

Wo stehen wir aktuell bei der Transformation im Sektor Verkehr? – Eine kritische Auseinandersetzung mit dem Stand 2023

Ernst-Peter Jeremias
(Flecken Zechlin, MLS)

Abstract

This article analyzes selected points of how the transformation in the transport sector in Germany developed in the period from 2018 to 2023 and what requirements there are for the future. Germany has politically decided to be climate neutral by 2045. The decarbonization of the demand sectors of electrical energy, industry, thermal energy and transport through the substitution of asset energy with income energy by 2045 requires sector coupling based on renewable electricity generation. There is currently a lot of catching up to do in the German transport sector in terms of energy efficiency and sustainability.

The trend towards battery-electric cars (BEVs) is viewed as internationally decisive. Asian BEV manufacturers are currently dominant in the BEV automotive market. In the transport sector, for energetic and physical reasons, the direct use of electricity will have priority over the use of hydrogen, especially in the car segment. The integration of BEVs into the public power grids as “swarm storage” will become very important. “Green” hydrogen is required for various forms of passenger and freight transport in which the direct use of electricity is technically and technologically impractical.

Taking into account acceptance among the population, the combustion car will have to be replaced by the battery-electric vehicle (BEV). The need to forgo having your own car must be supported by attractive public mobility offers. However, a 1 to 1 substitution from combustion cars to BEVs will not be effective for resource and sustainability reasons.

In the future, the use of BEVs will aim to cover the “first and last mile”. This particularly affects rural areas. This requires appropriate vehicle and battery sizes. The expansion of public transport and the performance of the railways are fundamental for an energy transition in the transport sector.

The transformation in the transport sector also depends heavily on the pace of expansion of income energies and the required infrastructure in Germany. However, batteries in motor vehicles can and will make an important contribution. The expansion of the electrical charging infrastructure must be consistently continued. However, it must be critically questioned whether the charging infrastructure should be primarily geared towards the long-distance use of BEVs. However, the implementation is already in full swing.

For a new mobility of tomorrow, a new social consensus is essential. People must be taken along in this process and need a clear orientation as to where development will go and why it is necessary. The structural change that has been initiated towards electromobility must not again lead to social and economic burdens on people in the countries of origin of the raw materials and resources with regard to the provision of raw materials and resources. In this respect, new mobility will be associated with higher costs and must be socially protected. Time is pressing!

Resümee

Dieser Beitrag analysiert in ausgewählten Punkten, wie sich die Entwicklung der Transformation im Sektor Verkehr in Deutschland im Zeitraum von 2018 bis 2023 vollzogen hat und welche Anforderungen hier für die Zukunft stehen. Deutschland hat politisch entschieden, bis 2045 klimaneutral zu sein. Die Dekarbonisierung der Nachfragesektoren Elektroenergie, Industrie, Wärmeenergie und Verkehr durch die Substitution von Vermögens- durch Einkommensenergie bis zum

Jahr 2045 bedarf der Sektorenkopplung auf Grundlage erneuerbarer Stromerzeugung. Im Sektor Verkehr Deutschland besteht aktuell ein großer Nachholbedarf bezüglich Energieeffizienz und Nachhaltigkeit.

Der Trend zum batterieelektrischen PKW (BEV) wird als international entschieden betrachtet. Asiatische Hersteller von BEV sind aktuell dominierend auf dem Automobilmarkt mit BEV. Im Sektor Verkehr wird aus energetisch-physikalischen Gründen die direkte Stromnutzung Vorrang gegenüber der Nutzung von Wasserstoff haben, insbesondere im PKW-Segment. Die Einbindung der BEV in die öffentlichen Stromnetze als „Schwarmspeicher“ wird eine große Bedeutung erlangen. „Grüner“ Wasserstoff wird für verschiedene Formen des Personen- und Güterverkehrs benötigt, in denen die direkte Stromnutzung technisch-technologisch unzweckmäßig ist.

Unter Berücksichtigung der Akzeptanz in der Bevölkerung wird der Verbrenner-PKW durch das Batterieelektrische Kraftfahrzeug (BEV) ersetzt werden müssen. Der notwendige Verzicht auf einen eigenen PKW muss durch attraktive öffentliche Mobilitätsangebote unterstützt werden. Eine 1 zu 1 Substitution vom Verbrenner-PKW zum BEV wird aus Ressourcen- und Nachhaltigkeitsgründen allerdings nicht zielführend sein.

Der Einsatz von BEV wird zukünftig auf die Bewältigung der „ersten und letzten Meile“ zielen. Das betrifft insbesondere den ländlichen Raum. Dafür werden angemessene Fahrzeug- und Batteriegrößen benötigt. Der Ausbau des ÖPNV und der Leistungsfähigkeit der Bahn sind grundlegend für eine Energiewende im Sektor Verkehr.

Die Transformation ist auch im Sektor Verkehr stark vom Tempo des Ausbaus der Einkommensenergien und der erforderlichen Infrastruktur in Deutschland abhängig. Akkumulatoren in Kraftfahrzeugen können und werden aber einen wichtigen Beitrag leisten. Der Ausbau der elektrischen Ladeinfrastruktur ist konsequent fortzusetzen. Ob die Ladeinfrastruktur aber vorrangig auf die Langstreckennutzung von BEV ausgerichtet werden sollte, ist kritisch zu hinterfragen. Die Umsetzung ist aber bereits in vollem Gange.

Für eine neue Mobilität von Morgen ist ein neuer gesellschaftlicher Konsens zwingend. Die Menschen müssen in diesem Prozess mitgenommen werden und benötigen eine klare Orientierung, wo die Entwicklung hingehen wird und warum sie notwendig ist. Der eingeleitete Strukturwandel zur Elektromobilität darf hinsichtlich der Bereitstellung von Rohstoffen und Ressourcen nicht wieder zu sozialen und wirtschaftlichen Belastungen von Menschen in den Herkunftsländern der Rohstoffe und Ressourcen führen. Insofern wird eine neue Mobilität mit höheren Kosten verbunden sein und muss sozial abgesichert werden. Die Zeit drängt!

Keywords/Schlüsselwörter

Mobility, transport, modal split, car sharing, ridesharing, battery electric vehicle (BEV), local and long-distance public transport, lithium-ion accumulator, hydrogen, fuel cell, charging infrastructure, AC charging, DC charging, HPC charging, asset energy, income energy, sector coupling, raw materials for BEVs

Mobilität, Verkehr, Modalsplit, Carsharing, Ridesharing, Battery electric vehicle (BEV), Öffentlicher Personen-Nah- und Fernverkehr, Lithium-Ionen-Akkumulator, Wasserstoff, Brennstoffzelle, Ladeinfrastruktur, AC-Laden, DC-Laden, HPC-Laden, Vermögensenergie, Einkommensenergie, Sektorenkopplung, Rohstoffe für BEV

1 Gedanken über eine neue Mobilität in der Gesellschaft

Klima- und Ressourcenschutz ist eine aktuelle internationale und vor allem auch nationale Aufgabe der Gegenwart. Ein wichtiges Segment ist dabei der Sektor Verkehr, auf dem in Deutschland bisher die geringsten Wirkungen erreicht worden sind. Verkehr ist die „zielgerichtete Ortsveränderung von Personen, Gütern, Nachrichten unter Verwendung von Energie und Information einschließlich Unterstützungsprozessen (z. B. Lager- und Umschlagprozesse) und ermöglicht die individuelle Mobilität der Menschen. 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.“ (Becker/Gerike/Völlings 1999).

Individuelle, selbstbestimmte Mobilität als ein grundlegendes Menschenrecht, hat sich historisch entwickelt und wird in Deutschland heute zu über 80 % durch den motorisierten Individualverkehr realisiert. Die Studie zur Mobilität in Deutschland aus dem Jahr 2017 kommt dabei zu folgenden Schlussfolgerungen:

- 2017 sind in Deutschland ca. 43.000.000 PKW (per 01.01.2023 sind es bereits 48.800.000) mit Verbrennungsmotoren auf der Straße, die täglich aber nur zu 40 % genutzt werden (Immen 2023a).
- Das Auto ist in Deutschland nach wie vor das dominante Verkehrsmittel in der Alltagsmobilität.
- Die durchschnittlich zurückgelegte individuelle Tagesstrecke beträgt unter Berücksichtigung aller Verkehrsmittel 39 km.
- Ca. 40 % der PKW werden an einem durchschnittlichen Tag nicht genutzt.
- 75 % der Fahrzeuge werden in Parkhäusern, Garagen, Carports und auf privaten Stellplätzen abgestellt.
- Neue Mobilitätsformen setzen sich derzeit vor allem in Ballungsgebieten und großen Städten durch.
- Unterschiede zwischen Stadt und Land sind zu berücksichtigen (Gruschwitz/Ermes 2017).

Aus diesen Erkenntnissen und Überlegungen heraus wird die nachfolgende Vision einer zukünftigen Mobilität und des daraus resultierenden Verkehrs entwickelt und vorgestellt.

Die Vision in Abbildung 1 geht von der Erfahrung aus, dass die durchschnittliche maximale tägliche Fahrstrecke der Menschen in Deutschland mit dem privaten PKW ca. 150 km beträgt. Der Individualverkehr sollte damit auf längeren Strecken durch vorhandene und neue, vor allem aber attraktive Angebote des öffentlichen Personen-Nahverkehrs (ÖPNV) und durch Bahn sowie Bus auf der Langstrecke übernommen werden. Ein individueller PKW muss damit nicht mehr Fahrstrecken von bis zu 1.000 km am Tag bewältigen. Das passt gut zur Konzeption eines batterieelektrischen Kraftfahrzeuges (BEV: Battery Electric Vehicle) und anderer, neuer Fahrzeugangebote. Car- und Ridesharing gewinnen insbesondere in Ballungsgebieten an Bedeutung. Insbesondere im ländlichen Raum bleibt die Bewältigung der „ersten“ bzw. „letzten Meile“ bedeutsam, so dass dem individuellen BEV hier voraussichtlich eine besondere Rolle zukommen wird. Die Vision soll zu einem Ansatz führen, bei dem die Anzahl individueller Kraftfahrzeuge verringert wird und sich gleichzeitig die Fahrzeuggröße verkleinert. Das spart Ressourcen an Rohstoffen und Arbeitskapazität und entspricht dem angestrebten Zeitgeist. Automatisches Fahren kann für die „erste“ bzw. „letzte Meile“ problemlösend sein, in dem ein BEV nach der Nutzung automatisch an einen exponierten Standort zurückfindet, wo ein weiterer, neuer Nutzer auf das Fahrzeug zugreifen kann. Allerdings ist hier ein Entwicklungshorizont von 10 bis 15 Jahren zu berücksichtigen.

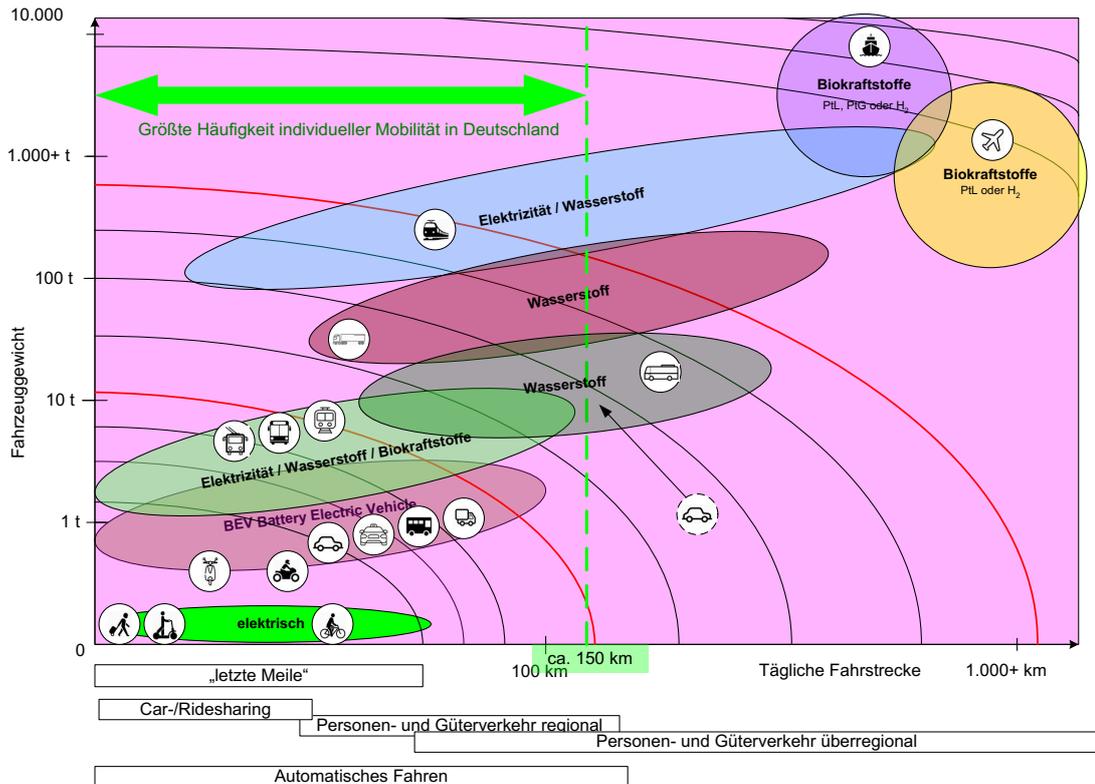


Abb. 1: Unsere Mobilität und unser Verkehr von morgen? - Eine wahrscheinliche Vision (Tjarks 2018) – eigene Darstellung auf Grundlage der Quelle.

Nicht zuletzt ist „grüner“ Wasserstoff vorrangig und erforderlichenfalls für nicht elektrifizierbare Eisenbahnen und im Personen- und Güter-Langstreckentransport auf der Straße einzusetzen. Biokraftstoffe und E-Fuels bleiben hauptsächlich dem Luft- und Schiffsverkehr vorbehalten. Dieser ganzheitliche Ansatz ist auch aus der Sicht einer realistisch balanzierten Elektroenergieerzeugung bei der Transformation aus fossiler Energiegewinnung (Vermögensenergien) auf Einkommensenergien (umgangssprachlich auch „erneuerbare“ oder „regenerative“ Energien bezeichnet) bedeutsam.

Somit ergeben sich für die Auswahl der Fahrzeugtechnik in der Zukunft maßgebliche Entscheidungskriterien wie folgt:

Akzeptanz für eine neue Mobilität durch Befriedigung individueller Reichweitenbedürfnisse/-erfordernisse (Berücksichtigung und Befriedigung individueller Fahrprofile)

Effizienter und nachhaltiger Personen- und Gütertransport im Nahbereich

Effizienter und nachhaltiger Personen- und Gütertransport im Fernbereich (> 150 km)

Minimierung der Baugröße und Anschaffungskosten für individuelle BEV

Minimierung der Betriebskosten für individuelle BEV

Ausbau und Betrieb der notwendigen öffentlichen Infrastruktur

Wechsel der Art und Weise der Stromproduktion

Auswirkungen der Technologien auf die Klimabilanz.

Trotz gestiegener Zulassungszahlen bei Elektrokraftfahrzeugen (BEV) ist aber die Skepsis und Ablehnung der neuen Technologie in der Bevölkerung noch immer sehr groß, erst recht der Verzicht auf das eigene Auto, insbesondere im ländlichen Raum. Hier ist der PKW in der Regel durch fehlende Infrastruktur noch unverzichtbar. Der Umstieg in der individuellen Kraftfahrzeugmobilität auf Elektromobilität oder der generelle Verzicht auf den eigenen Verbrenner bedarf zwingend überzeugender öffentlicher Angebote für eine neue Mobilität.

Die vorstehenden Überlegungen stammen aus einem Vortrag des Autors von 2018. Ihre Umsetzungen sind heute dringender denn je. Der Sektor Verkehr hat auch seit 1990 noch keine nennenswerte Reduzierung der Treibhausgasemissionen von 1990 (163 Mio. t CO₂-Äquivalente), über 2018 (162 Mio. t CO₂-Äquivalente) auf 2022 (148 t CO₂-Äquivalente) erreicht (Pawlik 2023).

Für eine Senkung der Treibhausgasemissionen um - 65 % bis zum Jahr 2030 muss der Sektor Verkehr einer Studie zufolge eine Reduzierung von 73 Mio. t CO₂-Äquivalente erreichen (Dambbeck et al. 2021). Das soll durch 14 Mio. BEV, durch 30 % an elektrischen LKW's, Ausbau des ÖPNV sowie des Rad- Fuß und Schienenverkehrs erreicht werden. Bis 2045 ist eine weitere Reduzierung im Sektor Verkehr um 95 Mio. t CO₂-Äquivalente zu realisieren. Um das aktuelle Ziel der Bundesregierung zu erreichen, bis zum Jahr 2030 15 Millionen BEV auf die deutschen Straßen zu bringen, müssten ab Anfang 2023 bis einschließlich 2030 täglich 5.000 BEV zugelassen werden (Meyer/Rublack/Quante 2023). Im Juni 2023 waren es laut KBA täglich nur 1.766 BEV (Immen 2023b).

2 Schlussfolgerungen für eine neue Mobilität in der Gesellschaft

Die nachfolgenden Schlussfolgerungen sind nicht neu. Sie stammen aus einem Vortrag des Autors, der 2019 veröffentlicht wurde (Jeremias 2019). Der aktuelle Vortrag analysiert für ausgewählte Aspekte nun, welche Fortschritte heute, im Jahr 2023, in Deutschland, auf dem Weg zu den unter Punkt 1 formulierten Zielstellungen erreicht wurden? Die Aussagen und Schlussfolgerungen sind auch und insbesondere Erkenntnisse und praktische Erfahrungen eines langjährigen Elektromobilisten.

Folgende Schlussfolgerungen wurden vom Autor abgeleitet:

„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. (These 1)

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. (These 2)

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. (These 3)

Für einen privaten Umstieg auf ein Elektrofahrzeug 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. (These 4)

Die asiatischen Märkte und Tesla geben bislang in der Technologieentwicklung und bei der Skalierung der Automobilproduktion den Takt an. Ein technisch alternativloses und zögerliches 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. (These 5)

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. (These 6)

Bei der Produktion von Akkumulatoren, 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. (These 7)

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. (These 8)

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. (These 9)

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. (These 10)“

3 These 1: Durchbruch der Elektromobilität in Deutschland

In den letzten fünf Jahren hat sich die Elektromobilität rasant entwickelt. Der Trend geht dabei zum vollelektrischen PKW. Als Brückentechnologie haben sich auch die Hybridfahrzeuge etabliert. Für den Einsatz von Wasserstoff gibt es einige wenige Angebote, insbesondere von asiatischen Autoherstellern (Hyundai, Toyota). Die Marktentwicklung des globalen Volumens elektrischer PKW zeigt die nachfolgende Grafik (Abbildung 2).

GLOBAL BEV & PHEV SALES ('000s)

EV VOLUMES

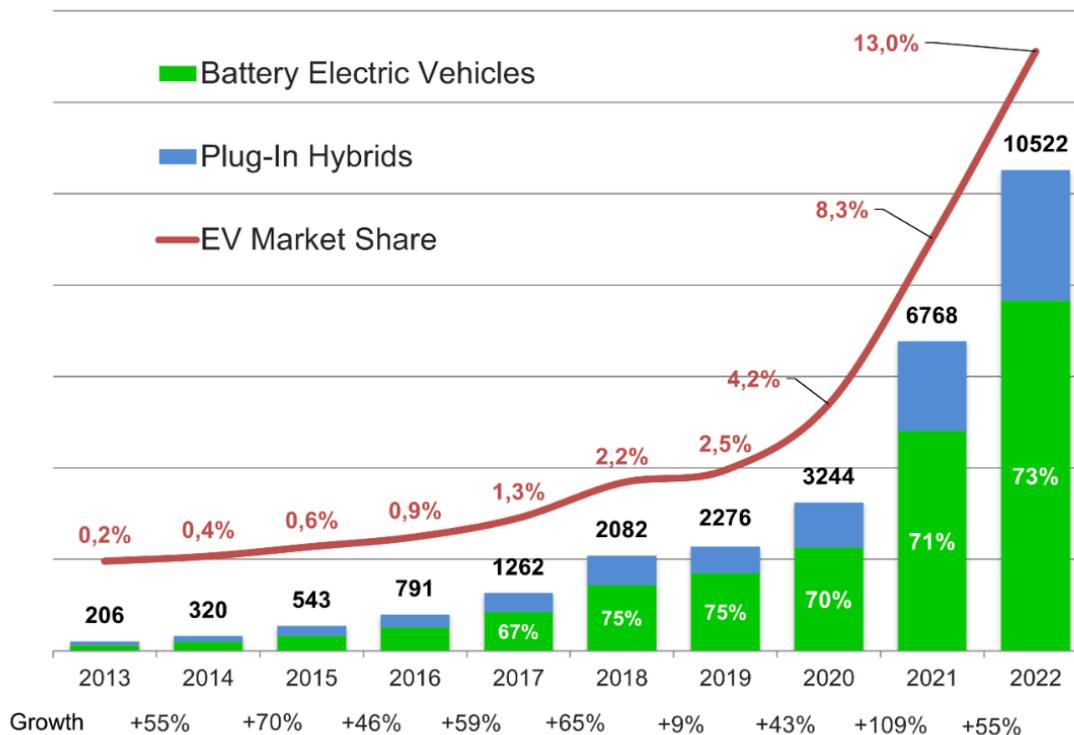


Abb. 2: Entwicklung des weltweiten Verkaufs von BEV und PHEV (Plug-in-Hybridfahrzeug) in den Jahren 2013 bis 2023 (Irlle 2023).

Der weltweite Verkauf von Elektrofahrzeugen ist weiterhin stark ansteigend. Im ersten Halbjahr 2023 wurden insgesamt 6 Millionen neue BEVs und PHEVs ausgeliefert, ein Anstieg von +40 % im Vergleich zum ersten Halbjahr 2022. 4,27 Millionen waren rein elektrische BEVs und 1,76 Millionen waren Plug-in-Hybride. Die vorläufigen Juli-Ergebnisse zeigen erneut ein Wachstum von +40 %. Das regionale Wachstumsmuster hat sich verschoben: Die Verkäufe von Elektrofahrzeugen in China stiegen im ersten Halbjahr 2023 im Jahresvergleich um +37 %, verglichen mit +82 % im Jahr 2022 gegenüber 2021. Die Verkäufe in West- und Mitteleuropa stiegen im ersten Halbjahr um +28 %, verglichen mit nur +15 % im Jahr 2022. Die Elektrofahrzeugverkäufe in den USA und Kanada sind seit Juni +50 % höher als im Vorjahr. Die Verkäufe von Elektrofahrzeugen außerhalb der oben genannten Märkte stiegen um 102 %, wenn auch von einer niedrigen Basis aus. Insgesamt erlebten die Fahrzeugmärkte eine deutliche Erholung, schwächer und volatiler in China, stärker in Europa mit +17 % im Jahresvergleich im ersten Halbjahr. Die Anteile von Elektrofahrzeugen stiegen in allen Märkten weiter an. Für das Gesamtjahr 2023 wird ein Absatz von 14 Millionen Elektrofahrzeugen erwartet, ein Wachstum von 33 % gegenüber 2022, wobei BEVs 10 Millionen Einheiten und PHEVs 4 Millionen Einheiten erreichen werden. Bis Ende 2023 wird davon ausgegangen, dass 40 Millionen Elektrofahrzeuge im Einsatz sein werden, darunter leichte Fahrzeuge, 70 % sind BEVs und 30 % PHEVs.

Der Absatz von Brennstoffzellenfahrzeugen (FCEV) im PKW-Bereich ist bisher um -25 % zurückgegangen und liegt weiterhin unter 20.000 Einheiten pro Jahr. Derzeit werden 5 Fahrzeugmodelle verkauft, die meisten Verkäufe erfolgen in Südkorea und den USA. Der aktuelle Bestand wird auf ca. 60.000 Einheiten geschätzt.

Die vorstehende Auswertung zeigt, dass sich der weltweite Trend zu batteriebetriebenen PKW weiter und unaufhaltsam fortsetzt. Das entspricht den früheren Erwartungen. Brennstoffzellen-

PKW haben sich erwartungsgemäß bisher nicht durchgesetzt. Auch in Deutschland hat der Anteil an BEV und PHEV in den Jahren 2022 und 2023 deutlich zugelegt, wie die nachfolgende Grafik veranschaulicht (Abbildung 3). Bei batterieelektrischen PKW beträgt aktuell der Anteil am gesamten zugelassenen PKW-Bestand reichlich 2 %.

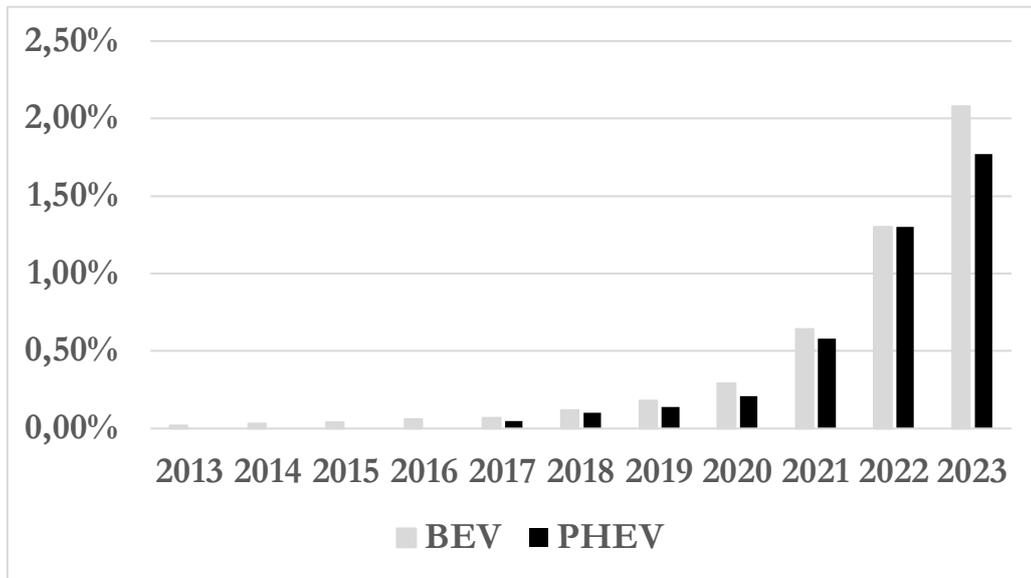
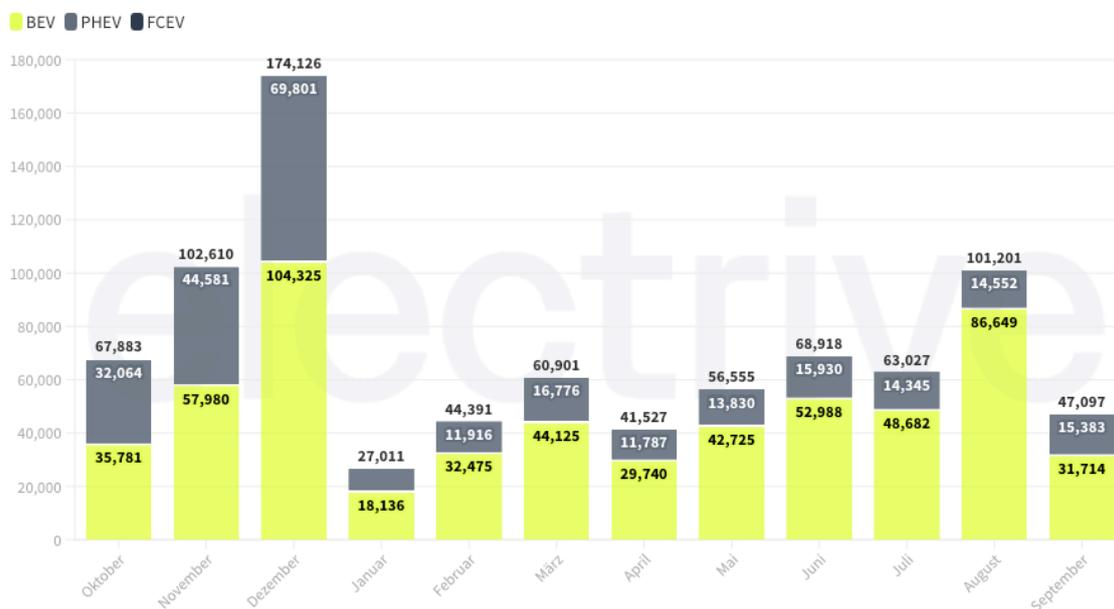


Abb. 3: Anteil der Elektroautos am Bestand der Personenkraftwagen in Deutschland von 2013 bis 2023 (statista 2023a).

Im Dezember 2023 wurde die staatliche Umweltprämie für den Kauf von BEV deutlich reduziert, für PHEV gibt es seit Januar 2023 keine staatliche Umweltprämie mehr. Die Änderung der politischen Rahmenbedingungen bildet sich als Einbruch in den deutschen Zulassungszahlungen deutlich ab (Abbildung 4). Inzwischen zeigt sich aber bei BEV eine Stabilisierung. Das ist auch notwendig, um bis 2030 das politische Ziel von 15 Mio. Stück BEV in Deutschland zu erreichen. Die Zulassungen bei PEHV stagnieren auf niedrigem Niveau. Diese Steuerungswirkung ist politisch gewollt und grundsätzlich richtig.

E-Zulassungen in Deutschland der vergangenen 12 Monate



Quelle: KBA

Abb. 4: Zulassungen von BEV und PEHV in Deutschland in den letzten 12 Monaten (Schaal 2023).

Es wird aber kein zielführender Ansatz im Klima- und Ressourcenschutz sein, in Deutschland (und generell) rund 50 Mio. private PKW 1 zu 1 durch elektrische Kraftfahrzeuge zu ersetzen!

4 These 2: Erfordernis neuer Mobilitätskonzepte

Die Abkehr vom eigenen PKW und Hinwendung zu anderen Mobilitätskonzepten, um die erforderliche Mobilitätsbedürfnisse der Menschen befriedigen zu können, bedarf neuer und alternativer Angebote.

Drei ausgewählte Ansätze für neue Mobilitätsangebote seien hier hervorgehoben:

- Car- und Ridesharing
- das Deutschland-Ticket
- Ausbau des Angebotes der Bundesbahn.

Car- und Ridesharing

Beim Carsharing – zu Deutsch "Autoteilen" – besitzt man das Auto nicht selbst, sondern teilt es sich mit Anderen. Halter des Autos ist in der Regel der Carsharing-Anbieter. Ridesharing hingegen ist eher wie eine organisierte Fahrgemeinschaft und bedeutet im Wesentlichen die gemeinsame Nutzung von freien Sitzen mit MitfahrerInnen, die ein ähnliches Ziel haben bzw. in die gleiche Richtung müssen.

Im stationsunabhängigen Carsharing-Angebot ist von 2018 bis 2023 (Prognose) ein Anstieg der NutzerInnen um ca. 126 % zu verzeichnen. Im stationsabhängigen Carsharing-Angebot beträgt der Anstieg im gleichen Zeitraum ca. 70 % (statista 2023b). Es entwickelt sich also eine deutliche Nachfrage in diesem Geschäftszweig.

Der Anzahl der NutzerInnen im Ridesharing hat sich im Zeitraum von 2018 bis 2023 um ca. 43 % erhöht (Janson 2018).

Die Zahlen zeigen ein deutlich steigendes Interesse an Lösungen des „geteilten PKW“, insbesondere in den Metropolen und Ballungsgebieten.

Das Deutschland-Ticket

Das Deutschland-Ticket ist Nachfolger des 9-Euro-Tickets. Mit dem Deutschland-Ticket (D-Ticket) kann man seit 01.05.2023 für nur 49 Euro pro Monat unkompliziert in allen Verkehrsmitteln des öffentlichen Nahverkehrs deutschlandweit reisen. Statistische Erhebungen zum 9-Euro Ticket haben folgende Motive für den Kauf und die Nutzung ergeben:

- Günstiger Preis/Kosten sparen: 74 % der Ticket-KäuferInnen
- Verzicht auf Autofahren: 37 %
- Flexibel am Wohnort in Bussen und Bahnen reisen: 35 %
- In ganz Deutschland im ÖPNV nutzbar: 34 %
- Gemeinsam mit Familie oder Freunden reisen: 30 %
- Umwelt schützen: 29 %
- Neue Ziele entdecken: 23 %
- Liegt gerade günstig in der Ferienzeit: 16 %
- ÖPNV ausprobieren: 14 %
- Sonstiges: 2 %.

Mehrfachnennungen waren möglich. 36 % nannten nur das Motiv „Preis“ und keinen anderen Grund (Bongaerts/Krämer/Wilger 2022). Die Umfrage zeigt, dass der Ansatz preisgünstiger Nahverkehrsmittel eine wichtige Alternative in der modernen Mobilität sein kann.

Probleme beim D-Ticket sind:

- Anfangsprobleme mit dem Erwerb eines digitalen Tickets
- Kapazitätsprobleme beim ÖPNV durch zeitweise hohes Fahrgastaufkommen
- Eingeschränkte Nutzbarkeit des D-Tickets im ländlichen Raum mangels ausreichender Transportangebote
- Finanzierung des Tickets durch Bund und Länder.

Ausbau des Angebotes der Deutschen Bahn

Bei der Umsetzung der Mobilitätsvision gemäß Abbildung 1 spielt der Bahntransport insbesondere auf der Langstrecke von Personen und Gütern eine große Rolle. Ein pünktlicher, preiswerter, komfortabler und in den Knotenpunkten gut vernetzter Personentransport ist eine wesentliche Voraussetzung, auf das eigene Auto in der Zukunft zu verzichten, insbesondere bei der Bewältigung langer Strecken.

Die nachfolgende, aktuelle Einschätzung des Verbandes „Allianz pro Schiene“ ist jedoch ernüchternd:

„Das Schienennetz der Eisenbahnen in Deutschland hat derzeit eine Streckenlänge von rund 38.400 km – im Bahnreform-Jahr 1994 waren es noch 44.600 km. Größter Netzbetreiber ist aktuell die Deutsche Bahn (DB Netz AG) mit ca. 33.400 km. Der Verkehr auf dem öffentlichen Schienennetz wächst zusehends: Von 1994 bis heute ist die Verkehrsleistung im Eisenbahnpersonenverkehr um über 50 Prozent gewachsen, die Verkehrsleistung im Eisenbahngüterverkehr sogar um knapp 90 Prozent. Inzwischen legen Züge allein auf dem Streckennetz der DB Netz AG die pro Jahr mehr als eine Milliarde Kilometer zurück.

Neben einem gezielten Ausbau ist ein guter Zustand der Schieneninfrastruktur eine Grundvoraussetzung, um mehr Verkehr auf die Schiene zu bringen und das Verlagerungspotenzial auf die Schiene tatsächlich auszuschöpfen. Die Fahrgäste, aber auch die Wirtschaft erwarten einen Netzzustand, der erlaubt, dass Reise- und Güterzüge rasch und zuverlässig ihr Ziel erreichen.

Ein Blick auf die Zahlen macht deutlich: der Eisenbahnverkehr wächst. Noch nie sind in Deutschland so viele Menschen mit den Bahnen gefahren wie heute. Mit den Fahrgastzahlen ist auch die Verkehrsleistung, also das Produkt aus Reisendenzahl und zurückgelegter Strecke bis 2019 auf über 100 Milliarden Personenkilometer (Pkm) gestiegen. Ähnlich ist das Bild im Schienengüterverkehr: Hier stieg die Verkehrsleistung auf über 130 Milliarden Tonnenkilometer (tkm). Während der Schienenverkehr also in den vergangenen Jahren deutlich anstieg, hat Deutschland sein Netz über Jahrzehnte schrumpfen lassen.

Seit einigen Jahren hat der Bund sich dazu entschieden, stärker als in der Vergangenheit in das bestehende Schienennetz zu investieren. Mit den nun im Bundeshaushalt vorgesehenen Mitteln kann der Schrumpfungsprozess des Schienennetzes zwar gestoppt, aber nicht umgekehrt werden. Denn beim Neu- und Ausbau der Schienenwege hält der Bund sich nach wie vor zurück.

Besonders im Vergleich zu unseren europäischen Nachbarn wird deutlich: In Deutschland wird immer noch nur mager in das Schienennetz investiert. Pro Kopf flossen 2022 114 Euro in die Schieneninfrastruktur. In Schweden etwa sind die Pro-Kopf-Ausgaben rund doppelt so hoch und in der Schweiz liegen die Pro-Kopf-Ausgaben sogar bei 413 Euro – mehr als drei Mal mehr als in Deutschland.“ (Flege/Allianz pro Schiene e.V: 2023).

Die Auswirkungen dieser Situation im deutschen Bahnverkehr bilden sich dementsprechend auch in der nachfolgenden Grafik ab (Abbildung 5):

| Modal Split | 2013 | 2022 | 2026 |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|
| Motorisierter Individualverkehr | 80,5% | 80,5% | 77,1% |
| Schienenpersonenverkehr | 7,8% | 9,1% | 10,5% |
| Öffentlicher Straßenpersonenverkehr | 6,7% | 5,7% | 6,5% |
| Luftverkehr | 5,0% | 4,6% | 5,9% |
| | 100,0% | 100,0% | 100,0% |

Tab. 1: Entwicklung des Modal Split im Personenverkehr in Deutschland in den Jahren 2013 bis 2026 (Anteil an der Verkehrsleistung) (statista, 2023c).

„Der private Pkw bleibt also das beliebteste Verkehrsmittel in Deutschland – im Jahr 2022 machte der motorisierte Individualverkehr einen Anteil von rund 81 Prozent am Modal Split im Personenverkehr in Deutschland aus. Den zweitgrößten Anteil machte mit etwa 9 Prozent der Schienenpersonenverkehr aus. Darauf folgten der öffentliche Straßenverkehr und der Luftverkehr. Aufgrund der Corona-Krise war in den Jahren 2020 und 2021 der Anteil vom Individualverkehr bedeutend größer als in den Vorjahren.

Die Nachfrage nach Mobilitätsdienstleistungen nahm vor der Corona-Krise zu. Die Anzahl der Reisenden im Schienenpersonenverkehr der Deutschen Bahn war seit Jahren tendenziell steigend und erreichte im Jahr 2019 mit rund 2,6 Milliarden Passagieren einen Allzeitrekord. Die Anzahl der Fahrgäste im Linienfernbusverkehr stagnierte seit Jahren mit rund 23 Millionen Passagieren auf einem vergleichsweise hohen Niveau. Der Fernbusmarkt wurde erst Anfang des Jahres 2013 liberalisiert. Ebenso erreichte die Anzahl der beförderten Personen im Luftverkehr in Deutschland im Jahr 2019 einen Rekordwert. In den Jahren 2020 und 2021 ging jedoch der Schienen-, Bus- und Flugpassagierverkehr aufgrund der Corona-Krise deutlich zurück.“ (statista 2023c).

5 These 4: Umstieg auf ein Elektrokraftfahrzeug durch eine fundierte persönliche und wirtschaftliche Entscheidung

Trotz steigender Zulassungszahlen ist die individuelle Skepsis und Ablehnung in Deutschland noch immer groß. In einer Umfrage aus dem Jahr 2021 gaben 18 Prozent der Befragten in Deutschland an, sich wahrscheinlich als nächsten PKW ein Elektroauto zu kaufen. Weltweit waren rund 28 Prozent der Befragten dieser Meinung (Statista Research Department 2023). Die Gründe für die Ablehnung eines BEV sind vielfältig. Sie reichen von einem zu hohen Preis über eine zu geringe Reichweite und mangelnden öffentlichen Lademöglichkeiten bis hin zu Zweifeln an der Umweltverträglichkeit. Die Mehrheit der Autofahrer ist gegen das Verbrenner-Aus 2035, bei dem nach einem Beschluss der EU neu zugelassene Autos ab 2035 emissionsfrei – also ohne CO₂-Ausstoß – fahren müssen (Die Bundesregierung Deutschland 2023). Dabei sind die Prozesse derzeit sehr dynamisch, so dass eine aktuelle und individuelle Betrachtungsweise empfehlenswert ist.

Eine wichtige Empfehlung lautet, zunächst das eigene Fahrprofil über einen längeren Zeitraum zu analysieren (Jeremias 2020). Das kann in Form eines Fahrtenbuches passieren, in dem über einen längeren Zeitraum die Einzelfahrten dokumentiert und ausgewertet werden. Von entscheidender Bedeutung ist die durchschnittliche tägliche Fahrstrecke, die in der Regel 150 bis 200 km/Tag nicht überschreiten wird. Daraus können folgende Entscheidungskriterien abgeleitet werden:

- Benötige ich ein oder zwei private PKW tatsächlich?
- Welche Akkugröße und damit Fahrzeuggröße ist sinnvoll, um die Anschaffungskosten zu minimieren? Daraus lässt sich der Preis maßgeblich beeinflussen.
- Welche Lademöglichkeiten nutze ich vorrangig: (@home; @work; @public)?
- Welche Betriebskosten spare ich gegenüber einem vergleichbaren Verbrenner?

- Welche Fördermöglichkeiten und steuerliche Erleichterungen können genutzt werden?
- Welche Bedeutung messe ich dem Ressourcen- und Klimaschutz bei?

Die vorstehenden Empfehlungen gelten auch für den gewerblichen Umstieg auf Elektromobilität.

Die Akkugröße bestimmt maßgeblich den Fahrzeugpreis und bindet zahlreiche Rohstoffe, die nicht in Deutschland als Rohstoffe direkt verfügbar sind. Aktuelle Kosten für Lithium-Ionen-Akkus liegen zwischen 110 und 140 Euro pro Kilowattstunde, abhängig von Herkunft und Materialien. China produziert am günstigsten mit Lithium-Eisenphosphat-Akkumulatoren, während Europa teurere Nickel-Mangan-Kobalt-Akkumulatoren herstellt. Experten erwarten bis 2024 einen Preisrückgang auf etwa 100 Euro pro Kilowattstunde, wodurch BEV mit konventionellen Verbrennungsmotoren preislich konkurrenzfähig werden. Im Jahr 2010 kosteten Elektroauto-Batterien etwa 600 Euro pro Kilowattstunde Kapazität (Eichenberg 2023). Die Akkukosten haben derzeit einen Anteil von 30 bis 40 % am Fahrzeugpreis. Ein Technologiesprung zum Feststoffakkumulator wird in den nächsten 5 Jahren erwartet (Post-Lithium-Technologie). Dadurch sollen die spezifische Kapazität von derzeit ca. 200 Wh/kg auf mehr als 500 Wh/kg erhöht und die Akkumulatorkosten gesenkt werden. Aber auch dem Akkumulatorrecycling wird zukünftig eine große Bedeutung gewinnen, nach dem Fahrzeugakkumulatoren nach ca. 10 Jahren Fahrzeugeinsatz ein weiteres „Second Life“ von ca. 10 Jahren in stationären Akkumulatorstationen absolviert haben.

Aktuell überbieten sich die Elektroautohersteller mit hohen Reichweiten für BEV. Das wird aber vorrangig durch „mehr Batterie“ herkömmlicher Bauweise (Li-Ionen-Technologie) erreicht. In der Folge werden die Fahrzeuge größer und damit deutlich teurer. Dieser Effekt wird durch die steigende Nachfrage nach diesen Rohstoffen beschleunigt. Elektromobilität wird in Folge dessen im Massenmarkt unattraktiver, inakzeptabler und unbezahlbarer bei vielen Kunden.

Eine akzeptable Batteriegröße klassischer Bauart und unter Berücksichtigung der typischen Fahrprofile in Deutschland sollte nach Auffassung des Autors eine Kapazität zwischen 40 bis maximal 60 kWh bei voller Aufladung haben. Das wirkt auch dem Vorurteil entgegen, Elektroautos seien nicht nachhaltig, insbesondere durch die CO₂-Emissionen bei der Herstellung.

Vergleicht man die Vollkosten eine ID.3 Pro von Volkswagen mit einem Golf 2.0 TDI SCR Life DSG, dann betragen diese bei einer jährlichen Laufleistung von 15.000 km 44,4 Cent/km zu 57,0 Cent/km (Wieler/Kroher 2023). Ein BEV ist also heute bereits wirtschaftlich darstellbar.

6 These 5: Asiatischen Märkte geben in der Technologieentwicklung den Takt an

Die europäischen und insbesondere die deutschen Automobilhersteller haben nach Auffassung des Autors lange Zeit die Entwicklung der Elektromobilität und insbesondere den Trend zum BEV unterschätzt. In Asien und insbesondere in China wurde das Elektroauto als Mittel der Wahl für die Befriedigung der individuellen Mobilitätsbedürfnisse gesehen. Der Weg über die Verbrennungstechnologie wurde dort verworfen, weil der technologische Stand der führenden Automobilhersteller nicht kurzfristig erreichbar schien. Mit Subventionen des Staates wird China einer der führenden Herstellernationen neben Südkorea und den USA. Innovationen und Qualität der „Newcomer“ sind als führend und konkurrenzfähig einzuschätzen. Eine aktuelle Statistik aus dem Jahr 2022 belegt die erfolgreiche Marktdurchdringung (Irle 2023). Die Volkswagen AG hat in Deutschland nach der Diesellaffäre im Jahr 2016 den konsequentesten Weg in Richtung Elektromobilität eingeschlagen, kann aber aktuell auch auf dem chinesischen Markt nicht mehr an erfolgreiche frühere Positionen anschließen. Der weltweite Verkauf von Elektroautos (BEV und PEHV) hat sich von 2021 auf 2022 für folgende Modelle (Auswahl) wie folgt entwickelt:

- Geely Auto Group (China): + 251 %
- BYD (China): + 211 %
- Changan Automobile (China): + 134 %
- Hozon Auto (China): + 113 %
- Hyundai (Südkorea): + 43 %

- Tesla (USA): + 40 % (nur BEV)
- Ford (USA): + 55 %
- Stelantis (Frankreich): + 34 %
- Nio (China): + 33 %
- BMW (Deutschland): + 32 % (vorwiegend noble SUV der Oberklasse)
- GM incl. Wuling (USA/China): + 23 %
- Mercedes Benz (Deutschland): + 20 % (vorwiegend noble SUV der Oberklasse)
- Volvo / Polestar (Schweden/China): + 15 %
- Volkswagen (Deutschland): + 10 %.

Ein besonderes Problem besteht in der Tatsache, dass in Deutschland aktuell (September 2023) kaum noch Angebote an BEV der unteren Mittelklasse und kleiner im Preissegment unter 30.000 € brutto verfügbar sind. Eine eigene Marktanalyse identifizierte 2 bis 4 Fahrzeuge. Das ist für die Verbreitung der Elektromobilität und der unter Punkt 1 diskutierten Vision kontraproduktiv. Auch hier ist bekannt, dass ab 2023 wieder chinesische BEV als Kleinwagen in den europäischen Markt stoßen werden.

Eine Million New Energy Vehicles (NEV) will SAIC-GM-Wuling im Jahr 2023 absetzen. Hierfür setzt das chinesische Joint Venture, unter Beteiligung von General Motors, unter anderem auf Mini-Elektrofahrzeuge und bietet seit Ende März in China mit dem Bin Guo ein neues, interessante Modell an. Dieses startet ab umgerechnet 8.000 Euro bis maximal 11.200 Euro und bringt eine Reichweite von bis zu 333 km (CLTC-Zyklus) mit sich (Henßler 2023). Autohersteller können kleine Elektroautos, die in Europa hergestellt wurden, für 25.000 Euro verkaufen und gleichzeitig Gewinne erzielen, so eine aktuelle Studie, die auf einer Analyse des Beratungsunternehmens Syndex basiert (Transport & Environment 2023).

Das derzeit preiswerteste europäische BEV-Kleinwagen ist der Dacia Spring Extreme Electric 65 ab 25.550 € brutto Listenpreis (September 2023).

Insgesamt wird also die These, dass heute insbesondere chinesische und amerikanische Automobilhersteller den internationalen Markt bestimmen, bestätigt.

7 These 6: Integration des BEV in Stromnetz- und -speicherkapazitäten

Ein Argument gegen die Elektromobilität wird häufig benutzt, dass es nicht genügend Elektroenergie aus Vermögensenergiequellen bereitgestellt werden kann und dass insbesondere die örtlichen Stromnetze überlastet werden können. Beide Argumente sind aktuell nicht wegzudiskutieren, aber es gibt Lösungsansätze. Selbstverständlich verschärft sich das Problem durch den Trend zu großen Akkumulatoren in den Fahrzeugen und zu hohen Ladeleistungen, um die Aufladung insbesondere bei Langstreckennutzung zeitlich zu minimieren. Beide Aspekte sind das Ergebnis des gegenwärtigen allgemeinen Trends zu großen Fahrzeugen mit Reichweiten bis 700 km. Dieser Trend missachtet die Feststellung, dass Elektroautos auch in den zurückliegenden Jahren schon die im Winter übliche 150 bis 200 km Tagesfahrstrecke mit nur einer Akkuladung bei kleineren Akkumulatoren erreichen konnten. Strategien dagegen sind:

- Ladeleistungen müssen nicht so hoch wie möglich, sondern sollten nur so hoch wie nötig sein! Dem kommt entgegen, dass individuelle Kraftfahrzeuge die längste Zeit des Tages nachweislich „Stehzeuge“ sind. 80 % der Ladevorgänge finden zu Hause und am Arbeitsplatz statt (Geiger 2020). Darüber hinaus schont langsames Aufladen den Akkumulator und schützt vor schnellen Kapazitätsverlusten. Durch Nutzung von Lademanagementsystemen ist darüber hinaus eine bessere Auslastung der Stromnetze möglich.
- Nutzung Einkommensenergie (insbesondere Photovoltaik und bislang vernachlässigte Kleinwindkraft) für das Laden vor Ort (z. B. zu Hause). Das entlastet die Stromnetze vor-Ort. Im September 2023 startete die Bundesregierung eine neue Wallbox-Förderung für E-Auto-Besitzerinnen und -Besitzer mit Eigenheim. Das Programm "Solarstrom für Elektroautos" soll

Privatpersonen, die ein Haus besitzen und selbst bewohnen, bei der Installation einer Ladestation in Verbindung mit einer Photovoltaikanlage und eines Batteriespeichers finanziell unterstützen. Dafür stellt das Verkehrsministerium insgesamt 500 Millionen Euro zur Verfügung. Einen Investitionszuschuss kann erhalten, wer sich die Komponenten fabrikneu anschafft und sie zum Zeitpunkt des Förderantrags noch nicht bestellt hat. Hierbei zählt auch die Erweiterung einer schon bestehenden Photovoltaikanlage um mindestens 5 Kilowattpeak. Weitere Voraussetzung: Ein selbst genutztes, rein elektrisches Auto ist vorhanden oder bestellt. Im Fall eines Leasings muss der Vertrag mindestens zwölf Monate laufen (Paulsen/Gieße 2023). Für das solare Laden, insbesondere das solare Überschussladen gibt es praktikable Lösungen, die den solaren Eigenanteil erhöhen und damit die Wirtschaftlichkeit einer PV-Anlage durch die Einbeziehung des Ladens des Elektroautos deutlich erhöhen und das Fahren preiswerter machen können (Steiner/Knepper 2023).

- Bidirektionales Laden von BEV (auch Vehicle-to-Home oder Vehicle-to-Grid) und Einbeziehung in die Stabilisierung der öffentlichen Stromnetze. Es gilt als nachgewiesen, dass Elektroautos bedeutsame Kapazitäten für die Speicherung von Elektroenergie im öffentlichen Stromversorgungssystem bereitstellen können. Unidirektionale Ladegeräte senden Elektrizität in eine Richtung vom Netz zum Fahrzeug, während der Strom bei bidirektionalen Ladegeräten in beide Richtungen fließt. Folgende Modelle können aktuell (Stand: 11/2022) bidirektional laden: Nissan Leaf, Nissan e-NV200, Polestar 3, Mitsubishi Outlander Plug-in Hybrid, Hyundai Ioniq 5 und 6, Kia EV6, Honda e, MG 5. Beachtenswert ist, dass insbesondere wieder die asiatischen Hersteller die Option des bidirektionalen Ladens bereits ermöglichen. Volkswagen bereitet seine Fahrzeuge auf bidirektionales Laden vor. In Deutschland sind noch die erforderlichen rahmenrechtlichen Bedingungen zu schaffen und vor allem ist die Digitalisierung der öffentlichen Stromversorgung umzusetzen (Mantey 2023).

8 These 7: Technologieentwicklung

Die aktuelle Technologieentwicklung kann mit folgenden Themen zusammengefasst werden:

- Nutzung von Einkommensenergien bei der Fahrzeugherstellung und beim späteren Recycling
- Akkumulatorentwicklung zur Erhöhung der Leistungsdichte und Lebensdauer, Substitution bzw. Minimierung kritischer Rohstoffe dafür
- Post-Lithium-Akkumulator (u. a. Feststoffakkumulator)
- Fahrerassistenzprobleme und autonomes Fahren
- Fahrzeug- und Akkumulatorrecycling zur umweltverträglichen Rückgewinnung und Wiederverwendung von Rohstoffen.

Auf den jeweiligen Technologiegebieten sind international umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsvorhaben auf dem Weg. Über vertiefende Details wird in Folgevorträgen berichtet. Zu einzelnen Aspekten ist an anderer Stelle im Vortrag Stellung bezogen worden.

9 These 8: Wasserstoffnutzung in der individuellen Mobilität

Das Thema Wasserstoffnutzung in der individuellen Mobilität wird immer wieder in der Öffentlichkeit kontrovers diskutiert, neuerdings auch verstärkt in Bezug auf die Nutzung von wasserstoffbasierenden E-Fuels. Diese Diskussionen verkennen die Tatsache, dass Wasserstoff aus Einkommensenergien in Zukunft ein sehr nachgefragtes Gut in allen Bereichen der gesellschaftlichen Produktion, insbesondere in der Chemie-, Stahl-, Zement- und Glasproduktion sein wird. Auch hier gilt die Überlegung, dass bei Tagesstrecken von durchschnittlich bis zu 200 km im individuellen BEV-Verkehr die direktelektrische Nutzung auf Grund der höchsten Effizienz vorrangig sein wird. Eine Studie zeigt, dass für jeweils 100 km Fahrstrecke bei der direkten Stromnutzung im BEV etwa 15 kWh pro 100 km Strom aus Einkommensenergien benötigt werden (Hochfeld/Jung/Klein-

Hitpaß/Maier/Meyer/Vorholz 2017). Beim Brennstoffzellenfahrzeug (FCBV) sind es auf Grund der höheren Wirkungsgradverluste aktuell 31 kWh pro 100 km, beim Verbrenner mit wasserstoffbasierten Gas 93 kWh pro 100 km und bei Verbrenner mit wasserstoffbasiertem E-Fuel 103 kWh pro 100 km. Das ist eine physikalische Gesetzmäßigkeit. Vor dem Hintergrund des hohen Aufwandes bei Transformation von der fossilen zur „erneuerbaren“ Energieerzeugung ist die allgemeine Schlussfolgerung eindeutig: Es gibt beim Elektroauto keine Alternative zum direktelektrischen BEV. Erzeugung und Nutzung von E-Fuels werden voraussichtlich für eine befristete Übergangszeit erforderlich sein. Eine verbreitete Nutzung beim „normalen Betrieb“ von Verbrennungs-PKW wird sich voraussichtlich über den Preis ausschließen. Für Sonderfälle (z. B. Oldtimer) werden E-Fuels an Bedeutung gewinnen. Die Wirkungsgradketten verschiedener Antriebsarten sind in Abbildung 6 zusammengestellt.

| Vergleich Energieeffizienz verschiedener Antriebsarten | Direktstrom | Wasserstoff | Power-to-Liquid |
|--|--|--------------|-----------------|
| | BEV | FCBV | Verbrenner |
| | Primärenergieeinsatz ("Grüner Strom" aus Sonne, Wind und Wasser) | | |
| | 100% | 100% | 100% |
| Energiewandlungsstufen | | Wirkungsgrad | |
| Elektrolyse | | 70% | 70% |
| CO2-Abscheidung Fischer-Tropsch-Synthese | | | 63% |
| Transport, Speicherung und Verteilung | 95% | 76% | 95% |
| Effizienz der Treibstoffproduktion | 95% | 53% | 42% |
| Wechselrichter AC → DC | 95% | | |
| Batteriebe- und -entladung | 95% | | |
| Brennstoffzelle | | 50% | |
| Wechselrichter DC → AC | 95% | 95% | |
| Elektromotor/Verbrennungsmotor | 90% | 90% | 30% |
| Gesamteffizienz | 73% | 23% | 13% |

Tab. 2: Wirkungsgradketten verschiedener Antriebsarten (smaveo Tobias/eigene Darstellung 2023).

Ein Kundenmotiv für Wasserstoff- oder E-Fuel Nutzung sind das Erreichen großer Reichweiten bzw. kurzer „Tank“- bzw. Ladezeiten. Beim BEV hat das bei den Herstellern zur Erhöhung der Ladeleistungen von früher bis 22 kW (AC = Wechselstrom) auf inzwischen bis zu 350 kW (DC = Gleichstrom) geführt. Das begründet auch die Vergrößerung der Akkumulatorkapazitäten auf bis zu 120 kWh, um Reichweiten von über 600 km mit einer Akkuladung zu erzielen. Ladeleistungen von 150 kW und mehr werden zum neuen „Mainstream“. Große Akkumulatoreinheiten sind aber nur in großen und damit sehr teuren Fahrzeugen (SUV) zu platzieren. Außerdem sind hier die Gewinnmargen für die Hersteller am größten. Die Politik hat bisher dem wenig aus der Sicht des Klima- und Ressourcenschutzes entgegengesetzt. Im Gegenteil elektrische BEV-Kleinwagen sind nach Auffassung des Autors derzeit „diskriminiert“.

Die vorstehend geschilderte Entwicklung spiegelt sich bereits auch im Ausbau der öffentliche Ladeinfrastruktur praktisch wider:

- Errichtung von „Urban-Hubs“ mit bis zu 12 Ladepunkten mit je 300 kW (DC)
- Errichtung von „Retail-Hubs“ mit zu 12 Ladepunkten mit je 150 kW (DC)
- Errichtung von „Long-Distanz-Hubs“ zu 20 Ladepunkten mit je 300 kW (DC) (Sillober 2023).

Diese Strategie der BEV-Größe und Ladeinfrastruktur widerspricht der Vision gemäß Abbildung 1 komplett und wird der Elektromobilität voraussichtlich die Bedeutung für den Klima- und Ressourcenschutz entziehen, die sie haben soll. Der Weg zur 1 zu 1 Substitution des privaten PKW vom Verbrenner zum BEV ist damit unwiderruflich zementiert und falsch.

Die fehlende Ladeinfrastruktur ist eines der wesentlichen Argumente gegen das BEV. Die Bundesregierung hat zum Ausbau der Ladeinfrastruktur in Deutschland den Masterplan Ladeinfrastruktur II verabschiedet (Bundesregierung Deutschland 2022a). Eine vollständige und aktuelle Übersicht über den Bestand von öffentlichen Normal- und Schnellladestationen bietet das Ladesäulenkarte der Bundesnetzagentur, da alle öffentlichen Ladestationen der Behörde meldepflichtig sind. „Das Ladesäulenregister der Bundesnetzagentur enthält 78.918 Normalladepunkte und 18.577 Schnellladepunkte, die am 1. Juli 2023 in Betrieb waren. An den Ladepunkten können gleichzeitig insgesamt 3,37 GW Ladeleistung bereitgestellt werden.“ (Bundesnetzagentur 2023). Eine Kennzahl für die Auskömmlichkeit an öffentlichen Ladesäulen ist der sogenannte Ladesäulen-Index. Er sollte 10 zu 1 betragen, das heißt ein Ladepunkt pro 10 zugelassen elektrische Kraftfahrzeuge. Per 01.07.2023 beträgt der Ladesäulenindex 12 zu 1 (nur BEV), das heißt 12 zugelassene BEV teilen sich eine öffentliche Ladesäule. Die Schlussfolgerung ist, dass ein weiterer Ausbau der öffentlichen Ladesäuleninfrastruktur erforderlich ist. Der Bedarf ist aber regional differenziert zu betrachten, in den Städten und Metropolen wird er höher als im ländlichen Raum sein, weil dort die privaten Ladelösungen dominieren.

10 These 9: Ganzheitliche Energiebilanz Deutschland

Die Erfüllung des Sektorenziels im Verkehr wird ganz maßgeblich auch davon abhängen, wie und wann die benötigte Elektroenergie

- für die Produktion, den Betrieb und das Recycling von Elektrofahrzeugen
- für den öffentlichen Nah- und Fernverkehr
- Für die Erzeugung von grünem Wasserstoff und synthetischer, wasserstoffbasierender Treibstoffe für die Luft- und Schifffahrt
- Für die Digitalisierung der Prozesse im Verkehr

bereitgestellt werden kann.

Es gibt verschiedene Szenarien für den Ausbau der elektrischen Erzeugung auf Grundlage der Einkommensenergien Sonne und Wind. Hier sollen die bekannten Ansätze der Bundesregierung herangezogen werden. Die Ausbauziele gehen von einem zukünftigen durchschnittlichen PV-Zubau von 15,7 GW pro Jahr bis 22,0 GW pro Jahr bis 2030 aus. Im Onshore-Wind-Zubau sind 4,9 bis 10,0 GW pro Jahr optioniert (Metzger/von Roon 2022). Die angegebenen Zubauspanspannen zeigen die Unsicherheiten auf, die wohl in der Prognose liegen.

Eine Schätzung des Brutto-Stromverbrauchs des BMWi stammt aus dem Juli 2021. Danach werden im Jahr 2030 645 bis 665 TWh pro Jahr (2018: 595 TWh pro Jahr) Elektroenergie in Deutschland benötigt.

„Haupttreiber des Verbrauchsanstiegs ist der Verkehrssektor. Insbesondere die gesteigerte Elektromobilität im Straßenverkehr trägt zum Anstieg bei (+68 TWh). Davon entfallen rund 44 TWh auf die Pkw, 7 TWh auf leichte Nutzfahrzeuge und 17 TWh auf schwere Nutzfahrzeuge. Wird zusätzlich der Stromverbrauch für Busse und Zweiräder hinzugezählt, ergibt sich im Jahr

2030 insgesamt ein Stromverbrauch für die Elektromobilität von rund 70 TWh (ohne Schienenverkehr).

Die Zahl der Batterieelektrischen Fahrzeuge (BEV) steigt im Szenario bis zum Jahr 2030 auf 16 Millionen Pkw, hinzukommen 2,2 Millionen Plug-in-Hybride (PHEV). Im Jahr 2018 gab es erst rund 100 Tausend Elektro-Pkw, der damit verbundene Stromverbrauch lag bei schätzungsweise 0,3 TWh.“ (Kemmler/Wünsch/Burret 2021).

Ende April 2023 wurde die vorstehende Prognose zum Brutto-Stromverbrauch seitens der Bundesregierung von 665 TWh/Jahr auf 750 TWh erhöht.

„Die Bundesregierung hat eingerechnet, dass der Strombedarf steigen wird. Denn Industrieprozesse, Wärmeerzeugung und Verkehr werden zunehmend elektrifiziert. 2030 sollen daher rund 600 Terawattstunden (TWh) Strom aus erneuerbaren Energien bereitgestellt werden – ausgehend von einem höheren Bruttostromverbrauch von etwa 750 TWh.“ (Bundesregierung Deutschland 2023b).

Man wird bei der Recherche den Eindruck nicht los, dass eine genaue Energiebilanz für Deutschland wohl noch nicht existiert. Das wäre aber für die Anforderungen zur Senkung der CO₂-Emissionen in allen Sektoren fachlich zwingend. Im Gegenzug wird das Klimaschutzgesetz entschärft, in dem die Sektorenziele zur Senkung der CO₂-Emissionen abgeschafft werden. Diese Vorgehensweise ist nach Auffassung des Autors handwerklich bedenklich und fachlich nicht seriös.

11 These 10: Fairer Welt- und Rohstoffhandel

„Die Rohstoffe Lithium, Kobalt, Nickel, Grafit und Platin sind für ein schnelles weltweites Wachstum der Elektromobilität ausreichend vorhanden. Die weltweiten Vorkommen übersteigen den prognostizierten Bedarf jeweils deutlich. Dieses ist selbst dann der Fall, wenn der Rohstoffbedarf gleichzeitig durch Nachfrage für andere Anwendungsbereiche weiter ansteigt.

Temporäre Verknappungen oder Preissteigerungen für einzelne Rohstoffe – insbesondere für Lithium und Kobalt – sind nicht auszuschließen. Das ist vor allen Dingen darauf zurückzuführen, dass nicht garantiert werden kann, dass alle neu zu erschließenden Förderstätten rechtzeitig fertig gestellt werden oder dass der Export aus den Förderländern zu jeder Zeit in ausreichenden Mengen garantiert werden kann.

Die Förderung von Rohstoffen für die Elektromobilität ist mit Umwelt- und Sozialproblemen verbunden – wie die Förderung vieler anderer Rohstoffe für andere Verwendungszwecke auch. Zu nennen sind insbesondere ein oft sehr hoher Energiebedarf, das Entstehen saurer Grubenwässer, Wasserkonflikte zwischen Bergbauunternehmen und indigenen Völkern sowie nicht vertretbare Arbeitsbedingungen in Minen. Besonders problematisch ist zurzeit die Kobaltförderung im Kleinbergbau in der Demokratischen Republik Kongo einzuschätzen, wo der Großteil der bekannten Kobalt-Vorkommen zu finden ist.“ (Buchert/Degreif/Dolega 2017).

Es darf also die Tatsache nicht verkannt werden, dass Deutschland wichtige Rohstoffe importieren muss, um die Elektromobilität hochzufahren. Die aktuellen Konflikte wie Migrationsbewegungen im großen Ausmaß und Kriege um die Aufteilung von Rohstoffen und Ressourcen warnen davor, in der Zukunft die gleichen Fehler wie bisher zu machen. Umso wichtiger ist die konsequente Umsetzung einer Strategie entsprechend der Vision nach Abbildung 1. Es hat aber den Anschein, dass in den aktuellen Rahmenbedingungen der Politik diese Aspekte ungenügend berücksichtigt sind.

12 Gesamteinschätzung im Jahr 2023 und weitere Strategie

Die Gesetzesvorgaben zur Umsetzung des Klimaschutzes im Verkehr sind bereits umfassend vorhanden (NOW GmbH 2022). Trotzdem stagniert die Entwicklung in diesem Sektor weiter.

Deutschland hat 2021 das Ziel des Klimaschutzgesetzes im Verkehr um 3 Mio. t CO₂-Äquivalente verfehlt. Nach Schätzungen wird das Ziel 2022 um 11 t CO₂-Äquivalente verfehlt, obwohl bis 2030 die Emissionen im Verkehr auf 85 t CO₂-Äquivalente sinken sollen. Allerdings hat die

Bundesregierung die einzelnen sektoralen Ziele des Klimaschutzgesetzes unverständlicherweise im Jahr 2023 aufgegeben (Thöne/Gerhards/Andor/Tomberg/Elmer 2022).

Nachfolgend werden die wichtigsten Maßnahmen zur Umsetzung von Klima- und Ressourcenschutz im Sektor Verkehr zusammengefasst. Sie sind als Empfehlungen an die Politik zu verstehen (Hochfeld/Hörmandinger/Aichinger et al. 2021):

- Für den motorisierten Straßenverkehr sind faire Preise und sozialgerechte CO₂-Bepreisung durchzusetzen. Dabei ist Akzeptanzbereitschaft der Bevölkerung zu berücksichtigen und es sind bezahlbare Alternativen zu schaffen. Klimafreundliche Kraftfahrzeuge müssen angemessen in der Größe und bezahlbar sein.
- Im öffentlichen Raum sind die Verkehre so zu organisieren, dass er dem Gemeinwohl dienen. Die vorhandene Autozentrierung ist zu überwinden. Der vorhandene öffentliche Verkehrsraum ist für alle nutzbar zu machen.
- Auch im ländlichen Raum ist eine individuelle Mobilität ohne eigenes Auto zu ermöglichen. Die Elektromobilität ist für die Bewältigung der „ersten und letzten Meile“ zu nutzen, insbesondere um die Knotenpunkte zum ÖPNV zu verknüpfen.
- Die notwendige Finanzierung zur Erweiterung der Angebote von Bahn und Bus ist durch öffentliche Mittel sicherzustellen einschließlich der erforderlichen Digitalisierung.
- Ein nachhaltiger Hochlauf der Elektromobilität in der Einheit von vollelektrischen Kraftfahrzeugen und des Ausbaus der erforderlichen Ladeinfrastruktur ist zu beschleunigen. Allerdings wird eine 1 zu 1 Substitution von Verbrenner-PKW durch überdimensionale BEV nachhaltig nicht zielführend sein.
- Der Schienen-Personen- und vor allem -Güterverkehr ist massiv auszubauen. Schiene und Straße sind dabei besser zu vernetzen. Zubringer- und Verteil-Güterverkehr sollten vorrangig elektrisch erfolgen.
- Die Verkehrswegeplanung ist am Klimaschutz auszurichten. Straßennutzungsgebühren sind auszuweiten und umzuverteilen.
- Transformation und der Strukturwandel in der europäischen und deutschen Automobilindustrie vom Verbrenner zur Elektromobilität sind konsequent fortzuführen, um international auf diesem Gebiet wieder in eine Führungsposition zu kommen. Die Produktion ist nachhaltig auf Einkommensenergien umzustellen. Das Recycling gebrauchter BEV und Akkumulatoren ist wirkungsvoll zu etablieren.
- Die Verkehrswende ist international zu organisieren und die Kommunen sind als Träger der Verkehrswende zu befähigen.
- Die Ausführungen zeigen die Komplexität und die Herausforderungen bei der Gestaltung der Verkehrswende in Deutschland. Es handelt sich zweifellos um eine schwierige gesellschaftspolitische Aufgabe, die eine höchstmögliche Akzeptanz der Menschen erfordert. Pessimismus in der Beurteilung der Umsetzbarkeit ist nicht völlig unbegründet, da bereits „einfach“ zu machende Lösungen scheitern. Das betrifft beispielsweise die Einführung eines Tempolimits auf deutschen Autobahnen, wo durch Berechnungen zufolge eine Reduzierung von bis 5,4 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente (- 3,6 %) möglich ist (Umweltbundesamt Deutschland 2020). Oder auch die aktuelle Diskussion um die weitere Finanzierung des Deutschland-Tickets im Jahr 2024.

In diesem Beitrag wurde im Rahmen zugänglicher Daten eine Analyse des Standes der Verkehrswende in Deutschland im Jahr 2023 versucht. Nun obliegt es dem geschätzten Leser, sich eine eigene Meinung zu bilden, ob und wann die Ziele erreichbar sind?

Eines ist aber gewiss: Die Zeit drängt!

Bibliographie

- Becker, Udo J.; Gerike, Regine; Völlings, Andreas. (1999). *Gesellschaftliche Ziele von und für Verkehr; Schriftenreihe S. 71*. Institut für Verkehr und Umwelt e.V. (DIVU), S. 71; Dresden 1999, Dresden.
- Bongaerts, Robert; Krämer, Andreas; Wilger, Gerd. (11 2022). *Das 9-Euro-Ticket: Erfahrungen, Wirkungsmechanismen und Nachfolgeangebot* –. (Wirtschaftsdienst - Zeitschrift für Wirtschaftspolitik) Abgerufen am 7. 10 2023 von 102. Jahrgang, 2022; Heft 11; S. 873–880; JEL: H12, I38, Z10:
<https://www.wirtschaftsdienst.eu/inhalt/jahr/2022/heft/11/beitrag/das-9-euro-ticket-erfahrungen-wirkungsmechanismen-und-nachfolgeangebot-7220.html>
- Buchert, Matthias; Degreif, Stefanie; Dolega, Peter. (10 2017). *Strategien für die nachhaltige Rohstoffversorgung der Elektromobilität. Synthesepapier zum Rohstoffbedarf für Batterien und Brennstoffzellen.*, 04-2017-DE. (Öko-Institut e. V.) Abgerufen am 7. 10 2023 von Synthesepapier zum Rohstoffbedarf für Batterien und Brennstoffzellen:
<https://www.agora-verkehrswende.de/veroeffentlichungen/strategien-fuer-die-nachhaltige-rohstoffversorgung-der-elektromobilitaet/>
- Bundesnetzagentur. (1. 7 2023). *Ladesäulenregister*. Abgerufen am 7. 10 2023 von <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/E-Mobilitaet/Ladesaeulenkarte/Karte/start.html>
- Bundesregierung Deutschland. (10 2022a). *Masterplan Ladeinfrastruktur II der Bundesregierung*. (Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV)) Abgerufen am 7. 10 2023 von https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/masterplan-ladeinfrastruktur-2.pdf?__blob=publicationFile
- Bundesregierung Deutschland. (25. 4 2023b). *Energiewende beschleunigen*. (Bundesregierung Deutschland) Abgerufen am 7. 10 2023 von Mehr Energie aus erneuerbaren Quellen: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/schwerpunkte/klimaschutz/energiewende-beschleunigen-2040310>
- Dambek, Hans u. a. (4 2021). *Klimaneutrales Deutschland 2045*. (Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende) Abgerufen am 7. 10 2023 von Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann (Zusammenfassung): <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/klimaneutrales-deutschland-2045/>
- Die Bundesregierung Deutschland. (2023). *Neuzugelassene Pkw ab 2035*. (Bundesregierung Deutschland) Abgerufen am 7. 10 2023 von EU-Umweltrat: Nur noch CO2-frei fahren: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/schwerpunkte/europa/verbrennermotoren-2058450>
- Eichenberg, Thomas. (2023). *E-Auto-Batterie-Kosten*. (Mein Auto GmbH) Abgerufen am 7. 10 2023 von So viel kostet ein E-Auto-Akku: <https://www.meinauto.de/lp/ratgeber/e-auto-batterie-kosten>
- Flege, Dirk; Allianz pro Schiene e. V. (2023). *Das Schienennetz in Deutschland*. (Allianz pro Schiene e. V.) Abgerufen am 7. 10 2023 von <https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/infrastruktur/schienennetz/>
- Geiger, Stefan. (2020). *Grundlagen des Ladens von Elektroautos*. Webinar am 18.08.2020, The Mobility House GmbH, München.
- Gruschwitz, Dana; Ermes Bernd. (2017). *Mobilität in Deutschland 2017*. (Bundesministerium für Digitales und Verkehr) Abgerufen am 7. 10 2023 von <https://www.mobilitaet-in-deutschland.de/archive/publikationen2017.html>

- Henßler, Sebastian. (30. 3 2023). *China legt vor: E-Kleinwagen ab 8000 Euro, bis zu 300 km Reichweite*. (SH Webdienstleistungsgesellschaft mbH) Abgerufen am 7. 10 2023 von <https://www.elektroauto-news.net/news/china-legt-vor-e-kleinwagen-ab-8-000-euro-bis-zu-300-km-reichweite>
- Hochfeld, Christian; Hörmandinger, Günter; Aichinger, Wolfgang; Elmer, Carl-Friedrich; Fischer, Benjamin; Klein-Hitpaß, Anne; Kosok, Philipp; Maier, Urs; Meyer, Kerstin; Pützscher, Marena ; Riehle, Ernst-Benedikt; Schade, Maita; Tausendteufel, Fanny. (9 2021). *Vier Jahre für die Fairkehrswende*, 65-2021-DE. Abgerufen am 7. 10 2023 von Empfehlungen für eine Regierungs-Charta mit Kurs auf Klimaneutralität und soziale Gerechtigkeit im Verkehr in der 20. Legislaturperiode (2021–2025): <https://www.agora-verkehrswende.de/veroeffentlichungen/vier-jahre-fuer-die-fairkehrswende/>
- Hochfeld, Christian; Jung, Alexander; Klein-Hitpaß, Anne; Maier, Urs; Meyer, Kerstin; Vorholz, Fritz. (3 2017). *Mit der Verkehrswende die Mobilität von morgen sichern. 1.* Abgerufen am 7. 10 2023 von 2 Thesen zur Verkehrs- wende: https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2017/12_Thesen/Agora-Verkehrswende-12-Thesen_WEB.pdf
- Immen, Stefan. (02. 03 2023a). *Der Fahrzeugbestand in Deutschland am 01.01.2023*. (Kraftfahrzeugtechnisches Bundesamt Flensburg) Abgerufen am 7. 10 2023 von Pressemitteilung 08/2023: [https://www.kba.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Fahrzeugbestand/2023/pm08_fz_bestand_pm_komplett.html#:~:text=Personenkraftwagen%20\(%20Pkw%20\)%20bildete n%20mit%20rund,Tabelle](https://www.kba.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Fahrzeugbestand/2023/pm08_fz_bestand_pm_komplett.html#:~:text=Personenkraftwagen%20(%20Pkw%20)%20bildete n%20mit%20rund,Tabelle)
- Immen, Stephan. (5. 7 2023b). *Fahrzeugzulassungen im Juni 2023 - Halbjahresbilanz*. (Kraftfahrzeugtechnisches Bundesamt) Abgerufen am 7. 10 2023 von Pressemitteilung Nr. 27/2023: https://www.kba.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Fahrzeugzulassungen/2023/pm27_2023_n_06_23_pm_komplett.html?snn=3662144&fromStatistic=4241250&yearFilter=2023&monthFilter=06_Juni
- Irlé, Roland. (2023). *Global EV Sales for 2022*. (EV Volumes) Abgerufen am 7. 10 2023 von <https://www.ev-volumes.com/news/global-ev-sales-for-2022/>
- Janson, Mattias. (14. 2 2018). *Ridesharing-Nutzer in Deutschland auf dem Vormarsch*. (statista) Abgerufen am 7. 10 2023 von <https://de.statista.com/infografik/12901/ridesharing-nutzer-in-deutschland/>
- Jeremias, Ernst-Peter. (2020). *Löst Elektromobilität unser Klimaproblem im sektor Verkehr?* Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e. V., Klasse für Naturwissenschaften und Technik. Berlin: Leibniz-Online.
- Jeremias, Ernst-Peter. (8. Juni 2023). *Leibniz-Online*. Abgerufen am 10 2023 von Wo stehen wir aktuell bei der Transformation im Sektor Verkehr?: <https://leibnizsozietat.de/?s=Ernst-Peter+Jeremias>
- Kemmler, Andreas; Wünsch, Aurel; Burret, Heiko. (22. 10 2021). *Entwicklung des Bruttostromverbrauchs bis 2030*. (Prognos AG Berlin) Abgerufen am 7. 10 2023 von <https://www.prognos.com/de/projekt/entwicklung-des-bruttostromverbrauchs-bis-2030>
- Mantey, Nora. (15. 9 2023). *Netzintegration: E-Fahrzeuge als mobile Stromspeicher*. (Rabbit Publishing GmbH) Abgerufen am 7. 10 2023 von <https://www.electrive.net/2023/09/15/netzintegration-e-fahrzeuge-als-mobile-stromspeicher/>
- Metzger, Konstantin; von Roon, Serafin. (8. 4 2022). *Ausbauziele für PV-und Windkraft im Osterpaket des BMWK nochmals verschärft*. (Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V.) Abgerufen am 7. 10 2023 von

- <https://www.ffe.de/veroeffentlichungen/ausbauziele-fuer-pv-und-windkraft-im-osterpaket-des-bmwk-nochmals-verschaerft/>
- Meyer, Kerstin; Rublack, Esther; Quante, Marie. (2023). *Marktentwicklung von E-Autos*. (AGORA Verkehrswende) Abgerufen am 7. 10 2023 von Infografiken zu den Neuzulassungen elektrischer Pkw in Deutschland: <https://www.agora-verkehrswende.de/veroeffentlichungen/marktentwicklung-von-e-autos/>
- Michael Thöne, Michael; Eva Gerhards, Eva; Andor, Mark; Tomberg, Lukas; Elmer, Carl-Friedrich. (7 2022). *Steuersignale zur Transformation der Pkw-Flotte (Kompaktbericht)*. Abgerufen am 7. 10 2023 von Reformationen für eine faire und klimagerechte Kfz- und Dienstwagenbesteuerung: <https://www.agora-verkehrswende.de/veroeffentlichungen/steuersignale-zur-transformation-der-pkw-flotte-kompaktbericht/>
- NOW GmbH. (11 2022). *Gesetzeskarte Elektromobilität*. (NOW GmbH Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie) Abgerufen am 7. 10 2023 von https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2023/02/NOW_Gesetzeskarte-Elektromobilitaet.pdf
- Paulsen, Thomas; Gießel, André. (27. 9 2023). *Elektroauto: Aktuelle Förderung für die Wallbox*. (Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V. (ADAC)) Abgerufen am 7. 10 2023 von <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/kaufen/foerderung-wallbox/>
- Pawlik, V. (23. 8 2023). *Energiebedingte Treibhausgasemissionen durch den Verkehr in Deutschland in den Jahren 1990 bis 2022*. (STATISTA) Abgerufen am 7. 10 2023 von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/12174/umfrage/energiebedingte-treibhausgasemissionen-durch-verkehr-seit-1990/#:~:text=Die%20Statistik%20zeigt%20die%20Entwicklung,148%20Millionen%20Tonnen%20CO2%2DÄquivalenten>
- Schaal, Sebastian. (5. 9 2023). *E-Mobility Dashboard*. (Rabbit Publishing GmbH) Abgerufen am 7. 10 2023 von 86.649 neue Elektro-Pkw im August: <https://www.electrive.net/2023/09/05/86-649-neue-elektro-pkw-im-august/>
- Sillober, Timo. (27. 1 2023). „Der Kunde steht im Mittelpunkt.“ – „electrive.net LIVE“. Abgerufen am 7. 10 2023 von Beste Standorte für exzellentes Ladeerlebnis im EnBW HyperNetz: https://www.youtube.com/watch?v=1_R32j_3ZZo
- smaveo; ..., Tobias (eigene Darstellung). (24. 1 2023). *Elektroauto: Wasserstoff vs. Batterie – Welcher Antrieb ist besser?* (E.-P. Jeremias, Herausgeber, & Kleitsch Internet GmbH) Abgerufen am 27. 10 2020 von Wasserstoff Brennstoffzelle (FCEV) vs. Batterie Elektroauto (BEV): <https://www.smaveo.de/wasserstoffauto-vs-elektroauto-welcher-antrieb-ist-besser/>
- statista. (14. 9 2023a). *Anteil der Elektroautos am Bestand der Personenkraftwagen in Deutschland von 2013 bis 2023*. (Statista Research Department) Abgerufen am 7. 10 2023 von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/784986/umfrage/marktanteil-von-elektrofahrzeugen-in-deutschland/>
- statista. (5. 7 2023b). *Anzahl der Carsharing-Fahrberechtigten in Deutschland nach Varianten von 2014 bis 2023*. (Statista Research Department) Abgerufen am 7. 10 2023 von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/202416/umfrage/entwicklung-der-carsharing-nutzer-in-deutschland/>
- statista. (28. 8 2023c). *Entwicklung des Modal Split im Personenverkehr in Deutschland in den Jahren 2013 bis 2026*. (Statista Research Department) Abgerufen am 7. 10 2023 von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/168397/umfrage/modal-split-im-personenverkehr-in-deutschland/>
- Statista Research Department. (123. 4 2023). *Wie wahrscheinlich ist es, dass Sie sich als Nächstes ein E-Auto kaufen?* (statista) Abgerufen am 7. 10 2023 von

- <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1238150/umfrage/wahrscheinlichkeit-der-anschaffung-eines-e-autos-in-deutschland/>
- Steiner, Tobias; Knepper, Steffen . (2023). *Solarenergie und Elektromobilität - Ladeparks kosten- und energieeffizient*. Webinar, The Mobility House GmbH München, München.
- Tjarks, Gerd. (30. 05 2018). *Vortrag: Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien in Deutschland*. (Hochschule Karlsruhe) Abgerufen am 2023 9 von (eigene modifizierte Darstellung der Grafik): <https://www.youtube.com/watch?v=8JTyWgQpWxI>
- Transport & Environment (T&E). (21. 9 2023). *Studie: Elektro-Kleinwagen deutscher Autohersteller könnten schon ab 2025 gewinnbringend mit chinesischen Modellen konkurrieren*. (European Federation for Transport and Environment AISBL) Abgerufen am 7. 10 2023 von <https://www.transportenvironment.org/discover/studie-elektro-kleinwagen-deutscher-autohersteller-konnten-schon-ab-2025-gewinnbringend-mit-chinesischen-modellen-konkurrieren/>
- Umweltbundesamt Deutschland. (28. 2 2020). *Tempolimit auf Autobahnen mindert CO2-Emissionen deutlich*. Abgerufen am 7. 10 2023 von Umweltbundesamt berechnet CO2-Einsparung durch Tempolimit auf Bundesautobahnen: <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/tempolimit-auf-autobahnen-mindert-co2-emissionen>
- Wieler, Jochen; Kroher, Thomas. (28. 4 2023). *Kostenvergleich Elektroauto, Benziner oder Diesel: Was ist günstiger?* (Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V. (ADAC)) Abgerufen am 7. 10 2023 von <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/auto-kaufen-verkaufen/autokosten/elektroauto-kostenvergleich/>