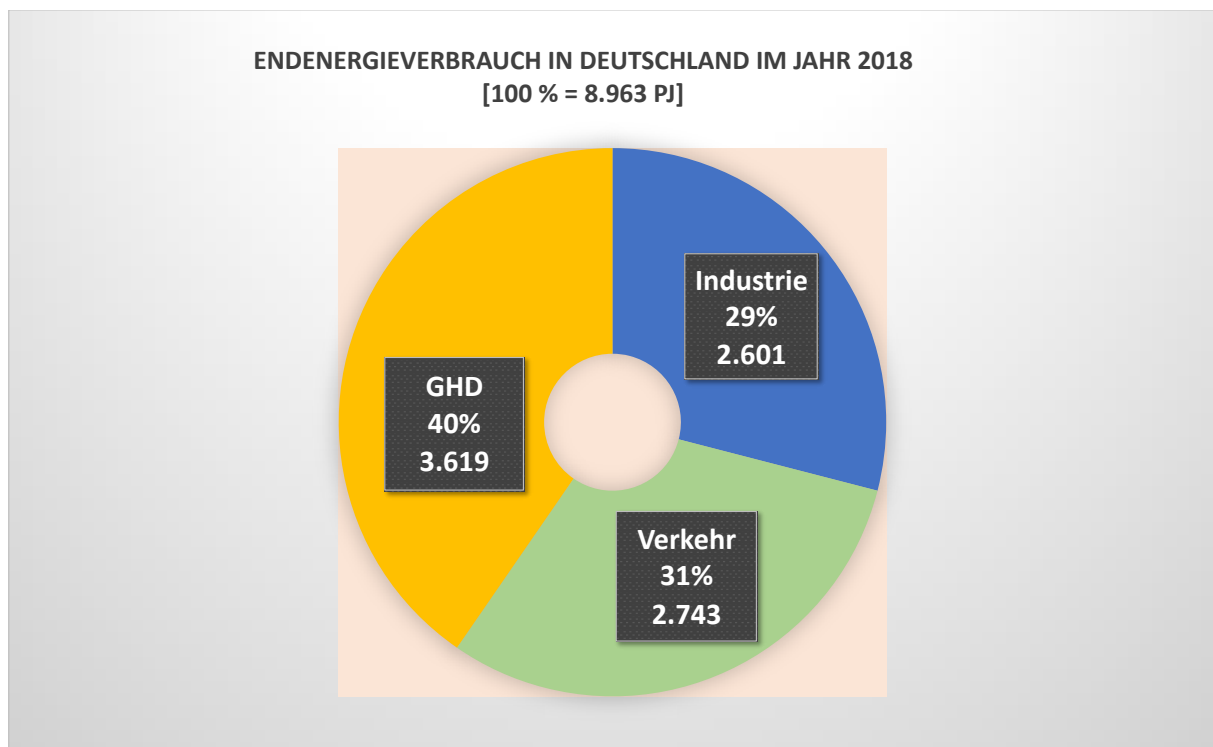


Abb. 1: Endenergieverbrauch in den Industrie, Verkehr, Gewerbe, Haushalte und Dienstleistungen (GHD) im Jahr 2018 in Deutschland (Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, 2020).

Die Grafik zum Endenergieverbrauch in Deutschland vermittelt, dass der Sektor Verkehr im Jahr 2018 ca. ein Drittel des Endenergieverbrauchs beanspruchte (Abb. 1).

Eigene Untersuchungen für ein städtisches Wohnquartier in der Stadt Neuruppin bestätigen diese Erkenntnis, den Verkehr betreffend (Abb. 2).



Abb. 2: Einwohnerzahl und bundesweit ermittelter Durchschnittswerte (Becker, Frinken, & Jeremias, Abschlussbericht Energetisches Sanierungsmanagement "Historische Altstadt Neuruppin" KfV-Programm 432. Neuruppin: tetra ingenieure GmbH., 2019).

Die Senkung der Emissionen im Sektor Verkehr ist also ein wichtiger Ansatzpunkt für wirksamen Klima-, Umwelt- und Ressourcenschutz. Hier sind dringend nationale rahmenrechtliche Regeln und Maßnahmen erforderlich. Ebenso wichtig ist dabei aber auch ein international abgestimmtes Handeln zur Umsetzung der notwendigen Maßnahmen. Aktivitäten auf lokaler Ebene sind nur bedingt ausreichend, um eine signifikante Verringerung der globalen Schadstoffbilanzen zu erzielen. Trotzdem ist kommunales Handeln aber sehr wichtig, weil es konkrete Maßnahmen umsetzt. Zu den Maßnahmen auf kommunaler Ebene gehören u. a.:

- Stadt mit kurzen Wegen zur Revitalisierung der Innenstädte,
- Verdichtung und Erschließung der Innenstädte,
- Reservierung von Verkehrsflächen in den Innenstädten für Fußgänger und Radfahrer,
- Bereitstellung eines leistungsfähigen, möglichst kostenfreien oder kostengünstigen öffentlichen Personennahverkehrs,
- Angebote für „Parken & Reisen“ mit Verkehrslenkungsfunktion und
- Mobilitätsangebote, die eine Anschaffung und Nutzung von individuellen Kraftfahrzeugen verzichtbar machen.

Die vorstehenden Maßnahmen sind aber auch deshalb sehr wichtig, weil sie zur Herausbildung eines neuen Umweltbewusstseins der Menschen mit Verzicht auf die Benutzung von Kraftfahrzeugen insbesondere mit fossilen Brennstoffen beitragen können und müssen.

3. Die Megatrends der individuellen Mobilität im Straßenverkehr

Acht Megatrends der individuellen Mobilität im Straßenverkehr sind derzeit zu konstatieren (Abb. 3).

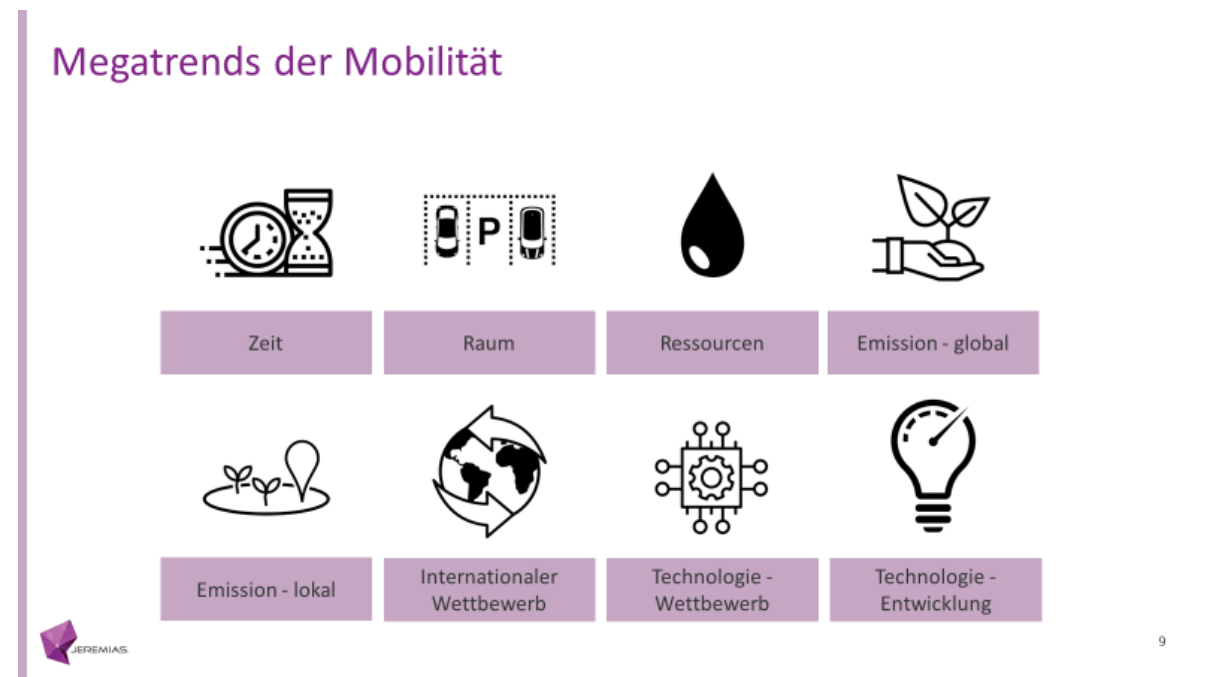


Abb. 3: Die aktuellen Megatrends in der Mobilität.

Megatrends 1 und 2 - Zeit und Raum: Es ist heute ein Grundbedürfnis der Menschen, sich möglichst schnell, komfortabel und sicher von A nach B bewegen zu können, meistens als Fußgänger, Radfahrer oder Autofahrer. Dafür benötigen wir Platz zum Fahren und vor allem zum Parken des individuellen Kraftfahrzeugs. PKW parken heute ca. 23 Stunden ungenutzt im zumeist öffentlichen (meist noch kostenfreien) Verkehrsraum (BMVI Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2018). Das Wahrnehmen dieser Bedürfnisse führt zunehmend zu Staus, zu zugeparkten Straßen und Plätzen und Verlust an Gesundheits- und Lebensqualität mit daraus bedingter Unzufriedenheit der Menschen.

Megatrend 3 - Ressourcen: Endliches und CO₂-emittierendes Erdöl und Erdgas sollten als Treibstoffrohstoffe möglichst schnell aus Gründen des Ressourcen- und des Klima- und Umweltschutzes durch Elektrizität aus Einkommensenergien (auch sogenannte „Regenerative Energien“) ersetzt werden.

Megatrend 4 - Globale Emissionen: Dieser Trend wird durch die aktuellen, weltweiten Diskussionen und Anforderungen an den Umwelt- und Klimaschutz (Klimaschutzkonferenz) geprägt.

Megatrend 5 – Lokale Emissionen: Seit dem Beginn des „Dieselskandals“ im Jahr 2015 und inzwischen zunehmenden Fahrverboten in deutschen Innenstädten sind die lokalen Emissionen von Kraftfahrzeugen Gegenstand kontroverser Diskussion in der Fachwelt und in der Bevölkerung. Unabhängig davon hat die Europäische Union neue Grenzwerte für den CO₂-Flottenverbrauch der Automobilhersteller festgelegt.

Ab dem 1. Januar 2020 legt diese Verordnung für den CO₂-Emissionsdurchschnitt von in der Union zugelassenen neuen Personenkraftwagen bzw. neuen leichten Nutzfahrzeugen, einen herstellerbezogenen Zielwert fest. Dieser gilt für dessen gesamte EU-Flotte und beträgt 95 g CO₂/km bzw. 147 g CO₂/km (Europäisches Parlament und Rat, 2019).

Im Dezember 2018 betrug der Flottendurchschnittswert immer noch 118,5 g CO₂. 95 g/CO₂ bedeuten einen Kraftstoffverbrauch von ca. 3,5 Liter Diesel bzw. 4,0 Liter Benzin auf 100 km. Dieser Grenzwert ist eine große Herausforderung für die Automobilindustrie, die aber nach wie vor an einem profitablen Absatz leistungsstarker „Sport Utility Vehicle“ (SUV) interessiert scheint. Für eine Überschreitung der Flottengrenzwerte um 1 Gramm sind 95 € pro Gramm CO₂ Strafzahlung pro Fahrzeug zu leisten. Das kann schnell mehrere hundert Millionen Euro Strafzahlung für Automobilkonzerne nach sich ziehen, die gegen die EU-Verordnung verstoßen. Deshalb ist die aktuelle EU-Regelung ein wesentlicher politischer Treiber für eine In-Verkehr-Bringung von „CO₂-freien“ Elektrofahrzeugen durch die europäische Automobilindustrie ab 2020.

Weiterhin gibt es Begrenzungen für den Ausstoß von NO_x und Staub für Kraftfahrzeuge.

Megatrend 6 - Internationaler Wettbewerb: Der Absatzmarkt der Elektromobilität ist durch den Marktführer TESLA und die führenden asiatischen Hersteller, insbesondere aus Südkorea und China geprägt. Das drückt sich dort insbesondere in den aktuellen, stark anwachsenden Absatzzahlen von Elektrofahrzeugen und im Ausbau der Ladeinfrastruktur aus.

Megatrend 7 - Technologie-Wettbewerb: Das Unternehmen TESLA aus Kalifornien (USA) gibt den technologischen Takt an und hat eine zielstrebige Strategie bei der Konstruktion, der Produktion und dem Vertrieb batterieelektrischer Kraftfahrzeuge. China hat entschieden, die Verbrennungstechnologie zu überspringen und setzt technologisch und politisch-administrativ auf Elektromobilität. Europäische und deutsche Automobilbauer haben größtenteils lange abgewartet und versuchen derzeit, insbesondere vor dem Hintergrund der neuen europäischen Emissionsregeln und eines absehbaren Verlustes von Marktanteilen in Asien und Amerika, aufzuholen. Die Stärke der deutschen und europäischen Automobilhersteller liegt dabei (noch) in modernen und effizienten Produktionsprozessen von Fahrzeugen mit großen Stückzahlen.

Megatrend 8 - Technologie-Entwicklung: Er ist geprägt durch die Weiterentwicklung der Diesel- und Ottomotoren versus batterieelektrische Kraftfahrzeuge (BEV) und Brennstoffzellen-Kraftfahrzeuge (FCEV). Digitalisierung und künstliche Intelligenz forcieren die Entwicklungen zum automatisierten Fahren.

Fazit: Alles in allem resultiert unter Berücksichtigung der vorstehenden Megatrends die Prognose, dass ab 2020 die Einführung der Elektromobilität auch in Deutschland aktuell und verstärkt auf der Tagesordnung stehen wird. Es ist allerdings bislang keine Käufermarkt getriebene Entwicklung, sondern sie wird maßgeblich durch politische Instrumente forciert. Der schnelle Ausbau der notwendigen Ladeinfrastruktur ist wesentlich auf den Einsatz staatlicher Fördermittel angewiesen.

4. Unser aktuelles Mobilitätsverständnis

Unter Mobilität versteht man definitionsgemäß:

„Potenzielle Mobilität ist die Beweglichkeit von Personen, allgemein und als Möglichkeit. Realisierte Mobilität ist realisierte Beweglichkeit, ist die Befriedigung von Bedürfnissen durch Raumveränderung (kurz: Mobilität). Verkehr ist das Instrument, das man dann für die konkrete Umsetzung der Mobilität benötigt. Verkehr umfasst Fahrzeuge, Infrastrukturen und die Verkehrsregeln und ist auch sehr gut messbar.“ (Becker, Gerike, & Völling, 1999)

Das Bedürfnis nach Mobilität ist aber in den entwickelten Industrienationen, so auch in Deutschland, nicht nur ein luxuriöses Bedürfnis. Hauptsächlich resultiert es aus dem Bedürfnis und Erfordernis, arbeiten zu wollen bzw. zu müssen. Das betrifft nicht nur die entgeltlichen Tätigkeiten, sondern auch unentgeltliche Sorgearbeit. Dazu ist meistens noch das Pendeln zwischen dem Wohnort und dem Ort der Tätigkeit erforderlich. Diese Orte fallen heute aus verschiedenen Gründen, auf die hier aber nicht näher eingegangen wird, häufig entfernungsmäßig auseinander. Dadurch sind die betroffenen Menschen gezwungen, sich der verfügbaren Möglichkeiten der Mobilität zu bedienen. Insbesondere für das Pendeln zwischen Stadt und Land sind es vorwiegend individuelle Kraftfahrzeuge, wie die nachfolgend zitierte Studie „Mobilität in Deutschland“ (BMVI Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2018) zeigt. Das Beispiel zeigt anschaulich, dass das Bedürfnis zur Ortsveränderung aus einem anderen Bedürfnis resultiert, nämlich aus dem Bedürfnis, arbeiten zu müssen.

Ein Mobilitätsbedürfnis kann auch dadurch erfüllt werden, dass Wünsche des Menschen, die Mobilität erfordern, dadurch befriedigt werden, dass Gegenstände und Dienstleistungen zum Menschen gebracht hin werden. Das wiederum erzeugt Güterverkehr, Verkehr durch einen Dienstleister und/oder Datenverkehr (Digitalisierung).

Unsere heutigen Mobilitätsbedürfnisse werden voraussichtlich in der Zukunft nicht immer vollständig befriedigt werden können. Beispielsweise stehen derzeit dem Bedürfnis einer uneingeschränkten Nutzung des Flugzeugs, insbesondere auf kurzen Reisestrecken, die Klimaschutzziele entgegen. Auch der Ersatz herkömmlicher (bewegender) Mobilität bei der Pflege von Beziehungen der Menschen untereinander durch neue, digitale Technologien wird als Zukunftsthema diskutiert, mit all seinen Vor- aber auch Nachteilen.

Im Gegensatz zur Mobilität ist Verkehr nur das Mittel zum Zweck. Verkehr ist definitionsgemäß die

„... zielgerichtete Ortsveränderung von Personen, Gütern, Nachrichten unter Verwendung von Energie und Information einschließlich Unterstützungsprozessen (z. B. Lager- und Umschlagprozesse) ...“ (Randelhoff, 2020).

Verkehr ist also ein Instrument zur Befriedigung unserer Mobilitätsbedürfnisse. Der Mensch hat dabei oft eine Wahlmöglichkeit, welches Verkehrsmittel er zur Befriedigung seiner Bedürfnisse nutzt. Es lässt sich nicht voraussagen, wieviel Verkehr bei der Umsetzung des jeweiligen Bedürfnisses erzeugt oder gar benötigt wird. Neben der tatsächlich realisierten Mobilität gibt es auch eine nicht realisierte, aber potenziell mögliche Mobilität.

Ein Wachstum der Mobilität ist gesellschaftlich erwünscht und (noch) notwendig. Resultierendes Wachstum von Verkehr ist dabei jedoch ein sehr fragwürdiges Ergebnis, aber noch ein aktueller Trend.

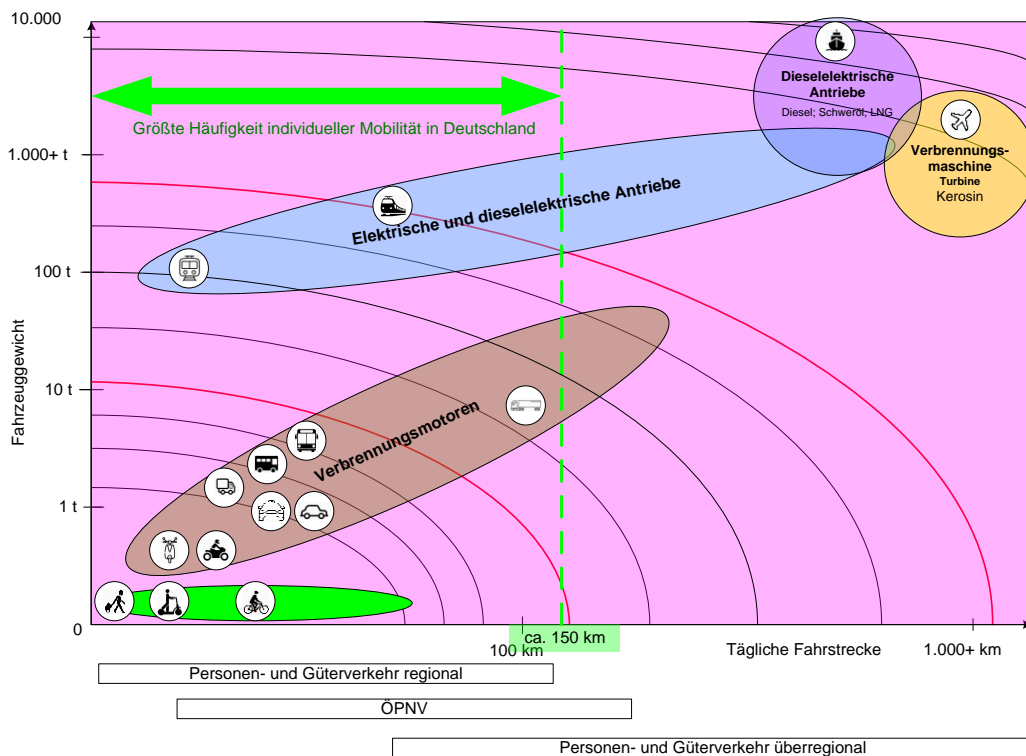


Abb. 4: Verkehrsmittel von Heute zur Befriedigung unserer Mobilitätsbedürfnisse (hier modifiziert nach einer Darstellung von (Tjaarks, Vortrag "Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien in Deutschland", 2018) aus (Hydrogen Council, 2017)).

Wie Abb. 4 zeigt, wird heute unser Mobilitätsbedürfnis durch verschiedene Verkehrsarten abgedeckt.

Der motorisierte Individualverkehr (MIV) hat von allen Verkehrsarten in Deutschland seit Jahren nahezu unverändert einen Anteil von über 55 % am gesamten Endenergieverbrauch des Verkehrssektors. Dominierend sind dabei die Verbrennungskraftfahrzeuge.

Die PKW-Flotte in Deutschland in den privaten Haushalten ist Anfang 2019 auf mehr als 47 Millionen Fahrzeuge angewachsen. Das bedeutet statistisch gesehen, dass zu jedem Haushalt mehr als ein Auto gehört. Der durchschnittliche PKW-Besetzungsgrad hat sich dabei kaum geändert. Er liegt durchschnittlich bei etwa 1,5 Personen je bewegten Kraftfahrzeug. Unterschiede im Mobilitätsverhalten der Menschen werden insbesondere zwischen Stadt und Land, sowie zwischen jüngeren und älteren Menschen festgestellt.

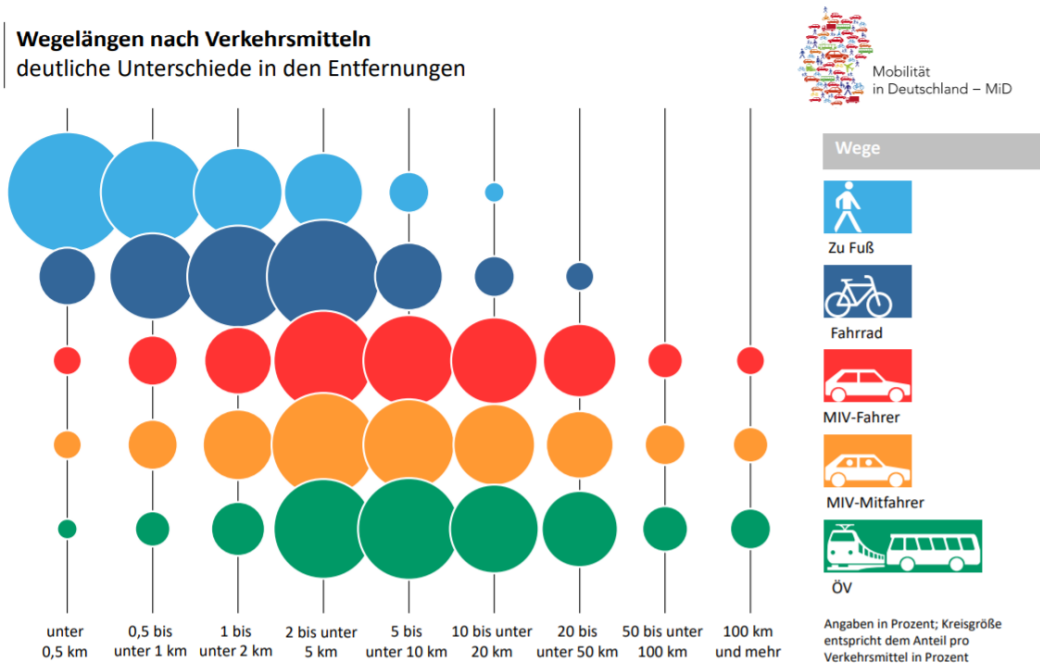


Abb. 5: Wegelängen nach Verkehrsmitteln aus einer Studie (BMVI Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2018).

Abb. 5 veranschaulicht, dass die größte Häufigkeit täglicher Wegstrecken, mit individuellen Kraftfahrzeugen (MIV - **M**otorisierter **I**ndividual **V**erkehr) zurückgelegt, zwischen 2 bis unter 50 km beträgt. Die Kurzstrecke dominiert bei den aktuellen Mobilitätsbedürfnissen.

Eigene Erfahrungen in der Nutzung eines batterieelektrischen Kraftfahrzeuges (BEV Battery Electric Vehicle) bestätigen diese statistischen Aussagen, wie Abb. 6 zeigt.

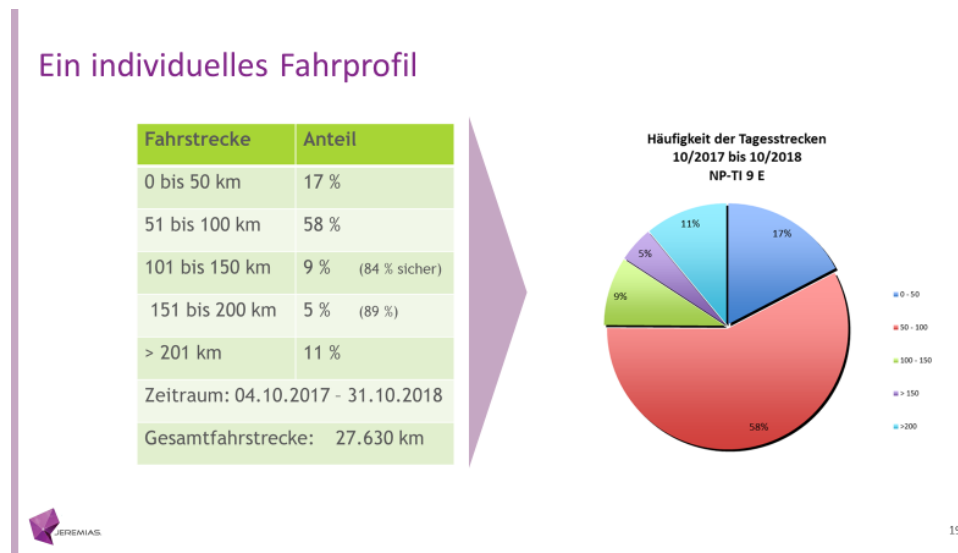


Abb. 6: Typisches, individuelles Fahrprofil im Zeitraum von einem Jahr bei einem Arbeitsweg von täglich 30 km als einfache Strecke (Jeremias, Elektromobilität, Kraft-Wärme-Kopplung und Sektorenkopplung, 2019).

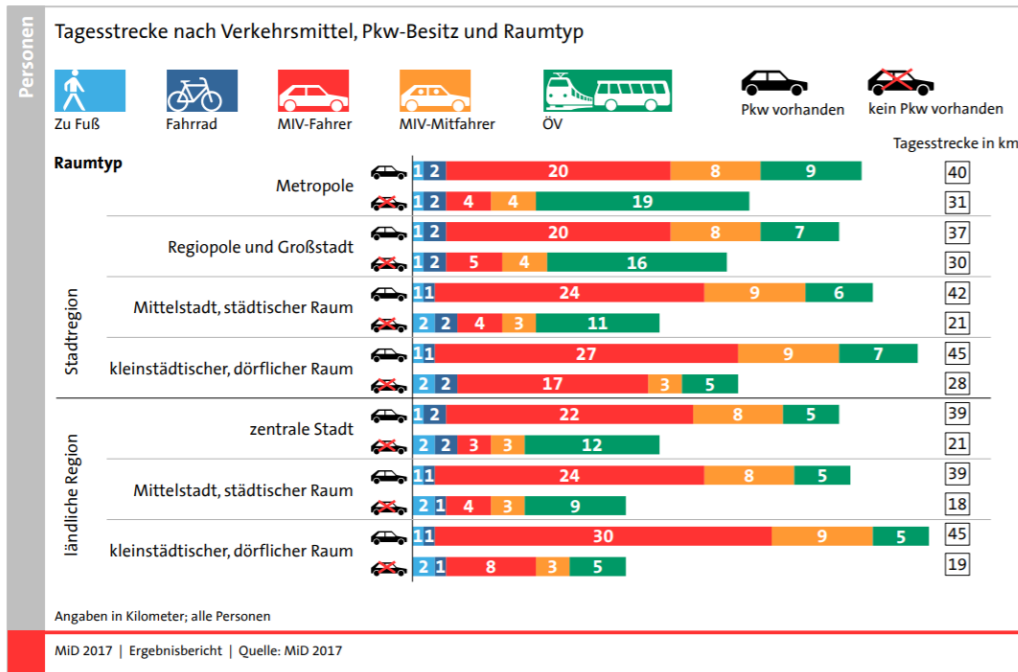


Abb. 7: Tagesstrecke nach Verkehrsmittel und Raumtyp (BMVI Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2018).

Sowohl die Tagesstrecken als auch die mittels MIV zurückgelegten täglichen Fahrstrecken sind im ländlichen Bereich größer als in Metropol- und Großstadtregionen. Demgegenüber ist die Fahrstrecke mit ÖV (Öffentlicher Verkehr) in den ländlichen Regionen statistisch geringer (Abb. 7).

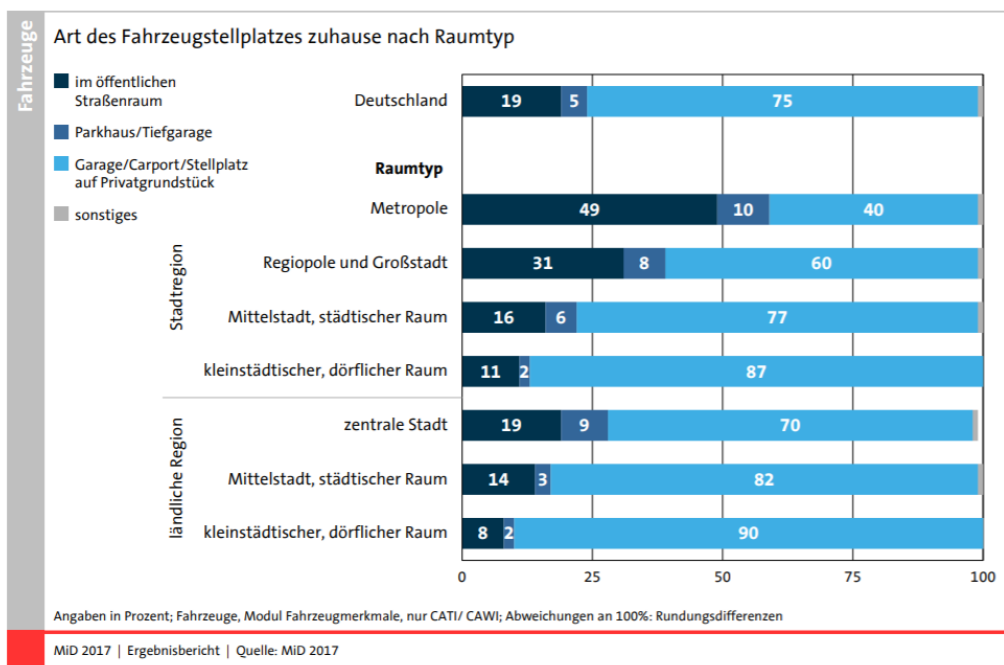


Abb. 8: Stellplatzstatistik für den ruhenden Verkehr (BMVI Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2018).

Abb. 8 zeigt auf, dass ca. 75 % der privaten Fahrzeuge auf privaten Parkplätzen zu Hause abgestellt werden. Andere Quellen beziffern den Anteil bezüglich BEV gegenwärtig sogar auf bis zu 92 %.

Die vorstehenden Ergebnisse und Erkenntnisse werfen Fragestellungen auf, die für ein ganzheitliches Mobilitäts- und Verkehrskonzept von Bedeutung sind:

1. Sind die heute bereits möglichen Reichweiten der BEV bis 300 km nicht ausreichend, um unsere zukünftigen Mobilitätsbedürfnisse weitgehend zu erfüllen?
2. Müssen elektrisch betriebene Kraftfahrzeuge tatsächlich die gleiche Reichweite realisieren wie unsere heutigen Verbrennungsfahrzeuge?
3. Ist die Ladeinfrastruktur für Elektromobilität nicht viel stärker im Bereich der privaten und halb-öffentlichen Stellplätze zu entwickeln, insbesondere in den städtischen Quartieren?
4. Wie kann die Kombination aus Elektromobilität und „automatischem Fahren“ ein sinnvoller Lösungsansatz für unsere Mobilität der Zukunft, differenziert nach Stadt und ländlichem Raum sein?

In der Studie „Mobilität in Deutschland“ (BMVI Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2018) wird u. a. konstatiert, dass sich insbesondere in den Ballungszentren und Großstädten sowie bei jüngeren Menschen Mobil-Sharing-Konzepte wachsender Beliebtheit erfreuen. Der Trend, kein eigenes Auto mehr besitzen zu müssen, ist ein wichtiges Element einer neuen Mobilitätsstrategie in der Gesellschaft. Für das Mobil-Sharing (Car- oder Ride-Sharing) entstehen derzeit zahlreiche Geschäftsmodelle.

Die Einführung von Elektromobilität in Verbindung mit neuen Mobilitätsstrategien, sowohl in der Gesamtbetrachtung als auch in Detailbereichen ist, wie heute so oft, sehr interessenbezogen. Der Autor kann noch keine gesellschaftliche Gesamtstrategie erkennen, die einerseits die individuellen Mobilitätsbedürfnisse der Menschen befriedigt, gleichzeitig aber Alternativen für die derzeit klimaschädliche und wenig nachhaltige individuelle Motorisierung aufzeigt. Ein mögliches Szenario aus der Sicht des Autors wird im Punkt 5 zur Diskussion gestellt.

5. Stromwirtschaft und Elektromobilität

Unser zukünftiger Bedarf an Elektroenergie für den Verkehr wird maßgeblich von der Wahl der Antriebstechnologie der Zukunft abhängen. Dazu liegen verschiedene Untersuchungen und Betrachtungen vor.

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit hat 2018 zur ausreichenden Stromversorgung der zukünftigen Elektromobilität mit Einkommensenergien wie folgt Stellung genommen:

„Auch wenn sich die Elektromobilität schneller als geplant durchsetzt, sind genug erneuerbare Energien vorhanden, um die Fahrzeuge damit anzutreiben. Wenn alle derzeit 45 Millionen Pkw auf deutschen Straßen weitgehend elektrisch fahren würden, so wären dafür rund 100 Terawattstunden (TWh) im Jahr nötig. Das entspricht nur einem Sechstel dessen, was Deutschland pro Jahr insgesamt an Strom verbraucht. 2017 wurde aus Erneuerbaren eine Strommenge von 218 TWh erzeugt, also mehr als doppelt so viel wie der Bedarf einer komplett elektrischen Fahrzeugflotte. Und der Ausbau der erneuerbaren Energien schreitet rasch voran.“ (BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, 2018)

Aus der Sicht des Autors greift diese Einschätzung des BMU zu kurz, weil bis 2022 die Stromproduktion aus Kernenergie und bis 2038 aus Kohle durch Einkommensenergien zu substituieren ist. Zusätzlich ist die vorstehend benannte Stromproduktion aus Einkommensenergien für die Mobilität bereitzustellen. Die Herausforderung besteht also, mittelfristig mindestens 430 Terrawattstunden zusätzlich durch Einkommensenergien erzeugen zu müssen. Außerdem wird es zukünftig nicht nur aus dem Verkehrsbereich eine Nachfrage nach „grünem Strom“ geben. Bei Umsetzung einer konsequenten Sektorenkopplung in Deutschland wird „grüner Strom“ auch in Industrie und Gewerbe sowie im Wärmesektor zunehmend benötigt. Diese Sektoren sind aber hier noch nicht einmal berücksichtigt. Insofern wird eine Eins zu Eins-Umsetzung von individueller Verbrennungsmobilität auf Elektromobilität, auch wegen fehlender Infrastruktur, weder möglich noch sinnvoll sein. Vielmehr müssen zukünftige Mobilitätskonzepte an einer realistischen Verfügbarkeit und Effizienz der Stromnutzung aus Einkommensenergien orientiert werden.

6. Die Zukunft unserer Mobilität

Ein Modell unserer zukünftigen Mobilität als mögliche Vision wird nachfolgend skizziert und ist als Diskussionsmodell zu verstehen (Abb. 9).

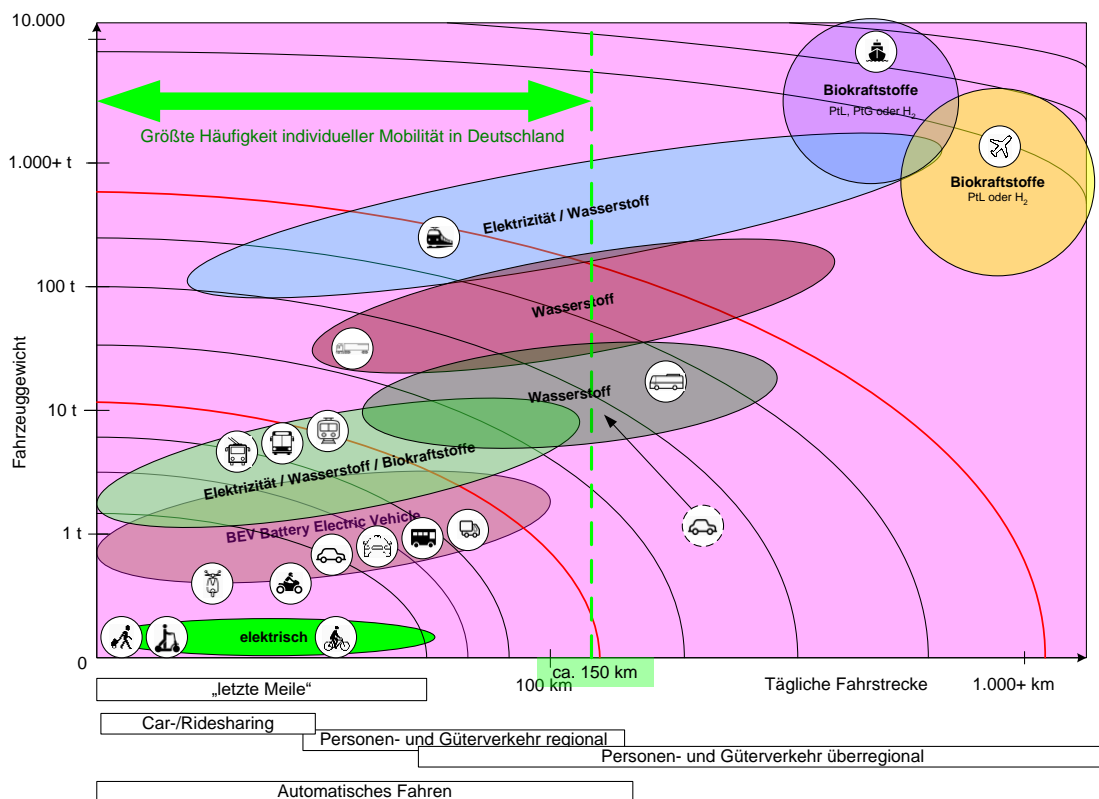


Abb. 9: Verkehrsmittel zur Befriedigung unserer Mobilitätsbedürfnisse von Morgen (hier modifiziert nach einer Darstellung von (Tjaarks, Vortrag "Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien in Deutschland", 2018) aus (Hydrogen Council, 2017).

Für eine moderne und zukunftsfähige Mobilitätsstrategie sollen hier aus Sicht des Energieingenieurs nachfolgende Ansätze in eine Diskussion eingebracht werden:

- Der MIV ist zukünftig durch neue, innovative und bessere Angebote im öffentlichen Verkehr, sowohl auf der Kurzstrecke als auch auf den langen Distanzen, drastisch zu reduzieren. Aber auch Stadtentwicklungskonzepte der „kurzen Wege“, Privilegierung des Radverkehrs und zukunftsweisende Arbeitsmodelle (Arbeitswelt 4.0) können zur Verminderung des MIV beitragen.
- Der spezifische Energieverbrauch von derzeit ca. 15 kWh pro 100 km ist beim BEV am niedrigsten und präferiert dessen Einsatz auf Fahrstrecken bis zu 150 km pro Tag. Damit können reichweitenmäßig in der Regel über zwei Drittel der Mobilitätsbedürfnisse der Menschen abgedeckt werden, auch in den ländlichen Räumen Deutschlands. BEV mit dieser elektrischen Reichweite sind bereits heute verfügbar.
- Die Alternative des Einsatzes von Wasserstoff anstelle des direkt batterieelektrischen Antriebs von Kraftfahrzeugen entscheidet sich über die Effizienz der Art und Weise der Bereitstellung der Antriebsenergie. Immer die Nutzung von Einkommensenergien vorausgesetzt, führt die Wasserstoffnutzung zu einem etwa doppelten Primärenergieeinsatz gegenüber der batterieelektrischen Nutzung. Für „grünen“ Wasserstoff wird darüber hinaus im Zuge der Sektorenkopplung auch in vielen anderen volkswirtschaftlichen Bereichen Bedarf angemeldet. Das bedeutet, dass eine Nutzung von Wasserstoff im Verkehrssektor den Spezialanwendungen und im Luftverkehr als Ersatz für Kerosin vorbehalten sein sollte. Spezialanwendungen im Verkehrssektor sind beispielsweise die Eisenbahn auf nicht elektrifizierten Strecken und der spezialisierte Güterfernverkehr mit Lastkraftwagen, sofern dieser nicht als Güterbahntransport oder durch die Binnenschifffahrt möglich ist.

- Der spezifische Energieverbrauch (Energieverbrauch pro Kopf bzw. pro Tonne) verschiedener Verkehrsmittel muss zur vorrangigen Nutzung von Verkehrsmitteln mit hoher Energieeffizienz führen.

Auch BEV werden ihren Beitrag zur Verkehrswende leisten müssen. Ein wesentliches Umsetzungshindernis ist dabei eine unzureichende Ladeinfrastruktur. Studien gehen davon aus, dass fast 50 % der Ladevorgänge zu Hause und fast 25 % am Arbeitsplatz stattfinden (Höfling & Römer, 2019). Das ist beim Aufbau einer Ladeinfrastruktur zu beachten.

- Die Ladestruktur in städtischen Quartieren, insbesondere für das „Laden über Nacht“, wird sehr bald eine große infrastrukturelle Herausforderung werden. Nicht jeder heute beanspruchte Fahrzeugabstellplatz in Wohngebieten wird voraussichtlich „elektrifiziert“ werden können.
- Dezentrale Photovoltaik- und Kleinwindanlagen, auf vorrangig vorhandenen Dach- und Nutzflächen, müssen in Verbindung mit zukünftig lastoptimierten, privaten und semiprivaten Ladestationen die öffentlichen Stromnetze entlasten. Perspektivisch sind die Stromkosten auch durch Integration der BEV-Stromspeicher und der erforderlichen stationären elektrischen Zwischenspeicher in das Lastmanagement der Stromnetze zu senken.
- Eine wichtige Alternative wird die Mehrfachnutzung von Fahrzeugen im Car-Sharing sein. ÖPNV und Taxi-Branche sind durch Car- und Ride-Sharing-Konzepte zu ergänzen. Fahrräder, Lastenräder und Roller werden dort als Transportmittel an Bedeutung gewinnen, wo diese sicher und sinnvoll einsetzbar sind.
- In den Städten, Gemeinden und im nahen Umland übernehmen BEV zukünftig den notwendigen Verkehr für Lieferungen und Dienstleistungen.
- Auf der Langstrecke muss zukünftig insbesondere die elektrifizierte Eisenbahn ausreichende, intelligentere und komfortablere Mobilitätsdienstleistungen liefern. Das gilt sowohl für den Personen- und auch für den Gütertransport. Lokomotiven und Triebwagen auf nicht elektrifizierten Strecken, Bussen und Lastkraftwagen wird hier vorrangig die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie vorbehalten sein. Diese Überlegung resultiert aus den Erkenntnissen, dass die Batterietechnologie vermutlich technische Grenzen erreichen wird und die Wasserstoffnutzung höhere Wandlungsverluste als die direkte Stromnutzung verursacht. Weiterhin wird Wasserstoff, aus Einkommensenergien hergestellt, im Zuge einer Dekarbonisierungsstrategie der Gesellschaft in allen Sektoren benötigt werden. Dazu ist also zunächst die Frage nach ausreichenden Erzeugungskapazitäten und den Prioritäten einer volkswirtschaftlichen Verwendung „erneuerbaren“ Wasserstoffs zu klären. Der heute in diesem Zusammenhang bereits diskutierte „Import“ von Wasserstoff aus dem Sonnengürtel der Welt muss vor dem Hintergrund sozialer und materieller Gerechtigkeit sowie nationaler Unabhängigkeit von Ressourcen kritisch hinterfragt werden.
- Zukünftiges autonomes Fahren erfordert noch einen hohen Forschungs-, Infrastruktur- und vor allem Kostenaufwand, so dass das Aufwand-Nutzen-Verhältnis dieser Technologie zu bewerten ist. Wohl aber könnten autonom fahrende Fahrzeuge die öffentliche Personenbeförderungsstruktur auf der „ersten“ und „letzten Meile“ sinnvoll ergänzen, indem beispielsweise im Car-Sharing genutzte Fahrzeuge im Automatikbetrieb an benutzerfrequentierte Standorte zurückfahren. Vor allem die bestehende Bedarfslücke „erste/letzte Meile“ begründet heute maßgeblich den Wunsch nach individueller Motorisierung. Mit einer alternativen Deckung dieser Bedarfslücke muss dem Wunsch, ein eigenes Auto zu besitzen, begegnet werden.
- Für den Schiff- und Luftverkehr besteht die Lösung in einer sinnvollen Substitution derzeitiger Treibstoffe durch Biokraftstoffe, später auch durch synthetische Kraftstoffe und Wasserstoff. Deshalb sollten die begrenzten Bioenergieressourcen vorrangig dafür eingesetzt werden. Außerdem ist hier die Grundlast sichernde Fähigkeit von Biomasseanlagen im öffentlichen Stromnetz zu berücksichtigen und zu nutzen.

Die Umsetzung der vorstehend beschriebenen Vision unserer Mobilität von Morgen bedarf der Einsicht der Menschen in die Notwendigkeit, traditionelle Denk- und Verhaltensweisen auch in der Mobilität zu verändern. Dieser Aspekt wird heute offensichtlich politisch und fachlich unterschätzt. Die

beschriebene Veränderung der Mobilitätsbedürfnisse muss also als eine Generationenaufgabe verstanden werden. Eine längerfristige zeitliche Überschneidung traditioneller und neuer umweltfreundlicher Verkehrsmittel und -konzepte wird wohl unvermeidbar sein. Das gilt umso mehr, da bereits Jahrzehnte in der deutschen Verkehrspolitik nahezu wirkungslos verstrichen sind.

7. Technisch-organisatorische Herausforderungen

Mit dem Wandel unserer Mobilitätsbedürfnisse werden neue und anspruchsvolle technisch-organisatorische Herausforderungen verbunden sein. Hier bestehen Chancen und Risiken. Im Autoland Deutschland wird der Verlust der Markt- und Technologieführerschaft in dieser Branche, verbunden mit dem Verlust von Arbeitsplätzen und damit sozialer Sicherheit befürchtet. Dabei ist offensichtlich, dass ein Festhalten an alten Konzepten und Strategien diesen Prozess eher beschleunigen als verhindern wird. Auf die hier wirkenden Faktoren wurde unter Punkt 2. bereits ausführlicher eingegangen. Risiken minimieren, heißt die Herausforderungen anzunehmen und die sich ergebenden Chancen zu nutzen. Der Wechsel von der Verbrennungs- zur Elektromobilität ist nicht nur mit dem Wechsel des Kraftfahrzeuges an sich verbunden, sondern eröffnet in den Tätigkeitsbereichen Aufbau und Betrieb der Infrastruktur, Betrieb von elektrischen Kraftfahrzeugen, bei der Bereitstellung der Elektroenergie und im Service vertiefende und neue Wertschöpfungspotenziale. Konkrete Beispiele sind hier:

- Planung, Finanzierung, Aufbau und Betrieb der erforderlichen Ladeinfrastruktur, sowohl im öffentlichen, im halböffentlichen und privaten Bereich.
- Bereitstellung dezentraler Möglichkeiten der Energieerzeugung und -verteilung, des erforderlichen Lastmanagements. Die Bereitstellung der erforderlichen stationären Energie- und Stromspeicherkapazitäten ist eine technisch-wirtschaftliche Herausforderung, die nach meiner Einschätzung derzeit in Deutschland nicht mit der erforderlichen Priorität umgesetzt wird. Beispielsweise ist auch der Bereich der Energieversorgung privater Haushalte in der Stadt und im ländlichen Raum betroffen. Das wird zu neuen Lösungsansätzen in der Nutzung von Einkommensenergien führen, die mit dem Klimaschutz vereinbar sind. Eine „kleine“ Sektorenkopplung ist heute bereits technisch praktikierbar und finanziell umsetzbar. Aber kostengünstiges Erdgas dominiert bislang noch die möglichen Technologien.
- Die den BEV heute oft nachgesagte, fehlende CO₂-Neutralität bedarf großer Anstrengungen zur Bereitstellung von Elektroenergie aus Einkommensenergie bei der Gewinnung und Verarbeitung von Rohstoffen, insbesondere in der Batterieherstellung, bei der Herstellung und Entsorgung der Elektrofahrzeuge und beim deren Betrieb. Darin liegt eine weitere Herausforderung eines neuen Mobilitätskonzeptes in der Gesellschaft.
- Um das Ziel zu erreichen, die Anzahl von Personenkraftwagen und die Fahrleistungen in deutschen Haushalten zu reduzieren, müssen neue Dienstleistungsangebote entwickelt und realisiert werden, die unsere notwendige Mobilität von Morgen sichern, gleichzeitig aber den Energieverbrauch und die Emissionen senken. Car- und Ridesharing-Angebote können ergänzende Lösungen auf der „ersten/letzten Meile“ bieten. Die derzeitige Erprobung des MOIA-Konzepts (MOIA GmbH, 2020) in Hannover und Hamburg ist ein beispielhaftes Projekt dafür.

Alle neuen Bereiche der Einführung von Elektromobilität eröffnen innovative und hochqualifizierte Tätigkeitsbereiche als Alternativen zu unseren bisherigen Industrie- und Gewerbestrukturen. Das Problem besteht offensichtlich darin, die gesellschaftlich erforderliche Transformation zeitlich, finanziell und sozial verträglich zu organisieren. Dieser Prozess wird längerfristig andauern und ist meines Erachtens in Deutschland zu spät und politisch halbherzig eingeleitet. Damit werden auch Chancen verspielt, dass sich die deutsche Industrie international auch zukünftig behauptet. Aber besser jetzt umsteuern als nie.

8. Schlussfolgerungen

Ein Durchbruch der Elektromobilität wird ab Mitte der 2020er Jahre in Europa verstärkt einsetzen, und, auch in Deutschland, unaufhaltbar sein. Dabei kann es aber nicht um ein bloße Eins-zu-Eins – Umsetzung der Verbrennungs- in die Elektromobilität gehen.

Einführung von Elektromobilität heißt vorrangig die Einführung neuer Mobilitätskonzepte in der Gesellschaft. Der Modalsplit muss sich zwingend vom individuellen Kraftfahrzeug zum energetisch effizienten Massenverkehrsmittel verschieben. Das ist insbesondere in den Ballungsgebieten durch intelligente elektrifizierte Car- und Ridesharing-Konzepte zu ergänzen. Fahrzeugflotten von Dienstleistern im städtischen und ländlichen Umfeld sind für die Nutzung elektrifizierter Kraftfahrzeuge besonders prädestiniert.

Beim Umbau unserer Verkehrssysteme ist zwischen den unterschiedlichen Bedingungen in der Stadt und auf dem Land zu differenzieren. Die Demografie erfordert es, eine Änderung unseres Mobilitätsverhaltens als Generationenproblem zu verstehen. Die Akzeptanz der neuen Lebens- und Verhaltensweisen in Bezug auf nachhaltiges Leben und Verhalten, insbesondere im Hinblick auf die Mobilität, ist bei jüngeren Menschen größer als bei der älteren Generation.

Für einen privaten Umstieg auf ein Elektrokraftfahrzeug werden eine persönliche Fahrprofilanalyse, die Prüfung der Möglichkeiten für die Schaffung einer individuellen Ladeinfrastruktur und die Information über die derzeit dynamische Entwicklung des internationalen Fahrzeugmarktes empfohlen.

Die asiatischen Märkte geben bislang in der Technologieentwicklung den Takt an. Ein technisch alternativloses Festhalten an Verbrennungstechnologie kann zum Verlust der Marktführerschaft im Automobilbau führen. Von den deutschen Fahrzeugherstellern lässt bisher nur die Volkswagen AG ein Umdenken und eine konsequente neue Strategie erkennen.

Der Einstieg in die Elektromobilität führt offensichtlich über die Akkumulator-Technologie. Auch die deutsche Stromwirtschaft ist an einer direkten Elektrifizierung des Verkehrs interessiert. Die Schaffung der infrastrukturellen Voraussetzungen, insbesondere der Ausbau der Stromnetz- und -speicherkapazitäten bedarf aber noch großer Anstrengungen. Die Elektrizitätsversorgung benötigt intelligente Lösungskonzepte, da sonst eine zumindest lokale Überlastung der Netze die Folge sein wird. Dazu gehört auch die Nutzung von Einkommensenergien durch dezentrale Erzeugungs- und Speicheranlagen.

Bei der Produktion von Batterien, aber auch in der Fahrzeugherstellung müssen Einkommensenergien zukünftig verstärkt genutzt werden. Zwischen 2025 und 2030 werden neue Technologien tragfähig sein (Brennstoffzelle; Festbrennstoffbatterie). Autonomes Fahren als Teil eines komplexen Mobilitätskonzeptes muss aber auf finanzielle, infrastrukturelle und nachhaltige Aspekte hin geprüft werden.

Die leitungsgebundene Gaswirtschaft in Deutschland sieht ihre vorhandene Infrastruktur eher in der Wasserstoffnutzung aufgehoben. Eine Konkurrenzsituation zur Elektrizitätswirtschaft im Hinblick auf individuelle Kraftfahrzeuge sollte aber möglichst vermieden werden. Wasserstoff ist in speziellen Einsatzbereichen zu präferieren. Die jeweiligen, volkswirtschaftlich sinnvollen Einsatzbereiche von Elektrizität und Energiegas müssen gut aufeinander abgestimmt werden.

Generell ist für Deutschland eine ganzheitliche Energiebilanz, insbesondere in der Stromerzeugung vor dem Hintergrund der Stilllegung von allen Kernkraftwerken bis 2022 und der Einstellung der Kohlestromproduktion bis 2038 erforderlich. Es wird hier bezweifelt, dass es diese gibt bzw. dass vorhandene Erkenntnisse in Politik und Wirtschaft ausreichend beachtet werden. Der Umbau der Energiewirtschaft unter Berücksichtigung der Sektorenkopplung darf nicht dem freien Spiel der marktwirtschaftlichen Kräfte überlassen werden, sondern muss nachhaltig und staatlich koordiniert, gelenkt und organisiert werden. Dabei ist jedoch zu beachten, dass maßgebliche Regeln von der Industrie unter Wettbewerbsbedingungen aufgestellt werden.

Ein fairer Welthandel, insbesondere bei der Beschaffung der neuen, notwendigen Rohstoffe ist Bedingung dafür, dass soziale, politische und militärische Konflikte in der Welt beendet bzw. verhindert werden. Das trifft auch auf die Entsorgung unserer Wohlstandsgüter zu.

9. Quellenverzeichnis

- Agentur für Erneuerbare Energien. (10. Februar 2020). *GRAFIK-DOSSIER: ENDENERGIEVERBRAUCH NACH STROM, WÄRME UND VERKEHR*. Von <https://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken/endenergieverbrauch-nach-strom-waerme-und-verkehr> abgerufen
- Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen. (10. April 2020). *AGEB Daten und Fakten*. Von <https://ag-energiebilanzen.de/7-0-Bilanzen-1990-2017.html> abgerufen
- Becker, K., Frinken, M., & Jeremias, E. P. (2019). *Abschlussbericht Energetisches Sanierungsmanagement "Historische Altstadt Neuruppin" KfW-Programm 432*. Neuruppin: tetra ingenieure GmbH.
- Becker, U., Gerike, R., & Völling, A. (1999). *Gesellschaftliche Ziele von und für Verkehr* (Bd. Schriftenreihe des Dresdner Instituts für Verkehr und Umwelt). DIVU-Verlag Dresden.
- BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. (September 2018). *Elektromobilität - Was bringt sie mir? Faktencheck für heute und für die Zukunft*. Von https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/elektromobilitaet_broschuere_bf.pdf abgerufen
- BMVI Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. (2018). *Ergebnisbericht Mobilität in Deutschland - MiD*. Bonn: F/E-Projektnummer 70.904/15.
- Europäisches Parlament und Rat. (2019). *Verordnung (EU) 2019/631 vom 17. April 2019 zur Festsetzung von CO2-Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen und für neue leichte Nutzfahrzeuge und zur Aufhebung der Verordnungen (EG) Nr. 443/2009 und (EU) Nr.* Brüssel: Amtsblatt der Europäischen Union.
- Höfling, H., & Römer, D. (2019). *KfW-Energiewendebarmometer 2019*. Frankfurt am Main: KfW Bankengruppe Abteilung Volkswirtschaft.
- Hydrogen Council. (November 2017). *Hydrogen scaling up*. Von A sustainable pathway for the global energy transition: https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2017/11/Hydrogen-Scaling-up_Hydrogen-Council_2017.compressed.pdf abgerufen
- Jeremias, E.-P. (2019). *Elektromobilität, Kraft-Wärme-Kopplung und Sektorenkopplung* (Bd. Lehrbrief (unveröffentlicht)). (H. Potsdam, Hrsg.)
- MOIA GmbH. (04. 03 2020). *MOIA*. Von <https://www.moia.io/de-DE/hamburg> abgerufen
- Randelhoff, M. (10. Februar 2020). *"Zukunft der Mobilität"*. Von <https://www.zukunft-mobilitaet.net/3892/analyse/unterschied-verkehr-mobilitaet/> abgerufen
- Tjaarks, G. (6. Juni 2018). *Vortrag "Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien in Deutschland"*. Von Technologieverteilungen auf die Verkehrsbereiche: <https://www.youtube.com/watch?v=8JTyWgQpWxl> abgerufen
- Umweltbundesamt. (10. Februar 2020). *Emissionen des Verkehrs*. Von <https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/emissionen-des-verkehrs#pkw-fahren-heute-klima-und-umweltvertraglicher> abgerufen

E-Mail-Adresse des Verfassers: epjeremias@yahoo.de