

Stenografischer Bericht

öffentlicher Teil

15. Sitzung – Enquetekommission „Mobilität der Zukunft in Hessen 2030“

29. April 2022, 10:02 bis 12:24 Uhr sowie 12:44 bis 14:06 Uhr

Anwesend:

Vorsitz: Markus Meysner (CDU)

ordentliche Mitglieder:

CDU

Sabine Bächle-Scholz
Dirk Bamberger

stellvertretende Mitglieder:

CDU

BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN

Katy Walther

BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN

SPD

Elke Barth
Tobias Eckert
Knut John

SPD

Stephan Grüger

AfD

Arno Enners
Klaus Gagel

AfD

Freie Demokraten

Dr. Stefan Naas

Freie Demokraten

DIE LINKE

Axel Gerntke

DIE LINKE

Fraktionsassistentinnen und -assistenten:

CDU:	Ilka Heil
BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN:	Frank Müller
SPD:	Sven Bingel
AfD:	Fabian Flecken Klaus-Peter Kaschke
Freie Demokraten:	Falco Hartard
DIE LINKE:	Sebastian Scholl

Landesregierung:

HMWEVW

MinR Dr. Christian Langhagen-Rohrbach

Ständige Sachverständige:

Prof. Dr. Barbara Lenz

Dr.-Ing. Georg Gickeleiter

Dieter Posch

Prof. Dr. Martin Lanzendorf

Ständige Beratende Mitglieder:

Institution	Name	Anwesenheit
Hessischer Landkreistag	Dr. Michael Koch (Direktor)	
Hessischer Städtetag	Sandra Schweitzer (Referatsleiterin)	teilgenommen
Hessischer Städte- und Gemeindebund	Johannes Heger (Geschäftsführer)	teilgenommen
House of Logistics & Mobility GmbH (HoLM)	Michael Kadow (Geschäftsführer)	
LAG ÖPNV Hessen	Prof. Dr. Tom Reinhold (Geschäftsführer)	
Nordhessischer VerkehrsVerbund (NVV)	Sabine Herms (Leiterin Bereich Strategie und Presse)	teilgenommen
Rhein-Main-Verkehrsverbund (RMV)	Prof. Knut Ringat (Geschäftsführer)	
Verkehrsverbund Rhein-Neckar (VRN)	Christine Haban (Sachbearbeiterin der Abteilung Aufgabenträgerbetreuung und Vergabe)	
Regionalverband FrankfurtRheinMain	Rouven Kötter (Erster Beigeordneter und Mobilitäts- dezernent)	
Zweckverband Raum Kassel		

Sachverständige:

Dr. Martin Lange

Udo Lambrecht

Peter Kasten

Dipl.-Geogr. Jens Schippl

Emanuele Leonetti

Wissenschaftliche Beratung: Stephanie Mayer

Protokollierung: Swetlana Franz

Sonja Samulowitz

Rainer Klemann

Inhaltsverzeichnis:

1. Anhörung zum Thema „Energieeffizienter, sauberer und leichter motorisierter Verkehr“

Sachverständige:

Beiträge nationaler und EU-Instrumente für einen energieeffizienten und sauberen Verkehr

Dr. Martin Lange **S. 6**
Umweltbundesamt (UBA)
Dessau-Roßlau

Energieeffizienz im Gesamtsystem, alternative Kraftstoffe

Udo Lambrecht **S. 15**
Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu)
Heidelberg

Sektorenkopplung, Fläche und Infrastruktur

Peter Kasten **S. 22**
Institut für angewandte Ökologie (Öko-Institut)
Berlin

Autonomer Verkehr

Dipl.-Geogr. Jens Schippl **S. 46**
Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS)
Karlsruhe

Automatisierung im ÖV

Emanuele Leonetti **S. 55**
Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV)
Köln

2. Verschiedenes

siehe nicht öffentlicher Teil

1. Anhörung zum Thema „Energieeffizienter, sauberer und leichter motorisierter Verkehr“

Vorsitzender: Meine sehr geehrten Damen und Herren! Ich darf Sie alle recht herzlich begrüßen. Entschuldigt haben sich für heute die Abg. Karin Müller, die Ständigen Sachverständigen Dieter Posch – der uns aber digital zugeschaltet ist –, Petra Schäfer und Jutta Deffner. Von den Ständig beratenden Mitgliedern lassen sich entschuldigen: Rouven Kötter vom Regionalverband FrankfurtRheinMain, Michael Kadow vom HoLM und von der LAG ÖPNV Hessen Tom Reinhold.

Zum Programmablauf: Es ist schön, wenn sich die Sachverständigen gut kennen und sich absprechen. Sie haben einen Vorschlag gemacht, dem ich gern entspreche: Wir haben zunächst drei 20-minütige Vorträge. Es beginnt Dr. Martin Lange, dann folgen Udo Lambrecht und Peter Kasten. Danach haben wir eine Diskussionsrunde, und im Anschluss daran machen wir eine kleine Pause. Nach der Pause hören wir zwei weitere 20-minütige Vorträge, auf die wiederum eine Diskussionsrunde folgt. Zum Schluss wird der Punkt „Verschiedenes“ aufgerufen. So werden wir zügig durch die Tagesordnung kommen. Ich denke, dass nichts dagegen spricht.

Wie gesagt, ich begrüße alle, die heute gekommen sind, um an der Anhörung zu dem Thema „Energieeffizienter, sauberer und leichter motorisierter Verkehr“ teilzunehmen. Als erstem Anzuhörenden erteile ich Dr. Martin Lange vom Umweltbundesamt in Dessau-Roßlau, der uns digital zugeschaltet ist, das Wort.

Herr **Dr. Lange:** Vielen Dank, dass ich heute die Möglichkeit habe, für das Umweltbundesamt einige Erwägungsgründe im Hinblick auf einen energieeffizienten und schadstoffarmen Verkehr beizutragen.

Präsentation Dr. Lange siehe Anlage – Folie 2: „Gliederung“

Auf dieser Folie habe ich einige Punkte dargestellt, auf die ich im Vortrag kurz eingehen möchte. Zum einen möchte ich aufzeigen, welche Klimaziele es gibt, wie die aktuell absehbare Entwicklung aussieht und welchen Handlungsbedarf wir im Umweltbundesamt daraus ableiten. Zum anderen möchte ich auf die verschiedenen Optionen für eine Energiewende im Verkehr eingehen und darauf, welche Punkte wir bei einer Bewertung einbeziehen und wie eine erste, noch sehr grobe Bewertung aussieht. Im dritten Teil möchte ich auf wichtige nationale und EU-Instrumente eingehen, die dazu beitragen können, dass der Verkehr kurz- und mittelfristig energieeffizienter wird und dementsprechend die Erreichung der Klimaziele unterstützt.

Folie 3: „Entwicklung und Zielerreichung der Treibhausgasemissionen in Deutschland im Sektor Verkehr des Klimaschutzgesetzes (KSG)“

Hier ist dargestellt, wie sich die Emissionen des Verkehrs entwickelt haben. Wenn man sich das, ganz auf der linken Seite beginnend, anschaut, stellt man fest: 1990 betrug die Emissionen

rund 160 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente. Es gab dann ein paar geringe Änderungen. Es kam zu einem leichten Ansteigen der Emissionen; dann wurden ein paar Maßnahmen ergriffen, die dazu geführt haben, dass sie gesunken sind. Aber bis 2019 haben sich die Emissionswerte in Summe eigentlich quer bewegt, im Gegensatz zu anderen Sektoren und Bereichen, in denen die Emissionen schon deutlicher zurückgegangen sind.

Seit 2020 greift das Bundes-Klimaschutzgesetz mit den entsprechenden Sektorzielen. Erstmals wurden für den Verkehrssektor mit den verschiedenen Quellen Zielwerte festgelegt. Während im ersten Jahr das Sektorziel noch erreicht werden konnte, da es aufgrund der geringeren Mobilität infolge von Corona zu einem deutlichen Rückgang der Emissionen kam, ergaben die Daten der Vorjahresschätzung – also die vorläufigen Daten –, dass das Sektorziel im Jahr 2021 verfehlt wurde. Entscheidender ist aber, dass, entgegen dem Trend der querlaufenden Emissionswerte, die Emissionen bis 2030 deutlich zurückgehen müssen, und zwar auf ein Niveau von ca. 85 Millionen Tonnen. Es ist also eine Reduzierung um fast 50 % innerhalb einer Dekade notwendig. Das zeigt, dass tief greifende Maßnahmen umgesetzt werden können, die dazu führen, dass man die Energie effizienter nutzt und dass das Verkehrssystem klimaverträglicher wird.

Man sieht aber, dass es noch nicht ausreichend ist. Das zeigt die rote Linie: Sie verdeutlicht die Werte des „Projektionsberichts 21“ der Bundesregierung, in dem alle bis 2020 umgesetzten Maßnahmen schon berücksichtigt sind. Man sieht, dass die Emissionen absehbar nicht so stark zurückgehen, wie es zur Erreichung des Klimaschutzziels eigentlich notwendig wäre. Dabei werden in vielen Bereichen schon weitgehende Maßnahmen umgesetzt. Der Handlungsbedarf, den es an der Stelle gibt, wird noch einmal deutlich aufgezeigt.

Ein weiterer wichtiger Punkt: Wir sehen, dass der Verkehr bis 2045 in ganz Deutschland treibhausneutral sein muss. Das heißt, die Emissionen müssen weiterhin sehr stark zurückgehen. Es zeigt auf, welche Optionen überhaupt in Erwägung gezogen werden können. Das muss schon beim Ergreifen der entsprechenden Maßnahmen berücksichtigt werden, damit zum einen das 2030-Ziel erreicht wird und zum anderen die Emissionen bis 2045 ausreichend stark zurückgehen. Dargestellt sind auf dieser Folie das im Bundes-Klimaschutzgesetz verankerte Ziel und die klare Lücke, auf die ich im Laufe meines Vortrags noch einmal kurz eingehen möchte.

Folie 4: „Trotz der bisher beschlossenen Maßnahmen bleibt im Verkehr eine ‚Lücke‘ von 41 Mio. t CO₂-Äquivalenten im Jahr 2030“

Auf dieser Folie ist eingetragen, welche Maßnahmen der Projektionsbericht – lilafarbene Linie – schon mit berücksichtigt. Man sieht, dass an vielen Stellen über technische Maßnahmen, entsprechende Effizienzstandards oder auch Bepreisungsinstrumente Minderungen erzielt werden, durch die sich die Entwicklung signifikant von der Situation unterscheiden wird, die wir ohne diese Maßnahmen hätten. Man sieht aber – das habe ich schon ganz klar gezeigt –, dass die Lücke immer noch vorhanden ist. Ich glaube, das ist der entscheidende Punkt für das Aufzeigen des Handlungsbedarfs. Wie ich schon gesagt habe, sind die drei großen Bausteine zum einen effizientere Fahrzeuge – Elektromobilität; hauptsächlich werden die Fahrzeuge über die CO₂Standards auf EU-Ebene in den Markt gebracht –, zum anderen die CO₂-Bepreisung als wichtiges

nationales Instrument und schließlich die Kraftstoffe. Hier sind die regenerativen Kraftstoffe aus der RED II angeführt, die maßgeblich die Lücke schließen.

Folie 5: „Anspruchsvolle Klimaschutzziele im Verkehr sind nur mit einer Verkehrswende und einer Energiewende im Verkehr zu erreichen“

Dabei ist es aber wichtig – das hat Folie 4 auch schon gezeigt –, dass nicht nur die Energiewende im Verkehr, sondern auch die klassische Verkehrswende bei der Erreichung der Klimaschutzziele und der Entwicklung hin zu einem umwelt- und klimaverträglichen Verkehr eine wichtige Rolle spielt. Die Verkehrswende kommt unserer Einschätzung nach bei der aktuellen Umsetzung der Maßnahmen, die auch im Projektionsbericht aufgeführt werden, oft zu kurz. Man braucht die Verkehrswende sowohl für die Erreichung des Ziels 2030 als auch für die langfristigen Ziele: Es muss über weiterhin versucht werden, Verkehr zu vermeiden: über die Bepreisung, aber auch über andere Instrumente, etwa über das Stärken von Alternativen, die Verlagerung des Verkehrs auf umwelt- und klimaverträgliche Verkehrsmittel und eine bessere und effizientere Gestaltung von Fahrzeugen.

Es gibt auf der EU-Ebene und auf der nationalen Ebene schon Instrumente, die da greifen. Unserer Einschätzung nach ist es möglich, durch die Verkehrswende sowohl die Treibhausgasemissionen als auch den Energiebedarf deutlich zu verringern. Der verbleibende Energiebedarf kann über alternative Kraftstoffe und alternative Antriebe gedeckt werden, um langfristig, bis 2045, den benötigten klimaneutralen Verkehr zu haben. Die klassische Verkehrswende führt dazu, dass die Energiewende leichter und zu geringeren Kosten umgesetzt werden kann; denn der Bedarf nach Energieträgern und nach Energie ist dann viel geringer. Auch die entsprechenden Vermeidungs- und Minderungskosten sind bei den klassischen Maßnahmen der Verkehrswende oft deutlich günstiger als bei den Maßnahmen der Energiewende im Verkehr.

Folie 6: „Bausteine zur Erreichung ambitionierter Klimaschutzziele im Verkehr bis 2030“

Das Umweltbundesamt hat daher verschiedene Maßnahmen vorgeschlagen, wie die Lücke zwischen den 126 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten nach der Projektion für 2030 und den nach dem Klimaschutzgesetz für 2030 angestrebten 85 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten geschlossen werden kann. Die schon jetzt umgesetzten Maßnahmen greifen wir noch einmal auf. Wir haben hier konkrete Vorschläge formuliert, z. B. was das für die Pkws bedeutet: welche Anzahl an Elektrofahrzeugen notwendig ist und wie man sie erreichen kann. Ähnliche Maßnahmen haben wir für die Lkws vorgeschlagen. Sie sehen an den rechts aufgeführten Zahlen, die die zusätzliche Minderung angeben, dass das zwei besonders wirksame Maßnahmenbereiche sind. Aber auch durch Bepreisungsinstrumente und die Abschaffung von umweltschädlichen Subventionen sind weitere Minderungen möglich. Das gilt auch für Tempolimits.

Das Thema Kraftstoffe haben wir hier schon einmal aufgegriffen. Mit der aktuellen rechtlichen Umsetzung sehen wir sie schon auf einem guten Weg. Aber wir werden das Thema bis 2030 nicht weiter berücksichtigen, sodass das hier nicht zu einer weiteren Minderung der Treibhaus-

gasemissionen beiträgt – die an der Stelle aber notwendig ist. Ich will jetzt nicht auf alle Maßnahmen im Detail eingehen. Herr Lambrecht und Herr Kasten vom Öko-Institut werden weitere Punkte aufgreifen.

Folie 7: „~~Vier~~ Drei mögliche Wege in die postfossile Zukunft des Verkehrs führen alle zu einer Kopplung mit dem Stromsektor“

Ich möchte jetzt in den mittleren Teil des Vortrags einsteigen. Auf dieser Folie stelle ich kurz dar, welche Energieversorgungsoptionen und -möglichkeiten es überhaupt gibt, um in Richtung des Zielpunktes 2045 – treibhausgasneutraler Verkehr – zu gehen. Der Fokus liegt auf der Energiewende im Verkehr; dort würde ich auch den Schwerpunkt setzen. Wie ich schon gesagt habe, müsste hier das Thema „Verkehrswende“ ergänzt werden.

Für die Energiewende im Verkehr gibt es verschiedene Optionen, die prinzipiell möglich sind. Man kann zum einen beim konventionellen Antrieb bleiben, bei dem weiter der Verbrennungsmotor genutzt wird. Hier gibt es die Option, die heute noch genutzten fossilen Kraftstoffe stärker durch flüssige und gasförmige Biokraftstoffe zu ersetzen oder perspektivisch flüssige und gasförmige stromgenerierte Kraftstoffe einzusetzen. Das sind die – Ihnen wahrscheinlich bekannten – PtX-Kraftstoffe oder E-Fuels, von denen man an der Stelle spricht. Dann müsste man vielleicht bei den Kraftstoffen Aufwand betreiben, könnte aber beim konventionellen Antrieb bleiben.

Die andere Option ist, als Beitrag zur Energiewende im Verkehr den Antrieb zu wechseln. Zum einen gibt es die Möglichkeit, batterieelektrische Fahrzeuge und Oberleitungs-Lkws einzusetzen, die den Strom direkt nutzen. Da man einen treibhausgasneutralen Verkehr haben möchte, muss das perspektivisch erneuerbarer Strom sein, um nicht nur beim Verkehr an sich die Emissionen zu mindern, sondern auch schon bei der Strombereitstellung. Die andere Möglichkeit ist, auf Brennstoffzellen zu setzen und den Strom auf andere Weise bereitzustellen als über eine Batterie oder eine Oberleitung. Hier wäre es wichtig, dass der Wasserstoff erneuerbar bereitgestellt wird und damit treibhausgasneutral sein kann.

Bezüglich der Effizianzforderungen an das Gesamtsystem schneiden die verschiedenen Optionen sehr unterschiedlich ab. Darauf möchte ich später noch eingehen. An erster Stelle möchte ich die Optionen ein bisschen verengen. Aus unserer Sicht sind nämlich nur drei der möglichen Wege Erfolg versprechend, wenn es darum geht, die notwendigen Minderungen bei den Klimagasemissionen zu realisieren und die entsprechende Potenziale vorliegen zu haben. Die Nutzung der flüssigen und gasförmigen Biokraftstoffe sehen wir beim Umweltbundesamt nämlich sehr kritisch, weil die energetische Nutzung von Anbaubiomasse signifikante ökologische Nachteile hat und weil bei den Rest- und Abfallstoffen die vorhandenen Mengen aus unserer Sicht in anderen Bereichen teilweise effizienter genutzt werden und auch sonst sehr begrenzt sind. Deswegen ist das eine Option, die vielleicht ergänzend mit hineinspielen kann, aber um den großen Energiebedarf des Verkehrs tatsächlich decken zu können, ist es notwendig, die drei anderen Optionen zu nutzen.

Folie 8: „Ganzheitliche Bilanzen von Antrieben und Kraftstoffen berücksichtigen Energieeffizienz, Klima-/Umweltfolgen sowie Kosten“

Wie man diese Optionen bewerten kann und welche Optionen Erfolg versprechend sind, ist auf dieser Folie dargestellt. Wir versuchen, die verschiedenen Antriebe und Kraftstoffe möglichst umfassend zu bilanzieren, wobei der Fokus auf der Perspektive der Umweltwirkung liegt, aber auch auf den Kosten. Es ist notwendig, dass man bei den verschiedenen Konzepten, die sowohl in Bezug auf den Antrieb als auch in Bezug auf den Kraftstoff variieren, nicht nur die Nutzungsphase des Fahrzeugs fokussiert, sondern auch Herstellung und Entsorgung sowie die Energien, die benötigt werden, angemessen berücksichtigt. Die Nutzung ist dann die dritte Phase. Man muss also den kompletten Lebenszyklus des Fahrzeugs sowie Herstellung und Entsorgung berücksichtigen.

Es gibt verschiedene Parameter, die da maßgeblich mit hineinspielen. Die Energie, sowohl die Effizienz des Antriebs als auch Herstellung und Bereitstellung der Energie, spielt eine wichtige Rolle bei der Nutzung des Fahrzeugs und beeinflusst an vielen Stellen auch die anderen Umweltwirkungskategorien, d. h. die Klimawirkung und die Kosten. Von daher ist die Energieeffizienz ein sehr maßgeblicher Parameter, der dazu führen kann, dass einige Optionen deutlich besser abschneiden als andere.

Die Gesamtklimabilanz, auf die ich in einem kleinen Beispiel eingehen möchte, spielt eine wichtige Rolle. Wie schon angesprochen, muss man hier die verschiedenen Phasen, also von der Herstellung und der Bereitstellung bis zur Nutzung, berücksichtigen, um die Optionen allumfassend vergleichen und belastbare und informierte Entscheidungen treffen zu können.

Die Kosten spielen natürlich auch eine sehr große Rolle. Auch da muss man die drei Phasen berücksichtigen. Das kann man aus volkswirtschaftlicher Perspektive machen, ergänzend aber auch aus Sicht der Nutzer, die in der Nutzungsphase die Kosten widerspiegelt sehen.

Auch der Ressourcenbedarf spielt eine große Rolle. Wir versuchen, das in den Studien ebenfalls zu berücksichtigen; denn die Optionen bezüglich des Einsatzes von verschiedenen Rohstoffen spielen da unterschiedlich hinein. Es ist auch nicht so, dass wir nur die Klimawirkung berücksichtigen, sondern analog zu den Treibhausgasemissionen müssen wir auch weitere Umweltwirkungen einbeziehen, sei es durch Luftschadstoffe oder Lärm, wobei sich das wiederum über den kompletten Zyklus erstreckt. Das zeigt, dass das keine eindimensionale Bewertung ist. Es ist auch ein großer Aufwand erforderlich, um die Optionen korrekt und angemessen berücksichtigen zu können.

Folie 9: „Energieeffizienz: Die direkte Stromnutzung ist die energieeffizienteste postfossile Energieoption für den Straßenverkehr“

Jetzt möchte ich auf das Thema Energieeffizienz eingehen. Im oberen Bereich der Folie ist dargestellt, welcher Strombedarf sich ergäbe, wenn man 10 Millionen Elektro-Pkws einsetzen würde. Darunter wird für Fahrzeuge mit einer alternativen Kraftstoffnutzung oder einer fossilen Kraftstoffnutzung gezeigt, wie groß der Strombedarf wäre und welche Klimagaswirkungen möglich wären.

Durch den Einsatz von 10 Millionen Elektro-Pkws spart man 13 bis 17 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente, je nachdem welches Fahrzeug man nutzt. Auch beim Strombedarf gibt es eine gewisse Unschärfe bei den Fahrzeugen. Aber wenn man das damit vergleicht, welcher Strombedarf bei anderen Optionen notwendig ist, etwa bei Brennstoffzellen-Pkws, die mit PtG-H₂, also mit aus erneuerbarem Strom hergestelltem Wasserstoff, versorgt werden, oder bei Pkws mit Verbrennungsmotor, die einen Flüssigkeitskraftstoff nutzen, sieht man, dass der Bedarf an erneuerbarem Strom bei E-Autos viel geringer ist.

Das ist mit Blick auf das Jahr 2045 dargestellt, wenn wir wirklich ein treibhausgasneutrales System haben, das seinen Bedarf nur aus erneuerbarem Strom deckt. Es zeigt sich, dass der Strombedarf an der Stelle viel höher sein wird. Das kann man auch nicht ausreichend ausgleichen, indem man, um das Beispiel Windkraft zu nehmen, an andere Standorte wechselt, wo man mit einer geringeren Anzahl von Windrädern mehr Energie bereitstellen kann. Da entsteht dann doch mehr Aufwand. Das zeigt ganz klar, dass die direkte Nutzung von Strom in Elektrofahrzeugen die energieeffizienteste Option ist, weil viel weniger Strombedarf besteht und in der Folge auch die Klimawirkung und die anderen Umweltwirkungen auf dem Weg dahin von diesem Vorteil der Energieeffizienz profitieren können.

Wichtig ist es auch, den Bedarf ein bisschen einzuordnen. Deswegen ist hier der Zuwachs an Strom aus erneuerbaren Energien im Zeitraum von 2014 bis 2019 angegeben. Das hat noch nichts mit dem Verkehr zu tun, aber man sieht an diesen fünf Jahren, dass der Ausbau der erneuerbaren Energien allein deshalb vorangetrieben werden müsste, um den Energiebedarf der 10 Millionen Elektro-Pkws zu decken, die auch nur ein Teil der Flotte wären. Es wäre sehr aufwendig und kompliziert, diese Menge an Strom aus erneuerbaren Energien bereitzustellen, sei es lokal oder an Gunststandorten für erneuerbare Energien.

Folie 10: „Klimabilanz Pkw: E-Mobilität hat bereits heute einen Vorteil gegenüber anderen alternativen Antrieben und Kraftstoffen“

Hier geht es noch einmal um die Klimabilanz. Der Blick geht dabei nicht in Richtung 2030, sondern das betrifft ein Fahrzeug, das man heute anschafft. Auch hier ist es so, dass die Nutzung eines E-Autos im Vergleich zur Nutzung von Brennstoffzellen-Pkws oder Pkws mit Verbrennungsmotor und PtL deutliche Vorteile hätte, wenn man diese Kraftstoffe, also den Wasserstoff oder die PtL-Kraftstoffe, im Strommix herstellen würde. Das ist auch bei der Nutzung von fossilen Kraftstoffen der Fall: Im Vergleich zur Nutzung von Diesel-Pkws oder Benzin-Pkws ergeben sich für die E-Autos unter Berücksichtigung der Fahrzeugherstellung, der Strombereitstellung und der Nutzung ebenfalls deutliche Vorteile. Dementsprechend sollte man das auch umsetzen. Das zeigt, dass die Elektromobilität nicht nur im Hinblick auf die Energieeffizienz, sondern auch im Hinblick auf die Klimabilanz – zwei der wichtigen Kategorien, die ich am Anfang erläutert habe – schon heute viele Vorteile hat und auch mit Blick auf 2045 eine Option ist, auf die man unbedingt setzen sollte.

Folie 11: „Fit for 55 – Umsetzung des EU-Klimaziels für 2030/2050“

Damit steige ich in den dritten Teil des Vortrags ein, in dem ich auf die nationalen und die EU-Instrumente eingehe, die dafür sorgen, dass der Wandel in Richtung Elektromobilität als eine

vielversprechende Option aufgegriffen wird. Die Entscheidungen auf der EU-Ebene tragen aus den genannten Gründen dazu bei, dass man diese Vorteile im Hinblick auf Energiebilanz und Energieeffizienz hat. Von daher begrüßen wir es sehr, dass die entsprechenden Instrumente eingesetzt werden, um – zusammen mit der Verkehrswende – zur Energiewende im Verkehr beizutragen, damit die Klimaziele erreicht werden.

Der „Fit for 55“-Vorschlag, bei dem es darum geht, dass die EU die Emissionen bis 2030 um 55 % mindern kann, beinhaltet sehr viele Initiativen. Viele davon haben einen konkreten Bezug zum Verkehr bzw. zum Straßenverkehr. Das habe ich hier dargestellt. Zum einen sollen die CO₂-Normen für Pkws und leichte Nutzfahrzeuge verschärft werden. Hinzu kommen die Verordnung über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe und die Erneuerbare-Energien-Richtlinie. Das sind drei Initiativen, die sowohl bei den Kraftstoffen als auch bei den Fahrzeugen ansetzen und das System in Richtung Effizienz weiterentwickeln sollen. Flankierend werden Initiativen gestartet, bei denen es um die Bepreisung und den Emissionshandel gehen soll. Sie sind aus unserer Sicht wichtig, um übergeordnet die Emissionen im Verkehr ausreichend mindern zu können und innerhalb der EU in allen Bereichen zur Erreichung der 55%-Minderung beizutragen.

Folie 12: „Ambitionierte Flottenzielwerte als Mittel der Wahl: CO₂Standards für neue Pkw“

Hier möchte ich auf die erste Initiative eingehen. Das sind die Flottenzielwerte, über die im Zusammenhang mit dem „Fit for 55“-Vorschlag noch einmal diskutiert wird. Aus unserer Sicht ist dies das Mittel der Wahl, um die Fahrzeuge effizienter zu machen und die Elektromobilität voranzubringen. Das Instrument reizt dann beide Maßnahmen parallel an, wobei man aktuell sagen muss, dass die Hersteller insbesondere den Weg über Elektrofahrzeuge gehen, um die EU-Vorgaben, die für den gesamten EU-Binnenmarkt gelten, zu erfüllen.

Aus unserer Sicht ist es notwendig, die Vorgaben auf EU-Ebene deutlich zu verschärfen, auch über das hinaus, was die EU-Kommission vorgeschlagen hat. Das hat mehrere Vorteile. Zum einen hat sich die Bundesregierung zum Ziel gesetzt, bis 2030 15 Millionen vollelektrische Pkws auf dem Markt zu haben. Das wird viel einfacher, wenn das auf der EU-Ebene schon gesetzlich verankert ist. Dann kommt man dem Erreichen des Ziels viel näher.

Zum anderen kann durch die Verschärfung der entsprechenden EU-Vorgabe auch die im Klimaschutzgesetz verankerte Minderung – ich habe Ihnen gezeigt, wie groß die Lücke da ist – deutlich unterstützt werden. Wenn man die Flottenzielwerte deutlich verschärfen würde, könnte man der Erreichung der Klimaziele nach dem Klimaschutzgesetz viel näher kommen und benötigte weniger andere Maßnahmen.

Zu nennen ist auch die Effort-Sharing-Regulation, also die Lastenverteilung zwischen Emissionsminderung und Emissionshandel. Außerhalb des Emissionshandels wird es notwendig sein, in Deutschland viele Elektrofahrzeuge in der Flotte zu haben, um Strafzahlungen vermeiden zu können.

Wenn man die EU-Vorgaben an der Stelle nicht ausreichend verschärft, hat das aus unserer Sicht zur Folge, dass wir verschiedene schärfere nationale Instrumente brauchen. Wir müssen also

den Umweltbonus in dieser Höhe behalten und über Steuerbefreiungen oder starke Bepreisungsinstrumente diskutieren. Es muss auch Druck auf die lokale Ebene ausgeübt werden, wo man dann sehr viel aktiver werden müsste. Sollten die EU-Vorgaben nicht ausreichend verschärft werden, können Mehremissionen in anderen Mitgliedstaaten die Folge sein, wenn Deutschland viele E-Fahrzeuge im Bestand hat, das aber über die EU-Instrumente nicht abgesichert ist, oder es kann zur Konkurrenz zwischen den Staaten führen. Das heißt, man muss ganz viele Maßnahmen ergreifen, um das umzusetzen.

Das Ganze sollte durch eine Weiterentwicklung der Abgasvorschriften flankiert werden, die aus unserer Sicht dazu beitragen können, dass E-Fahrzeuge in größerer Zahl und auch leichter in den Bestand kommen.

Folie 13: „Flottenzielwerte treiben Effizienz voran: CO₂-Standards für neue Pkws“

Hier stelle ich dar, was das bei den Flottenzielwerten bedeutet. Viele Punkte, die aus unserer Sicht wichtig sind, habe ich schon beschrieben. Als dunkelblauer Kreis sind die aktuell gültigen EU-Ziele dargestellt, als hellblauer Kreis der Kommissionsvorschlag „Fit for 55“. Im Jahr 2025 liegen diese beiden Punkte noch übereinander. Aktuell wird darüber diskutiert, dass die EU-Ziele für 2030 verschärft werden. Aber nach unserer Einschätzung ist es zum einen notwendig, das Ziel für 2025 zu verschärfen, und zwar sollte die Minderung in Richtung 100 g/km Realverbrauch gehen. Zum anderen muss auch das Ziel für 2030 noch einmal deutlich verschärft werden. Nur dann ist es möglich, 15 Millionen Elektro-Pkws im Bestand zu haben.

Was das für die Neuzulassung bedeutet, ist in den Kreisdiagrammen oben auf der Folie dargestellt. 2030 werden sehr viele Elektrofahrzeuge neu zugelassen werden müssen. Auch der Ausstieg aus dem Verbrennungsmotor, der in dem Kommissionsvorschlag bis 2035 vorgesehen ist, müsste unserer Einschätzung nach früher erfolgen, nämlich bis 2032. Auch bei Plug-in-Hybriden gibt es noch Anpassungsbedarf, auf den ich jedoch in diesem ersten Input nicht näher eingehen möchte.

Folie 14: „Treibhausgasminderungsquote als Treiber für E-Fahrzeuge und Ausbau von Ladeinfrastruktur“

Ich gehe jetzt kurz auf zwei weitere Initiativen in Richtung Treibhausgasminderung ein. Eine davon ist die Umsetzung der Erneuerbare-Energien-Richtlinie. Aktuell wird darüber diskutiert, die Erneuerbare-Energien-Richtlinie weiter zu verschärfen: in Richtung RED III. Das ist der aktuelle Diskussionsstrang. Aber schon durch die letzte Überarbeitung dieser Richtlinie im Jahr 2018 und ihre Umsetzung in nationales Recht – im BImSchG und in der 38. BImSchV – ist die Stromnutzung, die ich als einen großen Vorteil beschrieben habe, im Straßenverkehr deutlich gestärkt worden. Es ist so, dass Kraftstoff-Inverkehrbringer, die unter die Treibhausgasquote fallen, mithilfe des im Straßenverkehr genutzten Stroms ihre Treibhausgasemissionen verringern und ihre bis 2030 ansteigende Quotenverpflichtung erfüllen können. Wir begrüßen es sehr, dass damit ein Förderinstrument existiert, das die Nutzung von Elektromobilität unterstützen kann.

Aktuell ist über die Treibhausgasquote und die Teilnahme der E-Fahrzeugbesitzer eine Förderung von 350 € pro Jahr für E-Pkws im nicht öffentlichen Ladebereich möglich. Es werden auch leichte Nutzfahrzeuge und Busse berücksichtigt, wobei da auch höhere Erträge möglich sind, weil die einen höheren Stromverbrauch haben oder stärker genutzt werden. Auch für den öffentlichen Ladebereich – ich glaube, das ist ganz wichtig – können über die Quoten zusätzliche Erlöse erzielt werden. Es handelt sich um durchaus signifikante Beträge von 10 bis 20 Cent pro geladener kWh im Strommix. Hier kann auch der von Plug-in-Hybriden genutzte Stromanteil mit berücksichtigt werden.

Ein wichtiger Punkt ist natürlich der Ausbau der Ladeinfrastruktur, insbesondere in der Fläche, der in den nächsten Jahren vorangetrieben werden muss. Ein kritischer Punkt ist hier die unsteuere Neuzulassung von Elektro-Pkws. Man hat bei den Flottenzielwerten gesehen, dass die Hersteller diese Vorgaben immer erst sehr spät erfüllt haben und damit der Hochlauf jeweils sehr steil erfolgt ist. Ich glaube, das ist ein riesengroßes Problem im Zusammenhang mit der Ladeinfrastruktur. Dort braucht man mehr Planungssicherheit und muss auch wissen, in Richtung welcher Ziele sich der Bestand entwickelt.

Folie 15: „Verordnung über die Infrastruktur für alternative Kraftstoffe“

Ich gehe noch kurz auf die Verordnung über die Infrastruktur für alternative Kraftstoffe ein. Auch die EU hat erkannt, dass die Ladeinfrastruktur ein sehr wichtiger Punkt bei der Elektromobilität ist. Die Festlegung der Ziele für die Infrastruktur soll jetzt im Rahmen einer Richtlinie getroffen werden. Das ist viel konkreter und sorgt auch EU-weit dafür, dass der Aufbau erfolgt. Sowohl für Pkws als auch für Lkws sind für die Ladeinfrastruktur konkrete Vorgaben enthalten. Wir können uns vorstellen, dass gerade im Pkw-Bereich die kurzfristigen Ziele noch einmal deutlich verschärft werden müssen. Da geht der Verordnungsvorschlag nicht weit genug. Ich glaube, es ist gut, gerade bei den Lkws, bei denen die Elektrifizierung noch nicht so weit ist, jetzt schon ambitionierte Ziele für 2030 festzulegen. Aber auch in Richtung 2025 wird man noch etwas machen müssen, um den Hochlauf zu unterstützen, damit elektrische Pkws bei den Flottenzielwerten für Lkws einen Beitrag leisten können.

Die Oberleitungsinfrastruktur wäre eine Alternative, über die prinzipiell diskutiert wird und bei der es auch Testversuche gibt, aber auf der EU-Ebene ist das Thema noch nicht ausreichend adressiert, dass sich das Handlungsfenster in der Richtung öffnet. Es gibt weitere Punkte, auf die man noch einmal genauer eingehen müsste.

Damit möchte ich meinen Vortrag abschließen. Ich möchte noch einmal hervorheben, dass, auch wenn ich heute stark auf die Energiewende im Verkehr eingegangen bin, die Verkehrswende ebenfalls wichtig ist, um über die beschlossenen Maßnahmen hinaus dazu beizutragen, dass die Ziele des Klimaschutzgesetzes erreicht werden.

Im Jahr 2021 haben wir das Sektorziel erstmals verfehlt; somit besteht ein akuter Handlungsdruck, weitere Maßnahmen zu beschließen. Prinzipiell – das wollte ich im dritten Teil des Vortrags zeigen – ist aus unserer Sicht die direkte Nutzung von erneuerbarem Strom in batterieelektrischen Fahrzeugen energieeffizienter und klimaschonender. Daher sollte sie eine maßgebliche Rolle

spielen im Vergleich zu anderen Optionen, seien es postfossile Kraftstoffe oder andere alternative Kraftstoffe. Die sollten in Bereichen, in denen der direkte Bezug von erneuerbarem Strom nicht möglich ist, ergänzend eingesetzt werden.

Nationale und EU-Instrumente spielen für die genannten Maßnahmen eine große Rolle, da sie sowohl den Wandel in Richtung Elektromobilität bei Fahrzeugen als auch den Wandel bei der Infrastruktur maßgeblich beeinflussen können. Die Ladeinfrastruktur bleibt ein Bereich, den man lokal besonders stark unterstützen kann, womit man dazu beitragen kann, den Klimaschutz zu beschleunigen und mehr Energieeffizienz im Verkehr zu erreichen.

So möchte ich das zusammenfassen. In der Fragerunde kann ich auf andere Punkte gern noch ein bisschen detaillierter eingehen.

Vorsitzender: Vielen Dank, Herr Dr. Lange, und Grüße nach Dessau-Roßlau. Die sechs Minuten, um die Sie die Redezeit überzogen haben, seien Ihnen gegönnt; denn das Thema war sehr interessant. Sie bleiben noch ein bisschen bei uns, sodass wir nach den anderen beiden Vorträgen in eine Fragerunde einsteigen können.

Wir kommen nun zu dem Thema „Energieeffizienz im Gesamtsystem, alternative Kraftstoffe“. Ich begrüße den Dipl.-Physiker Udo Lambrecht, der ebenfalls digital zugeschaltet ist. Er ist am Institut für Energie- und Umweltforschung in Heidelberg tätig.

Herr Lambrecht, Sie haben das Wort.

Herr **Lambrecht:** Herr Vorsitzender, meine Damen und Herren! Worum geht es hier?

Präsentation Herr Lambrecht siehe Anlage – Folie 2: „Definition & Ziele“

In meinem Vortrag geht es um energieeffizienten Verkehr. Es heißt, dass wir die Mobilitätsanforderungen mit möglichst wenig Energie abdecken sollen. Das heißt, wir wollen Personen transportieren, und wir wollen Güter transportieren. Es geht also immer um die Megajoule pro Personenkilometer (MJ/Pkw) und die Megajoule pro Tonnenkilometer (MJ/tkm). Das ist die eine Anforderung, die wir haben.

Die andere Anforderung, die wir haben, ist, dass – wie Herr Dr. Lange gezeigt hat – die Treibhausgasemissionen stark reduziert werden sollen. Das heißt, neben Effizienzverbesserungen muss der Einsatz alternativer Energieträger stehen. Um die alternativen Energieträger einzusetzen, muss man auch alternative Antriebe nutzen. Das ist der Hintergrund der ganzen Geschichte.

Folie 3: „Bisher geringe Reduktion der THG-Emissionen – Ziele Klimaschutzgesetz erfordern Minderungen“

Herr Dr. Lange hat gezeigt, dass die Treibhausgasemissionen des Verkehrs seit 1990 kaum zurückgegangen sind. Ich möchte hier kurz darauf aufmerksam machen, dass ungefähr zwei Drittel der Emissionen aus dem Pkw-Bereich kommen; ein Drittel kommt aus dem Lkw-Bereich. Über den Pkw-Bereich wird oft gesprochen, über den Lkw-Bereich aber nicht. Deswegen möchte ich auf dieses Thema ein bisschen stärker eingehen und Ihnen das zeigen. Bei den Pkws sind die Herausforderungen noch viel höher, was neue Antriebe angeht.

Folie 5: „Strategien für einen klimafreundlichen Verkehr“

Ansatzpunkte für die Minderung des Energieverbrauchs sowie der THG-Emissionen im Verkehr gibt es verschiedene. Zum einen gibt es den Ansatzpunkt Vermeidung: Ein Verkehr, zu dem es nicht kommt, führt auch nicht zu Treibhausgasemissionen. Weitere Ansatzpunkte sind die Verlagerung, die Verbesserung und der Einsatz erneuerbarer Energien. Auf diese Punkte möchte ich kurz eingehen, um ein bisschen das große Bild zu zeigen.

Folie 6: „THG-Emissionen der Personenverkehr – Welche Emissionen pro Personen-km?“

Das Allererste ist – ich denke, das müssen wir, gerade wenn wir über den Straßenverkehr sprechen, gut im Kopf haben –: Auf dieser Grafik sehen Sie, dass der Pkw im Schnitt für drei- bis viermal so viele CO₂-Emissionen verantwortlich ist wie z. B. die U-Bahn, der Fernlinienbus und der Schienenverkehr. Das heißt, jegliche Art von Verlagerung führt dazu, dass wir eine starke Bindung der CO₂-Emissionen haben. Wir müssen im Kopf haben, egal ob im Bund oder in einem Land, dass es nicht nur um die Antriebswende geht, sondern auch um die Verlagerung des Verkehrs.

Folie 7: „Entwicklung spezifischer Energieverbrauch – Keine Verbesserung seit 1995“

Aber der Großteil der Emissionen stammt von den Pkws. Da ist es interessant, zu sehen, wie sich der spezifische Energieverbrauch in den letzten Jahren entwickelt hat. Bei den Pkws hat sich nichts getan. An der Energie, die man braucht, um eine Person zu befördern, hat sich seit dem Jahr 1995 im Prinzip nichts geändert. Beim öffentlichen Verkehr ist der Energieverbrauch pro Person in den Corona-Jahren sogar gestiegen, weil die Auslastungen gesunken sind. Wir müssen daran arbeiten, dass es in den nächsten Jahren wieder eine höhere Auslastung gibt. Das war also einfach Corona-bedingt.

Folie 8: „Fahrzeuggewicht und Motorleistung angestiegen“

Jetzt stellt sich diese Frage: Warum hat sich, obwohl es, was die CO₂-Flottenzielwerte angeht, all diese Gesetze gibt – die auch Herr Lange erwähnt hat –, nichts getan? Auf der linken Seite der Folie sehen Sie, dass die Motorleistung extrem angestiegen ist. Zwischen 2001 und 2021 ist die Motorleistung von 84 auf 117 kW angestiegen. Auch das Gewicht der Fahrzeuge ist extrem angestiegen: von 1331 auf 1580 kg. Das ist wirklich eine Menge. Sie sprechen auch über das Thema „leichter Verkehr“. Wenn Sie sich die Entwicklung ansehen – Motorleistung: von 84 auf

117 kW, Fahrzeuggewicht: von 1331 auf 1580 kg –, erkennen Sie, dass keine Erleichterung des Verkehrs stattgefunden hat, sondern er wurde einfach immer schwerer.

Das hat Auswirkungen auf die Emissionen. Die Emissionen der Fahrzeuge sind im Realverbrauch kaum zurückgegangen. Da gibt es eine Mischung: Die Zulassungswerte sind zwar gesunken, aber die Differenz zwischen Zulassungswerten und Realwerten ist immer größer geworden. Da gibt es einfach gewisse Rahmenbedingungen, mit deren Hilfe man das – sagen wir einmal – austricksen konnte.

Folie 9: „Fahrzeuggewicht und Motorleistung angestiegen“

Was die Elektromobilität betrifft, ist die Zahl der verkauften E-Autos in den letzten Jahren extrem stark gestiegen. Allein im letzten Jahr wurden, glaube ich, 350.000 Fahrzeuge verkauft. Die Elektromobilität führt schon jetzt dazu, dass wir einen Rückgang der CO₂-Emissionen im Verkehrsbereich haben.

Folie 10: „Einflussparameter für Energieverbrauch – Wie kann die Effizienz verbessert werden?“

Kommen wir noch einmal zu dem Thema Gewicht zurück, über das wir gerade gesprochen haben: Sie sehen, dass das Gewicht der Fahrzeuge unterschiedliche Auswirkungen hat. Es hat eine Auswirkung auf die Beschleunigung, es hat eine Auswirkung auf den Rollwiderstand, und es wirkt sich natürlich aus, wenn man bergauf oder bergab fährt. Man muss also – neben dem cw-Wert usw. – immer darauf achten, dass man das Gewicht der Fahrzeuge reduziert. Das ist gut.

Aber wichtig ist es, effiziente Antriebe einzusetzen. Was ist ein effizienter Antrieb? Ein effizienter Antrieb ist ein Antrieb, der pro Transportkilometer wenig Energie braucht und am Schluss dafür sorgt, dass wir nicht so viele CO₂-Emissionen haben.

Folie 11: „Fahrzeugmehrkosten für technische Effizienzsteigerungen“

Diese Grafik brauchen Sie nicht im Detail zu verstehen. Sie drückt aus, dass man bei konventionellen Verbrennungsmotoren viel Geld in die Hand nehmen muss, um eine CO₂-Minderung hinzubekommen. Das heißt, man muss mehrere Tausend Euro in die Hand nehmen, um eine 40-prozentige CO₂-Minderung hinzubekommen. Bei den Elektrofahrzeugen ist das besser. Das funktioniert einfacher, zumindest wenn man erneuerbaren Strom hat.

Folie 13: „Antriebe und Kraftstoffe für einen treibhausgasneutralen Verkehr“

Jetzt komme ich zu den erneuerbaren Energien im Verkehr: Welche erneuerbaren Energien können wir einsetzen, und was passiert dabei? – Dieses Bild zeigt deutlich, wie das System in der Zukunft aussehen soll: In Zukunft, insbesondere mit Blick auf die Jahre 2040 bis 2050, sollen wir erneuerbaren Strom nehmen. Dann stellt sich die Frage, welche Antriebsarten welche CO₂-Emissionen bzw. welchen Energieverbrauch zur Folge haben. Bei einem Elektrofahrzeug – seit gestern oder vorgestern können Sie sich dazu Herrn Lesch auf YouTube anschauen; das geht in die gleiche Richtung – kommen 75 % der Energie, die ein Windpark erzeugt, am Rad an. Wenn man Wasserstoff erzeugt, z. B. über eine Brennstoffzelle, kommen zum Schluss nur noch 29 % der

Energie am Rad an. Bei Methan – das ist das ganze Thema PtX – ist es noch schwieriger: Da kommen gerade einmal 13 % am Rad an. Das sind Zahlen, die der Orientierung dienen.

Folie 14: „Wie viel Strom für 100 km Pkw-Fahrt“

Das geht in dieselbe Richtung wie das, was Herr Lange gesagt hat: Wenn wir ein Elektrofahrzeug haben, brauchen wir für 100 km Fahrt 18 kWh. Wenn wir ein Brennstoffzellenfahrzeug haben, brauchen wir 54 kWh, und wenn wir PtL nutzen, brauchen wir 115 kWh. Das heißt, man kann mit der gleichen Menge Energie drei- bis fünfmal so weit fahren. Das ist die eine Ebene: Man schaut sich die Nutzung an.

Folie 16: „Schematische Darstellung Klimabilanz Pkw“

Dann gibt es viele Diskussionen darüber, wie es aussieht, wenn man die Herstellung und die Entsorgung der Fahrzeuge – Batterien usw. – einbezieht. Ich glaube, das Bild brauche ich nicht im Detail zu erklären. Man berücksichtigt den Aufwand, der erforderlich ist, um die Materialien herzustellen; man berücksichtigt die Produktion; man berücksichtigt die Nutzung der Fahrzeuge, und man berücksichtigt natürlich die Entsorgung. Man schaut sich alles an: die Emissionen, den Energieverbrauch usw.

Folie 17: „Zentrale Einflussparameter der Klimabilanz“

Ich möchte hier nur auf das Thema CO₂ eingehen. Bei unseren Bilanzen berücksichtigen wir die Batteriegröße, die Energiedichte, die Zellchemie, den Strommix bei der Fertigung und natürlich den Strommix bei der Nutzung der Fahrzeuge.

Folie 18: „Klimabilanz eines Elektro-Pkw – Betrachtung einer Kompaktklasse“

Ich nehme einmal an, ich habe 2020, als wir noch nicht erneuerbaren Strom aus Kohle, Gas usw. in einer Größenordnung von 50 % dabei hatten, ein Fahrzeug gekauft und fahre damit 13 Jahre lang. Dann habe ich eine innere Minderung von ungefähr 32 % gegenüber einem Benzinfahrzeug. Das heißt, trotz des höheren Aufwands bei der Produktion aufgrund der Batterie, die ein paar Tonnen ausmacht, habe ich sogar bei einem heute auf dem Markt befindlichen Fahrzeug viel weniger Emissionen. Wir nehmen an, dass die Energiewende weitergeht und auch die Effizienz der Fahrzeuge verbessert wird. Wenn die Energiewende weitergeht und die Effizienz der Fahrzeuge verbessert wird, führt das dazu, dass wir bei den E-Autos noch größere Minderungen bei den CO₂-Emissionen haben im Vergleich zu den konventionellen Fahrzeugen. Dann sind wir schon bei 42 %. Wie gesagt, dabei ist der Strommix berücksichtigt – nicht die Fotovoltaikanlage auf dem Dach oder andere Dinge, die zusätzlich gemacht worden sind. Allein durch den Strommix erreichen wir Minderungen zwischen 32 und 42 %.

Folie 19: „BEV preislich schon konkurrenzfähig“

Auf der einen Seite sagt man: „Das ist prima, die CO₂-Emissionen sinken“, auf der anderen Seite stellt man sich die Frage: Wer kann sich das leisten? – Auf dieser Folie sehen Sie die Entwicklung der „total cost of ownership“, also die Kosten, die der Besitzer eines Fahrzeugs über dessen

gesamte Lebenszeit hinweg hat. Diese Studie, die von der europäischen Verbraucherschutzorganisation vor, ich glaube, zwei Jahren durchgeführt wurde, besagt, dass es ungefähr im Jahr 2022 zu einer Kostenparität kommt. Das heißt, dann ist ein Elektrofahrzeug, was die gesamten Kosten betrifft, billiger als ein Fahrzeug mit Ottomotor. Die unterste Kurve, die Sie hier sehen, zeigt, dass die Kosten bei den Elektrofahrzeugen weiter abnehmen. Bei den anderen Fahrzeugen dagegen werden irgendwelche Strafen für CO₂-Emissionen usw. hinzukommen. Deswegen werden sie eher teurer und nicht billiger. Die Anforderungen, z. B. durch die Abgasnorm Euro 7, sind auch groß. Das heißt, die Fahrzeuge werden nicht billiger. Diese Daten stammen aus einer Studie.

Folie 20: „Was zeigen Daten des ADAC“

Sie interessiert wahrscheinlich noch, wie die Realität aussieht. Um zu erfahren, wie die Realität aussieht, können Sie sich die Daten vom ADAC anschauen. Zum Beispiel können Sie sich ansehen – das ist direkt vom ADAC herauskopiert –, wie sich das beim ID.3 im Vergleich zum Golf darstellt. Auf der rechten Seite sehen Sie, dass der ID.3, selbst wenn man beim Golf keinen Rabatt erhält – manchmal bekommt man einen Rabatt, bei Elektroautos bekommt man gerade weniger Rabatt –, unter Berücksichtigung der Abschreibungen und von allem, was dazugehört, für den Käufer trotzdem billiger ist. Wenn man keinen Rabatt bekommt, hat man ein Verhältnis von ungefähr 57 zu 44 Cent pro Kilometer: 44 Cent pro Kilometer bei einem Elektrofahrzeug, 57 Cent pro Kilometer bei einem konventionellen Golf. Das zeigt, wir sind jetzt auch preislich schon ganz gut, zumindest wenn man die aktuellen Listenpreise und auch die Fördersummen berücksichtigt.

Folie 22: „Fazit zur Klimabilanz von Elektro-Pkw“

Das Fazit bei dem Thema ist also: Elektromobilität ist die effizienteste Technologie, um im Verkehrssektor die Treibhausgasemissionen zu mindern. Die Energiewende muss aber weitergehen. Wir müssen also extrem aufpassen, dass sie wirklich weitergeht.

Die Fahrzeugbilanz gewinnt an Bedeutung. Das heißt, um eine Umweltbilanz zu erstellen, muss man sich genau anschauen, wie die Fahrzeuge produziert werden, wenn der Strommix besser wird. Aber es tut sich sehr viel bei den Herstellern und auch in Bezug auf die Lieferketten. Wichtig dabei ist: Die Ladeinfrastruktur muss ausgebaut werden. Die Batteriegrößen müssen so klein wie möglich gehalten werden. Das heißt, nicht jeder Sozialdienst braucht einen Tesla mit ein paar Hundert Kilometern Reichweite. Je länger das Fahrzeug genutzt wird – die Garantien der Fahrzeughersteller sind jetzt schon bei 180.000 km –, desto größer sind die Klimavorteile. Bei Fernstrecken muss man sich überlegen, ob man vielleicht auch mit dem Zug fahren kann.

Folie 24: „Climate impacts of the vehicle cycle (HDV)“

Das andere Thema, das ich hier aufgreifen möchte, weil ich denke, dass es manchmal übersehen wird, sind die Lkws. Das Thema Lkw ist viel komplexer. Bei den Lkws ist es so, dass wir extrem viel Energie und viele Fahrleistungen haben. Der Lkw fährt jeden Tag sehr weit. Es stellt sich also die Frage, wie wir z. B. mit dem Thema „Reichweite der Batterie“ umgehen. Hier sind die Werte

für verschiedene Fahrzeuge angeführt. Ganz oben sehen Sie die Daten für den normalen dieselbetriebenen Lkw im Jahr 2030. Die nächsten beiden Balken stehen für den Oberleitungs-Lkw – das ist die Teststrecke, die Sie am Flughafen haben –, darunter folgen ein rein batterieelektrisch angetriebenes Fahrzeug und ein Fuel Cell. Diese Grafik zeigt Folgendes: ganz links, in Orange, die Produktion der Fahrzeuge, in dem helleren Orange die Abgasemissionen, in Grün der benötigte Strom und die Menge an CO₂, die man dann hat. Man hat 45 % Minderung bei einem Oberleitungs-Lkw, der auch noch einen Dieselantrieb hat, also ein Hybrid, und man hat 60 %, wenn das Fahrzeug eine Batterie und eine Oberleitung hat. Bei einem reinen Batteriefahrzeug wird es etwas weniger, da man eine größere Batterie braucht; man kommt im Jahr 2030 aber immer noch auf 50 % Minderung. Fuel Cells schneiden kaum besser als der dieselbetriebene Lkw ab.

Folie 25: „Climate impacts of the vehicle cycle (HDV)“

Das ist fast das gleiche Bild wie vorher. Man sieht hier aber auf der rechten Seite, dass bei den Brennstoffzellen-Lkws 31 % des Stroms am Rad ankommt; beim Elektro-Lkw sind es 73 %. Es gibt also für den Elektro-Lkw gewisse Vorteile, die sich natürlich auch auf die Kosten auswirken.

Folie 26: „Kostenvergleich Lkw-Antriebstechnologien 2030“

Hier sieht man die aktuelle Kostenabschätzung, die wir für das Jahr 2030 gemacht haben. Da gibt es natürlich Unsicherheiten: Entwicklung beim Strom, Entwicklung beim Diesel usw. Aber man sieht anhand der aktuellen Zahlen, die wir haben – die auch mit der Industrie abgestimmt sind –, dass man im Jahr 2030 zu einer Kostenparität mit dem normalen batterieelektrischen Lkw mit 500 km Reichweite kommt. Ein Oberleitungs-Lkw ist sogar noch etwas günstiger. Der Wasserstoff-Lkw mit Brennstoffzellen ist noch etwas teurer. Die Kostenunterschiede sind zwar nicht riesig, aber das Logistikgewerbe hat eine geringe Gewinnmarge; da muss man auf jeden Cent schauen. Aber die Aussage der Grafik ist: Im Jahr 2030 haben wir die Kostenparität erreicht.

Folie 27: „Fahrplan Lkw-Antriebswende“

Jetzt stellt sich die Frage – wir sind noch vor dem Jahr 2030 –, wie wir die nächsten Jahre damit umgehen. Sie bekommen mit – wahrscheinlich auch in den Orten, an denen Sie leben –, dass im Regionalverkehr, bei der Post usw. schon einiges an batterieelektrischen Lkws eingesetzt wird. Im Fernverkehr gibt es die ersten Versuche mit rein batterieelektrischen Oberleitungs-Lkws. Die ersten mit Wasserstoff angetriebenen Fahrzeuge gibt es auch.

Wir sind bis 2023/2024 in einer Phase, in der wir die verschiedenen Technologien testen. Dann müssen wir uns deutschland- und europaweit entscheiden, welchen Pfad wir einschlagen möchten. Wenn man diesen Pfad einschlägt, muss man extrem viel Geld hineinstecken, damit man die entsprechende Ladeinfrastruktur schafft oder die Wasserstoff-Versorgung aufbaut. Dafür müssen wir all die Tests machen, die gerade durchgeführt werden. Die Teststrecken müssen ausgebaut werden, damit man sieht, ob das ganze Ding funktioniert. Die Industrie muss natürlich auch weiter daran arbeiten. Das ist ein sehr spannendes Thema.

Folie 28: „Lkw-Antriebswende“

Wir befinden uns gerade in einem Wettbewerb der verschiedenen Technologien. PtL ist hier nicht dabei, weil man das woanders einfach viel besser einsetzen kann, z. B. im Luftverkehr, wo es alternativlos ist. Deswegen sollten wir hier mit Wasserstoff, batterieelektrischem Antrieb usw. vorgehen. LNG/CNG ist hier nicht aufgeführt. Es hat im Prinzip keine Treibhausgasminderung, es hat kaum Mengenpotenzial, wenn es biogen ist – das hat Herr Lange schon erwähnt –, und die Kostenentwicklung ist kaum abzusehen.

Folie 29: „Fahrplan Lkw-Antriebswende“

Der Oberleitungs-Lkw hat den großen Vorteil, dass er keinen doppelten Antriebsstrang hat. Die Kosten sind gering. Im Prinzip wird angestrebt, Zero Emission Vehicles zu haben, und es gibt ein großes Einsatzpotenzial bei heute gängigen batterieelektrischen Reichweiten. Es ist nicht so, dass jeder Lkw morgens in Mailand losfährt und abends in Helsinki ankommt, sondern es gibt viele andere Verkehre, bei denen Zwischenladungen vorgenommen werden, und außerdem müssen die Fahrer ab und zu schlafen. Da gibt es also große Einsatzpotenziale, zumindest wenn die Infrastruktur einigermaßen ausgebaut ist.

Folie 30: „Fahrplan Lkw-Antriebswende“

Erheblich höhere Kosten fallen, wie ich schon gesagt habe, bei Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Lkws an.

Folie 31: „Fazit für den Lkw“

Jetzt komme ich zum Ende dieses extrem schnellen Durchritts. Aber ich denke, es ist ganz spannend, zu sehen, wie es mit Pkws und mit Lkws aussieht, was für Möglichkeiten es gibt und wie man strukturell weitergeht.

Das Fazit für den Lkw ist für mich: Der Strom muss an die Autobahnen transportiert werden. Fahrzeugdepots müssen ausgebaut werden. Der Netzausbau ist entscheidend und zeitkritisch. Bisher gibt es da noch relativ wenig; denn die Frage ist: Wer nimmt welches Geld in die Hand? Welche Spedition beschäftigt sich schon jetzt mit dem Thema Batterie-Lkws? – Da muss es wirklich über die Förderschienen und gewisse Pilotprojekte gehen.

Die Politik muss weitere Impulse für die zügige Entwicklung des Fahrzeugmarktes bei E-Lkws setzen, z. B. über ambitionierte Flottengrenzwerte. Hierher gehört auch das Thema Mautbefreiung. Ich denke, das läuft auch schon. Gerade die Dekarbonisierung des Lkw-Verkehrs ist eine riesengroße Herausforderung. Sie können natürlich sagen: „Mein Gott, verlagern wir das Ganze auf die Bahn“, aber das, was mit der Bahn transportiert wird, ist nur ein kleiner Anteil. Es wäre kaum möglich, das in der Zeit zu schaffen. Wir müssen schauen, dass wir den Lkw-Verkehr auf den Autobahnen – den wir kaum reduzieren können – möglichst CO₂-frei gestalten.

Folie 32: „Fazit“

Der Verkehrssektor muss erhebliche Anstrengungen zur Erreichung der Klimaziele unternehmen. Bei der Verkehrswende spielen Vermeiden, Verlagern und Verbessern eine Rolle, bei der Energiewende neue Antriebe und erneuerbare Energie.

Was Energieeffizienz im Straßenverkehr betrifft, so sind der Umstieg auf öffentliche Verkehrsmittel sowie die Erhöhung der Auslastung der Fahrzeuge wichtige Minderungsmöglichkeiten. Man kann z. B. zu dritt mit dem Pkw fahren.

Die Elektromobilität ist aus unserer Sicht der wichtigste Beitrag zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen. Dazu muss die Energiewende vorangetrieben werden, und der gesetzliche Rahmen muss laufend angepasst werden. Das heißt, die Regelungen müssen verschärft werden. Insbesondere die Weiterentwicklung der Ladeinfrastruktur ist wichtig.

Ferner geht es darum, angepasste Fahrzeuge – Gewicht, Batteriegröße, Leistung – herzustellen. Das hilft, die Ziele schneller zu erreichen.

Die Bundesländer können einiges tun: Ausbau des öffentlichen Verkehrs und der Ladeinfrastruktur und ein Beitrag zur Energiewende mithilfe der eigenen Flotten. Es geht darum, effiziente Fahrzeuge zu beschaffen und entsprechende Rahmenbedingungen zu setzen, auch über die CVD – Clean Vehicles Directive – hinausgehend.

Die Folien werde ich Ihnen später zukommen lassen, sodass Sie es sich noch einmal anschauen können. – Ich bedanke mich für Ihre Aufmerksamkeit.

Vorsitzender: Herr Lambrecht, vielen Dank für Ihren Vortrag und für die Informationen, die Sie uns hier gegeben haben. – Man könnte meinen, Sie seien einmal Abgeordneter gewesen: Das war eine Punktlandung; Sie haben genau 20 Minuten für Ihren Vortrag gebraucht.

Wir kommen zu unserem dritten Vortrag. Anschließend werden wir in die Diskussionsrunde mit den drei Anzuhörenden einsteigen.

Als Nächster ist Herr Dipl.-Ingenieur Peter Kasten zugeschaltet. Er ist stellvertretender Bereichsleiter Ressourcen & Mobilität beim Öko-Institut in Berlin. Herr Kasten, in den nächsten 20 Minuten gehört unsere Aufmerksamkeit Ihnen.

Herr **Kasten:** Herr Vorsitzender, meine Damen und Herren! Vielen Dank für die Einladung. Ich möchte das, was Herr Lange und Herr Lambrecht vorbereitet haben, zusammenfassen und dann in einen größeren Kontext stellen, mich auf das Gesamtsystem beziehen, ein paar sektorübergreifende Betrachtungen anstellen und noch einmal genauer auf das Thema Ladeinfrastruktur eingehen. Viele Sachen, die ich zeigen werde, haben Sie eben in einem anderen Kontext schon

gesehen. Aber ich werde, wie gesagt, versuchen, das aus einer Gesamtperspektive zusammenzufassen.

Präsentation Herr Kasten siehe Anlage – Folie 2: „Der klimapolitische Rahmen: Sektorziel im Jahr 2030 von 85 Mio. t CO₂e“

Diese Grafik hat auch Herr Lange als Einstieg gezeigt. Ich will da gar nicht lange verbleiben. Was wichtig ist – das hat Herr Lambrecht auch zum Teil angesprochen –: Wir brauchen im Verkehrssektor strukturelle Änderungen des politischen Rahmens. Sonst werden wir im Verkehrssektor keinen Klimaschutz erreichen, wie wir ihn dem Klimaschutzgesetz entsprechend brauchen und auch entsprechend der Effort-Sharing-Verordnung, über die wir uns auf der EU-Ebene verständigt haben. Wir werden auch nicht die Ziele des Pariser Abkommens erreichen, das Deutschland unterschrieben hat. Das ist eine ganz wichtige Sache: Wir brauchen möglichst strukturelle Änderungen des politischen Rahmens. Es geht nicht darum, leichte Anpassungen vorzunehmen.

Folie 3: „Wie sind die Klimaschutzziele erreichbar? Antriebswende ist zentral, aber nicht ausreichend“

Auf der nächsten Folie sind links zwei Abbildungen zu sehen: Wie können wir überhaupt die Klimaschutzziele im Verkehrssektor erreichen – im Jahr 2030, aber auch, langfristig, bis zum Jahr 2045, wenn wir im Verkehrssektor keine Treibhausgasemissionen mehr haben wollen? Es wurde in den anderen beiden Vorträgen schon angesprochen, aber es wird hier noch einmal gut gezeigt: Auf den beiden Abbildungen liegt der Anfangspunkt im Jahr 2016 bzw. im Jahr 2019 jeweils bei rund 170 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten.

Sie sehen an dieser Wasserfallgrafik, über welche Maßnahmen Minderungen erreicht werden können. Rot eingekreist ist immer die Minderung durch die Antriebswende. Herr Lange hat das „Energiewende“ genannt; ich nenne es jetzt „Antriebswende“: die Antriebswende zu emissionsfreien Fahrzeugen. Das heißt, das zentrale Element, um Klimaschutz im Verkehrssektor zu erreichen, ist die Antriebswende hin zu emissionsfreien Fahrzeugen. Das sind batterieelektrische Fahrzeuge, und das sind Brennstoffzellenfahrzeuge; das können im Güterverkehr auch netzintegrierte Fahrzeuge wie der Oberleitungs-Lkw sein. Das Wichtige ist: Die Antriebswende ist zentral, um Klimaschutz im Verkehrssektor zu erreichen. Das ist aber nicht ausreichend. Wir werden weitere Maßnahmen wie die Verkehrsverlagerung zum Umweltverbund und die Verkehrsvermeidung brauchen, gegebenenfalls auch Kraftstoffe. Das haben Herr Lange und Herr Lambrecht auch schon angesprochen.

Schauen wir uns an, wo wir stehen: Im Personenverkehr und im urbanen und regionalen Straßengüterverkehr – das zeigen alle Studien, und das sieht man auch an den angebotenen Fahrzeugen – wird die Haupttechnologie die batterieelektrische Mobilität sein. Wir werden rein batterieelektrische Fahrzeuge im Personenverkehr sowie im urbanen und regionalen Straßengüterverkehr haben; das wird die wesentliche Technologie sein. Das zeigen alle Studien und alle Kostenrechnungen. Das sehen wir, wie gesagt, auch schon beim Angebot der Fahrzeuge.

Herr Lambrecht hat es angesprochen: Im Straßengüterfernverkehr haben wir einen Technologiewettbewerb zwischen batterieelektrischen Fahrzeugen und Brennstoffzellenfahrzeugen. Der Oberleitungs-Lkw ist eine super kosteneffiziente Alternative; sie ist technisch recht einfach. Leider sehen wir gerade, dass kein Lkw-Hersteller diese Technologie zentral vorantreibt. Das hängt damit zusammen, dass eine große Unsicherheit im Hinblick darauf besteht, ob die Oberleitungen auch wirklich gebaut werden. Da muss der Staat aktiv werden; dann würden die Lkw-Hersteller wahrscheinlich mit einsteigen. Wir sehen in dem Bereich gerade, dass, wie gesagt, einige stärker auf den batterieelektrischen Lkw setzen und ein paar andere stärker auf den Brennstoffzellen-Lkw. Rein technisch hat der batterieelektrische Lkw einen kleinen Vorsprung. Die Brennstoffzellenfahrzeuge werden wir wahrscheinlich erst Mitte der Zwanzigerjahre in Serie sehen. Wahrscheinlich werden wir in diesem Bereich mittelfristig einen Mix aus verschiedenen Antriebssystemen haben.

Die Verkehrsverlagerung habe ich schon angesprochen. Das ist die kosteneffizienteste Art, Klimaschutz zu betreiben, und dementsprechend auch eine sehr gute Ergänzung zur Antriebswende. Ich werde gleich begründen, wieso aus meiner Sicht die alternativen Kraftstoffe keine relevante Rolle für den Klimaschutz im Verkehrssektor spielen werden. Sie werden schon eine Rolle spielen, aber keine zentrale.

Folie 4: „Antriebswende zentral für den Klimaschutz: verfügbar, kosteneffizient und sektorübergreifend vorteilhaft“

Die Grafik auf der linken Seite stammt aus der sogenannten Leitstudie, die das Bundeswirtschaftsministerium in Auftrag gegeben hat; sie ist vom Fraunhofer Institut im Konsortium mit anderen Forschungsinstituten erstellt worden. In der Leitstudie wurden drei Szenarien entwickelt, wie die Klimaschutzziele in Deutschland erreicht werden. Beim Szenario TN-Strom wird der Fokus auf die Stromnutzung gelegt, beim Szenario TN-H2-G auf die Wasserstoffnutzung und beim Szenario TN-PtG/PtL auf E-Fuels und synthetische Gase.

Was Sie an dieser Grafik ablesen, sind die Mehrkosten, die wir in der Volkswirtschaft haben, wenn wir stark auf Wasserstoff oder auf die E-Fuels setzen, um Klimaschutz zu betreiben. Bei den beiden vorangegangenen Vorträgen hat man das indirekt gesehen: der Mehraufwand, den man hat, wenn man E-Fuels nutzt. In diesem Szenario werden auch die Infrastrukturkosten mit gerechnet. Wir haben früher auch Szenarien gerechnet. Die Wissenschaftler sind sich eigentlich sehr sicher, dass wir, wenn wir über möglichst viel direkte Stromnutzung Klimaschutz betreiben, in der Volkswirtschaft die geringsten Kosten haben. Wenn wir uns sehr stark auf Wasserstoff fokussieren oder auf E-Fuels setzen, werden wir sehr viel höhere volkswirtschaftliche Kosten haben. Dementsprechend ist meine Empfehlung, möglichst auf die batterieelektrischen Fahrzeuge zu setzen.

Folie 5: „Antriebswende zentral für den Klimaschutz: verfügbar, kosteneffizient und sektorübergreifend vorteilhaft“

Das ist die gleiche Folie, nur mit einer anderen Abbildung und ein bisschen mehr Text. Links findet sich eine sehr komplexe Abbildung, die Sie nicht im Detail zu verstehen brauchen; Sie können sie sich einmal in Ruhe anschauen. Das ist eine Abbildung aus einem Werkstattbericht

der AG 1 der Nationalen Plattform Zukunft der Mobilität. Dort war ich Gutachter. Wir haben unter anderem mit dem BDI und dem Mineralölwirtschaftsverband – es waren noch ein paar andere Stakeholder dabei – Roadmaps für einen Technologiehochlauf für alternative Kraftstoffe entwickelt. Das ist die Technologie-Roadmap für synthetische Kraftstoffe. Der Übergang von Hellgrün zu Dunkelgrün, den Sie da sehen, stellt den Zeitpunkt dar, zu dem wir anfangen können, E-Fuels industriell in größeren Mengen verfügbar zu machen. Heute haben wir es in der Produktion mit sehr kleinen Anlagen zu tun. Da müssen verschiedene Skalierungsschritte stattfinden. Die Einschätzung ist, dass wir erst Mitte oder Ende der 2020er-Jahre – vielleicht sogar erst 2030 – wirklich in eine industrielle Produktion von E-Fuels einsteigen können, weil die Technologie noch nicht dort ist, wo sie sein muss, um die Kraftstoffe industriell zu erzeugen.

In Hessen gibt es im Industriepark Höchst die Anlage von Ineratec, die – soweit ich weiß, ab nächstem Jahr – 3.500 Tonnen E-Fuels pro Jahr erzeugen soll. Wenn Sie sich die Grafik anschauen, sehen Sie, dass diese Anlage noch kleiner ist als die Forschungsanlage, auf die hier eingegangen wird. Auf dem Stand sind wir heute, bei sehr kleinen Forschungsanlagen. Dass wir mit solchen Anlagen viele Kraftstoffe erzeugen, werden wir frühestens Ende der 2020er-Jahre oder Anfang der 2030er-Jahre sehen.

Folie 6: „Antriebswende zentral für den Klimaschutz: verfügbar, kosteneffizient und sektorübergreifend vorteilhaft“

Hier ist das Gleiche für fortschrittliche Biokraftstoffe zu sehen. Herr Lange hat schon darauf hingewiesen, dass Biokraftstoffe auf der Basis von Futtermitteln und Lebensmitteln nicht nachhaltig sind. Daher werden auf europäischer Ebene und auf deutscher Ebene vor allem die fortschrittlichen Biokraftstoffe gefördert. Das sind Biokraftstoffe, bei denen man auf Reststoffe in der Landwirtschaft oder aus der Holzproduktion zurückgreift. Aus Stroh können wir, gegebenenfalls ziemlich zeitnah, in sehr kleinen Anlagen Ethanol herstellen, das man Benzin beimischen kann. Das sind allerdings sehr kleine Anlagen. Auch in der Vergangenheit konnten die Anlagen nicht wirtschaftlich betrieben werden. Es soll 2022 eine Anlage in Rumänien eröffnet werden. Ich bin gespannt, ob die wirklich eröffnet wird. In der Vergangenheit sind, wie gesagt, die Anlagen aus wirtschaftlichen Gründen gescheitert.

Oben ist der Übergang von Hellgrün zu Dunkelgrün – industrielle Produktion – rot eingekreist. Das ist eine Kraftstoffproduktion, die auf Restholz aufsetzen würde; man würde damit Synthesegas herstellen. Davon wiederum würden Kraftstoffe hergestellt. Da geht man davon aus, dass man eher – 2027/2028 – so weit ist, diese Kraftstoffe im industriellen Maßstab zur Verfügung zu stellen. Das ist ein großer Unterschied zu batterieelektrischen Fahrzeugen, die heute in Serie produziert werden. Es werden heute immer mehr Werke umgestellt, die dann anstelle von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren batterieelektrische Fahrzeuge herstellen. Da sind wir schon bei einer industriellen Serienproduktion, auch bei den Batterien. Die batterieelektrischen Fahrzeuge sind einfach sehr viel schneller verfügbar, als es die Kraftstoffe sein werden.

Zu guter Letzt – das wurde auch in den vorangegangenen Vorträgen kurz angesprochen –: Bei der nachhaltigen Biomasse ist die mengenmäßige Verfügbarkeit stark eingeschränkt. Beim nachhaltigen Wasserstoff ist es so, dass es zumindest kurz- bis mittelfristig nur geringe Mengen geben wird. Wir denken, dass es im Zeitraum 2030 bis 2035 gegebenenfalls eine Commodity werden wird. Aber bis dahin werden wir sehr wenig Wasserstoff haben. Der Punkt ist, dass man den Wasserstoff und die Biomasse in anderen Sektoren einfach sehr viel effizienter einsetzen kann, was Klimaschutz und Energiesicherheit bedeutet. Wenn man Wasserstoff produziert und ihn in der Stahlerzeugung einsetzt, hat man mit derselben Menge Wasserstoff, die man nutzt und die der Staat auch finanzieren muss – das wird zunächst nicht wirtschaftlich sein –, einen viel größeren Beitrag zum Klimaschutz geleistet, weil dann Emissionen aus Steinkohle wegfallen, die dort benötigt wird.

Im Verkehrsbereich – das hat Herr Lambrecht angesprochen – haben wir andere attraktive Anwendungen: Flugverkehr, Seeverkehr. Dort haben wir keine Alternativen zu den Biokraftstoffen und den E-Fuels. Deshalb sollten sie dort eingesetzt werden.

Folie 7: „Antriebswende zentral für den Klimaschutz: verfügbar, kosteneffizient und sektorübergreifend vorteilhaft“

In den letzten beiden Monaten ist das Thema Energiesicherheit zentral geworden. An der Abbildung auf der linken Seite lässt sich die Erdgasnachfrage in Deutschland ablesen. Wir haben eine sehr große Erdgasnachfrage in Deutschland. Das Erdgas wird zu einem großen Teil in der Industrie und im Wärmebereich eingesetzt. Dort ist die Verwendung von fester Biomasse – wenn wir Wasserstoff zur Verfügung haben sollten, auch der Ersatz von Erdgas durch Wasserstoff – sehr relevant, damit wir unsere Erdgasnachfrage reduzieren können. Das ist in Richtung Energiesicherheit – auch wegen des Ukraine-Kriegs – ein sehr wichtiger Aspekt. Wir sollten diese Ressourcen nicht verstärkt im Verkehrssektor einsetzen. Dann kann man die Erdgasnachfrage nicht in dem Maße reduzieren, wie es der Fall wäre, wenn man die Biomasse und den Wasserstoff sehr viel zielgerichteter einsetzte.

Folie 8: „Strom wird zentraler Endenergieträger im Verkehrssektor“

Auf dieser Folie sehen Sie den Endenergieverbrauch im Verkehrssektor in einem Zielszenario. Das ist ein Szenario, das das Klimaschutzgesetz für den Verkehrssektor in Deutschland im Jahr 2030 vorsieht. Sie sehen eine starke Reduktion der Endenergienachfrage. Das hängt sehr stark mit der Elektrifizierung des Fahrzeugbestands zusammen – die Fahrzeuge sind sehr viel effizienter –, teilweise aber auch mit Verkehrsverlagerung und Verkehrsvermeidung. Das ist ein Szenario, das wir gerade für das Umweltbundesamt und das Wirtschaftsministerium erstellt haben. Es ist noch nicht veröffentlicht; es wird aber bald herausgegeben.

Sie sehen auch, dass der erneuerbare Strom langfristig der wichtigste Energieträger für den Verkehrssektor wird. Wenn Sie sich die Zahlen für das Jahr 2040 anschauen, sehen Sie, dass mehr als die Hälfte des Energiebedarfs aus erneuerbarem Strom gedeckt wird. Das, was dort als strombasierter Kraftstoff angeführt wird, ist vor allem die Nutzung von Wasserstoff im Lkw-Verkehr. Sie sehen auch, was ich eben gesagt habe: dass die Biokraftstoffe in diesem Szenario verstärkt in

anderen Sektoren eingesetzt werden, weil dort mit der nachhaltigen Biomasse effizienter Klimaschutz betrieben werden kann als im Verkehrssektor.

Für die Landesebene zentral sind der Ladeinfrastrukturausbau und der Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien. Das möchte ich Ihnen gern ans Herz legen, auch wenn das nicht das Thema Ihrer Enquetekommission ist. Sie können nicht zu viel an erneuerbaren Energien ausbauen, und auch von der Netzinfrastruktur, die Sie brauchen, können Sie nicht zu viel haben. Wir stehen vor einer enormen Herausforderung, wenn es darum geht, diesen Strom zur Verfügung zu stellen. Das ist wirklich eine zentrale Aufgabe, bei der auch die Landesregierung eine Rolle spielt.

Noch ein Punkt: Je effizienter das Verkehrssystem ist, je mehr Leute also auf den öffentlichen Verkehr oder auf kleinere Fahrzeuge umsteigen, desto kleiner ist die Herausforderung im Zusammenhang mit dem Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung.

Folie 9: „Bund und Eu als zentrale Akteure für den Klimaschutz: Landesebene relevant für erfolgreiche Umsetzung“

Hier sehen Sie wieder eine Wasserfallgrafik; auch das ist ein Szenario. Es stammt aus dem Projektionsbericht, den Herr Lange vorgestellt hat. Die Grafik zeigt, dass wir mit den bisher beschlossenen Maßnahmen 2030 rund 126 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente an Emissionen haben werden.

Es stellt sich die Frage, welche Instrumente benötigt werden, um das im Klimaschutzgesetz verankerte Ziel zu erreichen. Ganz zentral sind Anpassungen des Steuer- und Abgabensystems. Das hört die Politik ungern, aber wir werden unser Steuer- und Abgabensystem umbauen müssen, um Klimaschutz zu betreiben. Wir können es aber so umbauen, dass es zu einer sozial viel gerechteren Mobilität führt, als es heute der Fall ist.

Eine zentrale Maßnahme ist ein CO₂-Malus beim Fahrzeugkauf. Das heißt, man passt die Kfz-Steuer an und implementiert für Fahrzeuge, die hohe CO₂-Emissionen haben, im ersten Jahr einen Malus. Sehr wichtig für den Güterverkehr – den Herr Lambrecht in den Mittelpunkt gestellt hat – ist die Einführung eines relevanten Preises. Das kann man über die Lkw-Maut machen. Ich glaube, darüber besteht in der Regierung Einigkeit. Das wird in den nächsten Jahren kommen.

Außerdem – deswegen war das in den letzten Wochen und Monaten für viele in der Wissenschaft sehr frustrierend – werden wir höhere Kraftstoffpreise benötigen. Wenn wir uns anschauen, wie wir zuletzt mit der Energiebesteuerung umgegangen sind, müssen wir feststellen, dass wir das genau das Gegenteil gemacht haben. Wir haben die Energiesteuern gesenkt. Wir werden mittelfristig höhere Kraftstoffpreise brauchen. Das kann über den CO₂-Preis erfolgen; so wird es auch gemacht. In diesem Szenario haben wir für das Jahr 2030 Kraftstoffpreise von rund 2,30 €/l hinterlegt. Das sind nominal knapp 2 €/l. Ohne solche Kraftstoffpreise werden wir das Klimaschutzziel im Verkehrssektor nicht erreichen.

Das Ordnungsrecht ist und bleibt relevant. Die CO₂-Flottenzielwerte sind als Treiber wichtig, und das Tempolimit ist eine kostenneutrale Kurzfristmaßnahme. Es ist ein relevantes Politikfeld, um Klimaschutz im Verkehrssektor zu betreiben.

Für die Landesebene sind – das hat auch Herr Lambrecht angesprochen – Kapazitätssteigerung des ÖV und Infrastrukturumbau für den Umweltverbund wichtig. Das ist die Voraussetzung dafür, dass die oben genannten Instrumente auch wirken und die Leute auf andere Verkehrsmittel umsteigen können. Für die Landesebene kann auch die öffentliche Beschaffung relevant sein. Man kann über die Einführung eines CO₂-Schattenpreises in einer relevanten Höhe nachdenken. Der Ladeinfrastrukturaufbau und der Ausbau der EE-Stromerzeugung wurden schon angesprochen.

Folie 10: „Private und öffentliche Ladeinfrastruktur: Ausbaudynamik weit entfernt von benötigter Geschwindigkeit“

Jetzt komme ich noch einmal auf die Ladeinfrastruktur zu sprechen. Links sehen Sie den Bedarf am jährlichen Zubau von öffentlichen Ladepunkten dargestellt. Wir haben in der Studie, die gerade in der Veröffentlichung ist, drei Szenarien abgeleitet. Da sind wir von den 1 Million öffentlichen Ladepunkten, über die politisch immer diskutiert wird – die meiner Einschätzung nach nicht benötigt werden –, noch weit entfernt. Es sind drei Szenarien, die von einer unterschiedlichen Zahl von öffentlichen Ladepunkten ausgehen. Sie sehen dort, dass wir eine erhebliche Dynamik beim Aufbau von öffentlichen Ladepunkten brauchen. Bis Mitte der 2020er-Jahre müssen wir die Ausbaugeschwindigkeit eigentlich alle zwei Jahre verdoppeln, um die Infrastruktur zur Verfügung zu stellen, die für die batterieelektrische Mobilität notwendig ist.

In der Diskussion über die Ladeinfrastruktur – auch in der Politik – stehen meiner Einschätzung nach die privaten Ladepunkte oft zu wenig im Fokus. Private Ladepunkte am Wohnort und am Arbeitsplatz sind das Rückgrat der Ladeinfrastruktur. Dort werden wir sehr viel laden, und auch dort wird es Kostenhemmnisse geben, was bedeutet, dass wir ohne Förderung keinen entsprechenden Ausbau der privaten Ladepunkte sehen werden. Darauf komme ich gleich noch einmal zurück. Der derzeitige Fokus auf die Ultraschnellladeinfrastruktur – das Deutschlandnetz, über das diskutiert wird – ist gerechtfertigt. Mittelfristig sollten wir jedoch wieder stärker die normalere Infrastruktur in den Fokus nehmen, weil das für die Bedarfsdeckung von vielen Fahrzeugen doch eine zentrale Stellschraube ist.

Ich habe eben private Ladepunkte angesprochen. Sie können unwirtschaftlich sein. Das ist immer der Fall – das gilt auch für die öffentliche Ladeinfrastruktur –, wenn wir eine unzureichende Auslastung haben, wenn wir hohe bauliche Kosten haben, wir also Tiefbau betreiben müssen, und wenn wir das Netz anpassen müssen. Dann müssen die privaten Ladepunktbetreiber Baukosten stemmen, und das kann teuer werden. Die Leute werden dann am Wohnort keinen Ladepunkt bauen. Daher ist meine Empfehlung: Wenn finanziell gefördert werden soll, soll sich die Förderung auf notwendige, aber schlecht ausgelastete Standorte fokussieren, vor allem auf die Netzanschlusskosten, also auf die Baukostenzuschüsse. Das wäre eine zielgerichtete Förderung, mit der man die Netze für die Ladeinfrastruktur kostenseitig angehen kann.

Folie 11: „Hemmnisse für den Aufbau von Ladeinfrastruktur: Genehmigungsprozesse und Fachkräftemangel“

Was für Hemmnisse gibt es noch beim Aufbau von Ladeinfrastruktur? – Das sind die üblichen Sachen, die man auch aus anderen Politikfeldern immer wieder hört: Genehmigungsprozesse, Fachkräftemangel. Im Rahmen des Projekts haben wir viele Expertinnen- und Expertengespräche geführt. Das haben wir immer wieder gehört: Die Genehmigungsprozesse dauern sehr lang; in den Kommunen steht zu wenig Personal zur Verfügung, um Genehmigungen schnell zu erteilen; es wird zu wenig prioritär behandelt; man hat einen großen Aufwand, weil man verschiedene Verwaltungsabteilungen einbinden muss.

Das andere Problem ist der Mangel an Elektrikfachkräften und an Tiefbaufachkräften. Auch das führt dazu, dass es einen erheblichen Umsetzungsstau gibt. Damit sind Unternehmen konfrontiert, die Ladeinfrastruktur aufbauen wollen.

Ein weiterer Punkt ist, dass gerade die öffentliche Normalladeinfrastruktur – aber auch die Ultraschnellladeinfrastruktur – heute oft monopolistisch geprägt ist. Man sollte bei Ausschreibungen und Vergabeverfahren die regionalen – bei der Ultraschnellladeinfrastruktur bundesweiten – monopolistischen Strukturen angehen und dafür sorgen, dass nicht nur ein Betreiber regional aktiv ist. Als Empfehlung möchte ich Ihnen mitgeben – das Vergabeverfahren habe ich eben angesprochen –: Man könnte – eigentlich recht einfach – gemeinsame Genehmigungsunterlagen entwickeln. Uns wurde immer wieder gesagt, dass jede Kommune, jedes Land unterschiedliche Genehmigungsunterlagen hat und dass diese analog und nicht digital aufbereitet sind. Im Idealfall sollte es einen One-Stop-Shop geben, an den man sich ein einziges Mal wendet. Dieser One-Stop-Shop organisiert das Einbinden der verschiedenen Verwaltungsabteilungen. Das wäre ideal.

Wir brauchen auch eine Qualifizierungsoffensive und Netzwerklösungen. – Ich bin jetzt schon ein bisschen über die Zeit. Soll ich noch etwas zu den Ressourcen sagen, oder gibt es kein Interesse daran?

Vorsitzender: Das ist die letzte Folie; das machen wir noch.

Herr **Kasten:** Okay.

Folie 12: „Ressourcensicherheit: kurzfristig eine Herausforderung für alle Arbeitstechnologien“

Ich habe das Thema Ressourcensicherheit mit aufgenommen, weil es in ihrem Fragenkatalog zweimal, glaube ich, vorkam. Ich habe zwischen verbrennungsmotorischen, batterieelektrischen und Brennstoffzellenantrieben unterschieden.

Die Situation bei den Rohölimporten sah letztes Jahr noch so aus, dass rund 33 % der Importe aus Russland kamen. Ich habe die Folien erstellt, bevor Herr Habeck vor zwei Tagen an die Presse gegangen ist und gesagt hat, dass es derzeit nur noch 12 % sind. Eigentlich ist es nur noch die Raffinerie in Schwedt, die Rohöl aus Russland bezieht. Es war aber vorher schon klar, dass die Importe aus Russland bis Ende 2022 eingestellt werden. Die Herausforderung dabei ist, dass alternative Importländer jetzt auch zum Teil instabil und im Hinblick auf die Menschenrechte problematisch sind. Eigentlich sind nur die USA, Großbritannien und Norwegen stabile und im Hinblick auf die Menschenrechte unproblematische Länder. Andere alternative Importländer stehen in der Beziehung vor einer gewissen Herausforderung.

Palladium ist ein wichtiges Metall, das für Katalysatoren benötigt wird. Russland und Südafrika sind die Hauptproduzenten in der Primärproduktion. Der Vorteil ist, dass es eine sehr etablierte Recyclingkette gibt. Über die Recyclingkette wird schon mehr Palladium zurückgespielt, als beispielsweise in Russland derzeit abgebaut wird. Es können sich kurzfristig gewisse Probleme ergeben, aber mittel- bis langfristig sollte es überhaupt kein Problem sein, die Primärproduktion in Russland zu ersetzen.

Zu den batterieelektrischen Antrieben: Da wurde eine Frage nach der Verwendung von Kobalt gestellt. Da Kobalt sehr teuer ist und es auch unter Menschenrechtsgesichtspunkten Probleme mit seiner Verwendung gibt, geht die Entwicklung sehr stark in die Richtung von Batterien, in denen wenig Kobalt verwendet wird, dafür aber mehr Nickel. Bei der Kobalt-Primärproduktion ist Russland für den Weltmarkt wenig relevant, aber bei der Nickelproduktion sieht das ein bisschen anders aus – allerdings nicht so sehr, dass mittel- und langfristig eine Ressourcenproblematik zu befürchten ist. Es ist eher so, dass es indirekte Beteiligungen von russischen Unternehmen in europäischen Staaten gibt. Das ist wahrscheinlich problematischer als die tatsächliche Nickel-Produktion in Russland.

Indonesien ist das Land mit der größten Primärproduktion von Nickel. Auch dort wird die Primärproduktion derzeit erheblich ausgeweitet.

Bei der Produktion von Lithium spielt Russland keine relevante Rolle.

Einen Punkt möchte ich noch aufgreifen, weil er meiner Meinung nach oft vernachlässigt wird: Wenn wir über Brennstoffzellenantriebe reden, müssen wir wissen, dass zumindest bei der Wasserstoffproduktion, nämlich in der PEM-Elektrolyse, Iridium zum Einsatz kommt. Von all den Rohstoffen, die hier erwähnt worden sind, ist Iridium der, der uns wirklich vor große Herausforderungen stellt. Die Menge an Iridium, die wir in der PEM-Elektrolyse einsetzen, muss stark reduziert werden. Es gibt derzeit keinen dezidierten Iridiumabbau. Iridium fällt als Nebenprodukt des Platinabbaus an. Rund 80 % kommen aus Südafrika, 20 % aus Russland. Es ist wirklich eine Herausforderung, wie wir mit dem Einsatz von Iridium in der PEM-Elektrolyse und damit in der Wasserstoffproduktion umgehen.

Die Schlussfolgerung daraus: Ein frühzeitiger Einstieg ins Recycling ist wichtig. Das werden wir bei den Batterien noch sehen. Die Wertstoffe, die darin enthalten sind, sind sehr wertvoll. Ansonsten sind Konzepte zur Ressourceneinsparung sehr wichtig – Second Life, Verlängerung der Nutzungszeiten –, um die Primärbedarfe an Ressourcen zu reduzieren.

Damit schließe ich meinen Vortrag. Ich hoffe, es war interessant. Ich bin gespannt auf die Diskussion.

Vorsitzender: Herr Kasten, vielen Dank. – Wir wollen gleich in die Fragerunde einsteigen. Frau Barth hat sich als Erste gemeldet. Bitte schön.

Abg. **Elke Barth:** Vielen Dank an die Vortragenden. – Ich habe ein großes Fragezeichen im Kopf. Das hat sich leider auch nach den drei Vorträgen nicht geändert, obwohl Sie alle das Thema ein Stück weit gestreift haben; am ehesten wurde es noch im Vortrag von Herrn Kasten angesprochen.

Bei meinem Fragezeichen geht es um die Ladeinfrastruktur für E-Mobilität. Mir macht es ein Stück weit Angst, wenn ich sehe, dass verschiedene Hersteller jetzt schon ankündigen, in einigen Jahren gar keine Verbrenner mehr zu produzieren. Ich denke an die Menschen, die nicht die Möglichkeit haben, auf dem eigenen Grundstück bzw. auf dem eigenen Parkplatz eine Wallbox zu installieren – sprich: hauptsächlich die Menschen in den Städten. Dort ist das nicht möglich, weil viele Menschen keinen festen Parkplatz haben, zu Wohnungseigentümergeinschaften gehören oder Mieter sind. Aufgrund der ungenügenden öffentlichen Ladeinfrastruktur ist es nicht möglich, für die Wege, die man zurücklegen muss, ein reines E-Auto zu nehmen.

Es wird zwar in den Vorträgen deutlich, dass ausgebaut werden muss, aber wer das konkret machen soll und wie das konkret abläuft, dazu habe ich, abgesehen vom letzten Vortrag, wenig gehört. Die Kommunen sind dafür zuständig, aber bei der Geschwindigkeit, mit der das vorangeht, werden wir definitiv scheitern. Das fängt übrigens ganz oben an: Wenn die E-Mobilität tatsächlich in dem Maße vorangetrieben würde, wie es politisch gewünscht wird, würden unsere Strommengen nicht reichen. Ich habe das Gefühl, dass sich die meisten Stromerzeuger – das ist eine der Engstellen, die hier noch gar nicht angesprochen wurden – nicht damit beschäftigen. Man versucht, das gesetzlich zu regeln. Mehrfamilienhäuser und Wohnungseigentümergeinschaften: Man braucht jetzt keinen einstimmigen Beschluss mehr. Aber wenn der Antragsteller darauf besteht, auszubauen, obwohl die meisten anderen Eigentümer nicht dabei sind, muss er die Umstellung alleine finanzieren. Auch da sehe ich ein Problem. Das heißt, in den Städten kann das eigentlich nicht so funktionieren, wie es geplant ist.

Ich möchte noch eine Anmerkung zu dem Vortrag von Herrn Lambrecht machen. Was die Verfügbarkeit von E-Autos betrifft: Ich habe gelernt, dass man, wenn man ein vollelektrisches Auto

bestellen möchte – gerade im Dienstwagensektor; viele Unternehmen fordern von ihren Mitarbeitern, dass sie vollelektrische Autos fahren, maximal einen Hybrid –, mittlerweile mit Lieferzeiten von mehr als einem Jahr rechnen muss. Deshalb nehmen gerade die großen Hersteller, etwa Mercedes, BMW und Audi – im Dienstwagensegment werden die meisten E-Autos angeschafft –, kleinere Mittelklassewagen inzwischen aus dem Programm oder stattdessen generell die E-Autos mit den großen Motoren mit den knappen Teilen aus, bei denen es große Margen gibt. Das heißt, als Mitarbeiter eines Unternehmens, der einen Dienstwagen bestellen will, muss ich mir einen größeren Motor bestellen, da die kleineren Motoren gar nicht mehr hergestellt werden oder nicht lieferbar sind. Das ist für die Energiebilanz nicht von Vorteil.

Insgesamt würde ich mir noch mehr Hilfestellungen wünschen außer dem Hinweis, es müssten strukturelle Änderungen des politischen Rahmens erfolgen. Welche sollen das sein? Wie schaffen wir es, die Ladeinfrastruktur so auszubauen, dass es technisch möglich ist und tatsächlich umgesetzt wird? – Wir müssen mit der Entwicklung Schritt halten können. Im ländlichen Raum funktioniert es einigermaßen, weil dort eher die Möglichkeit besteht, auf dem eigenen Parkplatz zu parken, aber ich denke nicht, dass in Städten wie Wiesbaden und Frankfurt in einigen Jahren ein nennenswerter Anteil an E-Autos fahren wird.

Vorsitzender: Vielen Dank, Frau Barth. – Ich bitte Sie alle, sich bei den Fragen kurz zu fassen. Sie haben Ihre Fragen zum Teil selbst beantwortet. Wir müssen schauen, dass wir Fragen haben, die unsere Anzuhörenden klar beantworten können. – Als Nächster hat Herr Dr. Naas das Wort.

Abg. **Dr. Stefan Naas:** Zunächst einmal geht ein herzlicher Dank an alle drei Anzuhörenden. Ich finde, es waren sehr komprimierte und sehr informative Vorträge.

Zwei Punkte interessieren mich besonders. Einen hat die Kollegin Barth schon aufgegriffen: die Ladeinfrastruktur. Ich hatte bisher die naive Vorstellung, dass wir, zumindest was kleine E-Autos und den kleineren Radius betrifft, sehr stark auf die Kommunen setzen können, aber auch auf die Privaten, die sich in ihren Garagen einfach entsprechende Vorrichtungen bauen, dass damit eine gewisse Dynamik vorhanden ist, dass vielleicht die langen Fahrten noch mit der größeren Karosse – in einer Familie gibt es ja mehrere Autos – gemacht werden und dass wir deswegen deutlich vorankommen.

Zweiter Punkt. Ich fand es sehr spannend, was Sie über Oberleitungs-Lkws gesagt haben. Ich fahre gelegentlich nach Darmstadt, und dann komme ich an dieser Strecke vorbei. Es ist gewaltig, was dort an Infrastruktur notwendig ist, welche Komplikationen es bei Abzweigungen, Tankstellen usw. gibt und wie schnell das daherkommt.

Deswegen meine Frage: Haben Sie die Kosten für die Errichtung und die Unterhaltung dieser – ich nenne es jetzt einmal so – Obermaschinerie – mit einkalkuliert, und wie sieht das im Vergleich zur Eisenbahn aus? An sich haben wir das eigentlich schon. Es gibt dieses Modell schon: Große,

sperrige Güter werden, insbesondere über lange Strecken, von A nach B transportiert. Der letzte Kilometer fehlt meist. Die Problematik haben wir beim Lkw auch; dafür muss immer noch der Dieselmotor an Bord mitgeführt werden. Die Bahn deckt das ab, auch mit einem ganz anderen Radwiderstand. Deswegen meine Frage: Wie sieht der direkte Vergleich zwischen Bahn und Lkw mit Obermaschinen aus? Ist das, mit Blick auf die – in meinen Augen – unglaublich hohen Kosten, die durch den Bau einer wenige Kilometer langen Strecke entstehen, in Deutschland wirklich durchführbar?

SV Prof. **Dr. Barbara Lenz**: Ich habe vier Fragen, von denen zwei schon angeteasert worden sind. Erstens. Von Herrn Kasten hätte ich gern gewusst, was er mit den „strukturellen Änderungen des politischen Rahmens“ konkret meint.

Die zweite Frage – auch schon von Herrn Naas angeteasert – betrifft die Oberleitungs-Lkws. Sowohl Herr Kasten als auch Herr Lambrecht haben gesagt, das sei ökonomisch die mit Abstand beste Variante. Es kann sein, dass die Infrastrukturen so günstig sind, aber ich frage mich, ob man nicht nur Oberleitungsinfrastrukturen, sondern auch zusätzliche Straßeninfrastrukturen braucht; denn es werden auf den zur Verfügung stehenden Autobahnen jetzt mehr Spuren benötigt. Möglicherweise wurde das in Ihren Berechnungen einbezogen. In dem Fall hätte ich gern eine Erläuterung dazu.

Drittens. Ich glaube, es war Herr Lambrecht, der gesagt hat, wir brauchen bei dem Thema Lkw einen einheitlichen Pfad für Europa. Dazu hätte ich gern eine Einschätzung: Was, glauben Sie, ist das für ein Pfad? Wie realistisch ist seine Einführung? Wann könnte er kommen? Welche Maßnahmen, auch auf der EU-Ebene, bräuchten wir dazu? Welche Maßnahmen kann ein Bundesland wie Hessen ergreifen, um einen Beitrag zu leisten?

Die vierte Frage ist eher ein Kommentar. Alle drei haben Sie über technische Themen gesprochen, aber in allen technischen Themen kam das Thema Verhalten ganz viel vor. Dann haben Sie Szenarien auf der Grundlage dieses Gemischs aus Technik und Verhalten entwickelt. Dieses Gemisch sehe ich vor allem darin: Zum einen brauchen Sie Akzeptanz für neue Technologie – das bekommen wir schon irgendwie hin –, zum anderen wurde immer wieder auf das Thema Auslastung eingegangen. Auslastung ist aber, wie wir wissen, ein Thema, bei dem sich seit Jahren – um nicht zu sagen: seit Jahrzehnten – nichts bewegt. Ich hätte es gern gehabt, dass man diese beiden Dinge auseinanderdividiert. Vielleicht können Sie das kurz kommentieren: Was ist Technik? Was ist Verhalten? Welche Rahmenbedingungen braucht man, um das Verhalten zu initiieren, das man braucht, um das, was man an technischen Neuerungen hat – egal ob das Effizienzsteigerungen oder zusätzliche Konzepte sind –, wirksam werden zu lassen? – Das ist eine kleine Lücke; da hat mir etwas gefehlt. Ich weiß, wir könnten jetzt den ganzen Tag darüber diskutieren. Aber vielleicht können Sie es kurz kommentieren.

SV Dr.-Ing. Georg Gickeleiter: Anker aller drei Vorschläge war der Klimaschutz. Eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen ist meiner Meinung nach alles, was wir machen. Deutschlands Anteil an den Weltemissionen beträgt 1,5 %. Wenn wir jetzt 89 Millionen Tonnen einsparen, entspricht das einem Anteil von 0,8 % an den chinesischen Treibhausgasemissionen und einem Anteil von 0,3 % am weltweiten Ausstoß. Wenn mir jemand erklären könnte, wie das das Klima rettet, wäre ich sehr dankbar. Übrigens ist die Menge, um die der Treibhausgasausstoß in China zwischen 2015 und 2018 zugenommen hat, größer als das, was in ganz Deutschland an Treibhausgasen ausgestoßen wird.

Herr Kasten: Erstens. Zur Frage nach der Ladeinfrastruktur vor allem in den Städten: In meinem Vortrag bin ich nicht darauf eingegangen; das kam in dem Vortrag von Herrn Lange vor. Wir haben mit der THG-Quote mittlerweile ein Instrument, das den Ladeinfrastrukturbetreibern zusätzliche Erlöse ermöglicht. Es ist wichtig, festzuhalten, dass wir bisher auch deshalb wenig Ladeinfrastruktur gesehen haben, weil ihre Finanzierung sehr schwierig war. Dieses Instrument unterstützt die Wirtschaftlichkeit von Ladeinfrastruktur und reduziert das Hemmnis, überhaupt Ladepunkte aufzubauen. Ich glaube, es ist ein wichtiger Punkt, zu verstehen, dass wir mit den ambitionierteren Zielen der THG-Quote eine bessere Wirtschaftlichkeit der Ladeinfrastruktur erreichen, auch bei einer nicht so hohen Auslastung der Ladepunkte.

Zweitens. Auch durch die steigende Zahl der Elektrofahrzeuge werden wir eine höhere Auslastung der Ladeinfrastruktur und eine bessere Wirtschaftlichkeit haben. Dementsprechend wird es einen größeren Anreiz geben, in dieses Geschäftsfeld zu investieren. Ich glaube, es ist wichtig, festzuhalten, dass die Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu früher verbessert wird.

Frau Barth hat wirklich eine Herausforderung angesprochen, die vorhanden ist. Meiner Einschätzung nach habe ich aber ziemlich konkrete Vorschläge gemacht, wie man den Aufbau von Ladeinfrastruktur unterstützen kann. Ich sehe es so, dass wir die Förderung nicht nach dem Gießkannenprinzip betreiben sollten, wie wir es bisher sehr stark gemacht haben, sondern dass wir sie auf Standorte ausrichten sollten, die vor der Herausforderung stehen, eine gute Auslastung der Ladeinfrastruktur zu erreichen. Damit können wir zu vergebende Finanzmittel sehr viel effizienter einsetzen, als wir es bisher gemacht haben. Ich glaube, das ist ein wichtiger Punkt. Die Finanzmittel werden voraussichtlich in größerem Umfang vom Bund kommen als vom Land Hessen.

Als einen weiteren wichtigen Punkt habe ich angesprochen: Was sehr teuer sein kann und den Aufbau von Ladeinfrastruktur ökonomisch behindert, sind die erheblichen Tiefbaumaßnahmen, die notwendig sind, und die sogenannten Baukostenzuschüsse für den Netzanschluss. Da ist meine Empfehlung, dass man ein Förderprogramm aufsetzt, das auf die Baukostenzuschüsse abzielt, um Ladeinfrastruktur an Orten zu ermöglichen – das betrifft sowohl private als auch öffentliche Ladepunkte –, die mit schwierigen Netzanpassungssituationen zu kämpfen haben.

Die Erfahrung, die wir in Gesprächen mit Expertinnen und Experten gemacht haben, ist, dass die Herausforderung nicht darin besteht, dass es für die Ladepunkte keine Betreiber und Investoren

gibt, sondern darin, dass die Umsetzung beschleunigt werden muss. Das ist die große Herausforderung. Es ist notwendig, die Genehmigungsprozesse zu beschleunigen, mehr Personal in den Verwaltungen zu haben und gegebenenfalls die Genehmigungsprozesse zwischen den Kommunen abzustimmen. Wir haben mit Ladeinfrastrukturbetreibern gesprochen, die gesagt haben, sie müssten in jeder Kommune ein anderes Dokument ausfüllen, andere Fragen beantworten; das werde analog gemacht. Oft versuche man, mit lokalen Akteuren zusammenzuarbeiten, da die die lokalen Gegebenheiten kennen würden. Das sei aufwendig.

Man kann so etwas auf der Landesebene und auf der Bundesebene sehr viel besser organisieren. Das würde auch den Aufbau der Ladeinfrastruktur erheblich beschleunigen. Wie gesagt, idealerweise gibt es einen One-Stop-Shop, in dem man einmal mit einem Antrag antritt, woraufhin auf der Verwaltungsseite der ganze Prozess zwischen den Verwaltungseinheiten organisiert wird. Wenn Sie mit Betreibern sprechen, bekommen Sie zu hören, dass sie sich in den Kommunen zum Teil mit fünf, sechs, sieben oder acht Behörden abstimmen, die voneinander nichts wissen. Das verlangsamt den Aufbau. Ich glaube, das ist wirklich ein Punkt, an dem die Politik unterstützen kann, um den Aufbau der Ladeinfrastruktur schneller hinzubekommen.

Was wir auch nicht vergessen dürfen: Über das Deutschlandnetz, aber auch über private Akteure sehen wir gerade einen sehr dynamischen Aufbau von Ultraschnellladeinfrastruktur. Auch Ultraschnellladesäulen werden in Städten oder in städtischen Hubs zur Verfügung stehen, sodass die Leute die Möglichkeit zum Ultraschnellladen haben. Das ist teurer, aber diese Möglichkeit wird es meiner Einschätzung nach geben.

Frau Lenz hat gefragt, was ich mit „strukturellen Änderungen“ meine. Mit den strukturellen Änderungen – siehe Folie 9: „Bund und EU als zentrale Akteure für den Klimaschutz: Landesebene relevant für erfolgreiche Umsetzung“ – habe ich einen fundamentalen Umbau unserer Steuer- und Abgabensystematik im Verkehrssektor gemeint. Das kann man sozial sehr viel gerechter machen als heute. Ich bin nicht im Detail darauf eingegangen, weil ich nur 20 Minuten Zeit hatte. Es heißt z. B., einen Malus für CO₂ emittierende Fahrzeuge einzuführen, das Dieselsteuerprivileg abzuschaffen – das ist keine Revolution –, generell eine CO₂-Bepreisung einzuführen und die Dienstwagenbesteuerung anders zu organisieren als heute. Solche Aspekte stellen meiner Einschätzung nach eine strukturelle Änderung gegenüber der Art und Weise dar, wie wir heute den Verkehrssektor bepreisen. Wir richten ihn derzeit überhaupt nicht am Klimaschutz aus.

So viel zu dem Punkt. Herrn Lambrecht überlasse ich die Beantwortung der Fragen nach den Oberleitungs-Lkws.

Herr **Lambrecht**: Es ist da noch eine andere Frage aufgetaucht, nämlich die nach der Stromversorgung von z. B. 15 Millionen Fahrzeugen. Ich weiß nicht mehr, wer von Ihnen die Frage gestellt hat. Wenn man sich das anschaut, stellt man fest, dass die Versorgung von 15 Millionen Fahrzeugen 10 % des Stromverbrauchs bedeutet. Es ist also nicht so, dass wir da das System total kollabieren lassen. Man muss sehen, die Hersteller gehen gerade in die Richtung, dass man das Fahrzeug auch als Energiespeicher nutzen kann, sodass das Elektroauto in den nächsten Jahren

bei dem Thema „variable erneuerbare Energien“ eine wichtige Rolle spielen kann. Der Stromverbrauch ist also kein – ich sage es einmal so – Showstopper, sondern es ist umgekehrt: Wenn man es richtig gut macht – gesteuertes Laden und das Nutzen der Batterie als Energiespeicher –, kann es das Thema erneuerbare Energien sogar voranbringen. Ich mache noch einmal darauf aufmerksam: Das ist wirklich kein Showstopper, sondern eher umgekehrt.

Ein Thema, das Sie noch angesprochen haben – im Augenblick ist das ein etwas kritisches Thema –, ist die Lieferzeit von einem Jahr. Ihre Behörden bekommen das auch gerade mit; sie befinden sich ja in einem Wettbewerb mit dem freien Markt. Es wird für sie gerade immer schwieriger, Elektrofahrzeuge anzuschaffen. Die Lieferzeit beträgt derzeit ein Jahr. Die Rahmenbedingungen ändern sich aber. Man sieht bei Tesla und auch bei anderen, dass das ein Thema ist, das Geld bringen wird und Geld bringen muss. Während sich vor vier oder fünf Jahren die Diskussion immer darum drehte, dass die deutsche Automobilindustrie total kaputtgehen wird, wenn man auf Elektrofahrzeuge setzt, sieht man, dass heute der reichste Mensch der Welt Elektrofahrzeuge produziert. Das muss man im Kopf behalten.

Eine neue Technologie braucht einen Aufbau. Man hat gerade diese Lieferschwierigkeiten, und die Hersteller, VW beispielsweise, verkaufen zurzeit eher die Fahrzeuge mit den großen Batterien; die kleineren bekommt man nicht. Das ist das Ressourcenthema, um das es geht. Aber auf die Dauer muss das kommen. Dann müssen, wie gesagt, die entsprechenden Rahmenbedingungen gesetzt werden, so, wie es Herr Kasten gerade gesagt hat. Ich denke, das wird auch kommen; denn damit kann man einfach Geld verdienen.

Als wichtiges Thema haben Sie noch Europa und Oberleitungen angesprochen. Es ist natürlich ein recht großer Aufwand, den man bei den Oberleitungen am Rand betreibt. Wenn darunter nur fünf Lkws fahren, wie das in Pilotversuchen der Fall ist, bedeutet das wirklich einen riesengroßen Aufwand. Anders ist es, wenn viele Lkws darunter fahren. Das ist gerade die Testphase: Wie viele Lkws fahren? Wie viel bekommt man dann? – Das hängt wirklich sehr stark von der Auslastung ab. Deswegen muss man jetzt einfach einmal ein paar Jahre schauen, was passiert, welche Technologien sich wie entwickeln und wie weit das Ganze kostenmäßig gut ist. Wir haben Szenarien erstellt und uns angeschaut, welche Strecken kostenmäßig passen würden. Dabei haben wir festgestellt, dass die Kosten für die Infrastruktur relativ gering sind im Vergleich zu den anderen Kosten, die man beim Lkw hat, z. B. die Kosten für das Fahrzeug. Das ist auch nichts, was das Thema stoppt.

Herr **Dr. Lange**: Ich sage kurz noch etwas zu ein paar anderen Punkten. Das Thema gesteuertes Laden, das Herr Lambrecht angesprochen hat, ist ganz wichtig. Es ist auch im Koalitionsvertrag verankert, dass man in Richtung gesteuertes Laden und Systemdienstleistung geht und das voranbringen will. Es ist gut, dass es da aufgegriffen wird. Das Thema wird immer relevanter, je schneller der Hochlauf der Elektrofahrzeuge fortschreitet.

Aus meiner Sicht ist es auch ganz wichtig, dass wir, insbesondere im Pkw-Bereich, eine Sicherheit der Entwicklung haben. Da, wo die Elektrifizierung schon im Fokus steht, werden die Entwicklungen eigentlich immer klarer. Es ist klar absehbar, was notwendig ist, und das übersetzt sich bei den Fahrzeugherstellern jetzt auch entsprechend. Aber ich glaube, in der Peripherie, also an allen Stellen, an denen es um Ladeinfrastruktur geht – z. B. im Gebäudebereich, den Sie angesprochen haben –, wird sich vieles stark ändern, weil sich der rechtliche Rahmen da weiterentwickelt und man jetzt auf der Basis der Planungssicherheit und damit der klaren Bedarfe reagieren kann.

An der Stelle möchte ich zwei konkrete Punkte nennen. Zum einen betrifft das die Novelle der EU-Gebäuderichtlinie, bei der es um öffentliche Gebäude und nicht öffentliche Gebäude geht. Es wird jetzt verankert, dass, wenn diese Gebäude maßgeblich renoviert oder neu gebaut werden, Ladeinfrastruktur vorgehalten wird, dass dort also nicht nur Leerrohre verlegt werden. Von daher werden sich hoffentlich auch dort die jetzt konkreteren Anforderungen im Hinblick auf die Neufahrzeuge abbilden. Das betrifft auch die Netzentwicklungspläne, bei denen es jetzt klarer wird, welche Bedarfe sich da ergeben, sodass diese berücksichtigt werden können.

Die von Herrn Kasten erwähnten Weiterentwicklungen und Verbesserungen werden sich dann auch in Richtung der Akteure weitertransportieren, die da anzusprechen sind. Irgendwelche Kompetenzen klarer zu regeln, sie zu vereinfachen und zu übersetzen ist natürlich sehr sinnvoll. Auch die angesprochene Richtlinie zur alternativen Infrastruktur setzt da einen klaren Rahmen. Wenn man das weiterentwickelt, kann man da gut reagieren. Dann hat man von verschiedenen Seiten die entsprechenden Anreize und auch Vorgaben, die das viel konkreter machen können. Deswegen ist es notwendig, dass die Anforderungen z. B. bei den Flottenzielwerten nicht verwässert werden, sondern dass weiterhin klar ist, dass das erforderlich ist, um zum Erreichen der Klimaziele und der weiteren Umweltziele beizutragen. Vielleicht kann Herr Lambrecht noch etwas zu dem Thema „Oberleitungen, Bahn, Lkw“ ergänzen.

Vorsitzender: Ich möchte auf die Frage nach der Oberleitung zurückkommen, die hier zweimal gestellt worden ist. Haben Sie in Ihre Berechnungen die Infrastrukturkosten mit aufgenommen? Ist in den Berechnungen enthalten, dass wir die Leitung bauen müssen? Wir haben von Frau Prof. Lenz gehört, dass man eventuell weitere Fahrbahnen braucht. Ist das in diese Berechnungen schon mit aufgenommen, und ist es dann, so, wie Sie es dargestellt haben, trotzdem noch die günstigste Variante? – Dazu bräuchten wir eine Information. Vielleicht ist da, wie Sie sagen, Herr Lambrecht der richtige Ansprechpartner.

Herr **Lambrecht:** Ich glaube, in der Grafik, die die Kollegen erstellt haben, wurde das nicht abgebildet. Aber ich habe mit den Kollegen darüber gesprochen, dass der Anteil der Kosten für die Infrastruktur im Vergleich mit den anderen Kosten recht gering ist, sodass die gesamte Kostenbilanz dann stimmt. Sie müssen sich einfach vorstellen, dass so ein Lkw alle möglichen Päckchen zu tragen hat: den Fahrer, das Fahrzeug usw. Das lässt sich sehr gut abschreiben, wenn sie 20

Jahre lang eine Infrastruktur und eine gewisse Menge von Fahrzeugen haben. Deswegen verändert das die Kostenstruktur nicht besonders.

Herr **Dr. Lange**: Ich möchte kurz noch etwas ergänzen. Ich glaube, in dem Fall ist die Ladeinfrastruktur ziemlich präsent. Das, was zur Energiebereitstellung notwendig ist, was man also sieht, befindet sich viel näher an der Straße als in anderen Fällen. Von daher darf man sich von diesem rein optischen Eindruck nicht zu sehr beeinflussen lassen.

Bezüglich des Aufbaus ist es so, dass eigentlich oft hybride Konzepte vorgeschlagen werden, sodass gerade schwieriger zu elektrifizierende Anteile gut ausgespart werden können. Das kann meiner Kenntnis nach bei den Kosten für die Infrastruktur stark reduzierend wirken. Daher ist es, wie gesagt, nicht notwendig, gerade irgendwelche großen Autobahnkreuze – Ein- und Ausfahrten – zu elektrifizieren. Ein Vorteil im Vergleich z. B. zu batterieelektrischen Lkws ist: Auch dort sind große Mengen an Ressourcen und Materialien vorhanden, die aber im Lkw integriert sind oder in irgendwelchen PtL-Kraftstoffen oder im Wasserstoff. Man muss also viel mehr Erneuerbare aufbauen, den Wasserstoff verteilen und ihn herstellen. Das sind Sachen, die quasi weniger nah an der Straße gemacht werden, die aber große Aufwendungen und große Veränderungen in anderen Bereichen bedeuten. Das muss man in der Abwägung mit berücksichtigen. Aber die Studien bilanzieren oft in diese Richtung; man versucht auch, das möglichst ganzheitlich zu sehen.

Dass es einen zusätzlichen Bedarf an Straßen gibt, sehe ich nicht. Prinzipiell ist es natürlich gut, den Transport möglichst vieler Güter auf die Schiene zu verlagern und deswegen auch die Mengen im Blick zu behalten. Perspektivisch ist es von Vorteil, dass man mit dem Lkw, wenn er hybridisiert ist oder noch über eine Batterie verfügt, am Ende, nach der Autobahnfahrt, deutlich flexibler ist, als wenn man das alles erst auf die Bahn verlagert. Aber es geht weniger darum, das eine zu tun und das andere zu lassen, sondern darum, beides voranzubringen, also die Schiene zu stärken, aber auch Alternativen für die großen Mengen an Gütern zu finden, die jetzt schon auf der Straße transportiert werden. Das sind die Punkte, die ich noch anmerken wollte.

Herr **Lambrecht**: Ich ergänze kurz etwas. Ich habe keine genaue Zahl im Kopf, aber ich glaube, ein Viertel der Güter wird auf der Schiene transportiert. Man muss sich einmal ansehen, wie der Gütertransport funktioniert. Man sieht immer die Lkws auf der Autobahn, die gefühlt den ganzen Tag, von morgens bis abends, fahren. Aber es gibt viele Transporte, die über 50, 100 oder 200 km gehen. Da ist der Zug nicht unbedingt das Transportmittel, auf das man viel verlagert. Außerdem hat sich die Güterstruktur stark verändert. Wir haben nicht mehr so viele Kohlegüterzüge – und werden sie auch in Zukunft nicht mehr haben. Für solche Transporte eignet sich ein Güterzug gut. Wir haben auch nicht mehr so viele Langzüge, die z. B. von Audi nach Emden hochfahren.

Das heißt, es gibt zwei Sachen. Es gibt eine Änderung der Güterstruktur. Ein relativ kleiner Anteil wird auf der Schiene transportiert. Hinzu kommt – das sehen Sie z. B. bei der Rheinschiene –, dass der Ausbau der Infrastruktur bei der Schiene unglaublich planungs- und zeitaufwendig ist.

Das heißt, bis man das Thema vorangetrieben hat, ist das CO₂-Budget fast schon aufgebraucht. Aber man muss es, wie Herr Lange gesagt hat, vorantreiben. Man muss das also machen, aber man muss auch das andere machen, damit es überhaupt zu einer CO₂-Minderung kommt; denn der größte Klopper sind die CO₂-Emissionen der Lkws, nicht die der Bahnen. Man muss schauen, wie viel man verlagern kann, und muss dabei z. B. auch die Verlässlichkeit der Bahn und die Terminals einbeziehen. Das ist ein riesengroßer Aufwand. Im Prinzip stellt sich die Frage, wie die Planung aussieht, wie viel Geld zur Verfügung steht und wie die Widerstände sind. Aber, wie gesagt, man muss beides tun. Wir würden das am ifeu nicht genauer untersuchen, wenn wir denken würden, das sei sinnlos. Ich denke, es ist sehr wichtig, den großen Klopper weiter zu dekarbonisieren. Die CO₂-Emissionen der Bahn sind natürlich viel niedriger, aber die Bahn kann nur einen Teil der Güter transportieren.

Vorsitzender: Wir werden – wir haben unsere Teststrecke in Hessen – das Ergebnis der Testphase abwarten. Es wird hoffentlich einen Bericht darüber geben. Insofern werden wir noch Einzelheiten erfahren.

Abg. **Knut John:** Die meisten Fragen, die ich stellen wollte, sind schon beantwortet. Aber ich möchte mich noch für die Vorträge bedanken. Da ich selbst ein E-Auto fahre, stelle ich fest: Es ist ein tolles, ein wunderbares Fahren mit einem solchen Fahrzeug. Nun habe ich den Vorteil, dass ich selbst eine Fotovoltaikanlage und eine Wallbox habe. Hier ist das relativ einfach. Aber wenn ich nach Wiesbaden fahre, wird es problematisch, und damit sind wir bei den Ultraschnellladesäulen angekommen. Aber darüber haben wir schon genug gesprochen.

Herr Kasten, ich möchte Ihnen trotzdem an einem Punkt widersprechen: Bei der Beantragung von Ladesäulen muss man nicht acht Hürden überwinden, sondern man hat einen, maximal zwei Ansprechpartner. Das geht relativ schnell. Das Problem ist der Querschnitt der Leitungen, die in unseren Kleinstädten liegen. Da wird Ihnen ganz schnell gesagt: Sei froh, dass du in deiner Straße der Erste bist; wenn noch einer hinzukommt, haben wir ein Problem. – Daran müssen wir gehen. Dazu habe ich von Ihnen zu wenig gehört.

Was ich auch ein Stück weit vermisse – gerade wenn ich auf den ländlichen Raum schaue: Umstiege auf den öffentlichen Nahverkehr –: Was ist mit dem autonomen elektrifizierten Nahverkehr? Sehen Sie darin eine Chance, die kleinen Dörfer miteinander zu verbinden?

Ich hätte gern noch eine Frage beantwortet: Im ersten Vortrag war von 250 Modellen der Autoindustrie in Europa. Ich sage „in Europa“; denn anscheinend haben Sie Europa gemeint. Handelt es sich bei den 250 Modellen um reine E-Autos, oder sind Hybridautos mit dabei? Wenn Hybridautos mit dabei sind: Gibt es da noch eine Unterscheidung? Das würde mich interessieren. Es drängt sich ein bisschen der Eindruck auf, dass die Hybridfahrzeuge eher zu den gehobenen Klassen gehören. Wie stehen Sie dazu?

Abg. **Klaus Gagel:** Auch von unserer Seite vielen Dank an die drei Referenten. – Ich bin wieder einmal sehr stark in der Einschätzung bestärkt, dass vieles, was hier vorgetragen wurde, noch Plan und Theorie ist. Nach dem Anhören aller drei Vorträge komme ich doch zu dem Ergebnis, dass das Ganze nicht funktionieren wird. Es wird nicht funktionieren. Selbst wenn es funktionieren würde – da bleiben wir bei unserer grundsätzlichen Kritik –, tatsächlich die Emissionen in den nächsten 15 bis 25 Jahren auch europaweit so wie im Plan vorgesehen zu senken, bleibt immer noch die Tatsache, dass in der gesamten EU nur 10 % des globalen CO₂-Ausstoßes erfolgen und 90 % eben im Rest der Welt. Diese 10 %, die dann innerhalb der nächsten 20 Jahre wegfallen, werden von China, Indien und den anderen Staaten mehr als kompensiert. Das bedeutet, dass es beim CO₂-Gehalt der Atmosphäre effektiv keinen Rückgang, sondern einen weiteren Anstieg geben wird. Daran wird grundsätzlich deutlich, dass sich auch dann, wenn wir die größten Anstrengungen unternehmen und unsere CO₂-Emissionen so sehr zurückfahren, wie wir wollen, am CO₂-Gehalt global gesehen nichts ändern wird. Damit fällt die ganze Klimafrage in sich selbst zusammen. Die traurige Erkenntnis ist leider, dass die gesamte Klimaplanwirtschaft in sich selbst zusammenfällt, weil sie global nicht durchführbar ist. Und die Frage der CO₂-Emissionen ist nicht durch eine nationale Emissionsstrategie, die irgendetwas fürs Klima bringen würde, und auch nicht EU-weit zu lösen, sondern in der Tat nur global. – Ich habe trotzdem zwei konkrete Fragen an die Vortragenden.

Die erste Frage bezüglich der Bandbreiten ist von Herrn John schon gestellt worden. Energieversorgungsunternehmen weisen immer wieder darauf hin, dass sie in einer Wohnanlage nur eine bestimmte Anzahl von Ladepunkten einrichten können; bei 12 oder 13 Ladepunkten ist Schluss. In einer größeren Wohnanlage mit 300 oder 400 Wohnungen bekämen dann nur manche Interessenten einen Ladepunkt, weil die Anzahl der Ladepunkte rationiert werden müsste.

Die zweite Frage richtet sich an Herrn Dr. Lange. Auf Seite 10 zeigen Sie die Treibhausgasemissionen pro Kilometer über den gesamten Lebenszyklus für einen modernen Kompaktklasse-Pkw. Bei dieser interessanten Grafik ist mir aufgefallen, dass das Elektroauto bei ungefähr 180 g/km liegt, aber der derzeitige Pkw mit Verbrennungsmotor – Diesel, fossil – nur ganz wenig darüber, nämlich bei etwa 205 g/km. Das würde für mich bedeuten, dass es gar keinen wirklich großen Unterschied zwischen dem derzeitigen Pkw mit Verbrennungsmotor – Diesel, fossil – und dem Elektroauto gäbe. Sehe ich das richtig, oder habe ich da ein Verständnisproblem?

SV Prof. **Dr. Martin Lanzendorf:** Herzlichen Dank an die Referenten. Ich fand das eine sehr prägnant informierende und sehr kompetente Darstellung des Wissens zu diesem Themenfeld, also zu den zugegebenermaßen etwas technischen Voraussetzungen oder Möglichkeiten, um hier CO₂ einzusparen. – Ich habe drei Fragen, die sich auf den größeren Kontext richten; ich erläutere bei der dritten Frage dann noch, warum.

Erstens habe ich eine reine Verständnisfrage. Udo Lambrecht hat gesagt, dass sowohl die Motorleistungen als auch die Gewichte der Fahrzeuge ansteigen. Peter Kasten hat davon gesprochen, dass man in Zukunft natürlich mit kleineren Fahrzeugen rechnen müsse. Mir ist nicht klar

geworden, wo sich die Handlungsnotwendigkeit ergibt bzw. wie damit politisch umgegangen wird oder umgegangen werden sollte.

Der zweite Punkt ist ähnlich. Es ging immer um die Pkw-Flotte. In den zehn Jahren von 2010 bis 2020 ist die Zahl der Pkws in Deutschland um 20 % angestiegen; wir hatten vorher 40 Millionen und danach 48 Millionen. Ich weiß nicht, was Grundlage der Szenarien ist, anhand derer das Umweltbundesamt z. B. abschätzt, wie sich das weiterentwickelt. Wenn ich höre, dass wir irgendwann, möglicherweise 2030, eine absolute Zahl von 15 Millionen Elektrofahrzeugen haben werden, bin ich mir nicht ganz sicher, ob die Zahl der konventionellen Antriebe entsprechend zurückgeht. Mir scheint es sehr wichtig zu sein, zu wissen, wie viele Prozent der Flotte sich eigentlich verändern. Insofern bin ich davon ein bisschen irritiert gewesen.

Die dritte Frage ist für mich die wichtigste. Sie schließt sehr an das an, was Frau Lenz vorhin gefragt hatte. Ist es eigentlich möglich, dass man nur allein über technische Verbesserungen spricht, wie wir das hier versuchen? Von mehreren der Referenten wurde immer wieder angedeutet, wir müssten natürlich auch über Vermeidung und Verlagerung nachdenken. Aber was ist denn der Gewinn der reinen Verbesserungsmaßnahmen in Bezug auf CO₂? Gibt es irgendeine Abschätzung, was der Beitrag von Verbesserungsmaßnahmen – ohne Verhaltensänderung, ohne Vermeidung – zu den Klimaschutzziele sein könnte? Ehrlich gesagt, kommt das daher, dass es eigentlich seit 25 Jahren die Politik der Bundesregierung ist, zu sagen: Wir müssen nichts verändern; wir machen das mit technischen Verbesserungen. – Die Biomasse wurde vorhin kurz angesprochen. Wir haben in den letzten 25 Jahren von einer Fülle von Strategien gehört, die CO₂ vermeiden sollen. Wir haben auch auf einer Grafik gesehen, dass das im Verkehrssektor nicht passiert ist. Das ist nicht relevant geworden. Ich frage mich, woher der Optimismus stammt, dass man jetzt mit stark technologischen Maßnahmen Ziele relevant erreichen kann. Ich verstehe, dass das Klimaschutzgesetz mittlerweile eine Stellung einnimmt, die ganz anders aussieht. Aber in der Vergangenheit war meine Beobachtung stets, dass diese ambitionierten Ziele, die die Regierung und gerade auch das Umweltbundesamt häufig hatten, immer wieder im politischen Prozess aufgeweicht wurden und dass es Workarounds und Umgehungsstrategien gibt; „Flottenverbrauch“ tauchte ja auch immer wieder als Wort auf. Ich bin mir sehr unsicher, ob diese Strategien in den vergangenen 20 Jahren wirklich erfolgreich waren, und hätte gerne eine Einschätzung, ob das zukünftig anders sein würde.

SV Prof. **Dr. Barbara Lenz:** Meine neue Wortmeldung ist eine alte Wortmeldung. Ich hätte gerne noch eine Einschätzung zu der europäischen Dimension speziell für den Güterverkehr. Beim Pkw machen wir alles lokal und regional. Aber Güterverkehr funktioniert ohne Europa nicht. Wohin geht es da? Meines Wissens gibt es in ganz Europa außer in Deutschland noch kein Beispiel für Oberleitungen. Das ist bei Wasserstoff und bei Batterie anders. Hemmt uns das? Beflügelt uns das? Da bitte ich um eine Einschätzung.

Herr **Dr. Lange**: Ich beginne bei der Frage zu den von mir in der Abbildung auf Seite 10 dargestellten Treibhausgasemissionen. Der Vorteil von Elektrofahrzeugen ist, wenn man wirklich den kompletten Lebenszyklus betrachtet, zwar erst einmal relativ gering. Man muss aber klar sagen: Schon mit den jetzigen Annahmen ist es ein Vorteil gegenüber den Verbrennungsfahrzeugen. Perspektivisch ist die Elektrifizierung auch in einem stark treibhausgasneutralen System die vorteilhafte Option, weil sie eben energieeffizient ist. Wenn die Entwicklung im Strombereich schneller vorangeht, werden auch die Vorteile noch schneller größer werden. Wenn man sich anschaut, wie die aktuellen Fahrzeuge sich weiterentwickeln, sieht man, dass auch bei gleicher Akkugröße heute die Treibhausgaslast sehr viel geringer ist. Das heißt, dass man da immer auf die neuesten Studiendaten blicken muss. Hier war die Quelle, glaube ich, noch von 2019. Aktuell haben wir weitere Untersuchungen, die auch durchaus gute, vielversprechende Ergebnisse zeigen.

Lassen Sie mich ganz generell etwas zur Dimension des Klimaschutzes sagen. Es ist schon wichtig und relevant, dass Deutschland und die EU an dieser Stelle voranschreiten, auch wenn sie natürlich nur in gewissem Umfang zu den Emissionen beitragen. Damit zeigen sie aber auch, was technisch möglich ist. Das kann dann auch für die weiteren Prozesse notwendig sein. Um in Richtung der Pariser Ziele zu kommen, muss man gut vorbereitet sein und schnell den Weg der Minderung einschlagen, um zur Not auch die Ambition und weitere Maßnahmen noch verschärfen zu können. Bei diesen globalen Prozessen es – das ist ein wichtiger Punkt – immer auch notwendig, sich Schritt für Schritt den Zielen zu nähern. Ich glaube, dass hier noch einiges erforderlich ist, um auch den dort erfolgten Zusagen entsprechend reagieren zu können. Daher halte ich es für gut, dass Deutschland und die EU da jetzt klare Ziele haben und auch entsprechend voranschreiten.

In Bezug auf die Ladeinfrastruktur und die Leitungsquerschnitte besteht durchaus noch Handlungsbedarf, um beispielsweise über gesteuertes Laden, aber auch durch Netzausbau den bestehenden Anforderungen begegnen zu können. Das wird jetzt auch schon konkret aufgegriffen.

Eine weitere Frage bezog sich auf Motorleistung und Gewicht von Fahrzeugen sowie kleinere Fahrzeuge. Hier will ich einen Punkt, den Herr Lambrecht angesprochen hat, kurz aufgreifen. Bei den Fahrzeugen hat es zwar schon einige Vorteile in Richtung der spezifischen Effizienz gegeben. Aufgrund der Ertragssituation und der Konstruktion bei den Flottenzielwerten sind die Effizienzvorteile und die möglichen Kraftstoffeinsparungen aber so nicht angekommen, weil die Fahrzeuge immer größer geworden sind – nicht zuletzt deshalb, weil die Bereitschaft, sich größere Fahrzeuge zu leisten, aufgrund der gestiegenen Kaufkraft viel größer ist als damals.

Als letzten Punkt möchte ich den Anteil der Elektrofahrzeuge an der Pkw-Flotte ansprechen. Wenn der absolute Bestand sehr viel stärker ansteigt, wird man natürlich manche der absoluten Ziele durch relative Ziele ersetzen müssen. Viele Szenarien gehen allerdings eher davon aus, dass durch die Bepreisung, die Stärkung des öffentlichen Verkehrs und die anderen Instrumente der absolute Bestand weniger stark ansteigt, als es in Szenarien ohne irgendwelche Maßnahmen der Fall wäre. Daher ist es prinzipiell gut, immer die Anteile mitzubetrachten. Wenn man in Richtung des Klimaschutzgesetzes denkt, wird man aber bei den verschiedenen anderen Instrumenten und Bepreisungen für die notwendigen Veränderungen in Richtung Verkehrswende auch

ganz klar im Hinblick auf den Bestand reagieren müssen. Oft setzen Maßnahmen ja bei Neufahrzeugen an. Es ist dann allerdings notwendig, auch im Hinblick auf die Bestandsfahrzeuge und die damit verbundene Fahrleistung entsprechend zu reagieren.

Herr **Lambrecht**: Frau Lenz, mit der Frage, wie es denn mit Lkws weitergeht, haben Sie einen wichtigen Punkt angesprochen. Es gab entsprechende Versuche in Schweden. Das geht natürlich über Deutschland hinaus. Über das weitere Vorgehen finden viele Gespräche mit anderen Ländern statt. Der Infrastrukturausbau ist dabei eines der wichtigen, relevanten Themen. Deswegen hatte ich auch die entsprechende Roadmap gezeigt. Im Augenblick geht es darum, die verschiedenen Technologien auszuprobieren und dabei auch die Kosten zu ermitteln. In den nächsten ein, zwei Jahren muss man dann die Entscheidung treffen, wo es entlanggeht. Im Augenblick sind Scania und Siemens in dem ganzen Thema sehr aktiv. Die anderen Lkw-Hersteller setzen mehr auf Wasserstoff und Batterie. Nichtsdestotrotz ist diese Technologie von der Energieeffizienz und auch von den Kosten her das Beste, gerade was Oberleitungs-Lkws angeht. Da sind genau solche Versuche, wie sie gerade in Frankfurt gemacht werden, interessant und spannend. Vor Kurzem haben wir auch z. B. einen Workshop mit Indien durchgeführt, was ich ganz spannend fand. Daran haben sehr viele Inder teilgenommen, die an diesem Thema interessiert waren. Das Thema ist also da und funktioniert. Jetzt müssen wir aber, wie Sie gesagt haben, einmal schauen, wie sich das Thema entwickelt und wie weit auch die Industrie da hineinspringt. Das ist noch offen, was den Wettbewerb angeht. Meines Erachtens muss man das wirklich so sehen. Ich weiß nicht, Peter Kasten, ob du eine andere Meinung dazu hast.

Herr Lanzendorf hat gefragt, woher denn der Optimismus für technische Maßnahmen stammt. Ich kann auch einmal die Frage stellen: Woher stammt der Optimismus für nicht technische Maßnahmen? – Wir haben während Corona einiges gelernt und durch Homeoffice usw. Minderungen gehabt. Wir haben festgestellt, dass man Pendelverkehr vermeiden kann, und haben auch gesehen, dass Leute öfters das Fahrrad genutzt haben. Das heißt: Der Optimismus für technische Maßnahmen ist da, weil Elektromobilität wirklich ein Bruch gegenüber den konventionellen Fahrzeugen ist. Da geht es um eine Minderung der CO₂-Emissionen nicht um 5 %, sondern um potenziell 80 oder 90 %, wenn man erneuerbare Energien nutzt. Dieser Optimismus ist also vorhanden. Der Lärm wird natürlich nicht weniger. Der Flächenverbrauch geht auch nicht zurück. Es geht also darum, diese Themen alle zusammenzubringen. Beispielsweise bringt es für die Qualität in der Stadt nichts, wenn man dort die gleiche Zahl von Pkws, nur jetzt elektrisch betrieben, parken hat wie vorher. Das heißt, dass man da zusammenkommen muss. Man muss auch schauen, was man in den Städten machen kann und was man außerhalb der Städte machen kann, und die Rahmenbedingungen entsprechend setzen. Da kann das Land natürlich auch sehr viel tun, indem es den öffentlichen Verkehr entsprechend ausbaut. Das Thema „autonome Fahrzeuge“ ist in diesem Zusammenhang auch angesprochen worden. Dazu halte ich mich aber erst einmal zurück; denn dazu kommt ja noch ein Vortrag, auf dem wir dann aufbauen sollten.

Herr **Kasten**: Ich möchte zunächst auf die Frage zu der Ladeinfrastruktur und der Netzintegration eingehen. Im Vortrag wurde erklärt, dass man in diesem Beispielfall auf zwei Behörden zugehen muss. Ich kann dazu nur Folgendes sagen: Wir haben mit vielen Pragmatikern gesprochen. Von ihnen wurde als ein relevantes Problem vor allem in großen Städten thematisiert, dass man dort nicht einen Ansprechpartner hat, sondern sehr viele verschiedene, weil man als Ladeinfrastrukturbetreiber, der einen neuen Ladepunkt aufbauen will, auch verschiedene Behörden koordinieren muss. Das ist unsere Erfahrung, die wir aus Gesprächen mit Ladeinfrastrukturbetreibern mitgenommen haben.

Das Thema „Netz und Belastung des Netzes“ wurde von Herrn Lange schon angesprochen. Er hat darauf hingewiesen, dass ein netzdienlicheres Laden als heute diese Anforderungen erheblich reduziert. Es gibt praktische Pilotprojekte, die zeigen, dass das möglich ist, und viele Studien dazu. Der Knackpunkt dabei ist, dass bisher überhaupt kein Anreiz existiert, netzdienlich zu laden. Hier spielt das Energiewirtschaftsgesetz eine Rolle. Ich habe das nicht mit in meinen Vortrag aufgenommen, weil ich nur 20 Minuten Zeit hatte und nicht wusste, dass dieses Thema so im Mittelpunkt steht. Wesentlich geht es also um § 14a Energiewirtschaftsgesetz und um steuerbare Lasten. Dort fehlt eine Rechtsverordnung. Diese wird seit mehreren Jahren diskutiert. Der BDEW und die Energieversorger haben eine Meinung; der VDA hat eine andere Meinung; dann gibt es noch die Netzbetreiber und auch die Bundesnetzagentur, die noch einmal eine andere Meinung hat. Bisher konnte sich das BMWi nicht durchringen, eine solche Verordnung zu erlassen. Eine Regelung dazu, dass Netzbetreiber überhaupt in das Laden eingreifen können, um es zu organisieren und netzdienlich auszugestalten, ist also nicht vorhanden. Dementsprechend ist das derzeit nicht durchführbar. Das BMWi ist gefordert, eine solche Verordnung auf den Weg zu bringen. Wie gesagt, liegt das aufgrund der Stakeholder-Interessen derzeit ein bisschen auf Eis. Aber es wird sicherlich in naher Zukunft kommen.

Was dort auch relevant sein kann, sind zeitvariable Netzentgelte. Das heißt, dass dann, wenn eine Netzbelastung vorliegt, höhere Netzentgelte gezahlt werden, und dann, wenn die Netzbelastung gering ist, niedrigere Netzentgelte gezahlt werden. Entsprechend entwickeln sich dann auch Geschäftsmodelle, bei denen es darum geht, wie man das Laden optimiert. Das hier als Beispiel genannte Parkhaus mit 100 oder 200 Ladepunkten ist eigentlich das ideale Feld für gesteuertes Laden. Dort kann man wirklich so etwas machen und die Netzbelastung im Vergleich zu heute sehr stark reduzieren.

Noch ein letzter Punkt dazu: Ebenfalls nicht geregelt ist der Zugang zum Regelenergiemarkt. Herr Lamprecht und Herr Lange haben Smart Grids angesprochen. Dabei geht es darum, das Stromnetz zu stabilisieren. Zum Beispiel VW will damit zukünftig Geld verdienen und entwickelt Geschäftsmodelle in diesem Feld. Aber es wird auch sehr viele andere Akteure geben, die in diesem Feld Geschäftsmodelle entwickeln werden. Dort ist das Problem, dass der Regelenergiemarkt derzeit auf Regelenergiekraftwerke ausgelegt ist und die Zugangsbedingungen zu diesem Markt bisher nicht auf Kleinverbraucher, wie es Wärmepumpen und Elektrofahrzeuge sind, zugeschnitten sind. Es gibt Pilotprojekte, bei denen man sich dann als virtuelles Kraftwerk zusammenschaltet. Das ist sehr komplex. Man könnte einfach auch die Regelungen für den Zugang zum Regelenergiemarkt anpassen und die Voraussetzungen geringer gestalten, also nicht fordern, für

vier Stunden oder sechs Stunden Regelenergie zur Verfügung zu stellen oder eine Regelleistung von 100 kW bereitzustellen. Dann hätte man auch die Möglichkeit, dafür zu sorgen, dass die Netzbelastung sehr viel geringer wird. Wie gesagt, betrifft das alles die Bundesebene. Dort fehlt die rechtliche Transformation hin zu einem zukünftigen Verkehrssystem und einem zukünftigen Energiesystem. Dieses Thema der Sektorenkopplung und Sektorenintegration wird nämlich sehr relevant werden. Wie gesagt, ist es aber rechtlich bisher nicht besonders gut ausgestaltet.

Angesprochen wurde auch das Thema „Europa und Oberleitungs-Lkws“. Eine Kollegin von mir war letzte Woche in Stockholm. Dort waren auch französische Vertreter anwesend. Nächste Woche findet ein weiteres Treffen in Brüssel statt. Das Thema wird also diskutiert. Es wird sicherlich nicht in dem Maße diskutiert, wie es notwendig wäre, um sagen zu können: Diese Technologie kommt, und die Infrastrukturen werden auch europäisch aufgebaut. – Vielleicht ist für Sie noch interessant, dass Schweden und Frankreich im Moment eher eine Stromschiene präferieren, wohingegen wir versuchen, mit Oberleitungen netzintegrierte Lkws zu betreiben. Das hat etwas damit zu tun, dass wir Siemens haben und Frankreich und Schweden Alstom haben, die unterschiedliche Technologien anbieten; dementsprechend divergieren nationale Interessen.

Zuletzt möchte ich noch auf die Akzeptanz von ÖPNV und deren Relevanz eingehen. Das habe ich auch nicht im Detail in den Szenarien gezeigt. Frau Lenz und Herr Lanzendorf sind viel mehr Mobilitätsforscher als ich, denke ich. Sie kennen die Voraussetzungen und wissen, was notwendig ist, damit Mobilitätsverhaltensänderungen stattfinden. Ganz relevant sind Infrastrukturumbauten. Wir müssen den Umweltverbund infrastrukturell besser aufstellen und ihn einfach ermöglichen. Das kostet Geld und benötigt Zeit. Wir brauchen Kapazitätssteigerungen auf der Schiene und Kapazitätssteigerungen im ÖV allgemein. Es ist auch in unseren Szenarien abgebildet, dass wir diese Kapazitätssteigerungen hinterlegen. In den Szenarien sind auch die Budgets, die dafür notwendig sind und die der Bund oder die Länder zur Verfügung stellen müssen, berücksichtigt. In der Abbildung, die Sie gesehen haben, haben wir die Minderungen der Verlagerung nicht auf diese Maßnahmen allokiert, sondern alles so dargestellt, dass das flankierende Maßnahmen sind, damit auch die steuerlichen Änderungen ihre Wirkung entfalten können. Deswegen ist die Wirkung immer der Veränderung des Abgabensystems und Steuersystems zugeordnet. Diese infrastrukturellen Änderungen, was die zur Ermöglichung von Fahrradfahren, Zu-Fuß-Gehen und ÖPNV notwendigen Kapazitäten angeht, sind aber, wie gesagt, hinterlegt, und zwar einfach nur als Ermöglichungsschrauben hinterlegt. – So viel dazu. Sonst habe ich nichts mehr auf meiner Liste stehen.

Vorsitzender: Vielen Dank für die Antworten. In der Tat liegen hier auch keine Fragen mehr vor. Insofern schöne Grüße aus Hessen nach Dessau, Heidelberg und Berlin. Vielen Dank, dass Sie sich die Zeit genommen haben, um für uns bei diesen Themen Licht ins Dunkel zu bringen. Vielen Dank für Ihre Informationen.

Jetzt machen wir eine kleine Mittagspause. Wir sehen uns hier um 12:40 Uhr wieder. Dann geht es mit den neuen Themen „Autonomer Verkehr“ und „Automatisierung im ÖV“ weiter. Sie können auch gerne noch im Stream bleiben und dem dann lauschen. – Vielen Dank.

(Unterbrechung von 12:24 bis 12:43 Uhr)

Vorsitzender: Ich bitte alle, wieder in den Saal zu kommen, damit wir weitermachen können, und begrüße schon einmal Herrn Jens Schippl, der uns digital zugeschaltet ist und einen Vortrag zum Thema „Autonomer Verkehr“ halten wird.

Für die Interessierten: Ich durfte zu diesem Thema in den USA sein und war sehr überrascht, dass man dort Deutschland gelobt hat. Wir haben am 8. April 2022, glaube ich – Herr Schippl, Sie werden das besser wissen als ich –, eine rechtliche Voraussetzung geschaffen, die uns in der Forschung zu dem Projekt des autonomen Fahrens – so war zumindest die Aussage in den USA – weltweit führend gemacht hat. Es hat mich sehr überrascht, dass wir in Deutschland dieses Lob bekommen haben. Ich war ebenso überrascht, zu erfahren, dass man in München auch schon mit großen Projekten im Stadtverkehr im Rahmen einer Level-4-Testphase autonom fährt, und zwar, soviel ich weiß, bis 100 oder 120 km/h. Die nächste Station wird dann Hamburg sein, glaube ich, wo das geplant ist.

Insofern sind wir gespannt auf Ihren Vortrag zum Thema „Autonomer Verkehr“. Herr Jens Schippl ist im Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse in Karlsruhe tätig. Wir freuen uns auf Ihren Vortrag, Herr Schippl. Die Aufmerksamkeit gehört in den nächsten 20 Minuten Ihnen.

Herr **Schippl:** Herzlichen Dank für die einführenden Worte und vielen Dank für die Einladung.

Präsentation Herr Schippl siehe Anlage 4 – Folie 1: „Automatisiertes Fahren – Chancen und Herausforderungen für nachhaltige Mobilität“

Herr Vorsitzender! Sehr geehrte Damen und Herren! Sie sehen hier die Startfolie. Ich möchte kurz dazusagen: Ich wäre sehr gerne persönlich gekommen, bin aber wegen Corona in Isolation. Ich erzähle Ihnen das deswegen, weil ich auch nicht ins Büro gehen darf und meine Internetverbindung hier zu Hause manchmal ein bisschen instabil ist. Aber ich hoffe, dass wir gut durchkommen.

Das Thema des automatisierten Fahrens – Sie haben es gerade schon angesprochen – ist ein sehr breites und sehr vielschichtiges Thema. Ich kann in den 20 Minuten jetzt auch nur einige Aspekte beleuchten. Überschriften habe ich den Vortrag „Automatisiertes Fahren – Chancen und Herausforderungen für nachhaltige Mobilität“. Ich schließe damit also ein bisschen an die Diskussion an, die wir heute Vormittag hatten. Ich möchte gern die verkehrlichen Wirkungen in

den Mittelpunkt stellen. Denn das ist einfach das, mit dem wir uns am ITAS, am Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse, vordringlich beschäftigen. Wir interessieren uns aber auch für die Veränderbarkeit bzw. die Stabilität von Mobilitätsverhalten. In den nächsten 20 Minuten werde ich Ihnen allerdings vor allem einen Überblick über die zentralen Entwicklungen in diesem Feld und über die Wirkungsmechanismen geben. Sie werden auch sehen, dass der Grad an Unsicherheit im Hinblick auf viele Fragestellungen hier noch hoch ist.

Folie 2: „Verschiedene Stufen der Automatisierung nach SAE“

Hier sehen Sie noch einmal die vier verschiedenen Stufen der Automatisierung. Einigen ist das schon bekannt. So, wie ich es jetzt dargestellt habe, arbeiten wir uns da von unten nach oben. Interessant wird es ab Level 2, der Teilautomatisierung. Da hat gerade Tesla tatsächlich auch schon ein System im Markt. Eigentlich müssen Sie aber, wenn Sie es nutzen, die Hände noch am Lenkrad haben.

Das vorhin angesprochene System, das jetzt in Deutschland fahren darf und von Daimler in den Markt gebracht wird, der Drive Pilot, ist weltweit das erste System, bei dem es sich mehr oder weniger um Level 3 handelt. Da dürfen Sie auch die Hände vom Lenkrad nehmen und sich einer anderen Tätigkeit widmen. Sie dürfen aber nicht schlafen, sondern müssen jederzeit bereit sein, innerhalb von 10 s die Kontrolle über das Fahrzeug wieder zu übernehmen.

Wahrscheinlich auch noch relevant für Mobilität 2030 plus, würde ich einmal sagen, ist Level 4. Das gibt es in bestimmten Anwendungsbereichen tatsächlich schon. Darauf komme ich nachher noch einmal zu sprechen. Man muss allerdings sagen, dass die Definitionen hier irgendwann auch an ihre Grenzen kommen. Diese Level-Struktur wird auch vielfach kritisiert, weil sie relativ unspezifisch ist, gerade im Level-4-Bereich. Ich kann jetzt nicht auf die Details eingehen. Aber die Kommunikation in der Wissenschaft und in der Fachwelt und auch die Kommunikation in der Öffentlichkeit funktionieren meines Erachtens immer noch ganz gut. Hier habe ich auch ein Beispiel dargestellt, nämlich Waymo in Phönix.

Was ich nicht glaube, ist – aber das können wir gern diskutieren; andere sehen das vielleicht anders –, dass wir Level 5 noch erleben werden – zumindest nicht in der engen Definition, die es ursprünglich gab, dass ein Fahrzeug tatsächlich die gleichen Fähigkeiten hat wie ein menschlicher Fahrer. Denn das hieße, um einmal ein Bild zu benutzen, dass ich in irgendeiner Alpenregion auf schneebedeckter Oberfläche bei leichtem Schneefall dem Auto die Kontrolle überlassen könnte. Dahin wird es noch ein sehr langer Weg sein, denke ich.

Aber die Levels 3 und 4 – davon bin ich überzeugt – beschäftigen uns schon. Sie haben es gerade in den einleitenden Worten angesprochen, Herr Vorsitzender. Diese beiden Levels werden uns auch in Zukunft noch beschäftigen.

Folie 3: „Beispiele für unterschiedliche Entwicklungspfade für AF: von individueller bis zu kollektiver Mobilität“

Wichtig ist mir – das möchte ich in meinem Vortrag jetzt auch herausarbeiten –, dass es sehr stark davon abhängt, in welcher Form automatisiertes Fahren sich durchsetzt, also in welcher Form es kommt. Denn das ist entscheidend dafür, welche Wirkungen im Mobilitätsbereich wir zu erwarten haben. Deswegen zeige ich Ihnen hier diese drei Beispiele. Den ganz links dargestellten Drive Pilot von Daimler habe ich gerade schon angesprochen. Sie können sich bis zu einer Geschwindigkeit von 60 km/h in einem damit ausgestatteten Auto auf der Autobahn von der Fahraufgabe abwenden. Wenn Sie sich die Mission Statements auf der Homepage anschauen, finden Sie dort auch Sätze wie diese: „Für Kunden bedeutet dies ein ultimatives Luxuserlebnis. Sie können entspannen oder arbeiten und so wertvolle Zeit zurückgewinnen.“ Das ist also ganz klar ein Entwicklungsziel, das in die Richtung „automatisierter motorisierter Individualverkehr“ geht.

Ganz anders ist es bei dem Fahrzeug auf dem Bild rechts. Dieser kleine EasyMile EZ10 – viele von uns haben ihn wahrscheinlich auch schon gesehen – wird vielfach in Pilotprojekten in Deutschland und in anderen Ländern eingesetzt. Ein Fahrzeug von Navya, das meines Wissens auch in Hessen in dem einen oder anderen Pilotprojekt im Einsatz ist, sieht relativ ähnlich aus. Das sind Kleinbusse mit sechs Sitzplätzen, die von der Geschwindigkeitsauslegung her eindeutig auf den Stadtverkehr ausgerichtet sind. Diese Fahrzeuge sind in Deutschland bisher mit Sicherheitsfahrer unterwegs. Das Entscheidende ist dann ja, ob noch ein Fahrer darin ist oder ob kein Fahrer mehr darin ist. Richtiges Level 4, also ohne Sicherheitsfahrer, wird für 2025 geplant. Dann muss sehen, ob das wirklich kommt oder ob es nicht bis dorthin kommt. Wie gesagt, sind diese Fahrzeuge in vielen Pilotprojekten unterwegs. Hier ist die Mission „to improve public transport by connecting hubs“. Es ist also ganz klar ein Verkehrsmittel, das auf die Anwendung im öffentlichen Verkehr ausgerichtet ist.

Dann gibt es noch viele weitere Beispiele. Ich habe eines herausgegriffen, das meines Erachtens dazwischen ist und das man auch unbedingt nennen muss, wenn man über den Entwicklungsstand bei diesem Thema spricht: Waymo. Waymo ist eigentlich ganz vorne dran. Das ist eine Tochter von Alphabet, also von Google, die schon seit ein, zwei Jahren in einem Stadtteil von Phoenix einen per App buchbaren Minivan fahren hat, den man rufen kann und in den man einsteigen kann. Darin ist kein Sicherheitsfahrer mehr – zumindest nicht, solange es nicht regnet. Sobald Regen einsetzt, ist anscheinend auch bei Waymo ein Sicherheitsfahrer an Bord. Man muss dann also auch auf die Details schauen. Natürlich regnet es in Phoenix nicht so oft. Aber dieses reine Level-4-Fahren funktioniert dort anscheinend bisher auch nur bei schönem Wetter. Das soll sich aber in Kürze ändern. Das Interessante ist hier das Statement des CEO: „We’re not building a better car, we’re building a better driver.“ Das heißt, dass die Idee ist, einen besseren Fahrer zu bauen und auch den Fahrer zu verkaufen. Wo der Fahrer nachher eingesetzt werden kann, ist relativ flexibel. Es gibt im Moment auch viele Ideen, das mit dem Lkw-Bereich zu verschneiden und dort Einsatzbereiche zu suchen. Das könnten aber auch die Robotaxis sein, die jetzt vielfach in der Diskussion sind. Der Fahrer kann natürlich genauso im herkömmlichen Fahrzeug eingesetzt werden.

Folie 4: „Verkehrliche Chancen und Herausforderungen von AF“

Das ist entscheidend dafür, welche verkehrlichen Chancen und Herausforderungen wir im Mobilitätssektor durch autonomes Fahren haben werden. Ich werde jetzt ein bisschen bei dieser Folie bleiben. Es gibt eine ganze Reihe von Erwartungen an automatisiertes Fahren. Wenn Sie sich die Literatur oder auch Zeitungsartikel in der Presse anschauen, sehen Sie immer wieder, dass normalerweise eine dieser Erwartungen in der einen oder anderen Form kommt. Ganz vorne steht natürlich die Hoffnung, dass die Sicherheit zunimmt. Darauf will ich in diesem Vortrag gar nicht so intensiv eingehen; wir können gerne im Nachgang noch darüber diskutieren. Ich würde einfach davon ausgehen, dass die Maschine sicherer sein wird als der Mensch. Man wird also der Idee einer Vision Zero näherkommen. Es ist klar, dass auch die Maschine Fehler machen wird; aber es ist davon auszugehen, dass sie weniger Fehler machen wird als der Mensch. Gleichzeitig haben wir bei allen diesen Chancen auch Herausforderungen, die wir bei der Entwicklung der Technologie berücksichtigen müssen: Hacking, Datensicherheit, die Frage fehlender Redundanz. Wenn Sie sich mit dem Thema beschäftigen, kennen Sie vielleicht den Spruch, dass der letzte Führerscheinbesitzer schon geboren ist. Es gibt übrigens auch eine Homepage, die derletztefuhrerscheinneuling.com heißt. Insofern stellt sich die Frage: Was heißt das für ein Verkehrssystem der Zukunft, wenn tatsächlich keiner mehr ein Auto fahren könnte? Was haben wir dann noch als Rückfallebenen, wenn das System ausfällt? – Alles das sind Dinge, mit denen man sich beschäftigen muss, die aber meines Erachtens noch ein bisschen weiter entfernt liegen. Auch die ethischen Probleme, die damit verbunden sind, werden viel diskutiert. Das wäre jetzt ein eigener Vortrag. Wir können in der Diskussion gern darauf eingehen.

Wichtiger sind mir für diese Präsentation die nächsten vier Punkte. Dabei handelt es sich um die engeren verkehrlichen Wirkungen, die in der Diskussion sind und auch modelliert werden. Im Anschluss werde ich noch einige Beispiele nennen.

Zum einen sind das die Effizienzgewinne. Man geht davon aus, dass durch Automatisierungen ein optimierter Verkehrsfluss möglich ist, dass es zu einer Reduktion von Staus kommt und dass eine erhöhte Kapazität der Infrastruktur die Folge ist. Gleichzeitig – das ist dann wieder die Herausforderung – steigt damit die Attraktivität der Strecken, was wiederum zu einem Wachstum der Fahrleistungen führen kann. Dieser Mechanismus ist altbekannt und könnte durch das automatisierte Fahren wieder aufgerufen werden. Nicht zu unterschätzen ist wahrscheinlich auch der nächste Punkt: Die Parkplatzsuche könnte entfallen. Sie können mit dem Auto in die Stadt fahren und dort aussteigen, wo Sie möchten; das Auto sucht sich dann selbst einen Parkplatz. Damit kommen zwei Dinge zusammen, die dem Individualverkehr einen extremen Vorteil verschaffen könnten. Denn es macht das Autofahren deutlich attraktiver, wenn die zwei Dinge, die, salopp gesagt, besonders nerven, nämlich Stau und Parkplatzsuche, wegfallen. Das kann natürlich auch zu Anreizen führen, wieder mehr Auto zu fahren.

Der nächste Punkt ist die Diskussion um die Infrastruktur. Das ist auch ein längeres Thema. Wenn wir tatsächlich in eine Welt eintreten könnten, in der alle Fahrzeuge automatisiert unterwegs wären, wenn es also keinen Mischverkehr mehr gäbe, könnte man eine Einsparung von Infrastruktur erwarten, weil wir dann die 1,5 Millionen Signalanlagen, die wir in Deutschland haben, nicht mehr

bräuchten. Auch andere Infrastrukturelemente würden hinfällig, wenn sich die Fahrzeuge selbst organisierten. Derzeit ist das natürlich nicht realistisch, weil wir eine relativ lange Phase mit Mischverkehr haben werden, auch wenn die Technik schneller fortschreiten sollte als oft erwartet. Es ist also mit Kosten zu rechnen, die für eine intelligente Infrastruktur aufzubringen sind. Bisher ist relativ unklar und wenig spezifiziert, was genau für welchen Anwendungsfall gebraucht wird. Das ist auch Gegenstand von Forschungsprojekten. Ich kann mir gut vorstellen, dass zumindest eine intelligente Kommunikation zwischen Fahrzeug und Signalanlage erforderlich sein wird, weil das Ganze sicherheitstechnisch hochgradig relevant ist und es da einfach zu Missverständnissen kommen kann. Sie wissen, dass man die Farben zum Teil schlecht erkennt. Das hieße, 1,5 Millionen Ampeln aufzurüsten, was auch jemand bezahlen müsste. Das sind aber auch alles Dinge, die jetzt nicht zu Ende gedacht sind und nicht zu Ende diskutiert sind, geschweige denn geregelt sind.

Unter „Effizienzgewinne“ steht außerdem noch ein ganz entscheidender Spiegelstrich. Der Wegfall des Fahrers reduziert nämlich Kosten extrem und ermöglicht ganz neue Mobilitätsangebote.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist unter „Mobilitätsermöglichung“ aufgeführt. Selbstbestimmte Mobilität für mobilitätseingeschränkte Menschen wäre möglich. Auch Kinder und Jugendliche könnten ohne Führerschein mit Fahrzeugen unterwegs sein, wenn diese sich selbstständig im Verkehr bewegen dürften. Dem steht wieder die Gefahr eines höheren Verkehrsaufkommens gegenüber.

„Zeitnutzung während der Fahrt“ ist ebenfalls ein wichtiger Aspekt. Ohne Fahraufgabe kann ich die Reisezeit produktiver nutzen. Dadurch steigt auch die Erreichbarkeit gerade von ländlichen Regionen, was in Deutschland ein nicht zu unterschätzender Faktor ist. Allerdings führt es zu längeren Wegen und dazu, dass Staus eher in Kauf genommen werden. Mittel- bis langfristig kann es auch eine Zersiedlung zur Folge haben. Das sind die damit verbundenen Herausforderungen.

„Ermöglichung Mobilitätswende“ ist ein ganz entscheidender Punkt. Dazu komme ich gleich noch einmal, möchte es aber hier schon kurz ansprechen. Es gibt jetzt die Chance, neue Formen flexibler, effektiver, bezahlbarer Mobilität als Alternative zum MIV in verschiedenen Anwendungskontexten zu etablieren. Diese Chance bringt natürlich die Herausforderung mit sich, dass viel mehr Leerfahrten entstehen als heute, um die Fahrzeuge dahin zu bringen, wo man sie haben möchte.

Folie 5: „Verkehrliche Wirkungen von AF in PV“

Hier sind die wesentlichen Einflussfaktoren, die in vielen Studien diskutiert werden, noch einmal zusammengefasst. Ich gehe sie jetzt nicht einzeln durch. Sie können unterschiedliche Effekte auf das Mobilitätssystem haben. Die Folge kann eine Änderung der Kapazitäten sein. Ganz wichtig ist auch die darunter aufgeführte Verlagerung. Der dritte Punkt ist, dass auch neue, längere Wege entstehen können. Eine Chance der Vermeidung von Wegen sehe ich durch Automatisierung eigentlich erst einmal nicht.

Folie 6: „Bsp. Megafon Studie – Berechnung für die Region Stuttgart“

Wie ich bereits gesagt habe, haben wir es hier mit einer Technik zu tun, die neu ist. Auf dieser nächsten Folie – da werde ich jetzt ein bisschen schneller durchgehen – greife ich einige Studien heraus, um darauf hinzuweisen, dass wir es hier mit einer wirklich komplett neuen Technologie zu tun haben. Das ist nicht damit vergleichbar, dass Sie irgendwo eine neue Straßenbahn planen; denn da haben Sie ungefähr eine Vorstellung davon, was für eine verkehrliche Wirkung dies hat, weil es jahrzehntelange Erfahrungen gibt. Als ein Beispiel führe ich gern die Megafon-Studie an. Sie ist im Anschluss an die Lissabon-Studie erstellt worden, die vor einigen Jahren in den Medien mit der Schlagzeile zitiert wurde, dass man nur noch 10 % der Fahrzeuge brauchen würde, wenn wir denn automatisiertes Fahren etabliert hätten. Das hat ein wenig den Eindruck erweckt, zumindest in der medialen Darstellung, man müsse eigentlich nur auf die Technik warten, und dann lösten sich die Verkehrsprobleme von selbst. An der Megafon-Studie zeigt sich ganz gut, dass das nicht der Fall ist. Hier sind diese Berechnungen noch einmal in ähnlicher Form nachvollzogen worden. Man hat dabei sehr, sehr starke Annahmen getroffen. Es hängt also sehr stark von den Rahmenbedingungen ab, was sich tatsächlich durch automatisiertes Fahren ermöglichen lässt. Diese Rahmenbedingungen fallen in der Realität natürlich nicht vom Himmel, sondern müssen einer politischen Steuerung folgen.

Hier sind verschiedene Szenarien durchgerechnet. In der Legende sehen Sie, was die Abkürzungen NS, CS, RS, mBahn und oBahn bedeuten. Im Szenario 1 wird unterstellt, in Stuttgart gäbe es überhaupt kein No Sharing, also keine herkömmlichen Pkws mehr, sondern 100 % Carsharing und 0 % Ridesharing, aber noch eine Bahn, die mitläuft. Dann würden tatsächlich nur noch 19,2 % der Fahrzeuge benötigt, um den Verkehr abzuwickeln – wenn man die Nachfrage konstant hält, was auch nicht realistisch ist, weil sie sich natürlich verschiebt. Aber hier sollte einfach einmal dargestellt werden, was sich ergibt, wenn man den heutigen Verkehr umlegen und mit Carsharing abwickeln würde. Man hätte aber wegen der Leerfahrten eine Erhöhung der Fahrzeug-km.

Ich greife noch ein zweites Beispiel heraus, nämlich das Szenario 2, in dem man es mit Ridesharing statt mit Carsharing macht. Dann haben wir eine höhere Bündelung. Das ist vorhin schon einmal angesprochen worden. Je mehr Personen in einem Fahrzeug sitzen, desto effizienter wird das aus energetischer Sicht, und desto weniger Fahrzeuge benötigt man auch. Dann braucht man nur noch 7,1 % der Fahrzeuge, die heute unterwegs sind, und legt auch deutlich weniger Fahrzeug-km zurück, nämlich 63,9 %.

Wie gesagt, soll damit nur deutlich gemacht werden, wie stark das davon abhängt, was für eine Angebotsstruktur wir perspektivisch haben werden, und wie stark das davon abhängt, wie sich zentrale verkehrliche Parameter durch automatisiertes Fahren entwickeln werden.

Folie 7: „Bsp. MOIA Hamburg, Simulation E“

Eine andere, deutlich aktuellere Studie ist diese Berechnung für MOIA in Hamburg. Sie wissen vielleicht, dass diese Shuttles dort im Moment mit Fahrer im Rahmen eines Testlaufs unterwegs sind – mit sechs Fahrgästen, ohne festen Fahrplan, per App buchbar. Es gibt einige Simulationen,

die man einmal durchgerechnet hat. Die Idee ist ja auch, dass sie in den nächsten Jahren möglicherweise autonom bzw. automatisiert unterwegs sind, vielleicht sogar ohne Sicherheitsfahrer, also ganz ohne Fahrer. Ich habe hier nur eine Simulation herausgegriffen, in der durchgerechnet wurde, wie das aussähe, wenn man 5.000 Fahrzeuge in Hamburg hätte. Gleichzeitig wurde angenommen, dass massive Maßnahmen zur Reduktion des MIV umgesetzt werden und dass der Pkw-Besitz um 20 % abgenommen hat. Dann sieht man, dass es auch bei 5.000 Fahrzeugen erst unter solchen starken Annahmen möglich ist, einen deutlichen Rückgang der Fahrzeug-km zu erzielen. Der Umweltverbund gewinnt dann auch dazu. Öffentlicher Verkehr und MOIA kommen auf 32 % Wegeanteil; heute sind es 24 %.

So entwickelt sich das auch in Richtung dessen, was heute Morgen als Verkehrswende bezeichnet wurde. Aber die Botschaft aus den letzten beiden Folien ist einfach: Selbstverständlich kann man mit automatisierten Angeboten sehr viel erreichen. Aber es braucht auch entsprechende Rahmenbedingungen. Einen wirklichen Effekt erzielt man nur mit flankierenden politischen Maßnahmen.

Folie 8: „Weitere Studien zur Wirkung von AF (I)“

Ähnliche Ergebnisse zeigen sich in weiteren Studien, die Sie auf dieser Folie sehen. Darauf will ich jetzt gar nicht mehr im Einzelnen eingehen; Sie können es sich im Nachgang näher anschauen, wenn das Thema Sie interessiert. Das bestätigt das im Prinzip noch einmal. Wenn man den Fahrer herausnimmt und neue, kostengünstige Angebote zwischen Taxi und ÖV etablieren kann, besteht einerseits die Chance, dass man Menschen vom MIV, also vom Auto, auf diese neuen, kollektiven Angebote zieht, aber andererseits die Gefahr, dass man vom traditionellen öffentlichen Verkehr Passagiere abzieht. Die in den unteren Beispielen gezeigten Studien arbeiten ein bisschen stärker die möglichen Effekte auf ländliche Gemeinden heraus, in denen man bestimmte Erreichbarkeitsgewinne erwarten kann, allerdings verbunden mit der Frage, die sich aber erst mittelfristig und langfristig beantworten lässt, ob man dadurch einen neuen Urban Sprawl kreiert.

Folie 9: „Weitere Studien zur Wirkung von AF (II)“

Das ist eine Berechnung vom ISI, die ich Ihnen gern noch zeigen möchte. Hier wurden zwei Szenarien zur Wirkung von automatisiertem Fahren durchgerechnet. Das Szenario 1 ist eine Welt des Fahrzeugbesitzes; man vermutet, dass es mehr oder weniger so bleibt, wie es heute ist. Das Szenario 2 ist eine Welt der Mobilitätsdienstleistungen, in der man einen hohen Anteil von Car-sharing, flexiblen ÖV und auch eine Optimierung im Logistikbereich hat. Hier spreche ich aber vornehmlich über den Personenverkehr.

In dem Schaubild links sind die Effekte dargestellt. Natürlich gibt es Effizienzgewinne. Ein grüner Pfeil nach unten bedeutet immer, dass die Umweltwirkungen, also die Treibhausgasemissionen, heruntergehen. Der gelbe Pfeil nach oben wirkt dem wieder entgegen. Die Fahrleistung könnte wiederum steigen. Der Verkehrsfluss könnte sich verbessern, was wieder zu Effizienzgewinnen führt. Die MIV-Nutzung könnte nach oben gehen. In der Studie hat man mit sehr vorsichtigen

Annahmen gearbeitet. Hier werden also sehr wenige zusätzliche Fahrten durch neue Nutzer entstehen. Wenn man es schafft, dass stärker konnektiv gefahren wird – hier ist „Mobility as a Service“ als Beispiel dargestellt –, kann man wieder Effizienzgewinne erzielen. Dann kommt man zu einem Gesamteffekt.

Ich will hier nur auf die orange Kurve – Personenverkehr, Szenario 1 – eingehen. Dort sieht man nämlich recht gut, dass bis 2030 in der ISI-Simulation das Automatisierungslevel 3 stark überwiegt. Das heißt, dass man Effizienzgewinne erzielt. Sie werden dann – deswegen steigt die Kurve dann wieder leicht an – aber wieder ein bisschen nivelliert, weil ab Level 4 und Level 5 Angebote ins Spiel kommen, die zu einem Anstieg der Fahrleistungen führen, weil es eben deutlich attraktiver wird, den MIV zu nutzen.

Folie 10: „Infrastrukturkapazitäten/Effizienz“

Auf dieser Folie geht es um Kapazitätssteigerungen. Dazu existieren unterschiedliche Berechnungen. Viele von ihnen machen deutlich, dass wir wahrscheinlich eine lange Übergangsphase mit Mischverkehr haben werden, die Effizienzgewinnen entgegenwirkt.

Das sehen Sie auch in dem Beispiel unten links. Anhand dieser Berechnung für einen Autobahnabschnitt in Deutschland erkennt man, dass für die Übergangsphase mit Mischverkehr eine Reduktion der Kapazität um 7 % zu erwarten ist, weil sich die automatisierten Fahrzeuge regelkonform verhalten und die Abstände korrekt einhalten. Erst bei einer stärkeren Durchdringung mit hoch automatisierten Fahrzeugen kommt man zu einem Zuwachs der Kapazität um 30 %.

Es gibt auch Berechnungen für Kreuzungen. Ein Beispiel ist auf der rechten Seite aufgelistet. Selbstverständlich kann man die Kapazität einer signalisierten Kreuzung optimieren und erhöhen, wenn die Fahrzeuge kommunizieren und beispielsweise langsamer heranzufahren, wenn sie wissen, dass sie dadurch eine Grünphase erreichen. Das alles setzt aber auch eine entsprechende Durchdringung des Marktes mit der Technologie voraus, sowohl infrastruktur- als auch fahrzeugseitig.

Vorsitzender: Herr Schippl, wir haben noch sieben Folien, und es sind schon 25 Minuten um. Das Thema ist hochinteressant. Aber wir müssen es vielleicht etwas komprimieren.

Herr **Schippl:** Gut. Danke für den Hinweis. – Ich würde gern noch die nächste Folie zeigen.

Folie 11: „Zur ‚Akzeptanz‘ verschiedener Angebotsformen“

Die Frage der Akzeptanz können wir vielleicht in der Diskussion noch näher beleuchten. Um herauszufinden, wer tatsächlich automatisiertes Fahren nutzen will und inwiefern diese unterschiedlichen Angebote denn auch nachgefragt sind, haben wir im letzten Jahr eine repräsentative Befragung durchgeführt, bei der wir unter anderem gefragt haben: Stellen Sie sich einmal vor, es

gäbe in Zukunft autonome Straßenfahrzeuge, die in der Lage wären, so am öffentlichen Verkehr teilzunehmen, wie es heutige Fahrzeuge mit menschlichen Fahrern tun. In welcher Konstellation würden Sie sich wohlfühlen? – Da sieht man, dass das relativ stark um einen Mittelwert herum oszilliert. Viele Menschen sind ein bisschen unsicher. Es gibt aber auch eine gewisse Bereitschaft, dort einzusteigen.

Folie 12: „Fortsetzung – zur ‚Akzeptanz‘ verschiedener Angebotsformen“

Ich würde gern die nächste Folie noch zeigen, weil das ein wichtiger Punkt ist. Wenn man das nach Altersgruppen aufsplittet, sieht man nämlich das, was man auch erwartet hätte. Gerade die 16- bis 29-Jährigen zeigen eine deutlich höhere Bereitschaft, sich auf diese unterschiedlichen Angebote von Automatisierung einzulassen, als die Älteren. Die über 75-Jährigen sind hier am skeptischsten. Das sind aber diejenigen, denen man damit Mobilität ermöglichen will.

Folie 14: „Fazit I“

Ich überspringe die nächste Folie und komme direkt zur Folie 14, um das noch kurz abzuschließen. Autonomes Fahren im Level-4-Bereich wird kommen, denke ich; das habe ich eingangs schon gesagt. Ich gehe davon aus, dass ein immenses transformatives Potenzial damit verbunden ist. Es muss aber in eine gesellschaftlich gewünschte Richtung gestaltet werden. Sie haben hier die Chance, durch Effizienzgewinne und insbesondere durch Modal Split die Nachhaltigkeit im Mobilitätssystem deutlich zu erhöhen. Es gibt aber auch negative Effekte, die überwiegen können. Fahrtabhängigkeiten oder Look-ins können eintreten. Wenn man einen Zersiedlungsprozess in Gang gesetzt hat, ist er schwer umkehrbar. Aber es ist einfach auch eine Chance für eine Gestaltung.

Folie 15: „Fazit II“

Das sind noch einige Vorschläge, was zu tun ist. Gesetzliche Rahmenbedingungen sind notwendig. Da haben wir gerade ein sehr gutes Gesetz. Ich nehme an, dass Herr Leonetti im Folgevertrag zum öffentlichen Verkehr darauf eingehen wird. Deswegen habe ich das extra ein bisschen ausgeklammert. Ganz wichtig ist in dem aktuellen Zustand meines Erachtens, Pilotprojekte durchzuführen, um besser zu verstehen, was es tatsächlich braucht, um automatisiertem Fahren in der gewünschten Form zum Durchbruch zu verhelfen. Zu nennen sind auch integrierte Projekte mit automatisiertem Fahren als Bestandteil kommunaler bzw. regionaler Mobilitätsprojekte, perspektivisch vielleicht Maßnahmen, um Leerfahrten zu begrenzen, und die bekannten Maßnahmen zur Förderung nachhaltiger Mobilität.

Unten habe ich noch einige offene Punkte aufgelistet, die ich aber eigentlich alle schon angesprochen habe. – Es tut mir leid, dass es jetzt ein bisschen länger wurde, als ich erwartet hatte.

Vorsitzender: Alles gut, Herr Schippl. Vielen Dank für die wichtigen Informationen, die Sie uns zu diesem Thema damit schon einmal geliefert haben. Nach dem nächsten Vortrag gehen wir ja auch noch in die Fragerunde hinein.

Der nächste Vortragende ist persönlich hier anwesend. Das ist in der jetzigen Situation doch auch mal schön. Herr Emanuele Leonetti, wissenschaftlicher Mitarbeiter beim Verband Deutscher Verkehrsunternehmen, wird zum Thema „Automatisierung im Öffentlichen Verkehr“ vortragen. Herr Leonetti, das Mikrofon gehört Ihnen.

Herr **Leonetti**: Sehr geehrter Herr Vorsitzender! Sehr geehrte Abgeordnete! Liebe Fachkollegen und Sachverständige! Vielen Dank für die Einladung und die Gelegenheit, heute mit Ihnen zu sprechen und Ihnen etwas zum Thema „Autonomes Fahren im ÖPNV“ zu erzählen.

Präsentation Herr Leonetti siehe Anlage 5 – Folie 1: „Autonomes Fahren im Öffentlichen Verkehr“

Herr Schippl hat gerade ganz viel über verkehrliche Auswirkungen und auch ein bisschen über den MIV gesprochen. Dementsprechend werde ich Ihnen als Jurist heute auch einige regulatorische Erklärungen mitliefern und schildern, was da eigentlich passiert. Da Sie aber der politische Entscheidungsträger sind – hier sind ja auch viele Abgeordnete vertreten –, beginne ich erst einmal mit einem Visionsbild. Denn Sie sind als Gesetzgeber natürlich auch gefordert, ein Bild von der Zukunft zu haben, das Sie dann selber mit entsprechenden regulatorischen Rahmenbedingungen ausfüllen.

Folie 2: „Mobilität der Zukunft: ÖV als Integrator automatisierter und vernetzter Verkehrsangebote“

Ich weiß nicht, wie die letzten 14 Sitzungen bei Ihnen gelaufen sind und was Sie schon über automatisiertes Fahren gehört haben. Wenn ich Zukunftsvisionen sehe, sehe ich häufig nur Robotaxis, also Menschen in kleinen Kapseln. Dann frage ich mich immer: Ist das überhaupt eine Zukunft, die wir uns wünschen? Ist sie wirklich klimagerechter? Ist sie umweltgerechter? Hat das denn die Wirkungen, die wir uns wünschen? – Nun muss man, wie Herr Kollege Schippl gerade schon ausgeführt hat, auch über gewünschte gesellschaftliche Tendenzen nachdenken. Deswegen haben wir ein eigenes Zukunftsbild entwickelt. Es beschreibt, dass ein integratives Ausrollen dieser Technologie erfolgen muss. Der ÖPNV gehört als Backbone dazu, und zwar mit dem Hochleistungs-ÖPNV, wie wir ihn kennen, also mit Straßenbahnen, Schnellbussystemen und allem, was dazugehört. Dann geht es natürlich auch in Richtung der On-Demand-Verkehre, weil das aus strategischer Sicht für den ÖPNV das entscheidende Mittel zu einer Verkehrswende und Mobilitätswende in unserem Land ist.

Folie 3: „Nur mit dem Hochleistungs-ÖV kombinierte und ÖV-integrierte geteilte Flotten führen zu einer nachhaltigen, effizienten und gerechten Mobilität“

Wenn wir es nämlich schaffen, integriert zu denken und nachhaltig zu gestalten, können wir dieses Instrument nutzen. Ich bin auch ein Fan der Megafon-Studie. Auf ein Szenario mit 100 % Ridesharing wird es aber wohl leider nicht hinauslaufen. Daher müssen wir an gemischte Flotten denken, integrierte Konzepte aufbauen und uns dazu Lösungen überlegen, um dann in den Städten Raum zurückzugewinnen, effizienter zu werden und auch den Zugang zum ÖV-System zu

verbessern. Gerade wurde die geringe Akzeptanz bei den älteren Leuten angeführt. Ich bin erst gestern aus Baden-Württemberg zurückgekommen. Dort haben wir einen Bürgerdialog veranstaltet, an dem sehr viele ältere Menschen teilgenommen haben, die sehr offen für diese Technologie waren und sich wirklich darauf gefreut haben, weil man ab einem bestimmten Alter vielleicht nicht mehr selber fahren kann oder möchte. Eine wichtige Message ist auch jetzt schon, dass wir die Kommunen als zentrale Verkehrssteuerer weiterhin stärken müssen, weil sie die entscheidenden Parameter dahin gehend setzen können, wie man solche Fahrzeuge in sein lokales Angebot integrieren möchte.

Folie 4: „Der öffentliche Verkehr ist das Rückgrat der Mobilität – er wird leistungsfähiger, individueller, passgenauer und leichter verfügbar!“

Der ÖV tut auch sehr viel in Richtung multimodaler Reiseketten und durchgängiger Reiseangebote. Beispielsweise gibt es jetzt die Initiative Mobility inside; der RMV aus Hessen ist Gründungsmitglied. In Sachen „Durchgängigkeit der individualisierten öffentlichen Mobilität“ passiert gerade wirklich eine Menge. Das kann allerdings nur dann funktionieren, wenn wir Flotten integriert im ÖPNV als Ergänzung anbieten. Ein ganz entscheidendes Vehikel ist der neue sogenannten Linienbedarfsverkehr, also das On-Demand-Ridepooling im öffentlichen Verkehr. Denn wenn wir über autonomes Fahren reden, müssen wir nicht nur auf die Technik selber schauen, sondern auch berücksichtigen, dass wir damit ja bestimmte Anwendungsfälle ermöglichen wollen.

Folie 5: „Gesetzliche Rahmenbedingungen: erfolgte Novellierung von PBefG und StVG“

Beim Thema Personenbeförderung ist das Entscheidende unser PBefG. Das ist sozusagen unser Grundgesetz für den ÖPNV. Im letzten Jahr ist eine Novellierung erfolgt, die es jetzt ermöglicht, On-Demand-Ridepooling-Projekte sowohl innerhalb des ÖPNV integriert als auch außerhalb eigenwirtschaftlich aufzuziehen. Das ist eine sehr gute Novelle, die uns wirklich viel ermöglichen wird. Wir sind auch gerade in ersten Evaluierungen, wie der Hochlauf stattfindet und ob es Genehmigungsentwicklungen gibt. Da passiert auch sehr viel, insbesondere in Hessen. Aber man muss das einfach zusammen verstehen. ÖPNV und autonomes Fahren kann man nicht nur von der technischen Ebene oder vom Straßenverkehr her sehen, sondern muss immer auch die konkrete Anwendung und den Use Case, für den man dieses Angebot umsetzen möchte, betrachten.

Folie 6: „Linienbedarfsverkehr als Chance zur verbesserten Integration des ländlichen Raumes“

Diese Folie kennen Sie vielleicht. Wenn ich eine Studie empfehlen kann, dann sicherlich unser Leistungskostengutachten, in dem wir einmal aufgeschlüsselt haben, welchen Angebotsausbau es eigentlich für das Szenario Mobilitätswende in Deutschland braucht. Darin haben wir einmal die finanziellen Rahmenbedingungen dargelegt. Es sind in Summe fast 7 Milliarden €, die man bis 2030 mehr bräuchte, um wirklich eine nachhaltige Mobilitätswende zustande zu bekommen. In unserer Studie sind wir auch davon ausgegangen, dass in 2030 sogar 5 % dieser Linienbedarfsverkehre autonom betrieben werden. Insofern dürfte ein Blick in dieses Gutachten nicht verkehrt sein.

Folie 7: „Sachstand: Automatisierte und Autonome Test- und Pilotprojekte im ÖPNV“

Wie ist der Sachstand beim autonomen Fahren insbesondere im ÖPNV? Ich gehe heute mehr auf die Straße, also auf Kraftfahrzeuge, und weniger auf die Schiene ein, kann zur Schiene bei Bedarf aber gern auch noch einige Ausführungen machen. Zum autonomen Fahren mit Kraftfahrzeugen hat Herr Schippl gerade schon die berühmten kleinen Peoplemover vorgestellt. Heute stammen sie noch vorwiegend von französischen Herstellern. Da wird aber gerade in Deutschland in den nächsten Monaten und Jahren auch viel passieren. Die Testbetriebe, die heute durchgeführt werden, laufen noch im Erprobungsrahmen. Heutige Projekte stehen vor der Herausforderung, dass wir enorm lange Genehmigungsverfahren haben. Sie dauern in der Regel zwischen neun und zwölf Monaten. Das ist jetzt schon besser geworden. Wir brauchen aber immer noch sechs bis neun Monate, bevor ein solcher Pilotbetrieb überhaupt anrollen kann. Diese Fahrzeuge sind auch noch relativ langsam. Die Geschwindigkeit ist gar nicht so ein Thema. Die Leute wünschen sich nicht unbedingt hohe Geschwindigkeiten, aber natürlich ein Mitschwimmen im urbanen Kontext. Da sind 18 km/h doch noch ein bisschen zu wenig. Wir haben immer gebiets- und streckenbezogene Anwendungsfälle, also sehr fixe Routen. Die Fahrten finden mehr oder weniger auf virtueller Schiene statt. Wir haben immer noch nicht viele Flotten mit solchen Anwendungen, sodass wir im realen Testbetrieb keine verkehrliche Wirkung messen können. Aber da wird es in den nächsten Monaten sicherlich neue Entwicklungen geben.

Folie 8: „Sachstand: New Mobility & autonomes Fahren in Hessen“

Ich möchte Ihnen auch einmal zeigen, was eigentlich in Hessen passiert ist oder derzeit passiert. Man muss festhalten, dass Hessen in diesem Bereich eines der führenden Bundesländer ist. Wir haben hier sehr viele Testfelder aufgebaut, insbesondere im südhessischen Raum mit dem RMV, der sehr viele Entwicklungen auch für die gesamte Branche vorantreibt. Hervorzuheben ist sicherlich der Testbetrieb auf dem Mainkai-Ufer in Frankfurt. Das ist bis heute der Testbetrieb mit den meisten Fahrgastzahlen in Deutschland gewesen, glaube ich. Von der technischen Entwicklungsstufe her zu betonen ist auch der Testbetrieb auf dem Straßenbahnwerkstattgelände der VGF in Frankfurt. Dort hat man es wirklich geschafft, den Operator, also den Sicherheitsfahrer, der heute noch mitfährt, aus dem Fahrzeug zu nehmen. Damit gewinnt man auch wichtige Erkenntnisse. Wenn kein Sicherheitsfahrer mehr im Fahrzeug ist, stellen sich Fragen zu subjektiver Sicherheit und vielem anderen mehr. Automatisierung ist ja nicht nur Führen und Lenken eines Fahrzeuges. Dazu kommt noch ganz vieles, was heute die Berufskraftfahrerinnen und Berufskraftfahrer im ÖPNV machen – von der älteren Dame, die erst einmal ihren Sitzplatz finden und sich richtig hinsetzen muss, bis zum Hund, der noch vor der schon geschlossenen Tür an der Leine hängt. Ein Fahrer schaut kurz nach hinten und sieht so etwas. Man muss natürlich überlegen, wie man das im autonomen Betrieb macht. Wir merken in den Gesprächen mit der Industrie jetzt immer wieder, dass sie auch feststellen: Ja, ein Beförderungsbetrieb ist schon ein bisschen schwieriger, als eine Trajektorie zu planen oder festzulegen, wie eine Mülltonne zu überholen ist.

Hier findet sich auch der Hinweis auf On-Demand-Verkehre. Da gibt es in Hessen sehr viele Aktivitäten. Das ist auch gut, weil diese Linienbedarfsverkehre zur Ergänzung dienen. Das ist eine ganz wichtige Message. Wenn wir über automatisiertes Fahren im ÖPNV sprechen, geht es

um Ergänzungen und Verdichtungen. Auch aus wirtschaftlichen Gründen ist es nicht der erste Use Case, den gut gefüllten Stadtlinienbus oder die Straßenbahn zu ersetzen. Vielmehr geht es darum, dass wir in kleineren Gefäßen – in ländlichen Räumen, in Zubringerverkehren, in Stadtquartieren – überhaupt ein Angebot ermöglichen können, was heute wirtschaftlich nicht darstellbar ist, weil heute in jedem dieser Fünf- oder Sechssitzer ein Fahrer sitzen müsste. Wir sehen auch in den MOIA-Studien und bei anderen Ridepooling-Projekten, insbesondere im ländlichen Raum – um auch ein bisschen Wasser in den Wein zu schenken –, dass selbst dann, wenn es ohne Fahrer funktionieren würde, nicht sofort ein wirtschaftlicher Betrieb möglich sein wird. Aber dazu kommen wir später noch.

Folie 9: „Kernanforderungen an eine Stufe 4 ÖV“

Schauen wir uns jetzt einmal an, was denn ein Erfolgsfaktor für autonomes Fahren im ÖPNV wäre. Ich sehe hier vier wesentliche Anforderungen. Zum einen müssen die rechtlichen Rahmenbedingungen da sein. Außerdem brauchen wir einen sicheren Betrieb, was auch heißt, dass die Akzeptanz vorhanden ist. Sie ist nur gegeben, wenn die Technologie so weit ist, dass Menschen ihr vertrauen können. Wir brauchen eine verkehrlich wirksame Integration. Deswegen haben wir erfreulicherweise das PBefG, das es uns ermöglicht, diese Anwendungsfälle der Personenbeförderung unter einem regulatorischen Gesichtspunkt durch die Kommunen in die richtigen Bahnen zu lenken. Wir müssen in Zukunft auch überlegen, ob es möglich wäre, in Nahverkehrspläne beispielsweise autonome Verkehre aufzunehmen, sie explizit auszuschreiben und einen Wettbewerb auszulösen. Das sind sicher noch spannende Fragen. Der letzte Punkt ist natürlich der wirtschaftliche Betrieb, weil wir uns als Gesellschaft immer fragen müssen: Was ist uns eine bessere Mobilität wert? Was sind wir bereit, dafür zu tun?

Folie 10: „StVG + PBefG intelligent verknüpfen: Rechtsrahmen für eine Stufe 4 ÖV“

Da möchte ich weitermachen, um dieses Stufenverständnis einmal abzurunden. Wir haben gerade schon gehört, was es da gibt. Ich bin Fan von, wie wir das nennen, Stufe 4 ÖV. Darunter ist fahrerloser Betrieb in den spezifischen Anwendungsfällen zu verstehen. Wir brauchen gar nicht die Stufe 5. Ich muss mich ja nicht in mein Auto setzen und von Wiesbaden über die Autobahn zurück nach Köln und sonst wohin fahren. Vielmehr geht es hier um den konkreten Fall, den ich brauche. Das ist im ÖPNV relativ entspannt, weil wir Linienverkehre mit festen Relationen haben und selbst bei einem On-Demand-Verkehr vorher ungefähr wissen, wo unsere virtuellen Haltepunkte sind. Insofern kann ich auch vorher schauen, wo ich denn meinen Verkehr anbieten möchte. Und dann ist es notwendig, dass das Fahrzeugsystem oder das gesamte Mobilitätssystem es wirklich ermöglicht, dass kein Mensch mehr am Steuer sitzt, sondern das System die Fahraufgaben übernimmt.

Folie 11: „Regelungssystematik des nationalen Straßenverkehrsrechts“

Jetzt folgt ein bisschen Jura, um das Gesamtsystem zu verstehen. Wenn wir das betrachten, gibt es im nationalen Straßenverkehrsrecht zwei Ebenen. Das eine ist die Frage des Ob: Unter welchen Voraussetzungen wird ein Fahrzeug in den Verkehr gegeben? Die andere Frage ist: Wie verhält sich das Fahrzeug bzw. der Fahrzeugführer mit diesem Fahrzeug?

Das ist ganz spannend, weil das Regelungssystem Straßenverkehrsrecht sehr stark von Europarecht und Völkerrecht determiniert ist. Da hat sich jetzt viel getan. Sie haben ja gerade schon gehört, dass es aktuelle regulatorische Entwicklungen gab. Speziell ist im Juli letzten Jahres das sogenannte Gesetz zum autonomen Fahren verabschiedet worden, das ziemlich viel Neues bringt. Letztendlich sorgt dieses Gesetz aber dafür, dass das Verhaltensrecht, das ja an den Fahrzeugführer gerichtet ist, plötzlich Bestandteil der Genehmigungsfähigkeit wird, also mit dafür entscheidend ist, ob ich dieses Fahrzeug in Betrieb nehmen kann.

Beim Thema des ÖPNV oder der Anwendungsfälle gilt also wieder europäisches Recht. Wir haben das PBefG und die BOKraft; das ist die Verordnung, die dann den Betrieb regelt. Wenn ich da schon eine Kritik äußern darf: Dieses Gesetz, das wir haben, beschreibt letztendlich nur die Anforderung an ein Fahrzeug, das fahrerlos betrieben wird, aber nicht die Voraussetzungen, die wir brauchen, um einen fahrerlosen Gesamtbetrieb zu ermöglichen. Deswegen ist für die Zukunft sicherlich noch eine Frage: Wie können wir diese nachgeordneten Verordnungen und Gesetze noch einmal anpassen, um den Gesamtbetrieb auch besser auf die Straße zu bringen und ein bisschen zu regulieren?

Folie 12: „Grundzüge des neuen Rechtsrahmens zum autonomen Fahren“

Den neuen Rechtsrahmen finden wir als ÖPNV super, weil er eine sehr große Deckungsgleichheit mit dem hat, was wir uns als Zukunftsbild vorstellen. Jeder muss sich ja selber fragen: Ist es denn die technische Innovation, wenn ich dann mein Fahrzeug vor dem Theater auf Autopilot stellen kann, und es parkt sich selbst ein? Oder ist es nicht eher die Entwicklung, die wir wollen, dass wir Leute im Verkehr bündeln, also Bedarfe zusammensetzen und auch ein bisschen mehr Platz auf der Straße schaffen?

Autonomes Fahren wird jetzt möglich. Ganz interessant ist, dass es eine neue Rechtsfigur gibt, die sich Technische Aufsicht nennt. Das ist auch eine wichtige Message, gerade wenn wir über das Thema Beschäftigungsauswirkungen reden, das in der Diskussion meist gar nicht angesprochen wird. Es wird dann zwar keinen Fahrzeugführer mehr geben, aber es wird immer noch ein Mensch in der Verantwortung sein müssen, um, wenn das Fahrzeug an seine Grenzen kommt, beispielsweise zu sagen: Alles klar; das ist wirklich eine Mülltonne; du hast sie richtig erkannt; jetzt kannst du sie umfahren. – Dazu kommen wir später noch einmal.

Das Gesetzgebungsverfahren ist abgeschlossen. Die EU ist notifiziert worden. Das hat alles geklappt. Im April ist es aber noch nicht ganz durch gewesen. Vor wenigen Tagen hat der Unterausschuss des Verkehrsausschusses des Bundesrates getagt, um diese Verordnung, die noch einige Herausforderungen beinhaltet, zu bearbeiten. Nächste Woche findet die Anhörung des Verkehrsausschusses statt. Da wird sicher die Beschlussvorlage kommen. Am 20. Mai soll dann diese sogenannte AFGBV, die Autonome-Fahrzeug-Genehmigungs-und-Betriebsverordnung, verabschiedet werden.

Folie 13: „Zulassungsverfahren und Regelungsinhalte der ‚Autonomes-Fahren/StVG-Novelle‘“

Das ist in der Konsequenz sehr spannend, weil es zu einem ganz neuen System führt, wie wir solche Fahrzeuge in Verkehr bringen müssen. Künftig wird es nämlich so sein, dass die Hersteller ihr Fahrzeugsystem – Robotaxi, Roboshuttle, was auch immer – beim Kraftfahrt-Bundesamt vorstellen werden. Dann erfolgt für das Fahrzeug und seine grundsätzlichen Betriebsbedingungen – in welchen Einsatzräumen, mit welchen Geschwindigkeiten, mit welcher Belegung usw. usf. es betrieben werden kann – eine zentrale Prüfung durch das Kraftfahrt-Bundesamt, also durch den Bund.

Es ist ja kein Level 5, also Einsatz überall, sondern diese Fahrzeuge werden nur in spezifischen Betriebsbereichen eingesetzt. Da kommen die Länder ins Spiel, in Hessen konkret die Regierungspräsidien, die dann entscheiden müssen: Wo sind denn geeignete Strecken oder geeignete Betriebsbereiche, in denen das Fahrzeug diese Anforderungen erfüllen kann und so betrieben werden kann, wie es in der Betriebserlaubnis des Herstellers erst einmal grundsätzlich bestimmt ist?

Das Fahrzeug bekommt dann ein ganz normales Kennzeichen. Am Ende steht auch kein A oder so etwas, aber meistens ein E, weil in der Regel die autonomen Fahrzeuge, die wir im ÖPNV im Einsatz haben, schon immer elektrisch betrieben werden. Dann stellt sich auch die Frage, was denn die konkrete Verkehrsart ist.

Insofern entwickelt sich ein ganz neues Genehmigungsregime. Wir alle werden in den nächsten Monaten intensiv mit den Ländern und mit dem Bund daran arbeiten, Best Practices zu entwickeln und Genehmigungsleitfäden zu schaffen, damit solche Dinge auch wirklich in die Umsetzung kommen.

Folie 14: „(Rechtliche) Würdigung aus ÖPNV-Sicht“

Ich komme zur rechtlichen Würdigung. Aus unserer Sicht ist dieser betreiberbasierte Regulierungsansatz zu begrüßen; auch wir halten ihn für wichtig. Es bringt sicherlich nichts, wenn jeder sein eigenes Robotaxi vor der Tür hat, wie das einzelne Hersteller vor Jahren einmal angekündigt haben, sondern es geht darum, den Gesamtverkehr effizienter zu gestalten. Da ist es auch gut – das ist ein juristisches Thema –, dass die neu entstehende Technische Aufsicht nicht selber haftbar gemacht wird, sondern der Hersteller. Das ist deshalb gut, weil der Mensch letztendlich nur das bestätigen kann, was die Maschine ihm vorschlägt.

Folie 15: „Weiterhin viele offene Umsetzungsfragen“

Es gibt allerdings noch offene Punkte, die jetzt auch im Bundesrat heiß diskutiert werden. Die ÖPNV-Sicht zu folgendem Punkt wird auch von Bitkom und VDA geteilt – da sind wir alle einer Meinung, glaube ich –: Man stellt sich vor, dass diese Technische Aufsicht künftig nur von Personen ausgeübt werden kann, die Luft- und Raumfahrt, Kraftfahrzeugtechnik oder Ähnliches studiert habe. Das wäre für die Beschäftigung im ÖPNV und in der Logistikbranche nicht gut, weil wir natürlich nicht reihenweise Akademiker des Kraftfahrwesens haben, sondern Fachkräfte, die

wir lieber neu entwickeln möchten, also qualifizieren und weiterbilden müssen. Wenn eine solche Anforderung besteht, ist das nicht optimal. Wir haben im Übrigen auch heute schon sehr hohe Anforderungen an die gesamte Betriebsaufsicht, Wartung und Kontrolle. Darüber schimpft vielleicht der eine oder andere Betreiber. Aber das sind Dinge, die wir im ÖPNV kennen. Wir haben auch heute schon Sicherheitsprüfungen, Abfahrkontrollen, alles Mögliche. Deswegen ist ein Gesamtbetrieb im ÖV auch deutlich sicherer als in anderen Modal-Split-Möglichkeiten.

Wir haben allerdings auch noch ganz viele Fragen. Wie Herr Schippl bereits geäußert hat, ist das gesamte autonome Fahren noch ein sehr junges Forschungsfeld. Man nähert sich dem häufig von der technischen Seite. Das heißt, dass es darum geht, wie Physiker oder Informatiker Trajektorien planen und wie die Algorithmen funktionieren, damit sie die richtige Entscheidung treffen. Es gibt da aber noch mehr Fragen. Das betrifft insbesondere die Ergonomie, also die Arbeitsplatzgestaltung und damit die Frage: Wie kann man diese Fahrzeuge in der Zukunft denn auch wirklich gut bedienen? Das betrifft auch die Frage neuer Berufsbilder, also Qualifikationen und Anforderungen. Eine wichtige Fragestellung für die Länder oder in Details für die Kommunen ist sicherlich auch: Was brauche ich denn für eine Verkehrsinfrastruktur? Was ist also die Grundbedingung, damit solche Fahrzeuge in Betrieb genommen werden können? Generell sind ein Verständnis und ein weiteres Abarbeiten der damit zusammenhängenden Fragen notwendig. Wichtig ist natürlich auch die Wirtschaftlichkeit.

Folie 16: „Betriebskostenabschätzung Linienbedarfsverkehr fahrerbasiert vs. autonom 2022 – 2030“

Hier sehen Sie eine Folie, die Sie vielleicht erschrickt. Aber so schlimm ist es gar nicht. Wir müssen da auch einfach ehrlich sein. Wenn wir uns die neue Verordnung anschauen und die darin genannten Kostensätze sehen, müssen wir feststellen: In dem Einführungsszenario werden wir wahrscheinlich nicht nur zum einen induzierte Verkehre produzieren, weil wir das alte System weiterhin haben, sondern es wird zum anderen auch teurer werden. An dieser Stelle muss ich auch Ihnen als Politik sagen: Wenn wir solche Sachen haben wollen und einführen möchten, müssen wir schauen, wie wir geeignete Förderinstrumente schaffen können, damit es auch für die Industrie attraktiv wird, solche Fahrzeuge zu produzieren, also nicht nur Luxuskarosserien zu bauen, sondern auch solche Roboshuttles zur Verfügung zu stellen, weil sie ganz andere Geschäftskonzepte ermöglichen. Es geht darum, das Thema „Mobility as a Service“ wirklich auszubauen.

Wenn wir diese Verordnungen lesen, stellen wir fest, dass das am Anfang schon zwei- bis dreimal so teuer sein wird, wie es normaler fahrerbesetzter On-Demand-Verkehr wäre. Das spiegelt sich auch heute in den Testfeldern wider. Zum einen ist die Fahrzeugtechnik noch sehr teuer. Zum anderen ist der Sicherheitsfahrer vor Ort, sodass wir noch keine Einsparung haben. Wir denken auch, dass es bis zu dieser Einsparung noch etwas dauern wird, weil der entscheidende Kostenebel ja sein wird, wie man denn die Aufsicht so gewährleisten kann, dass es eben noch wirtschaftlich machbar ist. Man hat ja hohe Kosten für die neue Technologie. Diese ganzen Mehraufwände werden ordentlich ins Gewicht fallen, genauso der gesamte Genehmigungs-, Zertifizierungs- und Zulassungsprozess. Da muss erst einmal ein Markt entstehen. Natürlich sind Sie da

als Politik gefragt, zu schauen: Wie können wir denn konkrete Maßnahmen verabschieden, die das besser ermöglichen?

Folie 17: „Kernanforderungen an eine Stufe 4 ÖV“

Diese Folie habe ich vorhin schon einmal gezeigt. Wir stellen fest: Rechtlich haben wir in Deutschland jetzt ein wirklich sauberes Fundament gelegt. Aufgrund der Anforderungen, die da auf über 120 Seiten detailliert beschrieben sind, bin ich auch davon überzeugt, dass es ein sicherer Betrieb sein wird. Wir müssen schauen, dass das Ganze verkehrlich wirksam integriert wird, damit wir nicht einen Robotaxi-Wildwuchs bekommen. Deshalb sollten wir regulatorisch klar sagen – auch als Kommunen, als Aufgabenträger –, wo wir diese Verkehre anwenden möchten, damit sie eines Tages auch wirtschaftlich betrieben werden können.

Folie 18: „Wettkampf um die erfolgreiche Integration autonomer Fahrzeuge“

Da muss man auch den ÖPNV abholen und mit dem ÖPNV mehr machen, weil erste Player, die nicht immer aus Deutschland kommen, sondern aus den USA, aus Israel oder woher auch immer, natürlich in die Großstädte möchten. Hier muss man wieder ehrlich sein. Nach den aktuellen Entwicklungen, die ich in der Fahrzeugindustrie beobachte, wird es nicht so sein, dass die Industrie Fahrzeuge bereitstellen würden, damit wir die Probleme im ländlichen Raum lösen. Vielmehr fokussiert sie sich erst einmal auf die zehn größten Städte Europas oder der Welt und möchte dort einen eigenen Robotaxi-Dienst aufbauen. Deswegen müssten wir insbesondere in Deutschland schauen, dass wir den guten und starken ÖPNV, den wir hier haben, ausbauen und gerade dieses Thema der Bündelung der neuen Verkehrsangebote voranbringen.

Folie 19: „Fazit“

Ich komme zum Fazit. Die öffentliche Mobilität wird individueller und digitaler. Wir müssen das Thema der On-Demand-Verkehre jetzt massiv aufbauen, weil dies der entscheidende Hebel ist, um später auch die autonomen Anwendungen zu bekommen. Hessen ist da super auf dem Weg, und zwar mit Forschungsprojekten und Entwicklung generell. Deswegen müssen wir auch unseren Standort hier stärken und die nationalen Betreiber unterstützen.

In diesem Zusammenhang ist unsere klare Erwartung an den Bund – da haben wir auch in Zukunft wieder mehrere Termine –, dass man sowohl den Rechtsrahmen, der jetzt entstanden ist, evaluiert als auch Innovationsmittel für den ÖPNV bereitstellt, weil wir durch die Corona-Pandemie immer noch massive Fahrgastverluste haben. Wir möchten eine Verkehrswende. Es ist immer doof, zu sagen, dass wir mehr Geld brauchen. Aber das entspricht leider der Wahrheit.

Erwartungen an die Länder sind – das wurde gerade bei der Energieeffizienz schon angesprochen –, effiziente Verwaltungsabläufe und Best Practices zu schaffen; das sind sicherlich One-Stop-Shop-Lösungen. Ich habe eigentlich ein gutes Gefühl, zumindest bei den Regierungspräsidenten in Hessen, dass sie das umsetzen können.

Wie die Mobilität dann aussehen könnte, sehen Sie hier unten links. Der RMV hat eine Art kleines Roboshuttle konzipieren und designen lassen, das dann im Einsatz ist. Das halte ich auch für

eine ganz wichtige Sache. In der Außenwelt wird ja nicht entscheidend sein, ob ich einen Daimler, BMW oder VW fahre, sondern, dass ich das integrierte Angebot von meiner ESWE oder von meinem RMV bekomme. Vielleicht ist auch das Innenraumdesign des Fahrzeugs viel wichtiger als äußerliche Elemente wie Kotflügel oder Spoiler.

Folie 20: „Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit“

Das war es von mir. – Besten Dank.

Vorsitzender: Herr Leonetti, vielen Dank für die Ausführungen und die Informationen. In der Tat bin ich davon ausgegangen, dass das am 8. April 2022 – so war es jedenfalls angekündigt – beschlossen wurde. Jetzt habe ich gerade einmal nachgeschaut. Am 20. Mai 2022 steht es mit der Vorgangsnummer 86/22 zumindest auf der Tagesordnung des Bundesrates. Ich hoffe, dass man dann wirklich diese Verordnung in Kraft treten lässt, die dieser Sache sicherlich noch einmal einen richtigen Schub gibt. – Wir gehen in die Fragerunde.

Abg. **Elke Barth:** Vielen Dank für die Referate. – Ich habe eine Frage an Sie. Auf Folie 10 Ihrer Präsentation haben Sie die verschiedenen Stufen von automatisiertem Fahren aufgeschrieben: von assistiert über teilautomatisiert und vollautomatisiert bis zu fahrerlos. Sind Sie davon überzeugt, dass, wenn sich das Ganze durchsetzt, am Ende tatsächlich nur eine Stufe stattfindet, nämlich das fahrerlose Fahren? Oder glauben Sie nicht eher, dass in der Zukunft je nach Bedarf und je nach Situation verschiedene Stufen parallel stattfinden?

Abg. **Katy Walther:** Danke schön für die Vorträge. – Ich habe eine Frage zum Auslastungsgrad, den Sie erwarten. Wir haben im Moment, wenn ich es auf Ihrer Folie richtig gesehen habe, einen Auslastungsgrad von 1,26. Unter Corona ist der Auslastungsgrad meines Wissens noch weiter zurückgegangen, nah an 1 heran. Wenn wir die Autos in Zukunft nicht nur mit Menschen durch die Gegend schicken, sondern auch noch ohne Menschen, sinkt der Auslastungsgrad ja vielleicht noch unter 1. Mich würde interessieren, wie da Ihre Prognosen aussehen.

Abg. **Tobias Eckert:** Danke für die Präsentationen. – Ich habe eine Frage. Bei Herrn Schippl ging es eben auch darum, wo Leute, die sagen, dass sie autonomes Fahren akzeptieren, es am ehesten akzeptieren würden. Das hat mich deswegen verwundert, weil ich mir – wahrscheinlich nehmen Sie mir gleich meine Vorstellung – gesagt habe: Autonomes Fahren findet am ehesten auf den Autobahnen statt. Da haben nämlich alle dieselbe Richtung. Sie haben nachher auch alle dieselbe Geschwindigkeit. Das kann das System automatisch organisieren. Kurz vor dem Verlassen der Autobahn fordert es mich dann auf, wieder selber zu übernehmen. – So wie bei der Frage, ob sich Elektromobilität im ländlichen Raum oder in den Städten als Erstes durchsetzt,

hatte ich gedacht, dass autonomes Fahren als Erstes auf der Autobahn stattfindet. Sie haben in den Akzeptanzdarstellungen genau das Gegenteil beschrieben und gezeigt – so habe ich die Zahlen wahrgenommen –, dass bei der Autobahn die Zustimmungsraten am niedrigsten sind. Vielleicht können Sie mir dazu noch ein paar Takte erzählen. Denn es war immer meine Vorstellung von autonomem Fahren, dass wir erst auf der langen Strecke einen Durchbruch haben werden, bevor das sehr diffizile, kleinteilige Innerstädtische mit allem Drum und Dran und allen Besonderheiten geregelt und auch in der Praxis erprobt werden kann.

Vorsitzender: Ich war ebenso erstaunt, als Knut Ringat erzählte, dass er bei der IAA in München mit Mobileye schon bis 100 km/h im Stadtverkehr mitgefahren ist. Ihn selbst hat es auch überrascht, dass man eigentlich schon einen Riesensprung in der Sache gemacht hat. Herr Schippl, darüber werden wir von Ihnen gleich etwas hören.

SV Prof. **Dr. Martin Lanzendorf:** Herzlichen Dank an beide Referenten. – Ich fand, dass Jens Schippl die ganzen Vor- und Nachteile, die Wechselwirkungen und den Stand des Wissens hervorragend dargestellt hat. Es ging nicht einfach mit den Erwartungen los – die man ja haben könnte, was ja erfüllt sein könnte –, wie das normalerweise der Fall ist. Gerade diese Tabelle, die Chancen und Herausforderungen gegenüberstellte, gefiel mir sehr gut.

Beim zweiten Vortrag zum öffentlichen Verkehr habe ich, ehrlich gesagt, das zentrale Argument nicht verstanden. Nach meinem Verständnis ist es so, dass für den öffentlichen Verkehr autonome Fahrzeuge hochinteressant sind, weil man Busfahrer und Busfahrerinnen ersetzen kann. Damit ist das letztlich eine Einsparungsstrategie. Die Technologie ermöglicht es, billigere Angebote zu machen als mit Fahrer oder Fahrerin. So habe ich das verstanden. Früher bekam man im Kaufmannsladen jedes Produkt an die Kasse, und irgendwann hat man es sich im Supermarkt selbst geholt. Das ist also eine Rationalisierungsstrategie. Taxen gibt es ja schon. Autonomes Fahren ist nichts anderes als ein Taxi ohne einen Fahrer oder eine Fahrerin. Sie haben aber am Ende den Bogen geschlagen und gesagt: Das wird teuer; wir müssen richtig in die Kasse greifen, um das zu finanzieren; da müssen wir zusätzlich ganz viel Geld mitbringen.

Das hat mich wirklich völlig irritiert. Warum sollte denn der Staat, also der Bund oder die Länder, Geld in die Hand nehmen, um die Entwicklung zu fördern? Da kann man sagen: Das ist eine weltweite Technologieentwicklung; alle entwickeln das; wir wollen Technologie entwickeln. – Dabei handelt es sich um Industriepolitik. Das kann man stehen lassen, glaube ich. Bei den Kosten scheint es mir gar nicht so zu sein, wie ich das erwartet hatte.

Ähnlich überraschend war für mich übrigens der Einsatz im urbanen Raum. Ich dachte auch, die Einsatzmodelle seien auf den Autobahnen und nicht so sehr im urbanen Raum oder sogar auf dem Land. Da hatte ich auch das Bild der Alpen vor Augen. Das würde auch gar nicht richtig funktionieren. Ich glaube, es gibt auch Studien, die sagen, dass das gerade in diesen Räumen finanziell nicht tragbar ist.

Letzter Punkt: Unser großes Thema in der Enquetekommission ist Klima. Ich habe auch keinerlei Zusammenhang gesehen, welche Folgen das dafür hätte. Jens Schippl hat natürlich die Pros und Kontras genannt. Aber speziell bezogen darauf, dass der öffentliche Verkehr künftig autonome Fahrzeuge anbieten sollte, würde mir jetzt auch das Argument fehlen, warum dies aus Klimagründen gefördert werden sollte.

SV Prof. **Dr. Barbara Lenz:** Ich möchte mich auch für beide Vorträge bedanken. Sie waren beide wirklich sehr schön strukturiert. – Ich habe eine Verständnisfrage an Herrn Leonetti. Sie haben gesagt, nach dem technischen Zulassungsverfahren seien dann die Regierungspräsidien am Zug, um festzulegen, auf welchen Strecken gefahren werden kann. Nun schreiben Sie aber auf Ihrer Folie 15, die die Überschrift „Weiterhin viele offene Umsetzungsfragen“ trägt, dass die Zuständigkeit für diese Betriebsbereichsfestlegung nicht nur die Landkreise, sondern auch die Kommunen haben. Das sieht für mich so aus, als sei das verwaltungsseitig oder genehmigungsseitig schon wieder etwas Größeres und Komplizierteres. Vielleicht können Sie da noch ein bisschen Licht hineinbringen. Welche Rolle hat der Landkreis, die Kommune, der Verbund usw.?

Lassen Sie mich noch eine zweite Frage anschließen. Im Zusammenhang mit den Umsetzungsfragen haben Sie darauf hingewiesen, dass die Leute, die damit umgehen sollen, dem autonomen Fahren im öffentlichen Verkehr auch eine gewisse Akzeptanz entgegenbringen müssen. Sie haben ausgeführt, dass das nicht nur die – von uns üblicherweise betrachteten – Nutzer sind, die in dieser Kiste sitzen, sondern auch diejenigen, die an der Strecke leben, auf der diese Kiste fährt. Können Sie noch berichten, welche Gedanken es dazu gibt?

Vorsitzender: Vielen Dank für die Fragerunde. – Ich möchte auch noch eine Frage anschließen. Wir haben in dieser Woche beim Parlamentarischen Abend des RMV gehört, dass die Personalkosten einen großen Faktor ausmachen. Erweiternd hat Herr Prof. Reinhold, der heute nicht hier sein kann, auch gesagt, dass es den großen Durchbruch des ÖPNV im ländlichen Raum erst mit dem autonomen Fahren geben wird. Sehen Sie das als VDV ähnlich? Wenn ja: Wo liegt die Hauptbegründung dafür? – Nun bitte ich um Beantwortung.

Herr **Leonetti:** Ich beginne mit der Frage, welche Stufen der Automatisierung wir denn sehen werden. Man muss sich ja die einzelnen Verkehrsträger anschauen. Wenn ich mit Busbetreibern spreche, sagen sie mir immer als Erstes: Ich würde mir am meisten eine Assistenzfunktion für das Anfahren an Haltestellen wünschen, die darauf achtet, dass niemand seinen Kopf zu weit heraushängen lässt. – Aber es gibt in der Industrie keine Entwicklung dieser kleinen Assistenzfunktion. Wir haben natürlich Abbiegeassistenten, die jetzt verbaut werden. Das ist quasi Level 1 oder Level 2. Der ÖPNV steht aber immer vor der Herausforderung, wirtschaftlich zu sein. Unsere Rahmenbedingung ist, dass wir die Kostendeckungsgrade einhalten und möglichst wirtschaftlich sind, damit vielleicht auch eigenwirtschaftliche Verkehre angeboten werden können und nicht

immer die öffentliche Hand einspringen muss. Wenn wir ganz viel Technologie einbauen, aber gleichzeitig keinen wirtschaftlichen Vorteil haben, ist natürlich die Frage: Welche Stufen der Assistenz wollen wir denn? Im Straßenbahnbetrieb ist es übrigens ganz klar; da denkt man immer mehr in Richtung der Assistenzsysteme.

Die zugrunde liegende Frage ist auch: Warum im ÖV? Das hängt ebenfalls damit zusammen. Wir möchten ja eine Verkehrswende haben. Wir sind gerade zu der Auffassung gekommen, dass wir eine strukturelle, nachhaltige Änderung unserer Verkehrskonzeption vornehmen wollen. Deswegen sagen wir, dass das nur durch gebündelte, gescharte, integrierte On-Demand-Linienbedarfsverkehre geht. Aber wir stellen sowohl politisch als auch im Betrieb fest, dass diese Systeme heute nicht einen Kostendeckungsgrad von 70 bis 80 % haben, wie das sonst im ÖV der Fall ist – oder nach Corona ein bisschen weniger –, sondern bei einem Kostendeckungsgrad von 10 bis 20 % liegen. Das müssen Sie berücksichtigen, wenn Sie Aufgabenträger für eine Region sind und dort ein kleines ländliches Shuttle ermöglichen möchten, das die Leute hin und her fährt, ohne dass der Stadtliniibus leer durch die Gegend fahren muss. Es ist ja im ländlichen Raum immer das prägende Beispiel, dass die Leute sagen: Das ist doch alles so doof mit dem ÖPNV; da fährt ja nur die warme Luft durch die Gegend. – Deswegen sagen wir, dass wir in diesen Situationen für diese Nebenzeiten mit Schwachlastverkehr kleinere Fahrzeuge brauchen, die ein bisschen flexibler sind. Aber wir stellen fest, dass die Wirtschaftlichkeit dieser kleinen Angebote einfach nicht gegeben ist. Deswegen muss man automatisieren, weil dann die Möglichkeit besteht, die Verkehrswende zu schaffen.

Hinzu kommt, dass wir in Deutschland einen ziemlich krassen Fahrermangel haben. Da haben wir wirklich ein großes Problem. Bis 2030 werden uns 70.000 Beschäftigte im Fahrdienst verlassen. Wenn wir die Verkehrswende schaffen möchten, müssen wir noch 100.000 zusätzliche Beschäftigte einstellen. Das heißt: Wenn wir das wirklich wuppen möchten, müssen wir auch integrierte ÖV-Angebote schaffen, die autonom betrieben werden. Sonst wird das mit der Mobilitätswende nichts.

Die Hoffnung ist, dass es hier vorangeht. Da muss man auch ehrlich sein. Wir brauchen Push- und Pull-Maßnahmen, damit es dann vielleicht doch attraktiver wird, in ein geschartes, gepooltes Fahrzeug zu steigen. In den ersten Erfahrungsberichten und den Ridepooling-Projekten sehen wir, dass die entscheidende Frage nicht die Automatisierung ist, sondern das Bündeln und Zusammenbringen von Menschen in einem Fahrzeug, damit der Besetzungsgrad ein bisschen über den heutigen Wert von 1,2 steigt.

Was erwarten wir? Wir sehen da verschiedene Projekte. Aus der Wissenschaft wissen wir auch, dass es zwei bis drei Jahre braucht, bis ein Angebot überhaupt erst einmal angenommen wird. Die On-Demand-Verkehre haben im Übrigen immer das inhärente Problem, dass sie, je besser sie werden, desto teurer werden, weil Leute sich dann lieber mit einem Linienbedarfsverkehr zu einem bestimmten Punkt, der näher an ihrem Ziel liegt als eine Haltestelle, befördern lassen. Das ist eine entscheidende Frage. Es geht nicht um einen Taxiersatz – ich glaube, dass kein ÖPNV-Anbieter sagt, er wolle jetzt kleine Robotaxis anbieten –, sondern es geht um eine integrierte

Lösung, die Menschen bündeln kann und sie flexibler und individualisierter an den gewünschten Punkt bringt.

Das kann schon ein wichtiger Baustein zum Erreichen der Verkehrswende sein, denke ich. Es muss aber auch vermieden werden, dass wir dann durch solche Technologien induzierte Verkehre produzieren, dass also plötzlich mehr Fahrzeuge auf die Straße kommen. Deswegen bin ich ein ziemlicher Fan dieses Rechtsrahmens, weil er strukturiert entsprechende Möglichkeiten an die Hand gibt. Damit komme ich auch zu Frau Lenz' Frage. Wenn ein Aufgabenträger sich dafür entscheidet, perspektivisch keinen Stadtlinienbus zu betreiben, sondern zukünftig vier oder fünf Shuttles im Einsatz zu haben, die Fahrgäste nach Buchung – mit einer App, telefonisch, wie auch immer – befördern, ist das ein neues Angebot. Deswegen sind insbesondere die Personalkosten für solche Erprobungen, in deren Rahmen die Fahrzeuge auch nicht immer viel fahren, eben sehr hoch, insbesondere im ländlichen Raum.

Daher fokussiert sich die Industrie auch sehr stark auf die Umsetzung in den Städten, weil man dort einen hohen Besetzungsgrad hat. MOIA hat einen deutlich höheren Besetzungsgrad als ein Pooling im ländlichen Raum im Südharz, das ich damals noch betreut habe. Da hatten wir nicht die Pooling-Quoten von 2 oder 3. Ein Grund dafür sind auch die viel weiteren Anfahrtswege zu den Menschen. Wir hatten fünf Fahrzeuge auf 500 km². Man muss also immer schauen, wie der konkrete Anwendungsfall aussieht und was denn die Verkehrsart ist. Da brauchen wir auch eine gute Planung der Aufgabenträger, beispielsweise der Städte. Sie müssen natürlich auch die Möglichkeit haben, zu sagen: Ich möchte das jetzt entwickeln; ich möchte, dass so etwas entsteht.

Deswegen kann ich nur dafür werben, das Thema der On-Demand-Verkehre als Erstes zu pushen, weil nur dann Verhaltensänderungen eintreten werden, wenn Menschen das Angebot so attraktiv finden, dass sie sagen: Okay, das nutze ich. – Ich glaube auch nicht, dass Menschen ihr Fahrzeug abgeben werden. Aber vielleicht können wir es mit solchen Angeboten insbesondere in den ländlichen Räumen erreichen, dass wenigstens der Zweit- oder Drittwagen nicht mehr angeschafft wird. Das ist der Beitrag, den ein integriertes, vielleicht zukünftig auch autonomes Gesamtverkehrskonzept im ÖPNV anbieten kann und wird.

Die letzte Frage, die ich noch nicht angerissen habe, betraf die Beschäftigungsauswirkungen. Da ist der Erfahrungswert, wie ich von Betriebsleitern und Verkehrsunternehmen höre, dass man dem 50-jährigen Fahrer oft sagt: Bis diese Technologie kommt, bist du ohnehin in Rente, in 20 Jahren. – Es ist aber vielleicht auch nicht immer ehrlich, dass man das kommunizieren muss. Derzeit haben wir in Baden-Württemberg ein Projekt laufen, in dessen Rahmen wir genau untersuchen, welche Auswirkungen das denn auf die Beschäftigung in der Logistik oder in unserem Fall im ÖPNV hat. Dabei stellen wir fest, dass es in den heutigen Betrieben und in den Erprobungsprojekten deutliche Verschiebungen des Tätigkeits- und Aufgabenspektrums gibt. Es gibt also schon eine gewisse Professionalisierungstendenz der Menschen. Das heißt natürlich, dass dann Menschen in neue Rollen entwickelt werden müssen. Das müssen wir aktiv begleiten. Wir müssen uns also anschauen: Was für Kompetenzen und Fähigkeiten muss dieser Mensch zukünftig erwerben? Wie können wir denn einen Arbeitsplatz für ihn gestalten?

Diese Fragen stellen sich gerade, wenn wir über die Technische Aufsicht reden. Sie soll ja aus Leitzentralen erfolgen. Aber gleichzeitig brauche ich weiterhin Fahrzeugbegleiter, Servicekräfte und den Außendienst, der Störungen behebt. Das ist ein Punkt, der überhaupt noch nicht betrachtet wird, obwohl er ganz massive Auswirkungen hat. Daher müssen wir uns schon fragen, wie wir es denn gestalten, dass diese Menschen abgeholt werden, und zwar gemeinsam mit Sozialpartnern. Das gilt insbesondere für die jungen Menschen, die wir heute für den Fahrdienst gewinnen müssen. Sonst wird der Betrieb irgendwann eingestellt. Dann schaffen wir es überhaupt nicht mehr mit der Verkehrswende. Wir müssen ihnen auch eine Perspektive aufzeigen und jetzt in den nächsten fünf bis zehn Jahren, vielleicht bis 2030, Qualifizierungswege und Ausbildungsberufe für diese neue Rolle entwickeln. Da passiert mir persönlich noch ein bisschen zu wenig. Wir sind aber, wie gesagt, derzeit sehr stark dabei, da etwas zu entwickeln.

Herr **Schippl**: Ich möchte zunächst zu dem Punkt der Akzeptanz antworten. Uns hat auch überrascht – Sie haben es gerade angesprochen –, dass sich die Befragten in einem automatisierten Fahrzeug im Stadtverkehr wohler fühlen als auf der Autobahn. Bei dieser repräsentativen Befragung zur Akzeptanz hätte ich auch ein anderes Antwortverhalten erwartet. Ich denke, es liegt ein bisschen daran, dass das auch mit anderen Fragen zusammenhängt und dass in der Frage, wenn man es genau betrachtet, zwei unterschiedliche Einstellungsmerkmale miteinander verwoben sind. Zum einen können Sie antworten, ob Sie sich mit einer Automatisierung wohlfühlen. Zum anderen schwingt implizit auch die Frage mit, wo Sie den größten Nutzen einer Automatisierung sehen. Wir würden in einer Folgebefragung auch versuchen, das ein bisschen besser aufzuschlüsseln. Unsere These wäre jetzt, dass gerade im Stadtverkehr das Parkplatzsuchen und der Stau einfach nerven und dementsprechend viele hier den größeren Nutzen gesehen haben. Schließlich ist Akzeptanz immer auch eine Abwägung zwischen Vor- und Nachteilen. Ich muss ja auch etwas davon haben, wenn ich mich darauf einlasse. Parallel zu der Befragung haben wir Interviews mit Bürgerinnen und Bürgern geführt und daraus auch ein Bild bekommen, dass das ein bisschen bestätigt. Übrigens hat sich dort gezeigt, dass die tatsächliche Ausgestaltung des Angebots entscheidend dafür ist, ob es von den Bürgerinnen und Bürgern begrüßt wird oder nicht. Für viele war der Fakt, dass kein Fahrer mehr im Fahrzeug ist, überhaupt kein entscheidender Faktor. Da kam oft das Argument: Wenn das in Deutschland zugelassen wird, dann setze ich mich auch hinein. – Es war bei vielen also gar nicht mehr das Vertrauen in die Technik, sondern das Vertrauen in die zulassenden Institutionen. Dann hing es aber sehr stark davon ab, wie genau das Angebot ausgestaltet ist, ob da ein persönlicher Nutzen erkennbar ist. – Das war die an mich gerichtete Frage.

Lassen Sie mich noch kurz etwas dazu sagen, warum der ÖPNV entsprechend gefördert werden sollte, was Martin Lanzendorf angesprochen hat. Ich denke, es ist doch offensichtlich, dass hier jetzt eine riesige Chance besteht, den öffentlichen Verkehr insgesamt attraktiver zu machen. Meines Erachtens muss man ein bisschen aufpassen, wenn man die Diskussion über Stadt und Land führt, dass man das, was dazwischen ist, nicht übersieht. Schließlich lebt in Deutschland ein Großteil der Bürgerinnen und Bürger in den Klein- und Mittelstädten, also weder in den Bereichen, die wir als Großstadt bezeichnen würden, noch in den Bereichen, die wir als wirklich ländlichen

Raum ansehen würden. Dass eine Gegend im Vogelsberg mit öffentlichen autonomen Bussen erschlossen wird, sehe ich erst einmal nicht; das sehe ich in ferner Zukunft. Aber es gibt dazwischen – das ist jetzt auch Teil der Forschung – viele Regionen, für die das interessant sein könnte, die vielleicht im Bereich von 20.000 bis 40.000 Einwohnern sind und kein extrem gutes ÖPNV-Netz haben, aber auf der anderen Seite auch keine ganz so hohe Pkw-Abhängigkeit wie Menschen in wirklich ländlichen Regionen. Ich meine, dass dieser Zwischenraum ebenfalls zu berücksichtigen ist, wenn man die Vorteile von Automatisierung im öffentlichen Verkehr analysieren möchte.

Vorsitzender: Vielen Dank für die Antworten. – Ich schaue in die Runde. Gibt es noch weitere Fragen? – Herr Gickeleiter, bitte sehr.

SV Dr.-Ing. Georg Gickeleiter: Herr Schippl, Sie haben den Begriff „gesellschaftliche Akzeptanz“ genutzt. Was verstehen Sie darunter?

Herr **Schippl:** Da haben wir eine relativ lange Definition. Sie geht über fünf oder sechs Zeilen. Ich kann sie Ihnen jetzt nicht vorlesen und kenne sie auch nicht auswendig. Aber die Frage ist sehr berechtigt. Der Begriff „gesellschaftliche Akzeptanz“ wird sehr oft verwendet, ohne dass er genau definiert wird. Es gibt zum einen ein Akzeptanzsubjekt, also denjenigen, der akzeptiert, und zum anderen ein Akzeptanzobjekt, also das, was akzeptiert wird. Beim automatisierten Fahren gehen tatsächlich mehrere Dinge oft durcheinander. Das Erste ist die persönliche Einstellung zum Fahrzeug selbst. Das Zweite ist – das ist in der Frage von Frau Prof. Lenz auch angesprochen worden – die Einstellung zu Fahrzeugen, die im persönlichen Wohnumfeld verkehren. Das Dritte ist – diese Ebene könnte man noch anführen – die Akzeptanz von automatisiertem Fahren im Mobilitätssystem der Zukunft. Genau genommen müsste man über diese drei verschiedenen Aspekte auf Seite des Akzeptanzobjekts und auf Seite des Akzeptanzsubjekts diskutieren. Das können natürlich auch sehr unterschiedliche Subjekte sein; da haben Sie vollkommen recht.

Bei der Befragung, die ich vorgestellt habe, war das einfach ein repräsentatives Sample aus der Bevölkerung. Aber man könnte das – das habe ich ja auch angedeutet – noch aufschlüsseln. Gerade die Gruppe der Älteren wäre noch einmal eine eigene Untersuchung wert. Das haben wir zum Teil auch gemacht. Schließlich ist das genau die Gruppe, die oft genannt wird, wenn es um Mobilitätsermöglichung geht, und gleichzeitig genau die Gruppe, die diesen neuen Angeboten mit der größten Skepsis begegnet. – Ich gerate jetzt in Versuchung, hier sehr lange zu reden. Bitte fragen Sie einfach noch einmal nach, wenn das nicht genug Antwort war.

(SV Dr.-Ing. Georg Gickeleiter: Danke schön!)

Vorsitzender: Vielen Dank, Herr Schippl. Ich denke, dass das ausreichend war. Sicherlich ist die Spanne in dieser Frage sehr groß. – Gibt es noch weitere Fragen? – Das ist nicht der Fall.

Insofern danke ich Ihnen, Herr Leonetti und Herr Schippl, herzlich dafür, dass Sie sich die Zeit genommen haben. Ich hoffe, dass die anderen Vorträge, die wir heute gehört haben, auch für Sie interessant waren. Das ist ein sehr umfassendes Thema. Nochmals ein herzliches Dankeschön an Sie, dass Sie sich die Zeit genommen haben und uns hier informiert haben.

Dann können wir den Tagesordnungspunkt 1 abschließen und die Sitzung gleich mit dem Punkt 2 fortsetzen, der allerdings nicht öffentlich ist. Daher bitte ich alle diejenigen, die nicht zur Enquete-kommission gehören – das betrifft leider auch die Anzuhörenden –, den Plenarsaal zu verlassen bzw. sich aus der digitalen Schalte abzumelden. Zu diesem Zweck machen wir eine ganz kurze Pause. – Danke schön.

(Ende des öffentlichen Teils: 13:57 Uhr – es folgt nicht öffentlicher Teil)

Für Mensch & Umwelt

Umwelt 
Bundesamt

Enquetekommission „Mobilität der Zukunft in Hessen
2030“ (15. Sitzung)

Beiträge nationaler und EU-Instrumente für einen energieeffizienten und saubereren Verkehr

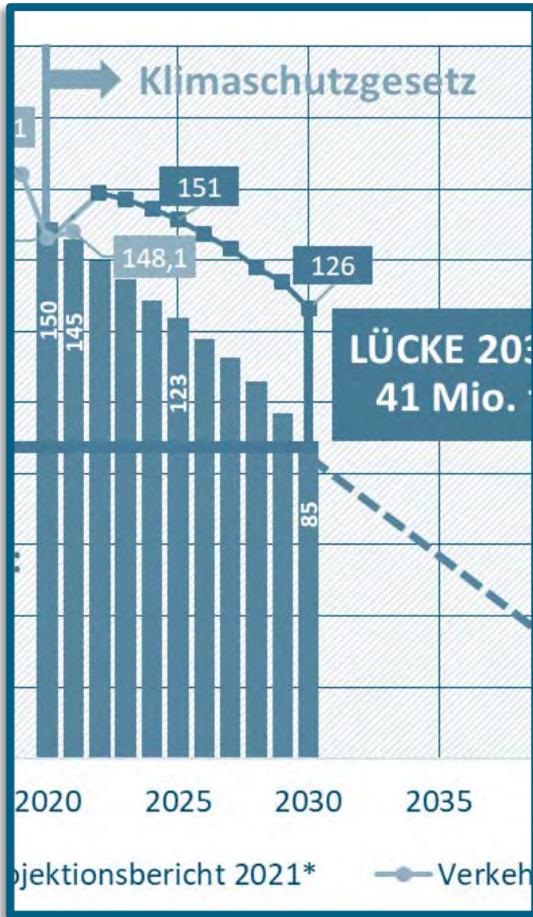
Dr. Martin Lange

Leiter des Fachgebiet I 2.2

„Schadstoffminderung und Energieeinsparung im Verkehr“

29. April 2022

Gliederung



Klimaziele, -projektionen und Handlungsbedarf

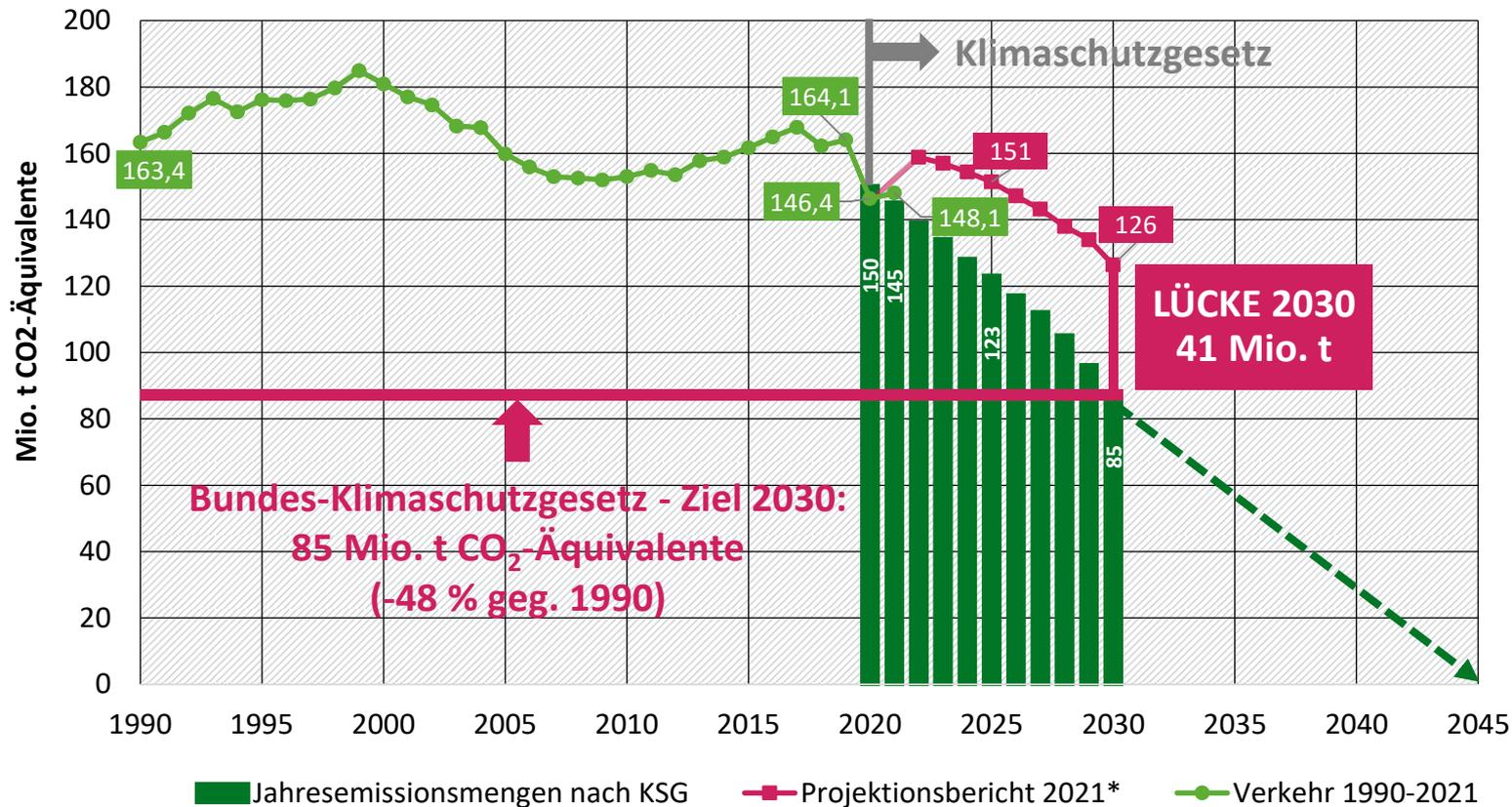


Optionen zur Energiewende im Verkehr und Bewertung



Wichtige nationale und EU-Instrumente

Entwicklung und Zielerreichung der Treibhausgasemissionen in Deutschland im Sektor Verkehr des Klimaschutzgesetzes (KSG)



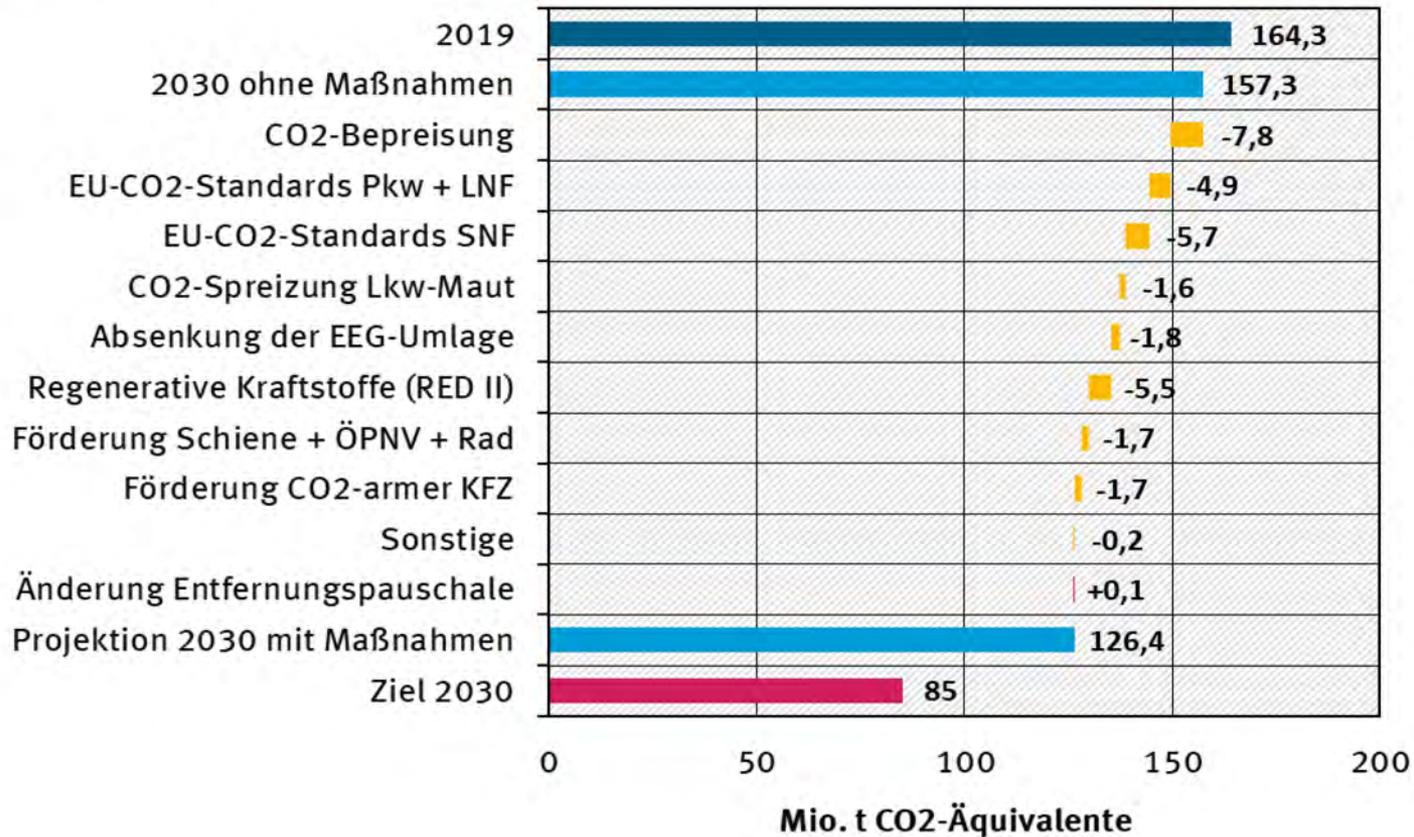
* Berechnete Werte des „Projektionsbericht 2021“ (rote Linie, basierend auf Daten mit Stand August 2020) weichen für die Jahre 2020 und 2021 von den später veröffentlichten offiziellen IST-Werten (grüne Linie) ab.

Link | Quelle: UBA 22.03.2022

Trotz der bisher beschlossenen Maßnahmen bleibt im Verkehr eine „Lücke“ von 41 Mio. t CO₂-Äquivalente im Jahr 2030

Minderung der Treibhausgasemissionen im Verkehr 2030

Wirkung der bisher beschlossenen Maßnahmen



Quelle: Öko-Institut et al.: Projektionsbericht
2021 für Deutschland.

Anspruchsvolle Klimaschutzziele im Verkehr sind nur mit einer Verkehrswende und einer Energiewende im Verkehr zu erreichen

Minderung der Treibhausgasemissionen (Basis: 1990)



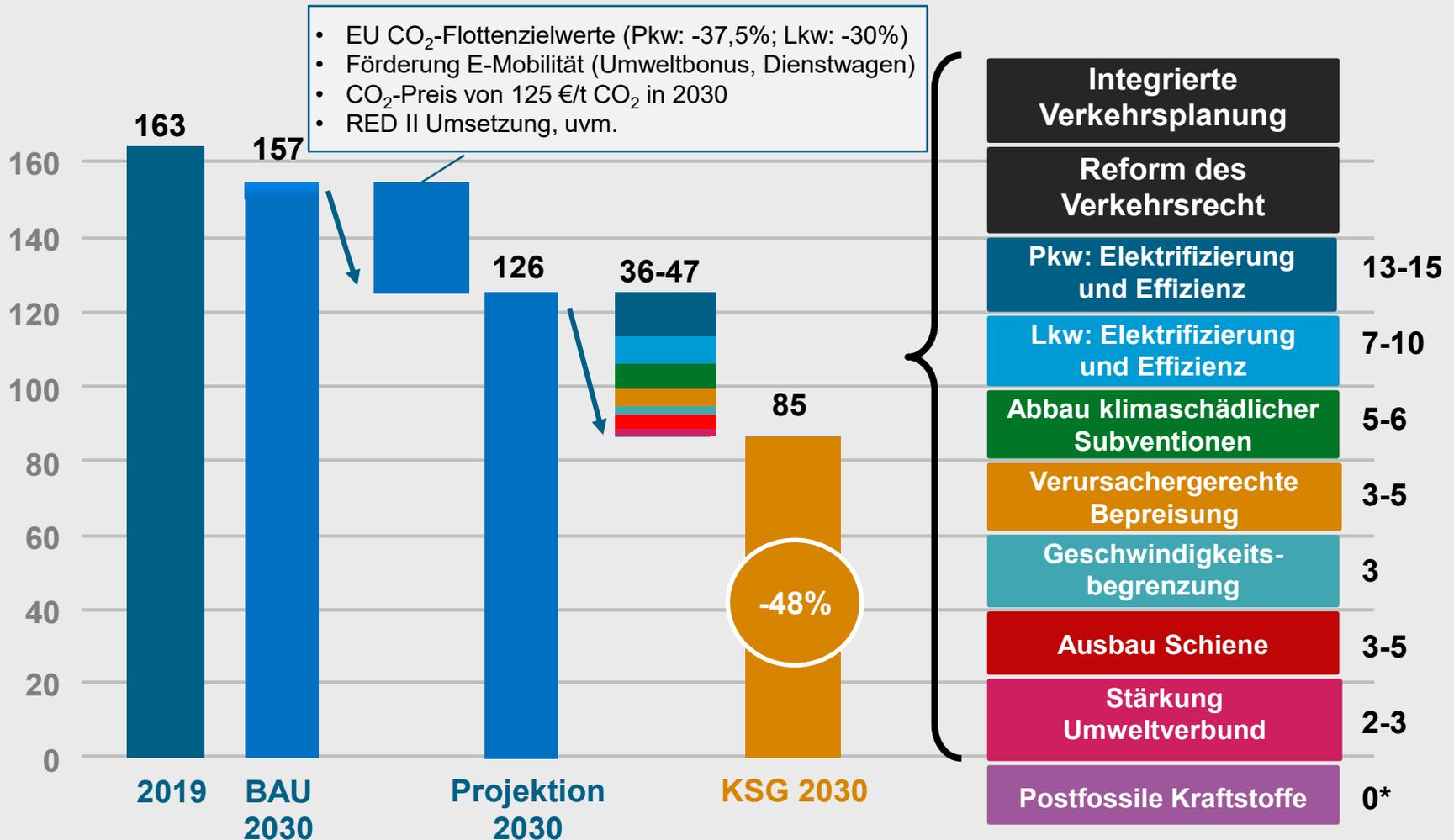
- Für anspruchsvolle Klimaschutzziele im Verkehr müssen eine Verkehrswende und eine Energiewende Hand-in-Hand gehen.
- Eine Energiewende wird umso teurer, je mehr Energie der Transportsektor benötigt.

Quellen: Darstellung des UBA.

Bausteine zur Erreichung ambitionierter Klimaschutzziele im Verkehr bis 2030



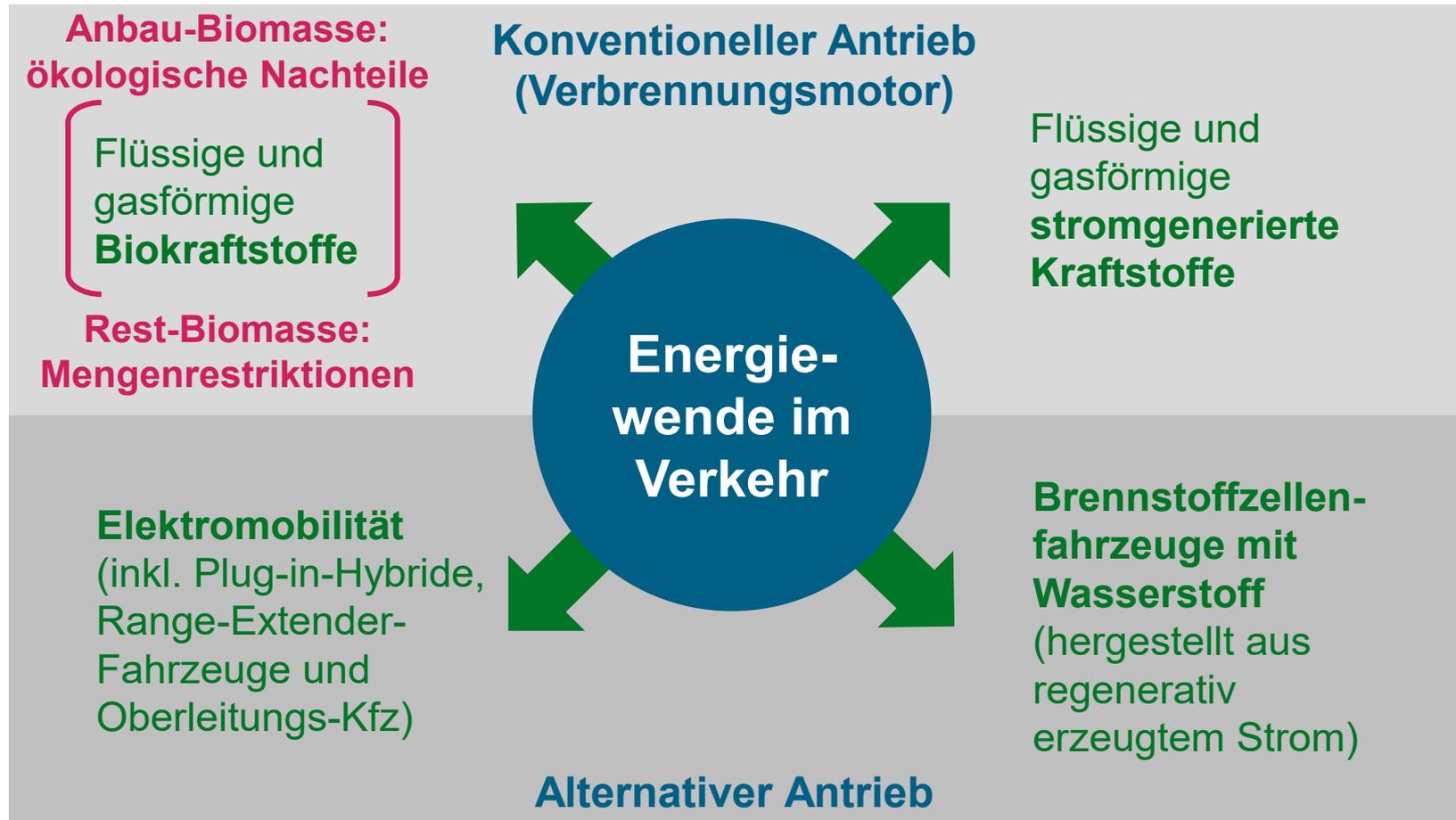
Treibhausgasemissionen des Verkehrs in Mio. t CO₂-Äquivalente:



* Keine zusätzlichen Minderungen zu den bereits in Projektion berücksichtigten

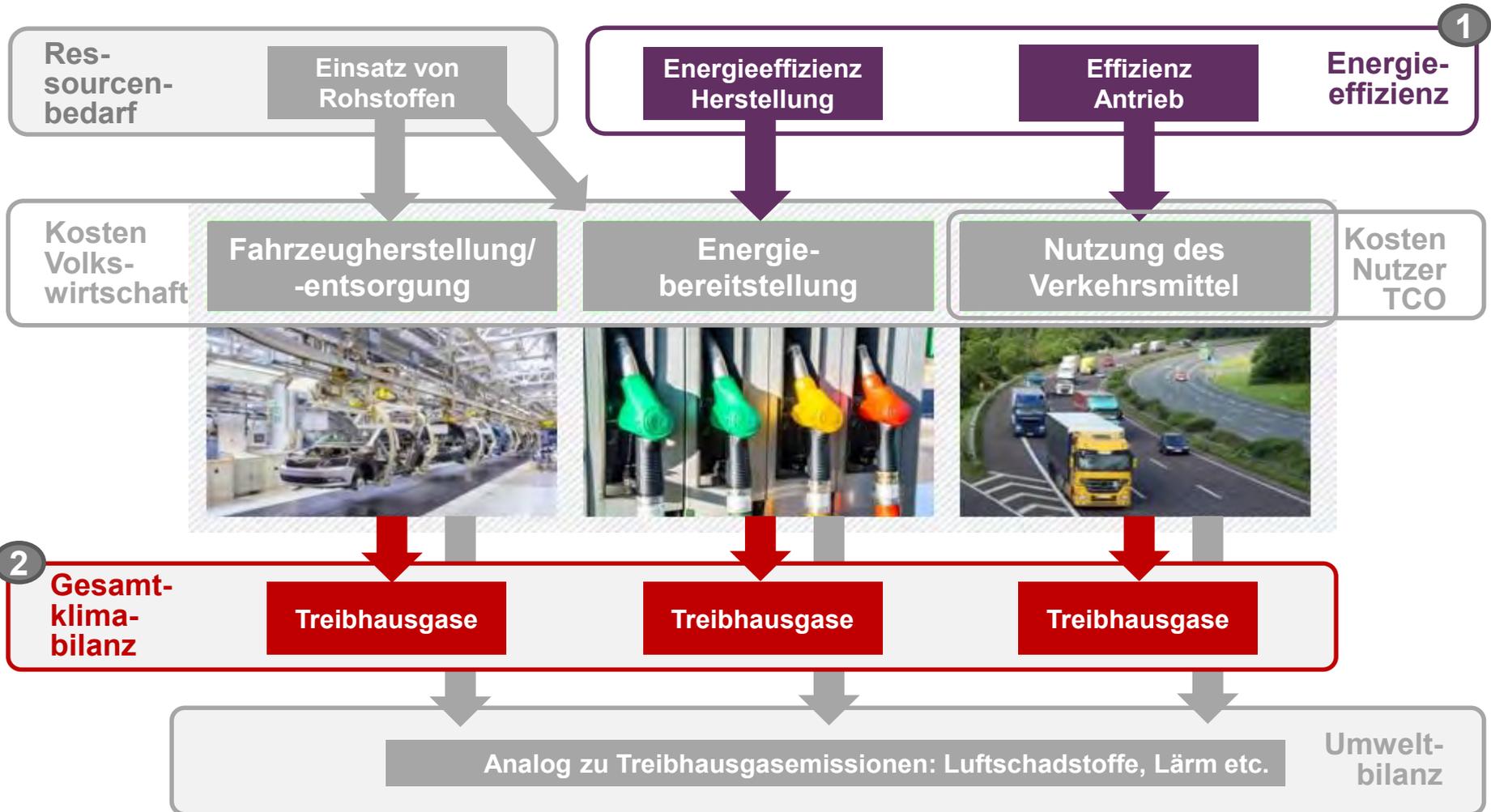
Drei

~~Ver~~ mögliche Wege in die postfossile Zukunft des Verkehrs führen alle zu einer Kopplung mit dem Stromsektor



Quelle: Darstellung INFRAS (Ergänzungen UBA).

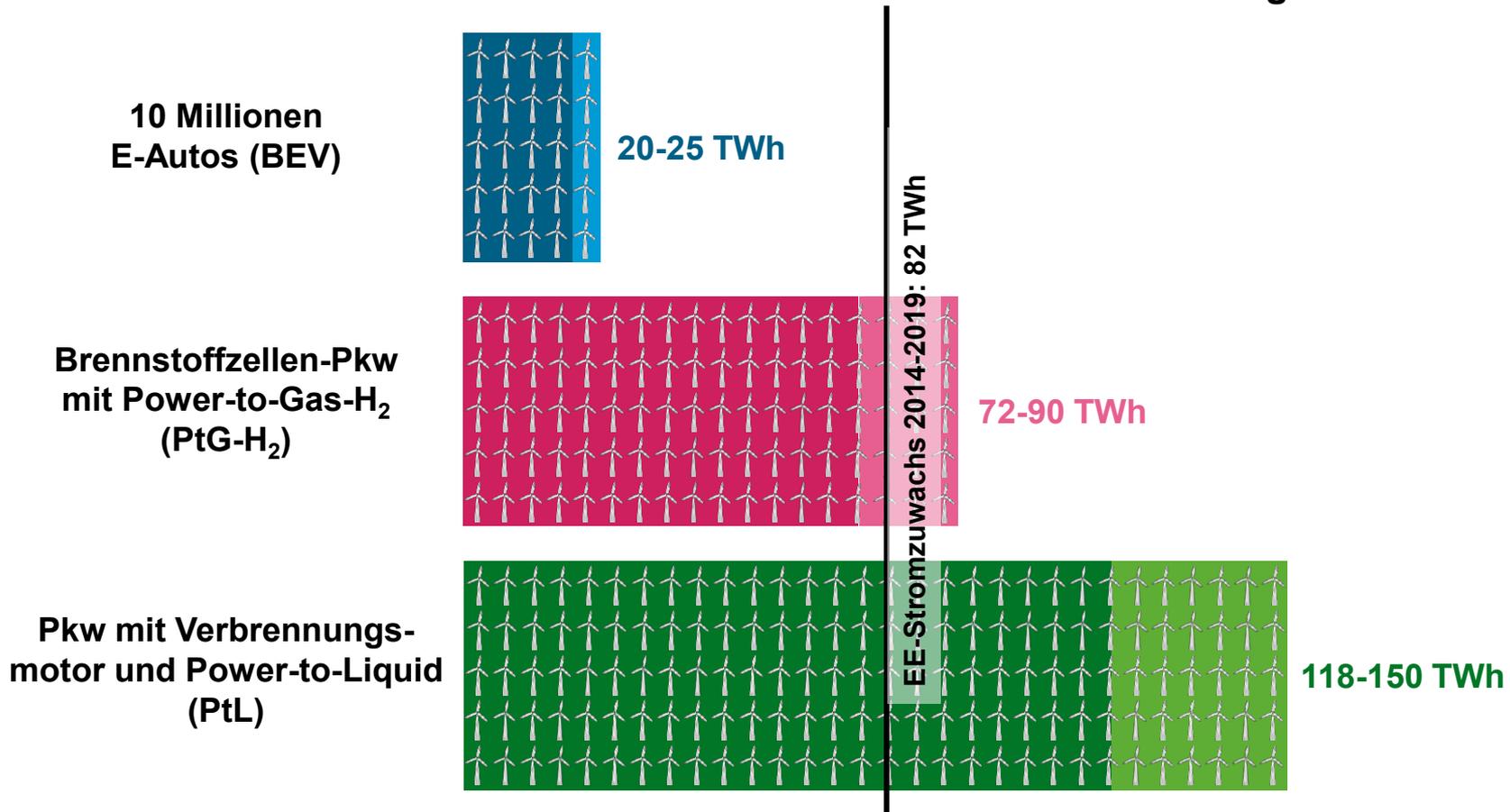
Ganzheitliche Bilanzen von Antrieben und Kraftstoffen berücksichtigen Energieeffizienz, Klima-/Umweltfolgen sowie Kosten



Quelle: UBA 2020 (Umweltfreundlich mobil!), eigene Darstellung des UBA.

Energieeffizienz: Die direkte Stromnutzung ist die energieeffizienteste postfossile Energieoption für den Straßenverkehr

10 Millionen Elektro-Pkw sparen 13 bis 17 Mio. t CO₂Äq. Für die gleiche Einsparung wird für Wasserstoff und PtL viel mehr erneuerbarer Strom* benötigt.

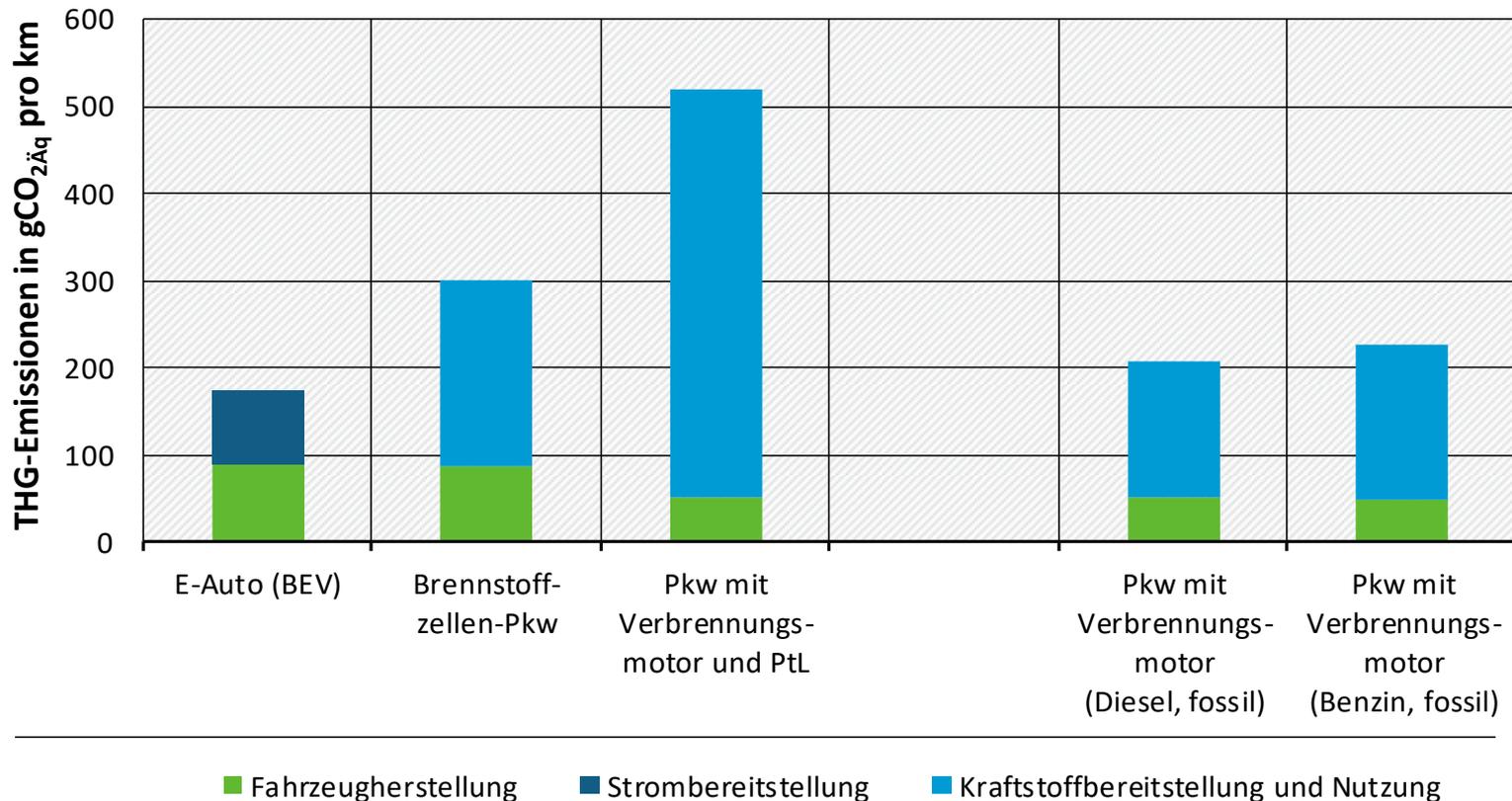


Quellen: AGEE-Stat, Berechnungen des Umweltbundesamt nach IFEU-Institut.

* Hier vereinfacht nur Windstrom dargestellt.

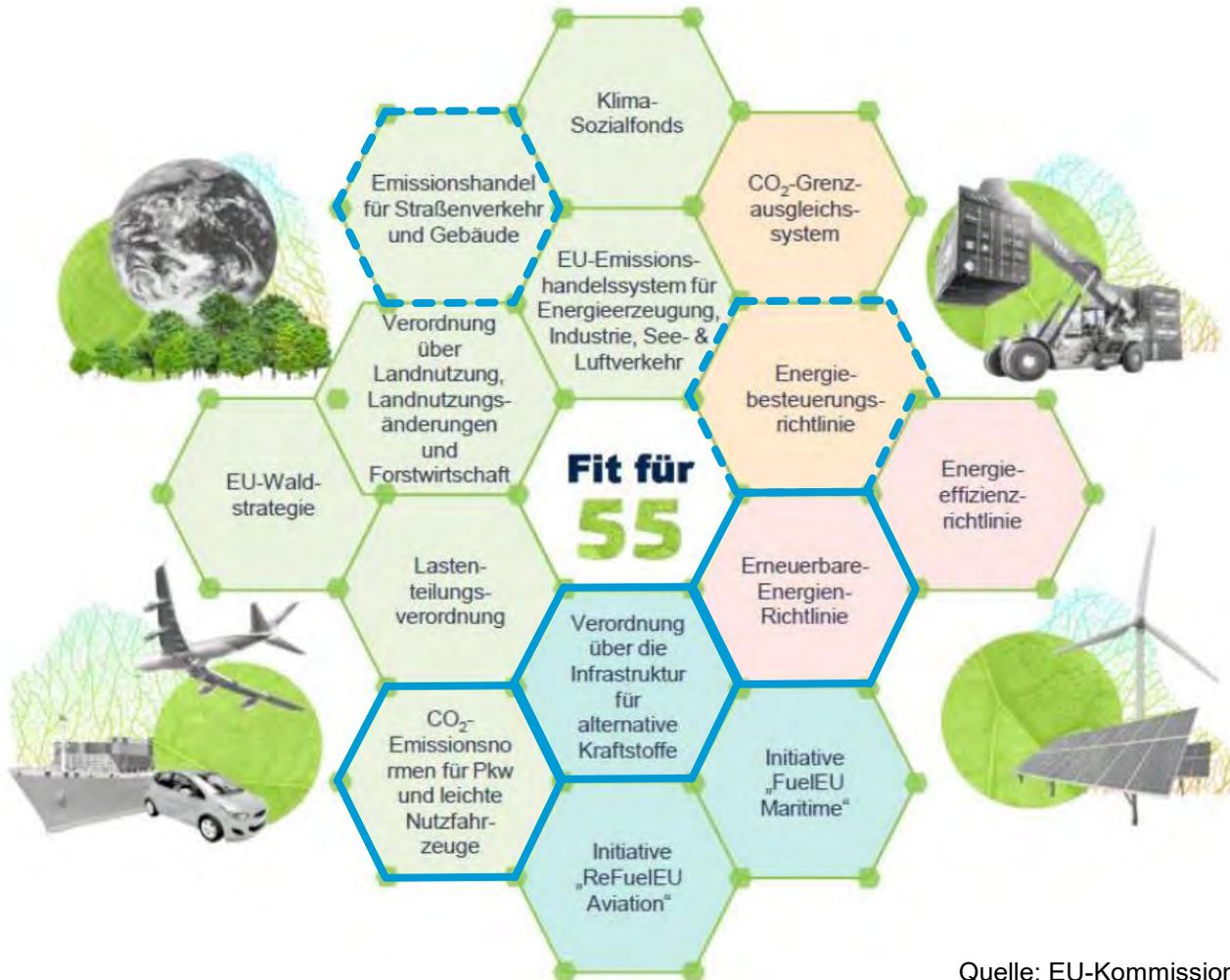
Klimabilanz Pkw: E-Mobilität hat bereits heute einen Vorteil gegenüber anderen alternativen Antrieben und Kraftstoffen

Treibhausgasemissionen pro Kilometer über den gesamten Lebenszyklus für ein modernen Kompaktklasse-Pkw (im Strommix, nach 150.000 km, 35 kWh)



Quelle: nach Agora Verkehrswende 2019 (Klimabilanz von strombasierten Antrieben und Kraftstoffen).

„Fit For 55 – Umsetzung des EU-Klimaziels für 2030 / 2050“



Besonders relevant:

- Änderung der VO zur Verschärfung der CO₂-Emissionsnormen: für neue Pkw und leichte Nutzfahrzeuge
- RED III
- Neue VO über Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe (bisher RL)

Ergänzend:

- EU-ETS II
- Energiesteuerrichtlinie

Quelle: EU-Kommission

Ambitionierte Flottenzielwerte als Mittel der Wahl: CO₂-Standards für neue Pkw

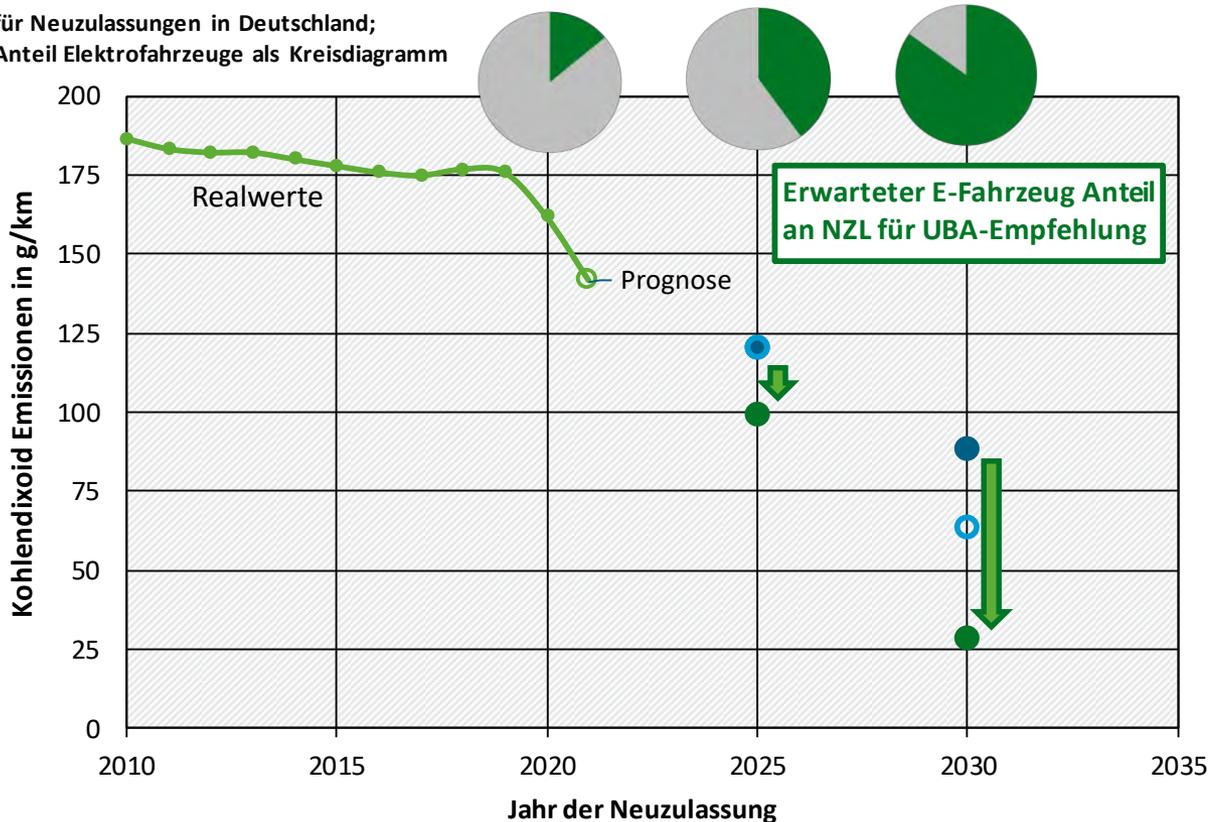
- Effizienz von Verbrennern & insbes. der E-Fahrzeug-Anteil werden von EU-Vorgaben zur Effizienz bestimmt
- Deren Verschärfung stellt sicher, dass:
 - bis 2030 das BReg-Ziel von 15 Mio. vollelektrischen E-Fahrzeugen erreicht werden kann
 - die Minderungslücke im Klimaschutzgesetz (KSG) durch techn. Maßnahmen ausreichend verringert wird
 - Deutschland die Emissionen im nicht-Emissionshandelsbereich ausreichend mindert (*Effort-Sharing-Regulation*)
- Nicht ausreichend verschärfte EU-Vorgaben machen
 - schärfere nationale Instrumente (Umweltbonus, Steuerbefreiungen, starke Bepreisung) und lokales Handeln notwendig
 - und sollten in der Folge zu Mehremissionen in anderen EU-Mitgliedsstaaten und zu Konkurrenz zwischen diesen führen
- Ambitionierte Weiterentwicklung der Abgasvorschriften mit Euro VII/7 wird Wandel zu E-Fahrzeugen noch weiter beschleunigen



Flottenzielwerte treiben Effizienz voran: CO₂-Standards für neue Pkw

CO₂-Emissionen aus Realverbrauch in g/km

für Neuzulassungen in Deutschland;
Anteil Elektrofahrzeuge als Kreisdiagramm



UBA-Empfehlungen

- Deutlichere **Verschärfung der EU-Ziele für 2030 auf -80% statt -55% ggü. 2021**
- **Zwischenziel für 2025 auf -30% ebenfalls verschärfen**
- In 2030 dann **rund 15 Mio. Elektro Pkw im Bestand**
- **Früherer Ausstieg aus dem Verbrennungsmotor möglichst bis 2032 statt 2035 (inkl. Hybride)**

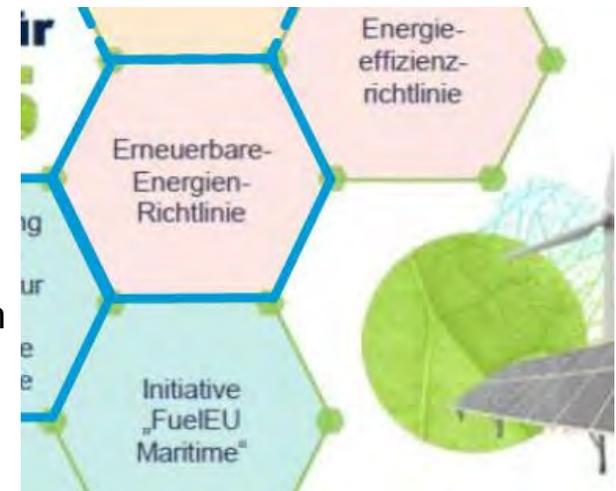
Ergänzend

- Plug-in-Hybriden nur mit realem elektrischen Anteil anrechnen
- Feste Ziele für weitere Zwischenjahre

Quelle: Eigene Berechnungen, UBA 2021

Treibhausgasminderungsquote als Treiber für E-Fahrzeuge und Ausbau von Ladeinfrastruktur

- Nationale Umsetzung der RL 2018/2001 (RED II) mit Novellierung BImSchG und 38. BImSchV stärkt Stromnutzung für Straßenverkehr
- Kraftstoff-Inverkehrbringer können deren THG-Emissionen verringern und die bis 2030 auf 25 Prozent ansteigende Quotenverpflichtung damit teilweise erfüllen
- THG-Quote schon sehr ambitioniert (in Richtung RED III)
- Förderung für Halter von reinen E-Fahrzeugen mit aktuell 350 € pro Jahr im für E-Pkw im nicht-öffentlichen Ladebereich
- Höhere Werte für reine E-LNF und E-Busse, da diese mehr Strom pro km benötigen bzw. mehr Kilometer fahren
- Unterstützung des Betriebes von öffentlichen Ladepunkten durch Quoten-Erlöse zwischen 10 und 20 Cent pro geladener kWh für BEV und PHEV im Strommix
- Darüber hinausgehende gezielte Förderung für Ausbau der Ladeinfrastruktur in der Fläche ist insbesondere auch in den nächsten Jahren notwendig; un stetige Neuzulassungen von E-Pkw erschweren dies



Verordnung über die Infrastruktur für alternative Kraftstoffe

INFRASTRUKTUR VON EU ALS KRITISCHER BEREICH IM FOKUS

- Konkrete Festlegungen über Verordnung statt Richtlinie positiv
- Bedarfe in gesamten EU werden adressiert und notwendige Energiewende im Verkehr in allen Mitgliedsstaaten auch angestoßen

PKW

- Vorgaben für Ladeleistungen bei Pkw für BEV und PHEV von 1 kW bzw. 0,66 kW pro Fahrzeug kurz- und mittelfristig nicht ausreichend → hier sollte dringend und zielgerichtet auf Bedarfe reagiert werden

LKW

- Ambitionierte Ziele für 2030 und auch Zwischenziele für 2025 für Lkw-Ladeinfrastruktur notwendig um für den absehbaren E-Hochlauf bei Lkw durch Flottenzielwerte für Lkw vorbereitet zu sein
- Oberleitungsinfrastruktur für Lkw wäre eine Alternative die die Energieeffizienz und Rohstoffinanspruchnahme reduzieren könnte

Weitere Aspekte zur Benutzerfreundlichkeit, Preistransparenz und Verbraucherinformation ergänzen Vorschlag der EU-Kommission.



Klimaschutz im Verkehr braucht Verkehrswende und Energiewende im Verkehr!

- Mit den bisher beschlossenen Maßnahmen werden im Verkehr Emissionen von rund 126 Mio. t CO₂,Äq im Jahr 2030 erreicht – das 2030er Ziel von 85 Mio. t CO₂,Äq nach Bundes-Klimaschutzgesetz wird damit deutlich verfehlt! In 2021 wurde das Ziel erstmals verfehlt (Sofortprogramm notwendig).
- Die direkte Nutzung von erneuerbarem Strom in batterieelektrischen Fahrzeugen ist energieeffizienter und klimaschonender als andere alternative Antriebe und postfossile Kraftstoffe. Das Kernelement einer Energiewende im Straßenverkehr sollte die Elektromobilität sein – nur ergänzt durch aus regenerativem Strom hergestellte Kraftstoffe.
- Nationale und EU-Instrumente leiten den notwendige Wandel zur E-Mobilität sowohl bei Fahrzeugen als auch bei der Infrastruktur maßgeblich ein. Insbesondere bei der Ladeinfrastruktur bleibt dringender Handlungsbedarf aber auch die Chance den Klimaschutz im Verkehr zu beschleunigen und mehr Energieeffizienz im Verkehr zu erreichen.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Dr. Martin Lange

Umweltbundesamt

Leitung Fachgebiet I 2.2

„Schadstoffminderung und
Energieeinsparung um Verkehr“

martin.lange@uba.de



Umwelt
Bundesamt 



INSTITUT FÜR ENERGIE-
UND UMWELTFORSCHUNG
HEIDELBERG

Klimaschutz im Verkehr – Fokus Motorisierter Straßenverkehr

Energieeffizienz und alternative Antriebe

Enquete-Kommission „Mobilität der Zukunft in Hessen 2030“;

Energieeffizienter, sauberer und leichter motorisierter Verkehr; Online 29.4.2022

Udo Lambrecht (ifeu)

Definition & Ziele

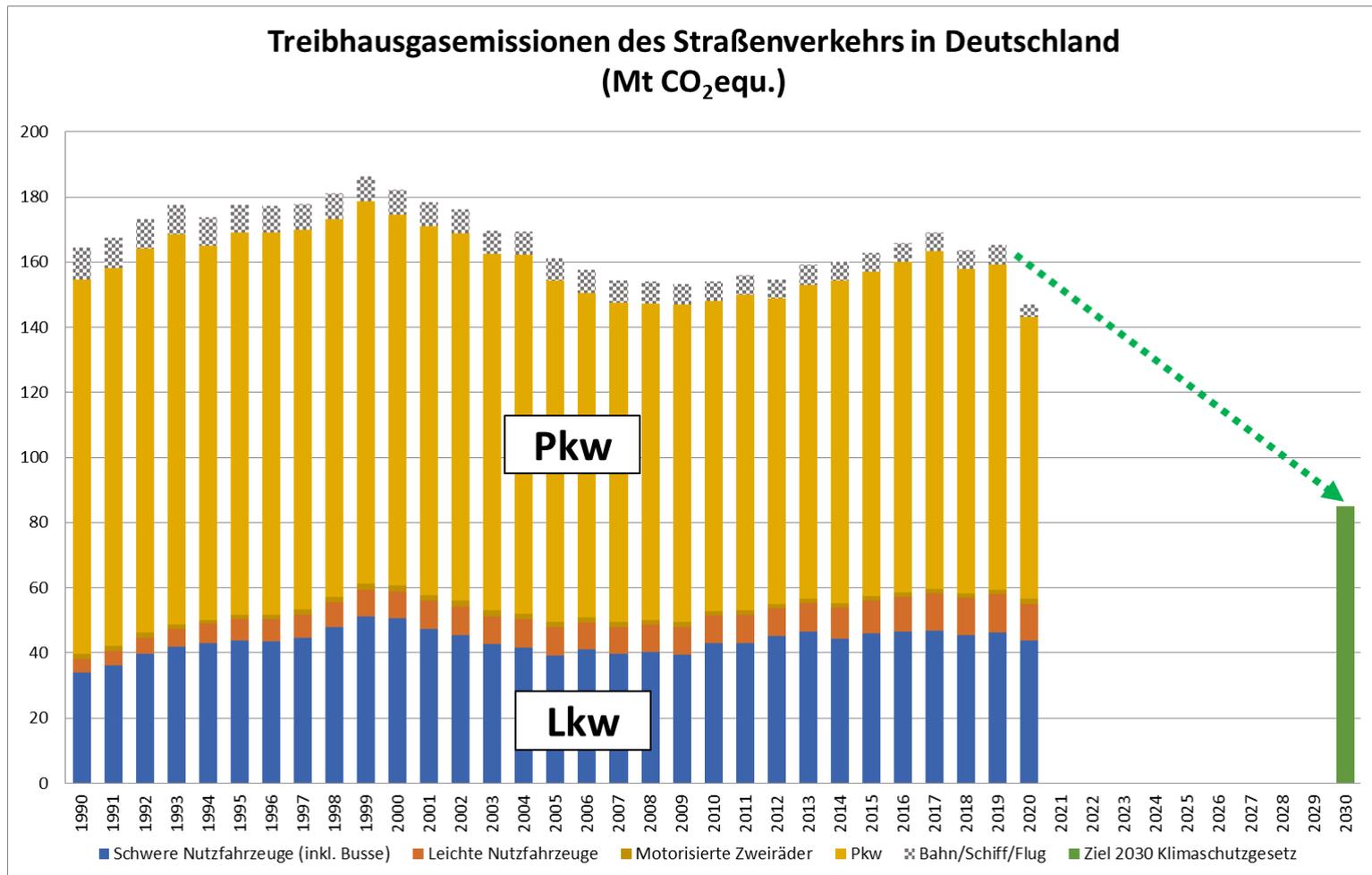
Energieeffizienter Verkehr:

- mit möglichst wenig Energie die **Mobilitätsanforderungen abdecken**
- **Indikator:** Energieverbrauch pro Personen-km (MJ/Pkm)
Energieverbrauch pro t-km (MJ/tkm)

dabei die Treibhausgasemissionen möglichst stark reduzieren

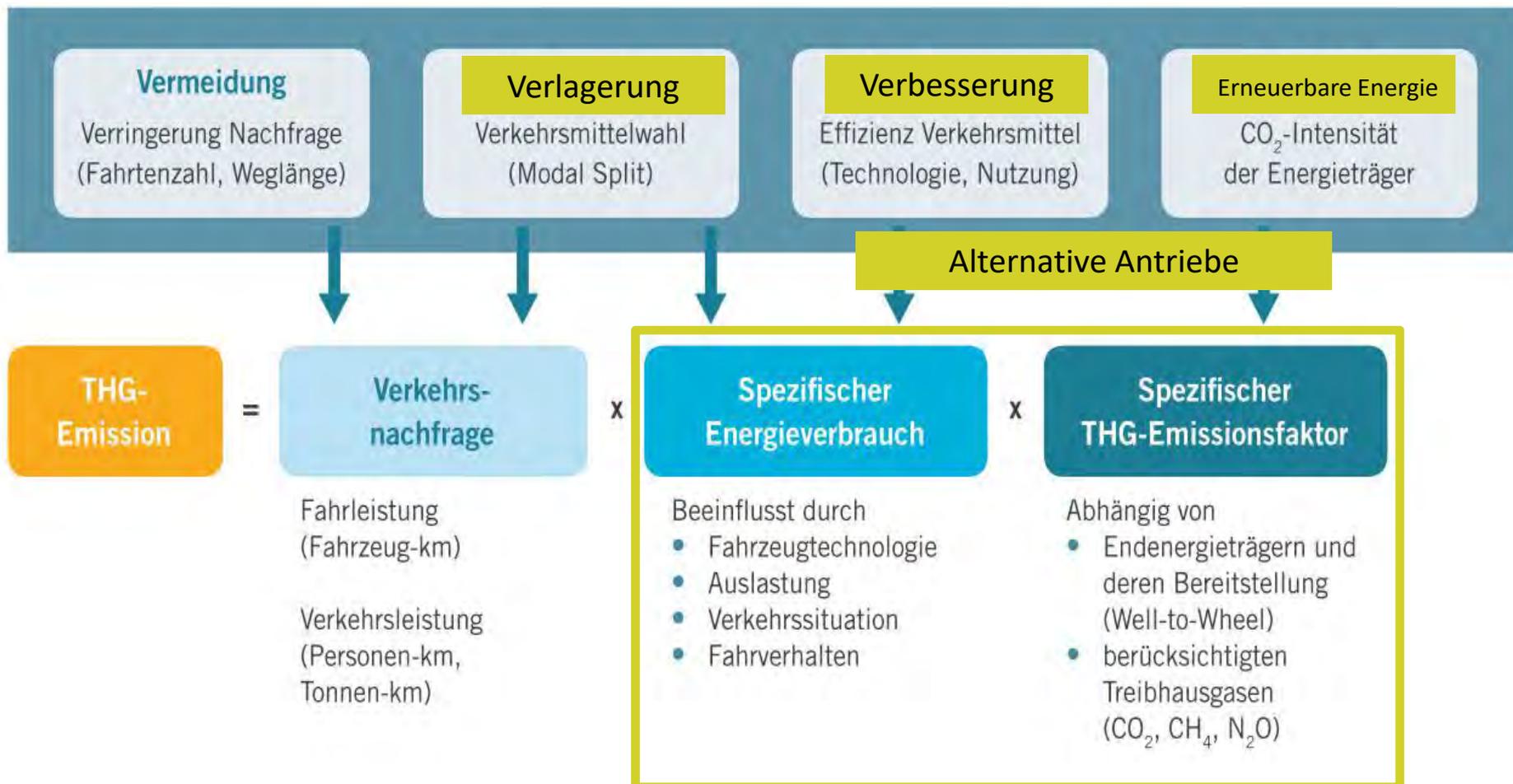
- dazu neben Effizienzverbesserung der Einsatz von alternativen Energieträgern (möglichst CO₂-frei – erneuerbare Energie)
- dazu werden tlws. „**alternative“ Antriebe**

Bisher geringe Reduktion der THG-Emissionen Ziele Klimaschutzgesetz erfordern Minderungen

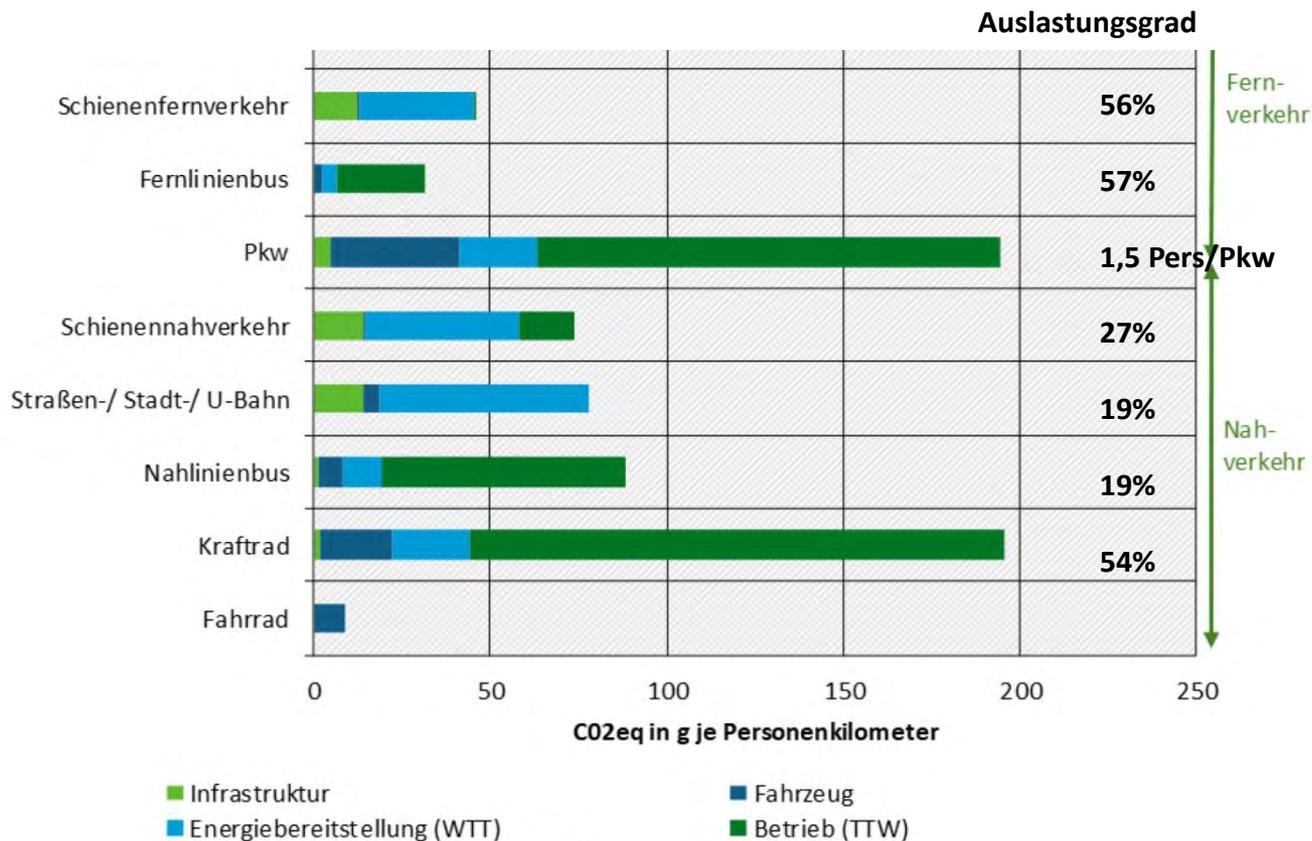


Ansatzpunkte zur Minderung des Energieverbrauchs sowie THG-Emissionen im Verkehr

Strategien für einen klimafreundlichen Verkehr



THG-Emissionen der Personenverkehr Welche Emissionen pro Personen-km?



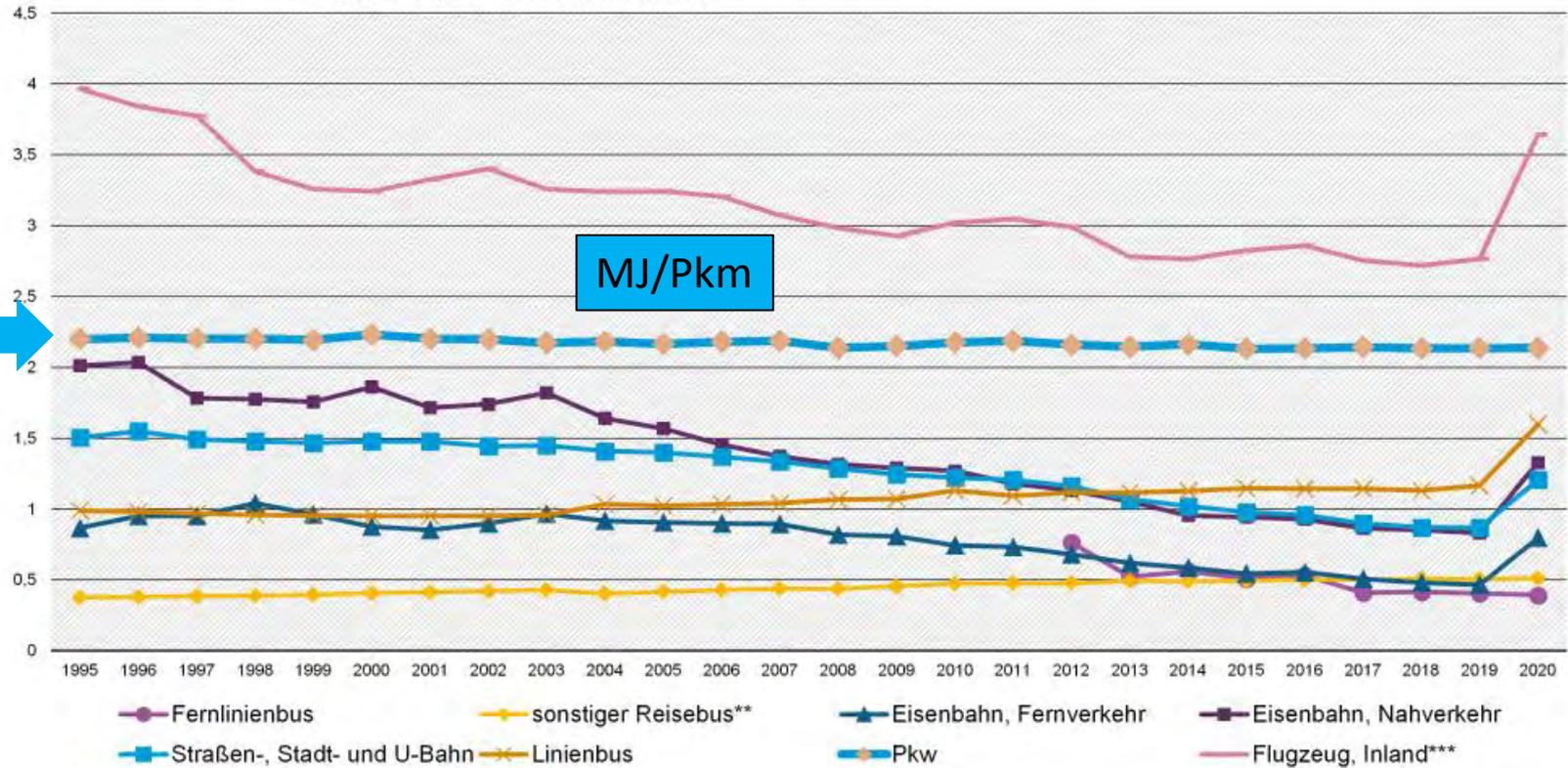
Quelle: eigene Berechnungen

Entwicklung spezifischer Energieverbrauch Keine Verbesserung seit 1995 bei Pkw



Entwicklung des spezifischen Energieverbrauchs im Personenverkehr * (inkl. Vorkette)

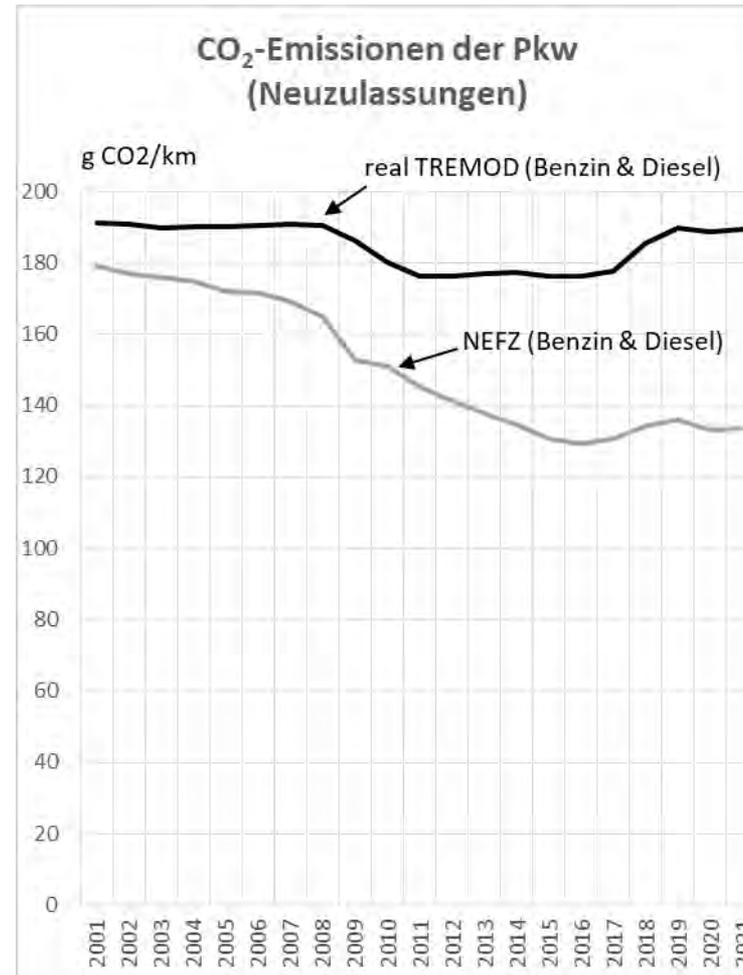
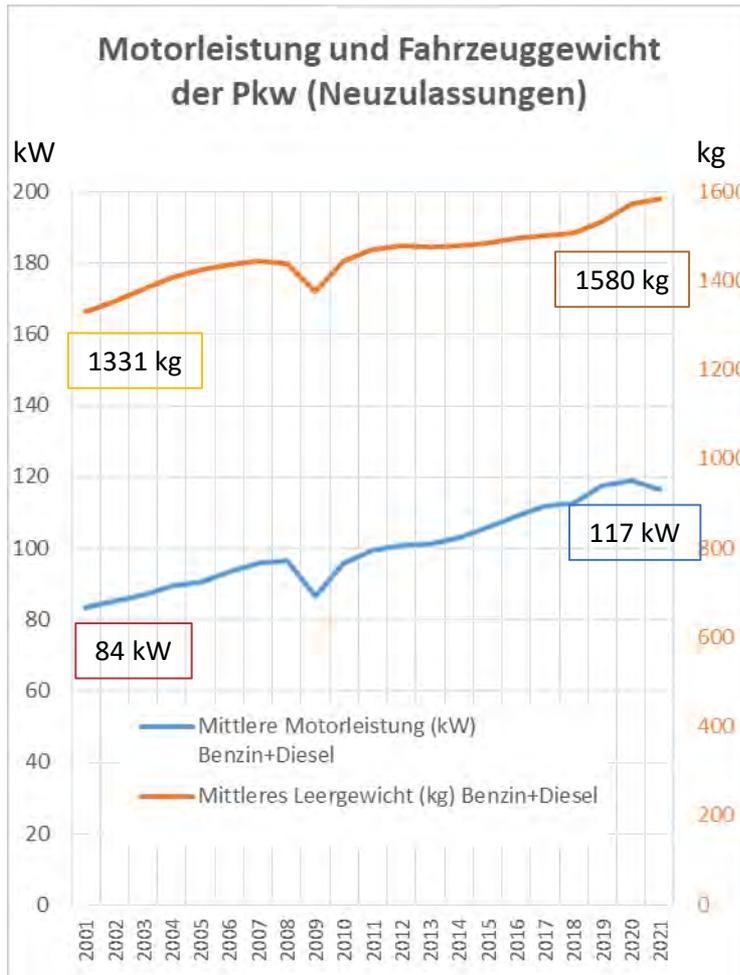
Megajoule pro Personenkilometer Diagrammtitel



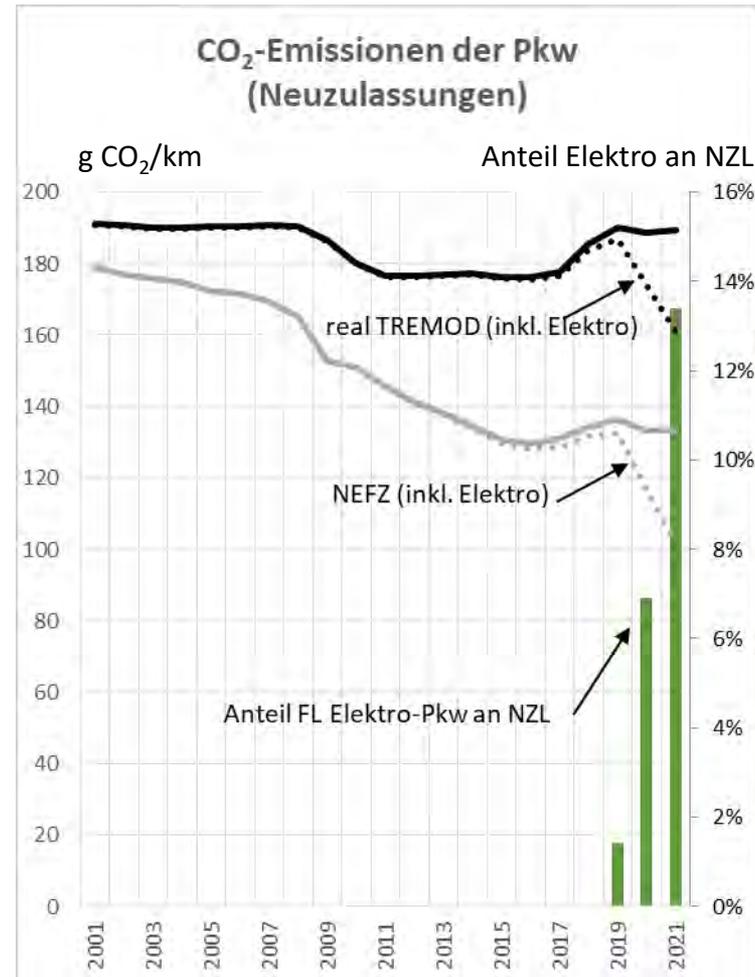
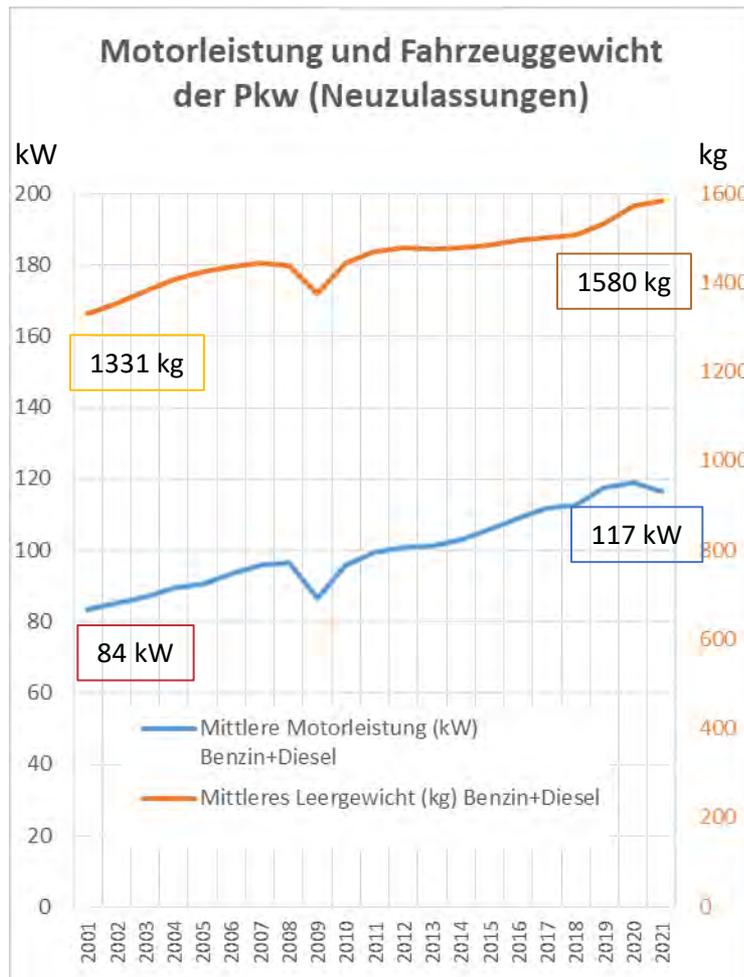
*inkl. der Emissionen aus Bereitstellung und Umwandlung der Energieträger in Strom, Benzin, Diesel, Flüssig- und Erdgas sowie Kerosin **Gruppenfahrten, Tagesfahrten (z.B. Busrundreisen, Klassenfahrten etc.), ***Flugverkehr ausgewählter Flughäfen, nur Kero

QUELLE: UMWELTBUNDESAMT, DATEN UND RECHENMODELL TREMOD, VERSION 6.22 (02/2022)

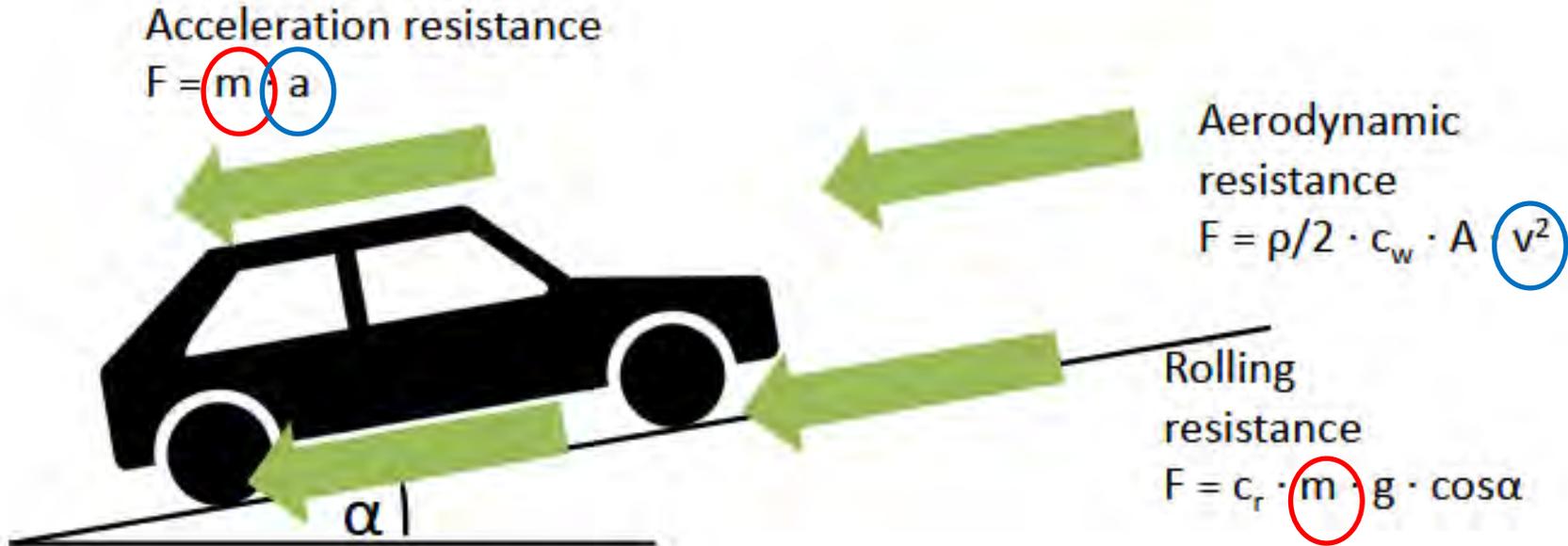
Fahrzeuggewicht und Motorleistung angestiegen. Spezifische CO₂-Emissionen (real) Verbrenner stagnieren



Elektro-Pkw führen zur Minderung der CO₂-Emissionen



Einflussparameter für Energieverbrauch Wie kann die Effizienz verbessert werden?



**Energieverbrauch
am Reifen verringern**

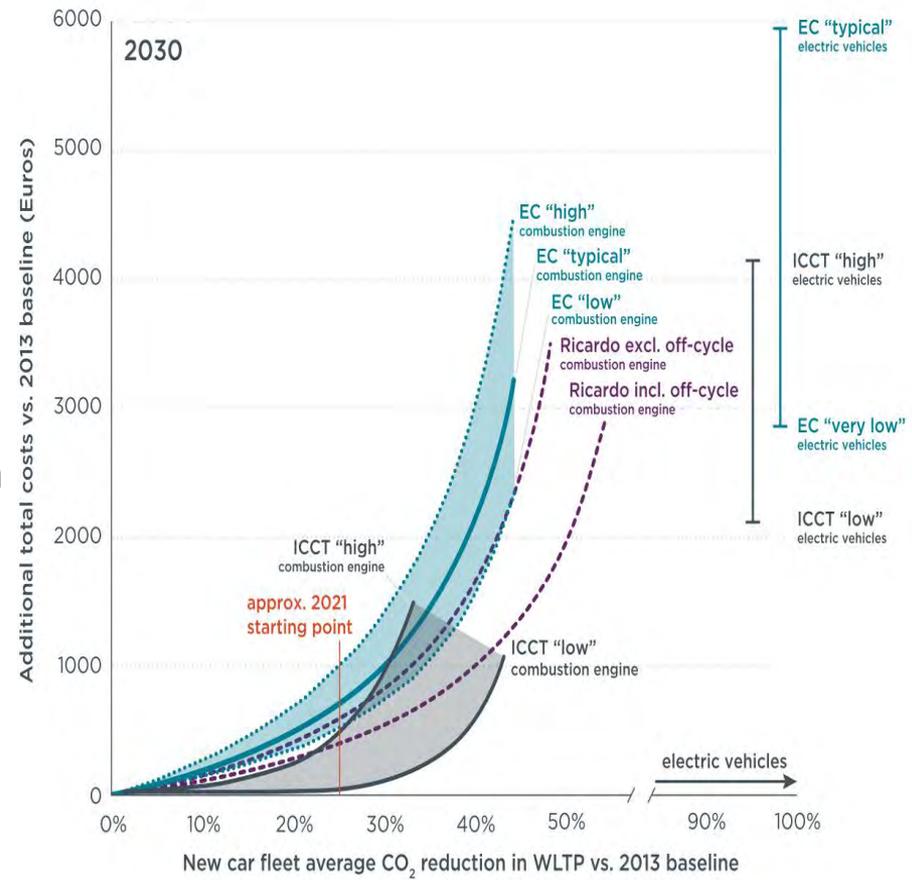
- Gewicht
- Fahrverhalten
- Rollwiderstand, Fläche, cw-Wert
- Umgebung

**effizienten
Antrieb einsetzen**

**Auslastung (Personen/Pkw)
erhöhen**

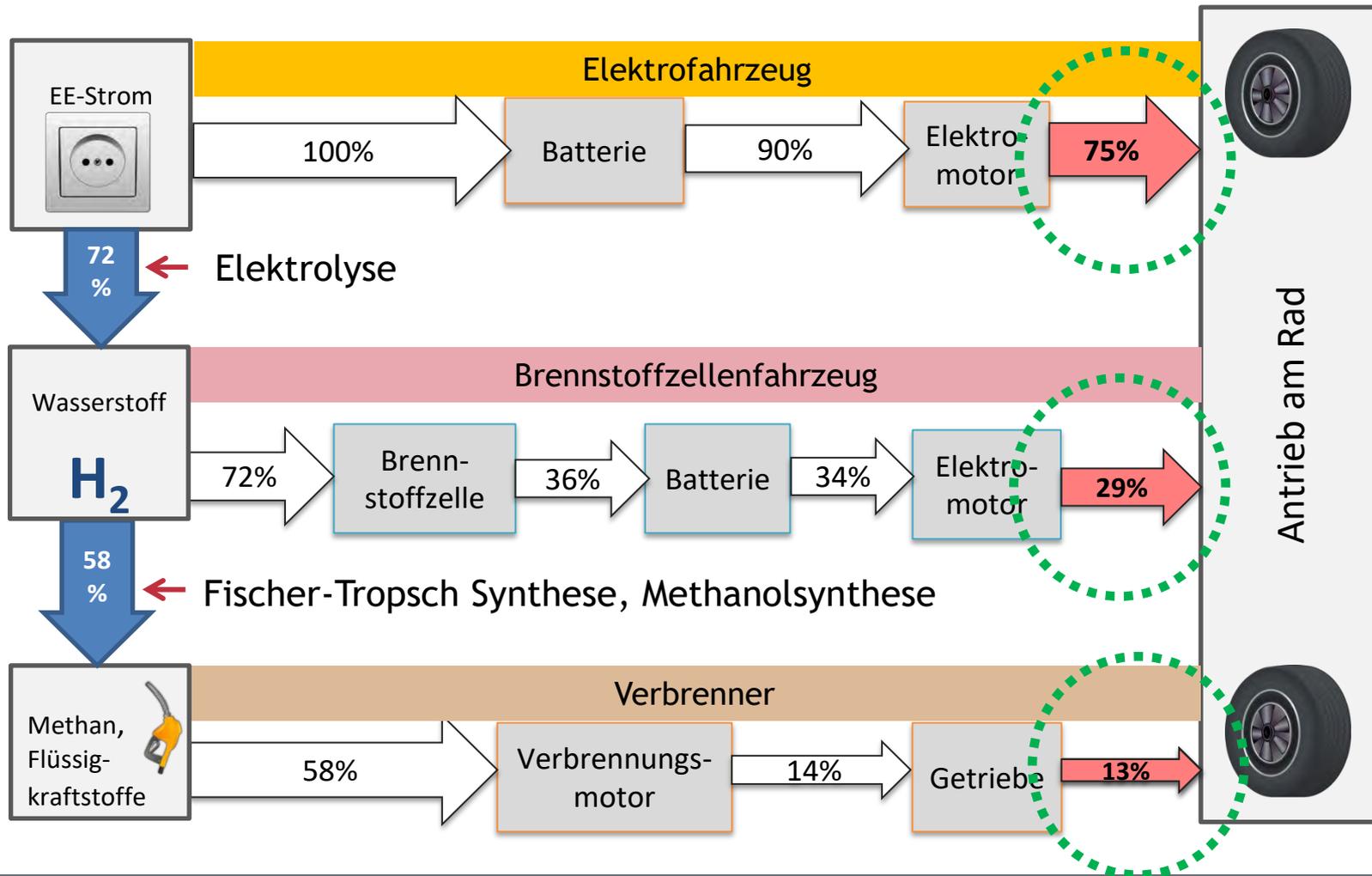
Fahrzeugmehrkosten für technische Effizienzsteigerungen

- Kostenkurven können zeigen, welche technischen CO₂-Minderungen/ Effizienzsteigerungen zu welchen Fahrzeugmehrkosten erreichbar sind
- Erhebliche Bandbreiten möglicher Fahrzeugmehrkosten für gleiche technische Potenziale.
- Minderungspotenzial von konventionellen Pkw beschränkt – auch bei hohem Aufwand/Kosten
- Hohe Effizienzsteigerungen/CO₂-Minderungen erfolgen bei einem Antriebswechsel auf Elektro-Pkw



...erneuerbare Energien im Verkehr...

Antriebe und Kraftstoffe für einen treibhausgasneutralen Verkehr



Wie viel Strom für 100 km Pkwfahrt

Wie viel Strom wird gebraucht um einen Kompaktklasse-Pkw 100 km weit zu fahren?

Direkte Nutzung von Strom braucht 3- bis 5-mal weniger Energie!



Synthetische Kraftstoffe sind nur so grün wie der verwendete Strom!

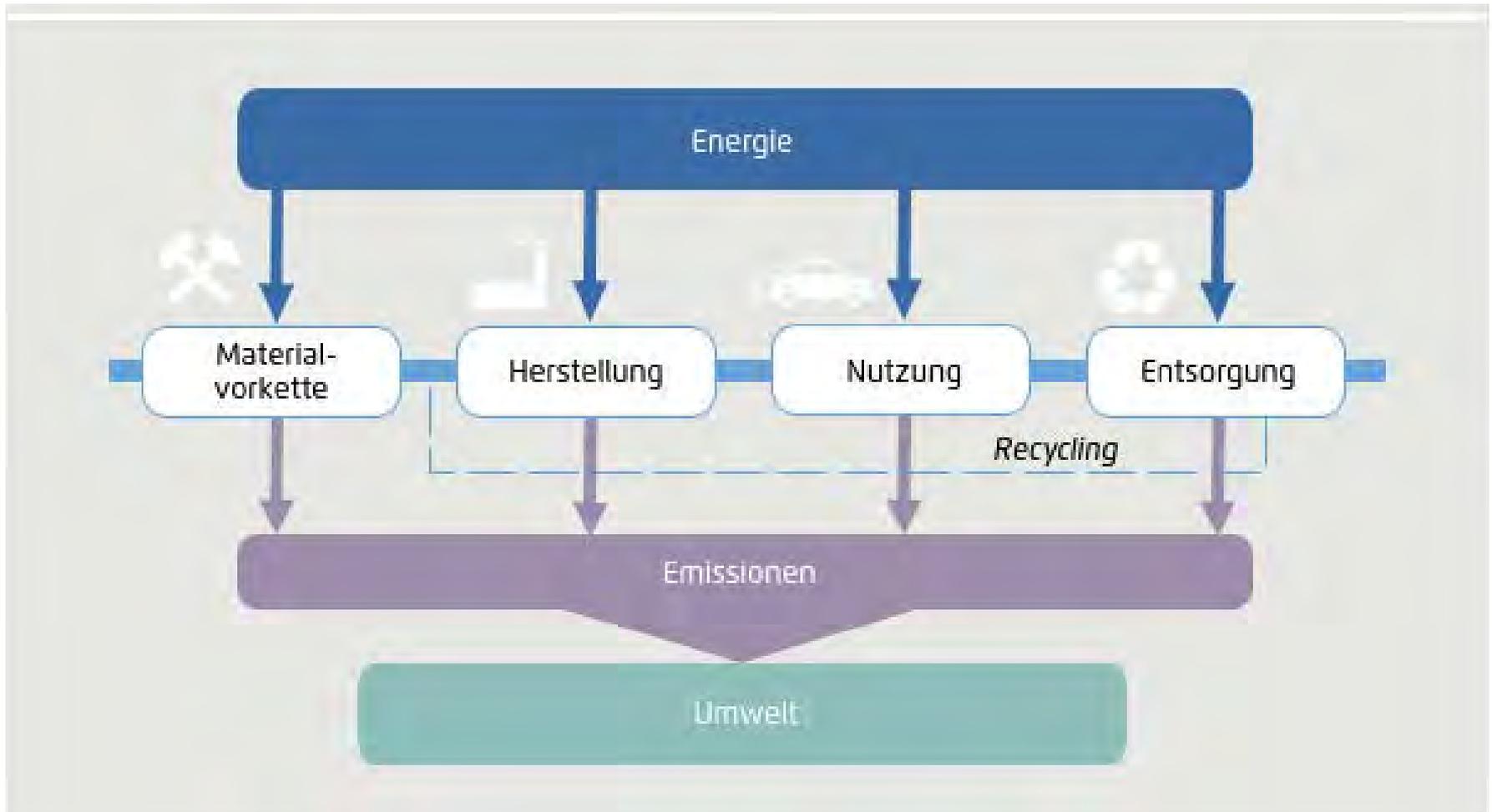
- Aktuelle synthetische Kraftstoffe haben in Deutschland einen höheren Carbon Footprint als die fossilen Kraftstoffe
- Synthetische Kraftstoffe machen nur Sinn, wenn **zusätzlicher** erneuerbarer Strom genutzt wird

Synthetische Kraftstoffe werden vermutlich aus Regionen kommen, in denen es große Potenziale für den Ausbau der erneuerbaren Energien gibt (z.B. MENA oder Patagonien)

- Erneuerbarer Strom wird auch in den Ländern selber gebraucht zur Dekarbonisierung
- Synthetische Kraftstoffe werden benötigt um Schiffe, Flugzeuge und teilweise den Straßengüterfernverkehr zu dekarbonisieren, weil es hier nur wenige Alternativen gibt
- Für Pkw ist die Elektromobilität daher die bessere Option!

Gesamtbetrachtung LCA und Kosten Pkw

Schematische Darstellung Klimabilanz Pkw



Nutzungsphase:

- Ladestrommix in der Nutzungsphase (Land, Eigenerzeugung)
- Spezifischer Stromverbrauch (Fahrzeug und Nutzungsmuster)
- Nutzungsintensität (Substitution von „Verbrennungs-km“)

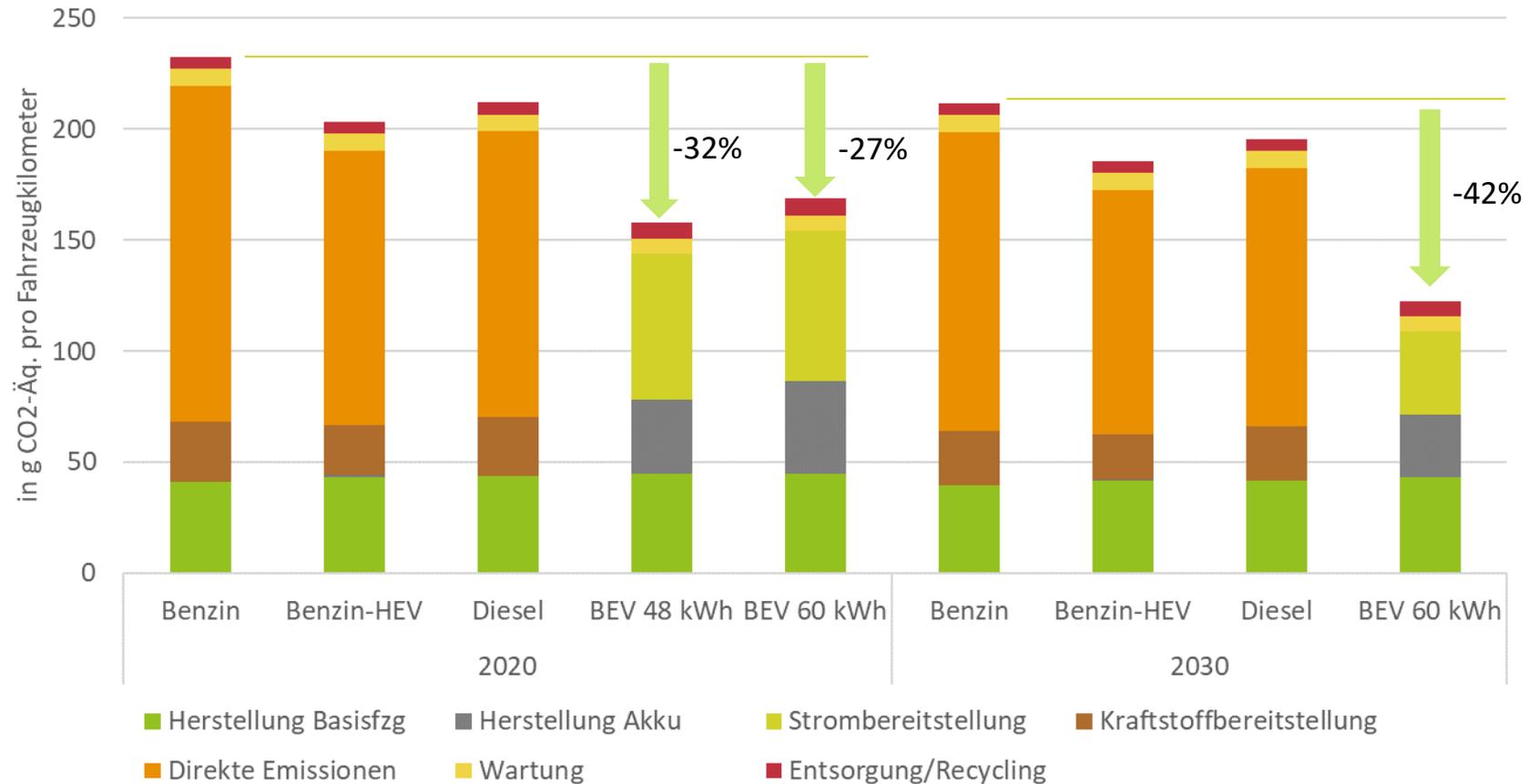
Herstellung:

- Batteriegröße
 - Energiedichte
 - Zellchemie
- } **Materialmenge und -mix**
- Energieeinsatz der Fertigung
 - Strommix der Fertigung

Klimabilanz eines Elektro-Pkw Betrachtung einer Kompaktklasse



Ergebnisse der Lebenswegbilanz (durchschnittlich)



BEV preislich schon konkurrenzfähig

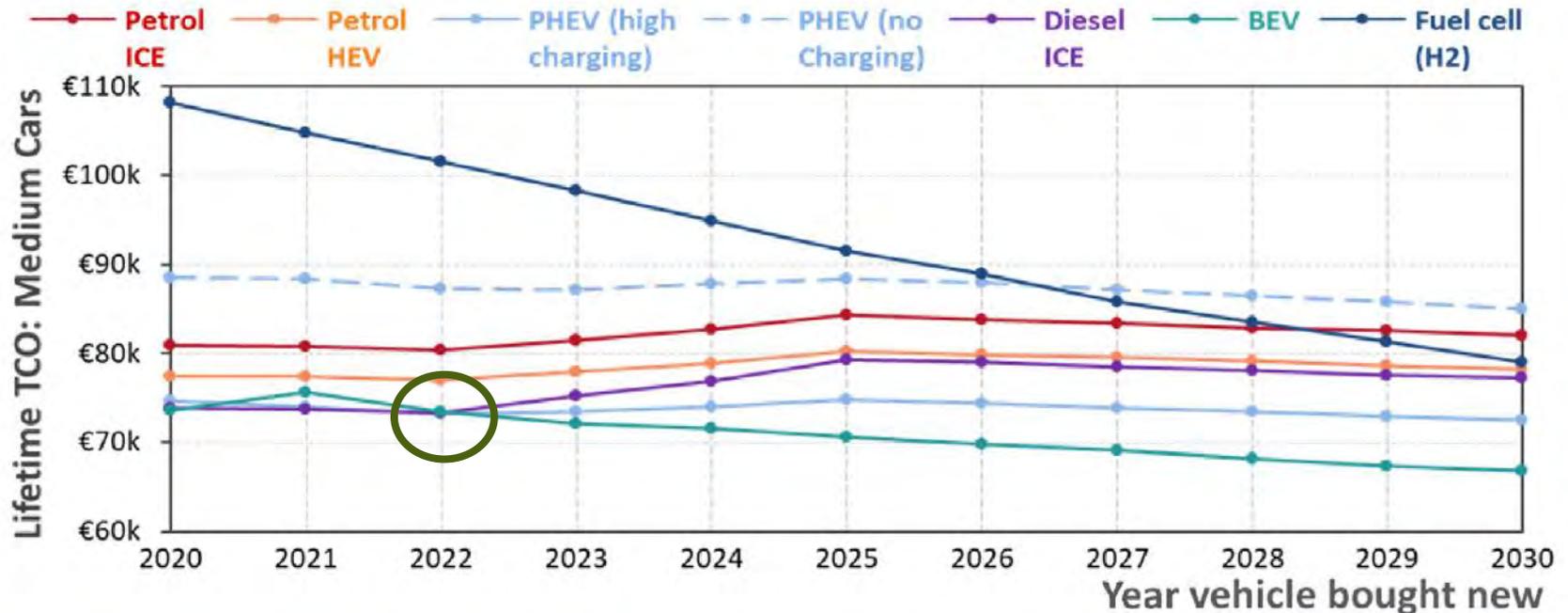


Figure 1: Lifetime TCO comparison between different powertrains for a medium car. Note that the year indicates when the car is first bought new.

Was zeigen Daten des ADAC



- Fahrzeuge mit elektrifizierten Antrieb werden kostengünstiger
 - Sinkende Kaufpreise, höhere Stückzahlen, Umweltprämie

VW: ID.3 schlägt Golf

Modell	Kraftstoff	Grundpreis in €	Cent pro km
ID.3 Pro (58 kWh/107 kW)	Strom	35.460	44,4
Golf 1.5 eTSI Life DSG (110 kW)	Super	31.480	53,4 / 46,6*
Golf 2.0 TDI Life DSG (110 kW)	Diesel	34.150	57,0 / 49,7*

Aktuelle Listenpreise inkl. 19% MwSt. Bei der Kostenrechnung "Cent pro km" sind die aktuellen Fördersummen für Plug-in-Hybride und Elektroautos berücksichtigt; *Kilometerkosten berechnet mit 15% Nachlass vom Kaufpreis

Fazit zur Klimabilanz von Elektro-Pkw

Elektromobilität ist die effizienteste Technologie, um im Verkehrssektor die Treibhausgasemissionen zu mindern

...aber die Energiewende muss weiter gehen!

Fahrzeugherstellung gewinnt für die Umweltbilanz an Bedeutung

- Ausbau der Ladeinfrastruktur
- Batteriegröße so klein wie möglich wählen und Reichweite auf das Nötige begrenzen
- Bei langer Nutzung höhere Klimavorteile
- Fernstrecken können auch auf andere Mobilitätsoptionen verlagert werden

**Mit der Elektromobilität alleine schaffen wir nicht unsere Klimaziele
Wir brauchen eine umfassende Verkehrswende!**

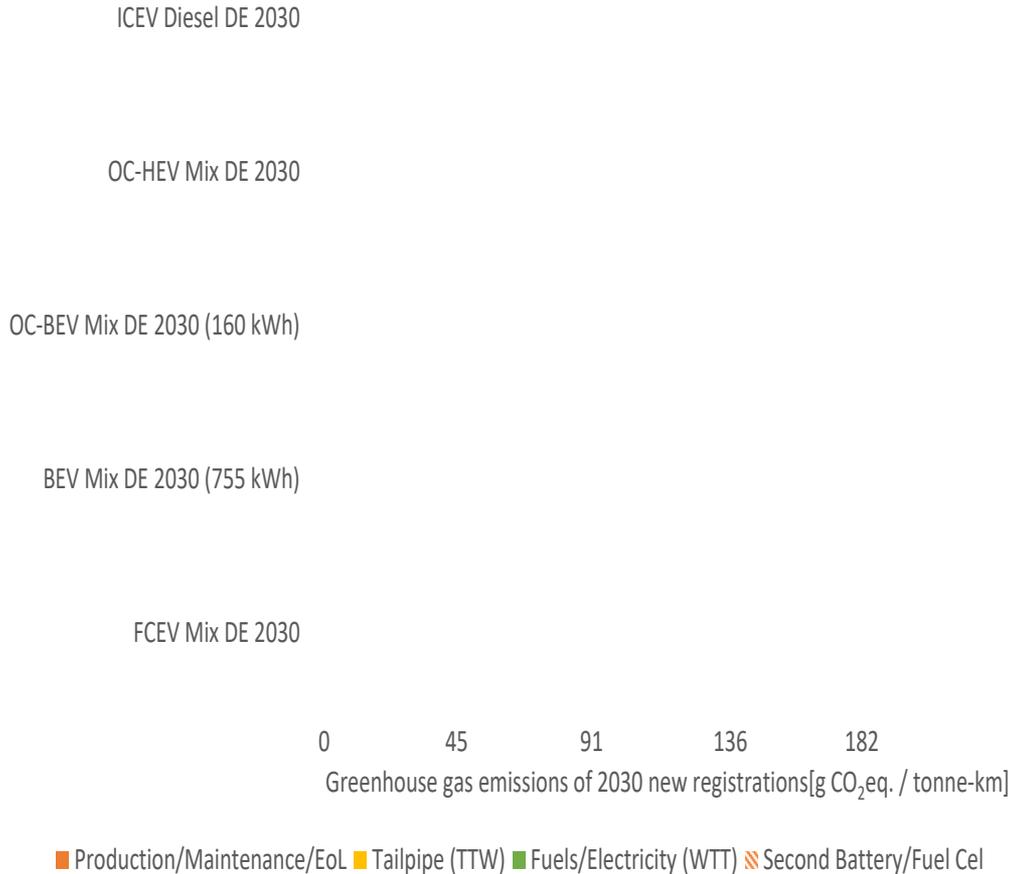
Gesamtbetrachtung LCA und Kosten Lkw

Climate impacts of the vehicle cycle (HDV)

Greenhouse gas emissions of 2030 new registrations [g CO₂eq. / veh.-km]

0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1.000

Technologies in 2030?



0 45 91 136 182

Greenhouse gas emissions of 2030 new registrations [g CO₂eq. / tonne-km]



New trucks in Germany in 2030:

Electricity already with partial electrification on motorways

Electricity with full electrification using catenary lines and small batteries

Electricity using large batteries in a pure electric mode

Electricity using hydrogen with electrolysis from the German grid mix

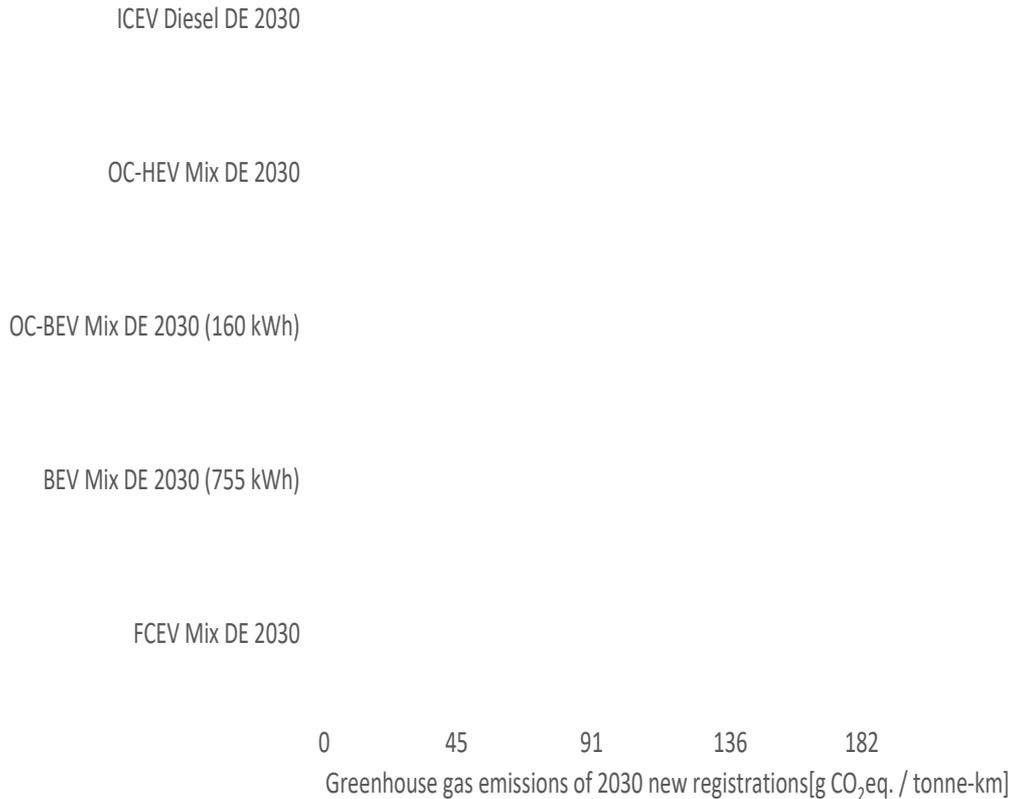
Key prerequisite is the successful ramp up to 70% by 2030

Climate impacts of the vehicle cycle (HDV)

Greenhouse gas emissions of 2030 new registrations [g CO₂eq. / veh.-km]

0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1.000

Technologies in 2030?

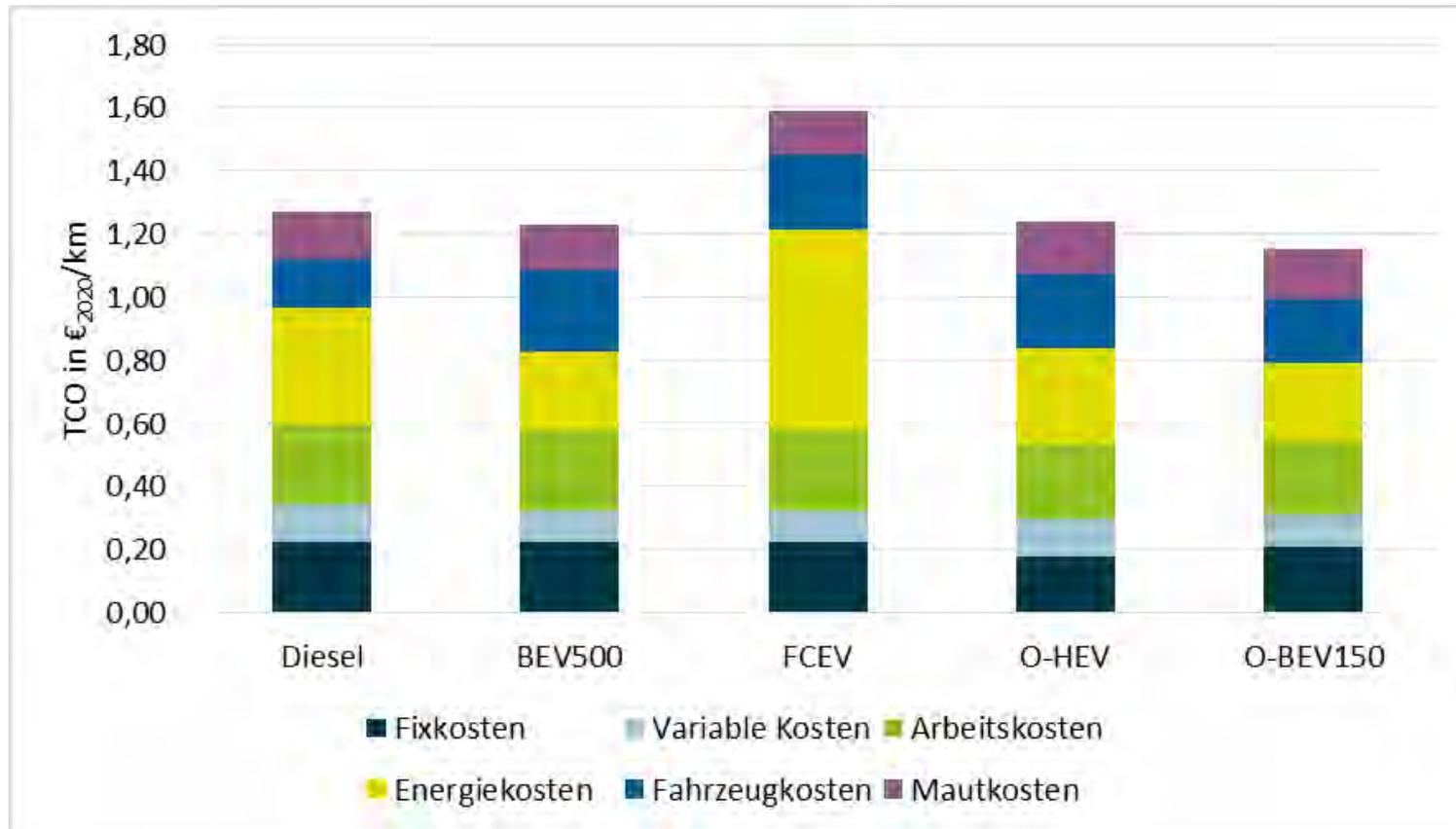


Source: ÖKO-INSTITUT 2020, CC BY-SA 2.0

■ Production/Maintenance/EoL ■ Tailpipe (TTW) ■ Fuels/Electricity (WTT) ■ Second Battery/Fuel Cel

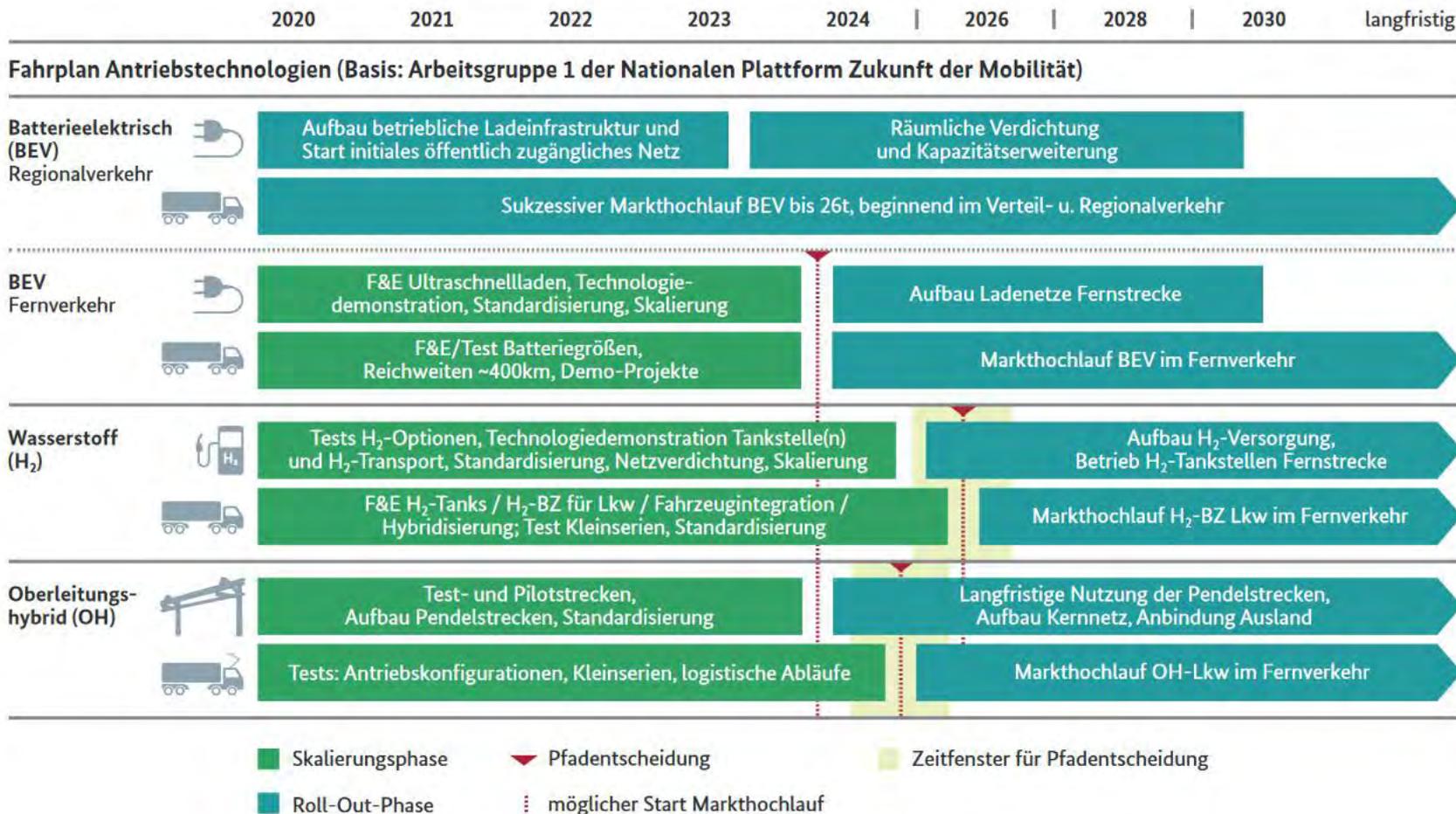
Kostenvergleich Lkw-Antriebstechnologien 2030

Kostenparität Diesel/BEV/Oberleitung



Vollkostenvergleich Lkw (> 26 t. zul. GG) mit verschiedenen Antrieben – Bezugsjahr 2030

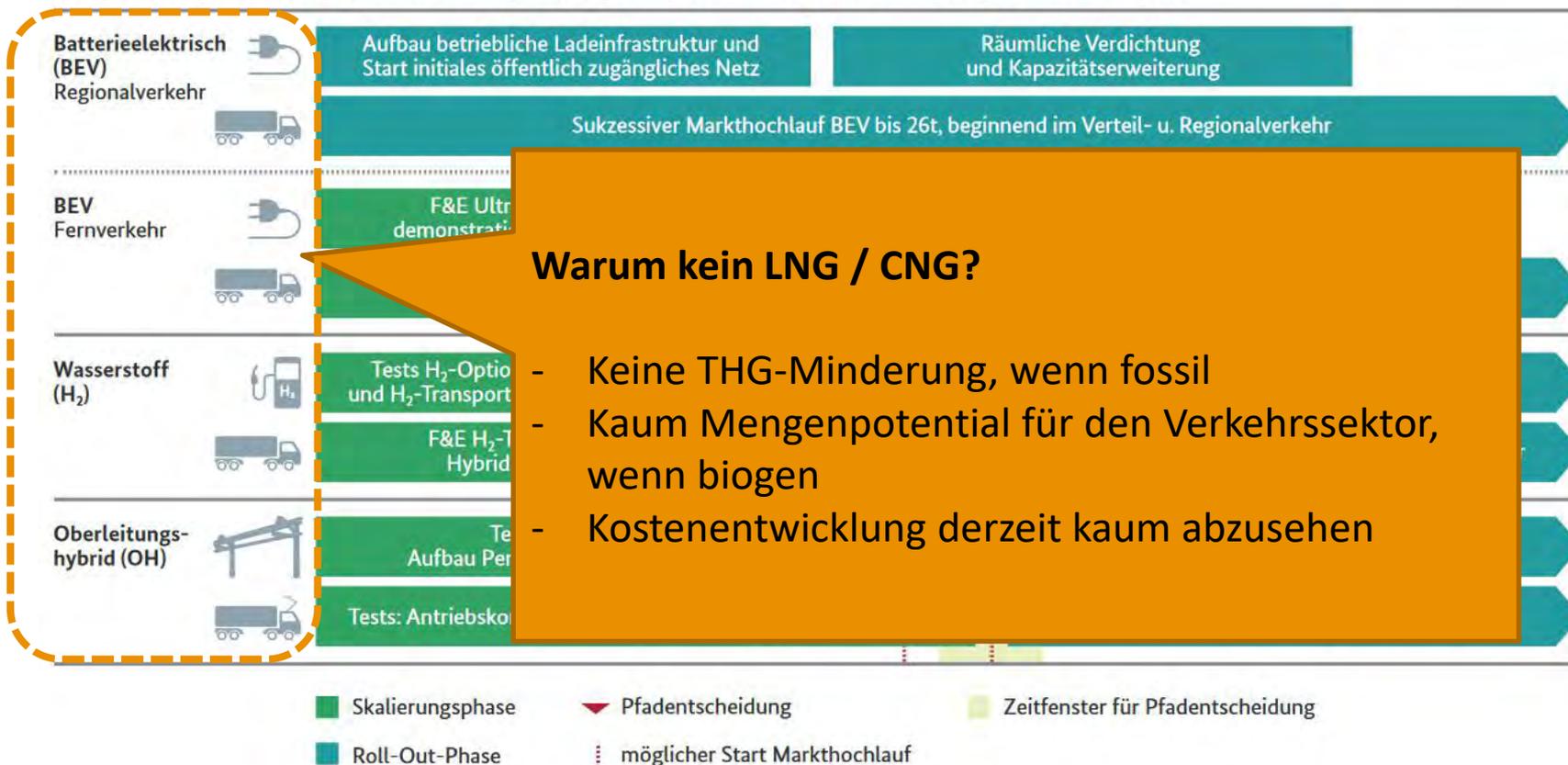
Fahrplan Lkw-Antriebswende



Fahrplan Lkw-Antriebswende

2020 2021 2022 2023 2024 | 2026 | 2028 | 2030 langfristig

Fahrplan Antriebstechnologien (Basis: Arbeitsgruppe 1 der Nationalen Plattform Zukunft der Mobilität)



Fahrplan Lkw-Antriebswende

2020 2021 2022 2023 2024 | 2026 | 2028 | 2030 langfristig

Fahrplan Antriebstechnologien (Basis: Arbeitsgruppe 1 der Nationalen Plattform Zukunft der Mobilität)

Batterieelektrisch (BEV)
Regionalverkehr



Aufbau betriebliche Ladeinfrastruktur und Start initiales öffentlich zugängliches Netz

Räumliche Verdichtung und Kapazitätserweiterung



Sukzessiver Markthochlauf BEV bis 26t, beginnend im Verteil- u. Regionalverkehr

BEV
Fernverkehr



F&E Ultradem



F&I Reichwei

Zusätzlich: rein elektrische Oberleitungs-Lkw (O-BEV)

- Kein doppelter Antriebsstrang → geringere Kosten
- Zero-Emission Vehicles
- Großes Einsatzpotential bei heute gängigen batterieelektrischen Reichweiten

Wasserstoff (H₂)



Tests H₂-Option und H₂-Transport



F&E H₂-T

Oberleitungs-
hybrid (OH)



Tests: Antriebsko

■ Skalierungsphase

▼ Pfadentscheidung

■ Zeitfenster für Pfadentscheidung

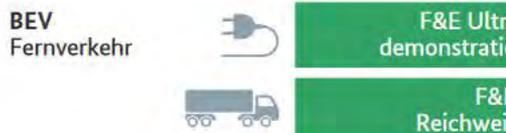
■ Roll-Out-Phase

⋮ möglicher Start Markthochlauf

Fahrplan Lkw-Antriebswende

2020 2021 2022 2023 2024 | 2026 | 2028 | 2030 langfristig

Fahrplan Antriebstechnologien (Basis: Arbeitsgruppe 1 der Nationalen Plattform Zukunft der Mobilität)



- Erheblich höhere Kosten als bei Antrieben mit direkter Stromnutzung
- THG-Minderung im Zeithorizont 2030 nur bei Nutzung erneuerbarer H₂-Importe möglich

■ Skalierungsphase ▼ Pfadentscheidung Zeitfenster für Pfadentscheidung
■ Roll-Out-Phase ⋮ möglicher Start Markthochlauf

Fazit für Lkw

- Der Strom muss an die Autobahnen und Fahrzeugdepots
→ Netzausbau entscheidend und zeitkritisch!
(Planungsvorläufe)
- Politik muss weitere Impulse für die zügige Entwicklung
des Fahrzeugmarktes bei E-Lkw setzen, z.B. über
ambitioniertere CO₂-Flottengrenzwerte.

- Der **Verkehrssektor** muss erhebliche Anstrengungen unternehmen zur Erreichung der Klimaziele:
Verkehrswende = Vermeiden – verlagern – verbessern
Energiewende = Neue Antriebe & Erneuerbare Energie
- **Umstieg auf Öffentliche Verkehrsmittel sowie Erhöhung der Auslastung der Fahrzeuge als wichtige Minderungsmöglichkeiten.**
- **Elektromobilität wichtiger Beitrag zur Reduktion der Treibhausgasemissionen, dazu notwendig:**
 - Weitertreiben der Energiewende
 - Gesetzlichen Rahmen (Flottenwerte)
 - Weiterentwicklung der Ladeinfrastruktur
- **Angepasste Fahrzeuge** (Gewicht, Batteriegröße, Leistung) helfen die Ziele schneller zu erreichen.
- **Bundesländer** können z.B. beim Ausbau des Öffentlichen Verkehrs, der Ladeinfrastruktur sowie mit dem Kauf von effizienten Fahrzeugen direkt zur Minderung der Treibhausgasemissionen des Verkehrs beitragen.

Besten Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Udo Lambrecht
Fachbereichsleiter Mobilität
ifeu - Institut für Energie- und
Umweltforschung Heidelberg GmbH
Wilckensstr. 3
D-69120 Heidelberg

Fon: +49 (0) 6221 / 47 67 35
Fax: +49 (0) 6221 / 47 67 19
E-Mail: Udo.Lambrecht@ifeu.de

Helms et. al (2022): Strategies and Climate Impacts for Infrastructure Ramp up for the Defossilisation of Road Freight Transport. Wiener Motorensymposium 2022.

ICCT (2018): The European Commission regulatory proposal for post-2020 CO2 targets for cars and vans. Jan Dornoff, Joshua Miller, Peter Mock, and Uwe Tietge; International Council on Clean Transportation (ICCT). 2018. <https://theicct.org/publications/ec-proposal-post-2020-co2-targets-briefing-20180109>

ifeu(2016): Energy savings by light-weighting - 2016 Update
<https://international-aluminium.org/wp-content/uploads/2021/03/Energy-savings-by-light-weighting.pdf>

ifeu (2019) Klimabilanz von Elektroautos. Einflussfaktoren und Verbesserungspotenzial. Im Auftrag von Agora Verkehrswende
https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2018/Klimabilanz_von_Elektroautos/Agora-Verkehrswende_22_Klimabilanz-von-Elektroautos_WEB.pdf

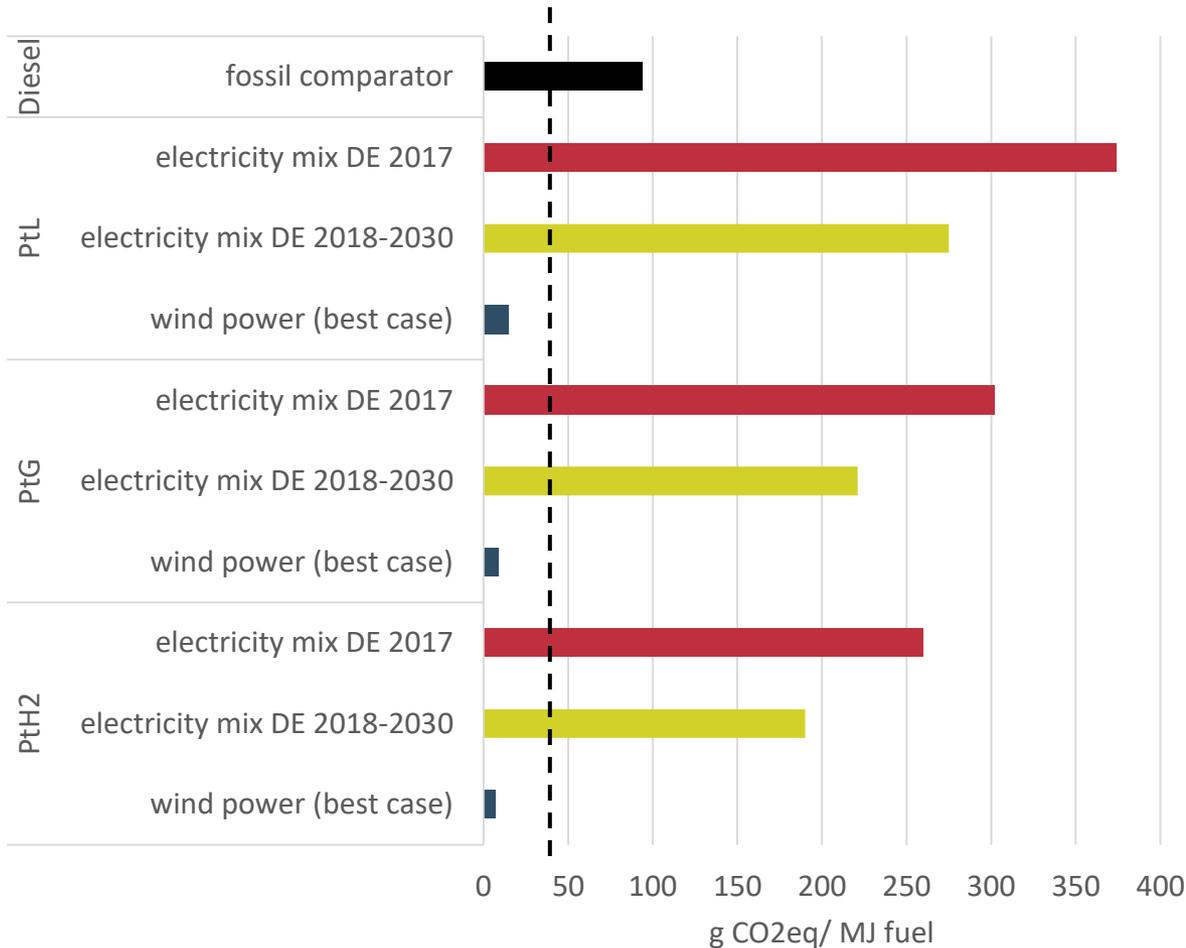
ifeu (2019a) Klimabilanz von strombasierten Antrieben und Kraftstoffen
https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2019/Klimabilanz_Batteriefahrzeugen/32_Klimabilanz_strombasierten_Antrieben_Kraftstoffen_WEB.pdf#

ifeu(2020) Wie klimafreundlich sind Elektroautos?;
https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Verkehr/emob_klimabilanz_bf.pdf

ifeu(2022) Vergleichende Analyse der Potentiale von Antriebstechnologien für Lkw im Zeithorizont 2030
<https://www.ifeu.de/publikation/vergleichende-analyse-der-potentiale-von-antriebstechnologien-fuer-lkw-im-zeithorizont-2030>

UBA (2020) Ökologische Bewertung von Verkehrsarten;
<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/oekologische-bewertung-von-verkehrsarten>

Klimabilanz von synthetischen Kraftstoffen in Deutschland



- Wasserstoffherzeugung aus deutschem Strommix hat heute keine Klimavorteile
- PtL und PtG haben einen höheren Carbon Footprint als fossile Kraftstoffe, wenn der aktuelle deutsche Strommix verwendet wird
- Nur die Nutzung von zusätzlichem erneuerbarem Strom führt bei PtX zu Klimavorteilen

Klimaschutz im Verkehrssektor – Fokus: Motorisierter Straßenverkehr

Gesamtsystem, sektorübergreifende Betrachtung und
Ladeinfrastruktur

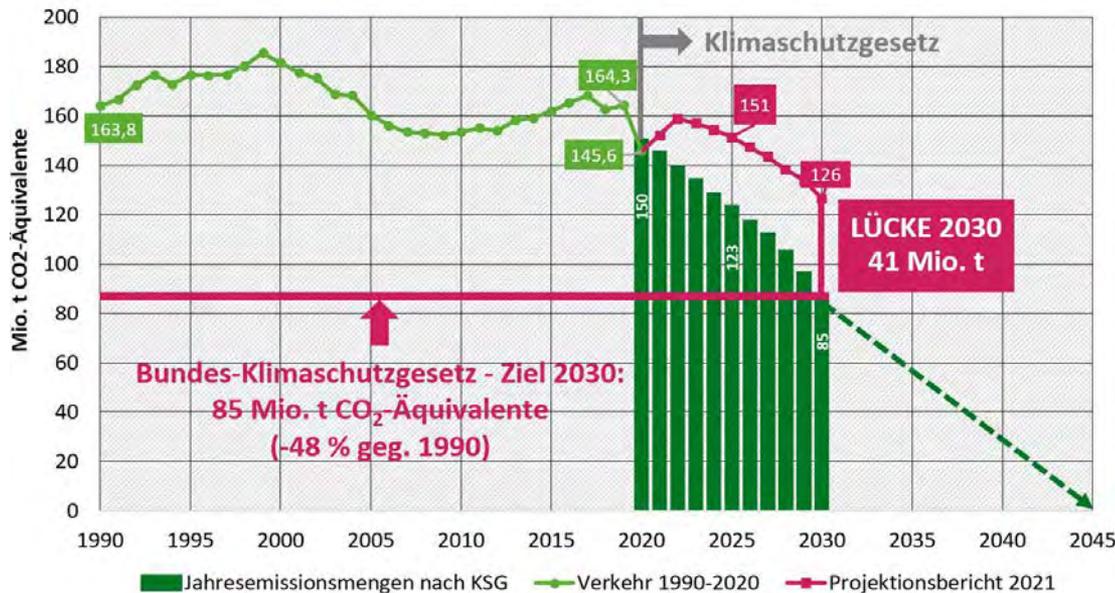
Peter Kasten

Enquete-Kommission „Mobilität der Zukunft in Hessen 2030“

Energieeffizienter, sauberer und leichter motorisierter Verkehr

Online, 29.04.2022

Der klimapolitische Rahmen: Sektorziel im Jahr 2030 von 85 Mio. t CO₂e

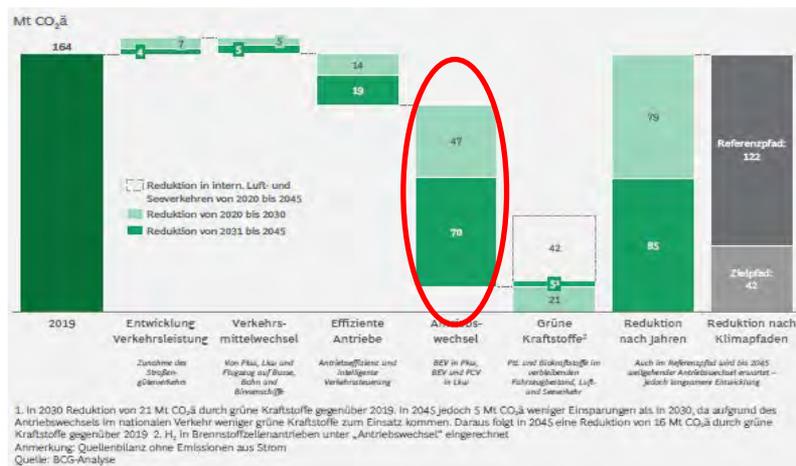
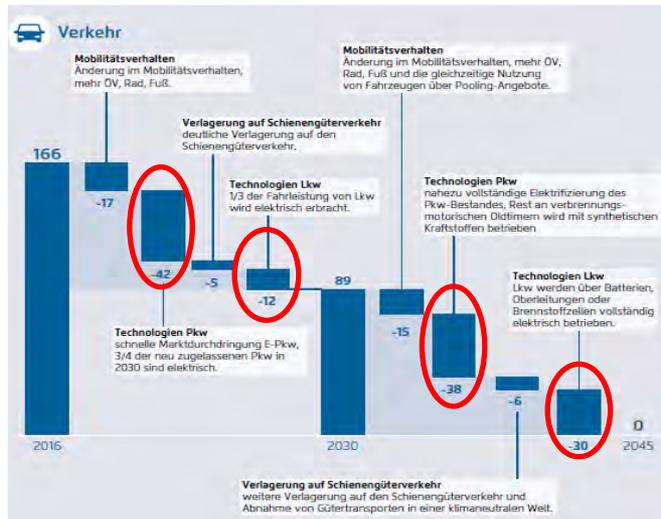


Klimaschutzgesetz mit Sektorzielen

- jährliches Absinken des Emissionsziels im Verkehr bis auf 85 Mio. t CO₂e im Jahr 2030
- sektorübergreifende jährliche Ziele bis 2040 (-88% ggü. 1990), Klimaneutralität im Jahr 2045
- Ziele entsprechen in etwa dem Fit for 55-Vorschlag der Effort-Sharing-Verordnung auf der EU-Ebene
- Zielverfehlung im Jahr 2021 um 3 Mio. t CO₂e

→ **Zielverfehlung in den nächsten Jahren ohne strukturelle Änderungen des politischen Rahmens wahrscheinlich**

Wie sind die Klimaschutzziele erreichbar? Antriebswende ist zentral, aber nicht ausreichend

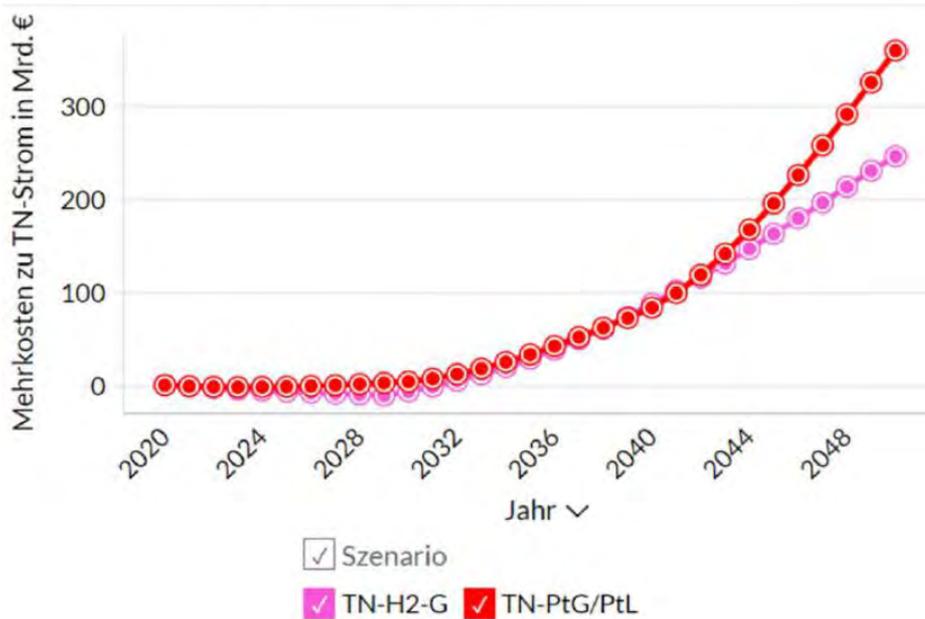


- Zentrale Technologie im Personen- sowie im urbanen und regionalen Straßengüterverkehr sind batterieelektrische Fahrzeuge
- Technologiewettkampf zwischen batterieelektrischen und BZ-Fahrzeugen im Straßengüterfernverkehr
 - Kosteneffiziente Alternativtechnologie: Oberleitungs-Lkw
- Verkehrsverlagerung zum Umweltverbund und Verkehrsvermeidung als kosteneffizienteste Ergänzung zur Antriebswende
 - Zusätzliche Nachhaltigkeitsgewinne werden erschlossen: Flächennutzung, Luftschadstoffe, Kosten, etc.
 - Starke Nutzungskonkurrenz, höhere Kosten des Gesamtsystems und niedrigerer technischer Entwicklungsstand für Einsatz von Kraftstoffen

→ **Unterstützung der Transformation zu emissionsfreien Fahrzeugen als politische Schlüsselaufgabe**

Antriebswende zentral für den Klimaschutz: Verfügbar, kosteneffizient und sektorübergreifend vorteilhaft

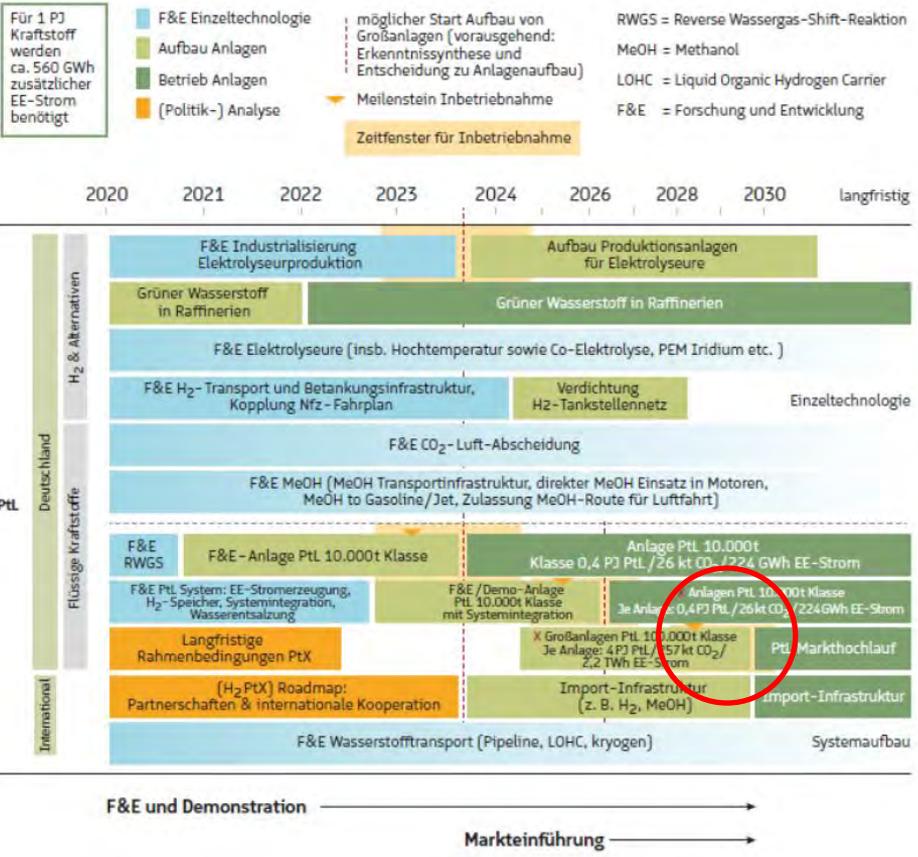
Mehrkosten zu TN-Strom kumuliert



Nutzung nachhaltiger Kraftstoffe (auch Wasserstoff) ist die teuerste Option für Klimaschutz im Verkehrssektor

- Zielszenarien mit hohem Anteil an nachhaltigen Kraftstoffen weisen die höchsten volkswirtschaftlichen Kosten auf

Antriebswende zentral für den Klimaschutz: Verfügbar, kosteneffizient und sektorübergreifend vorteilhaft



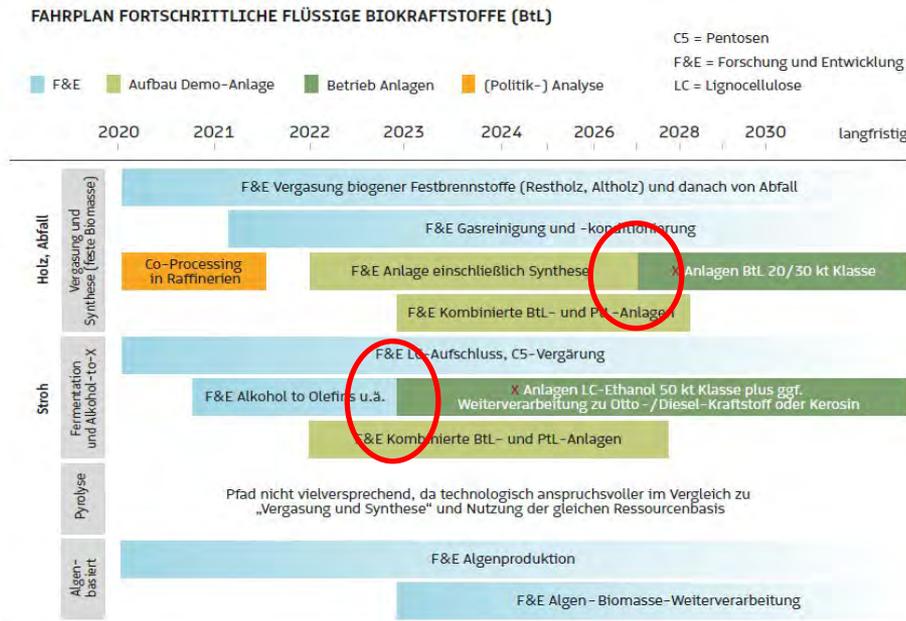
Nutzung nachhaltiger Kraftstoffe (auch Wasserstoff) ist die teuerste Option für Klimaschutz im Verkehrssektor

- Zielszenarien mit hohem Anteil an nachhaltigen Kraftstoffen weisen die höchsten volkswirtschaftlichen Kosten auf

Großskalige Serienproduktion batterieelektrischer Fahrzeuge vs. großskalige Verfügbarkeit nachhaltiger Kraftstoffe

- Fahrzeugseitige Herausforderung: Fernstreckentransport im Güterverkehr (verfügbar ab Mitte/Ende der 2020er Jahre)
- Einstieg in großskalige Produktion nachhaltiger Kraftstoffe ab Mitte/Ende der 2020er Jahre (relevante Verfügbarkeit nach 2030)

Antriebswende zentral für den Klimaschutz: Verfügbar, kosteneffizient und sektorübergreifend vorteilhaft



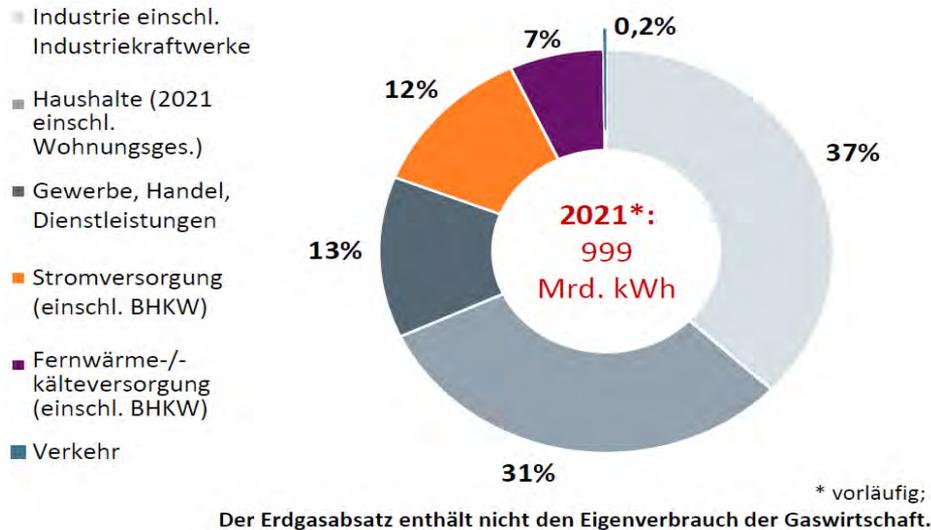
Nutzung nachhaltiger Kraftstoffe (auch Wasserstoff) ist die teuerste Option für Klimaschutz im Verkehrssektor

- Zielszenarien mit hohem Anteil an nachhaltigen Kraftstoffen weisen die höchsten volkswirtschaftlichen Kosten auf

Großskalige Serienproduktion batterieelektrischer Fahrzeuge vs. großskalige Verfügbarkeit nachhaltiger Kraftstoffe

- Fahrzeugseitige Herausforderung: Fernstreckentransport im Güterverkehr (verfügbar ab Mitte/Ende der 2020er Jahre)
- Einstieg in großskalige Produktion nachhaltiger Kraftstoffe ab Mitte/Ende der 2020er Jahre (relevante Verfügbarkeit nach 2030)

Antriebswende zentral für den Klimaschutz: Verfügbar, kosteneffizient und sektorübergreifend vorteilhaft



Nutzung nachhaltiger Kraftstoffe (auch Wasserstoff) ist die teuerste Option für Klimaschutz im Verkehrssektor

- Zielszenarien mit hohem Anteil an nachhaltigen Kraftstoffen weisen die höchsten volkswirtschaftlichen Kosten auf

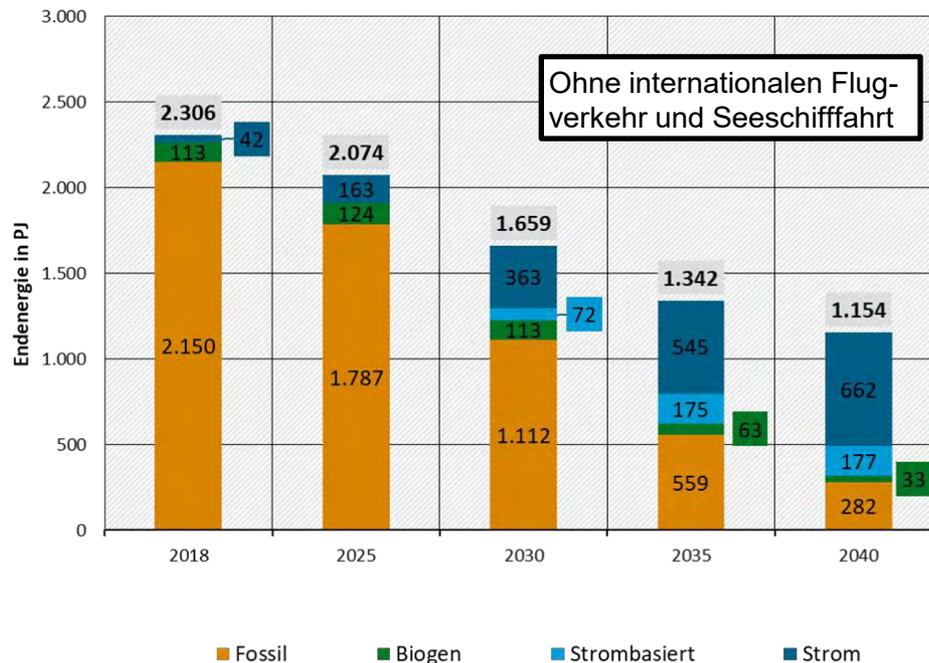
Großskalige Serienproduktion batterieelektrischer Fahrzeuge vs. großskalige Verfügbarkeit nachhaltiger Kraftstoffe

- Fahrzeugseitige Herausforderung: Fernstreckentransport im Güterverkehr (verfügbar ab Mitte/Ende der 2020er Jahre)
- Einstieg in großskalige Produktion nachhaltiger Kraftstoffe ab Mitte/Ende der 2020er Jahre (relevante Verfügbarkeit nach 2030)

Nachhaltige Biomasse und nachhaltiger Wasserstoff sind als Klimaschutzoption und für die Energiesicherheit in anderen Sektoren sehr zentral

- Kosteneffizienterer Beitrag zum Klimaschutz durch Nutzung in anderen Anwendungen (z.B. Stahlindustrie – Kohleausstieg 2.0)
- Andere Anwendungen besitzen keine technische Alternativoption für den Klimaschutz (z.B. Flugverkehr, Seeverkehr)
- Zentral für die Steigerung der Energie- und Rohstoffsicherheit: Erdgasersatz in Industrie (v.a. Wasserstoff) und Wärmeerzeugung (v.a. Biomasse)

Strom wird zentraler Endenergieträger im Verkehrssektor



Starke Reduktion der Endenergienachfrage bereits bis 2030

- Elektrifizierung des Fahrzeugbestands führt zu Effizienzsteigerung
- Verkehrsverlagerung und –vermeidung sind Teil der Klimaschutzstrategie

Erneuerbarer Strom wird langfristig der wichtigste Energieträger für den Verkehrssektor

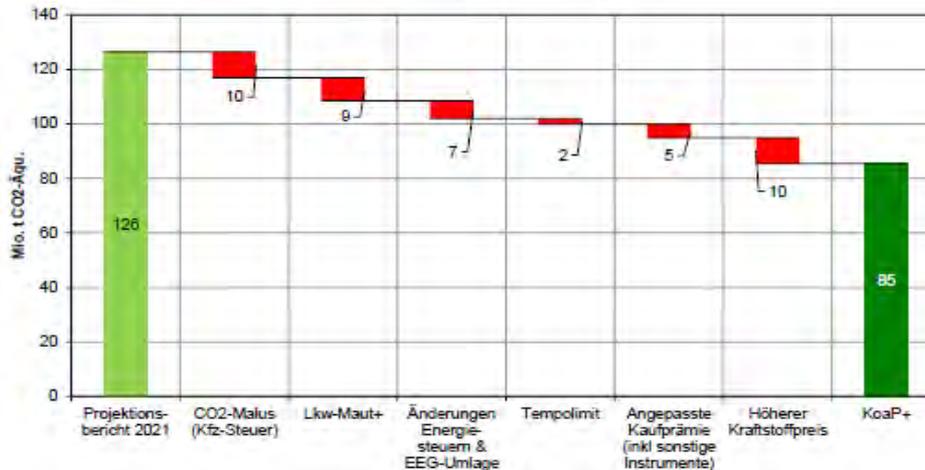
- Nachfrage nach strombasierten Kraftstoffen wesentlich durch Wasserstoffnutzung im Straßengüterfernverkehr
- Biomassenutzung verschoben in andere Anwendungssektoren

→ **Ladeinfrastrukturausbau und Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung sind zentral**

→ **Je effizienter das Verkehrssystem, desto geringer wird die Herausforderung für den Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung**

Bund und EU als zentrale Akteure für den Klimaschutz: Landesebene relevant für erfolgreiche Umsetzung

THG-Emissionen (Verkehr) im Jahr 2030



Anpassung des Steuer- und Abgabensystems notwendig

- Einführung eines CO₂-Malus beim Fahrzeugkauf
- Einführung eines relevanten CO₂-Preises im Straßengüterverkehr über Lkw-Maut
- Höhere Kraftstoffbepreisung (über BEHG) und Abschaffung des Dieselprivilegs

Ordnungsrecht ist und bleibt relevant

- CO₂-Flottenzielwerte als Treiber und Tempolimit als kostenneutrale Kurzfristmaßnahme

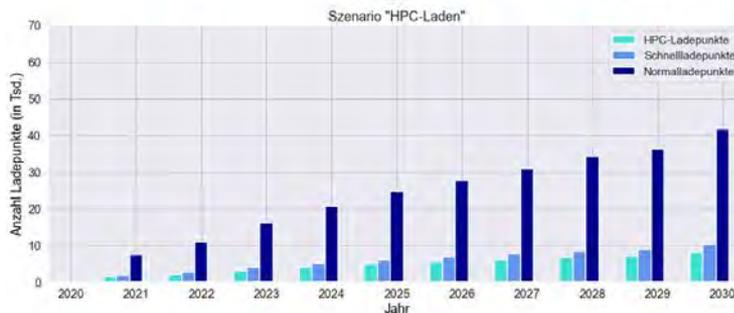
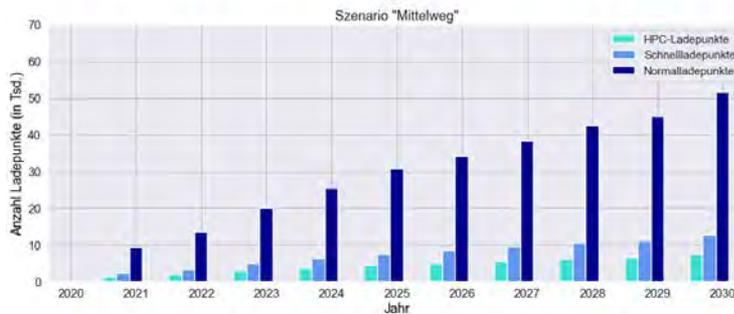
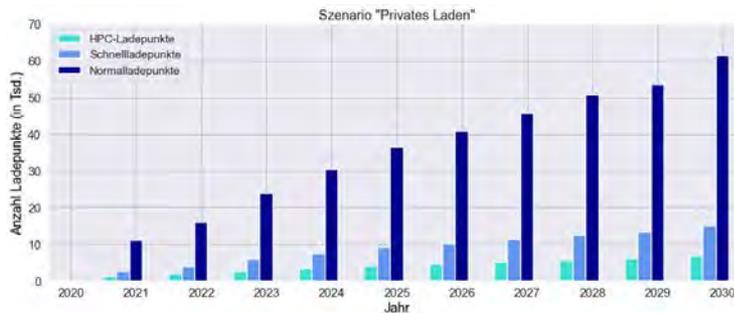
→ **Anpassung der politischen Rahmensetzung kann auch zu sozial-gerechterer Mobilität führen und ist notwendig für die Stabilisierung des Staatshaushalts**

→ **Kapazitätssteigerung des ÖV und Infrastrukturumbau für Umweltverbund sind Voraussetzung für Wirksamkeit der Instrumente**

→ **Öffentliche Beschaffung (Einführung eines CO₂-Schattenpreis), Ladeinfrastrukturaufbau, Ausbau der EE-Stromerzeugung sind Umsetzungsfelder der Landespolitik**

Private und öffentliche Ladeinfrastruktur: Ausbaudynamik weit entfernt von benötigter Geschwindigkeit

Jährlicher Zubaubedarf an öffentlichen Ladepunkten



Relevanter Aufbau an Ladepunkten im nicht-öffentlichen und öffentlichen Bereich benötigt

- Ausbaudynamik muss sehr schnell um ein Vielfaches erhöht werden.
- Private Ladepunkte (am Wohnort, bei der Arbeit) sind das Rückgrat der Ladeinfrastruktur
- Derzeitiger Fokus auf Ultraschnellladeinfrastruktur zum Aufbau der Flächendeckung für öffentliche Ladepunkte gerechtfertigt
 - Normalladeinfrastruktur wird zukünftig aber ebenfalls benötigt

Unzureichende Auslastung und hohe bauliche Kosten sowie Baukostenzuschüsse für Netzanschluss als finanzielles Hemmnis

- Fokussierung der Förderung auf notwendige, aber schlecht ausgelastete Standort
- Fokussierung der Förderung für private und öffentliche Ladepunkte mit hohen Netzanschlusskosten
- (Teil)übernahme des Baukostenzuschuss

Hemmnisse für den Aufbau von Ladeinfrastruktur: Genehmigungsprozesse und Fachkräftemangel

Öffentliche Ladeinfrastruktur heute stark (regional) monopolistisch geprägt

- Mittel- und langfristiges Risiko ungerechtfertigt hoher Preise und relevanter Zugangshemmnisse zur Ladeinfrastruktur

Genehmigungsprozesse aufwendig und langwierig / Regionale Vor-Ort-Kenntnis von Vorteil

- Regional unterschiedlich gestaltete Genehmigungsprozesse
- Einbindung verschiedener Verwaltungsabteilungen macht die Umsetzung aufwendig
- Kein ausreichendes Personal in den Genehmigungsbehörden

Erheblicher Fachkräfte- und Komponentenmangel führt zu erheblichem Umsetzungsstau

- **Bei Vergabefahren Wettbewerb zwischen Ladeinfrastrukturbetreibern fördern**
- **Gemeinsame Genehmigungsunterlagen entwickeln / im Idealfall One-Stop-Shop entwickeln (auf Bundes- bzw. Landesebene)**
- **Qualifizierungsoffensive und Netzwerkbildung**

Ressourcensicherheit: Kurzfristig eine Herausforderung für alle Antriebstechnologien

Verbrennungsmotorische Antriebe

- Größter Anteil der Rohölimporte aus Russland (rund 33%); Beendigung der Importe aus Russland bis Ende 2022
 - Herausforderung: Großteil der alternative Importländer ebenfalls teilweise instabil und aus Menschenrechtssicht problematisch
- Russland mit Südafrika Hauptproduzent (Primärproduktion) von Palladium (benötigt für Katalysatoren)
 - Vorteilhaft: Etablierte Recyclingkette trägt zur Reduktion des Primärbedarfs an Palladium bei (größerer Beitrag als durch den Abbau in Russland); Bedarf an Katalysatoren sinkt durch Transformation der Automobilindustrie

Batterieelektrische Antriebe

- Zuletzt starke Reduzierung des Kobalt-Anteils, dafür Anstieg des Nickel-Gehalts (NCM 811)
 - Russland wenig relevant für Kobalt-Primärproduktion (4% des weltweiten Abbaus), aber relevanter für Nickel-Produktion (11% des weltweiten Abbaus; indirekt auch durch Geschäftsbeteiligungen in Europa.
 - Indonesien erweitert Primärproduktion derzeit erheblich; Nickelüberschuss im Weltmarkt erwartet (vor Ukraine-Krieg)
 - Lithium: Russland spielt keine relevante Rolle

Brennstoffzellenantriebe

- Iridium als Katalysator in PEM-Elektrolyseuren benötigt, aber bisher kein gezielter Abbau von Iridium (fällt als Nebenprodukt des Platin-Abbaus an)
 - Russland mit Südafrika einziger Produzent von Iridium (Primärproduktion)

→ **Frühzeitiger Einstieg in das Recycling und sonstige Konzepte zur Ressourceneinsparung (second-life; Verlängerung der Nutzungszeit) sehr relevant für höhere Ressourcensicherheit**

Vielen Dank!

Peter Kasten

Stellvertretender Bereichsleiter

Öko-Institut e.V.

Büro Berlin

Borkumstraße 2

13189 Berlin

Telefon: +49 30 405085-349

E-Mail: p.kasten@oeko.de

Automatisiertes Fahren – Chancen und Herausforderungen für nachhaltige Mobilität

Jens Schippl

INSTITUTE FOR TECHNOLOGY ASSESSMENT AND SYSTEMS ANALYSIS (ITAS)



Verschiedene Stufen der Automatisierung nach SAE

Level	Fahrer	Fahrzeug / System
5 Voll-automatisiert	Kein Fahrer /Keine technische Aufsicht	Fahrzeug übernimmt Fahraufgaben vollumfänglich.
4 Hoch-automatisiert	Kein Fahrer erforderlich im spezifischen Anwendungsfall - ggf. ist Unterstützung durch „technische Aufsicht“ notwendig	System kann im spezifischen Anwendungsfall alle Situationen automatisch bewältigen und erkennt seine Systemgrenzen
3 Bedingt automatisiert	Fahrer muss System nicht dauerhaft überwachen , aber immer in der Lage sein, nach Aufforderung die Kontrolle zu übernehmen	System übernimmt für eine gewissen Zeit in einem spezifischen Anwendungsfall Längs- und Querführung
2 Teil-automatisiert	Fahrer muss das System dauerhaft überwachen und jederzeit in der Lage sein, die Steuerung zu übernehmen	System übernimmt für eine gewissen Zeit in einem spezifischen Anwendungsfall Längs- und Querführung .
1 Assistiert	Fahrer übernimmt entweder Längs- oder Querführung	System übernimmt die jeweils andere Funktion.
0 Nicht automatisiert	Fahrer lenkt, beschleunigt und bremst das Fahrzeug eigenständig.	Kein Eingreifen des Fahrzeugs.

z.B.
WAYMO in
Phönix

z.B. Daimler
Drive Pilot

z.B. Tesla
Autopilot

Modifiziert auf Basis von SAE J3016 Juni 18 und Verband der Automomobilindustrie2016

Beispiele für unterschiedliche Entwicklungspfade für AF: von individueller bis zu kollektiver Mobilität

Automatisierter
MIV

Robotaxis

automatisierter
„ÖV“

Daimler DRIVE PILOT,

- Bis 60 km/h kann sich Fahrer auf Autobahnen von Fahraufgabe abwenden

*„Für Kunden bedeutet dies ein ultimatives Luxuserlebnis. Sie können entspannen oder arbeiten und so wertvolle Zeit zurückgewinnen“ **

Waymo in Phönix

- Per App buchbarer Minivan
 - Verkehrt nach Bedarf in Stadtteil von Phönix ohne Sicherheitsfahrer
- John Krafcik, ehemals Waymo-CEO:

*„We're not building a better car, we're building a better driver.“***

Easymile, EZ10

- Kleinbus, 6 Sitzplätze
- Stadtverkehr
- Bisher mit Sicherheitsfahrer, geplant L4 (2025)
- Viele Pilotprojekte (z.B. Bad Birnbach, Karlsruhe, Monheim, Berlin, ...)

*„..improve public transport by connecting hubs...“****



*<https://group.mercedes-benz.com/innovation/case/autonomous/drive-pilot.html?r=dai>

**<https://www.cntraveler.com/story/john-krafcik-of-waymo-wants-to-drive-you-to-sleep-innovators>

*** <https://easymile.com/vehicle-solutions/ez10-passenger-shuttle>

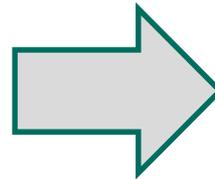
Verkehrliche Chancen und Herausforderungen von AF

Erwartung	Chancen	Herausforderungen
Sicherheit	<ul style="list-style-type: none">• Maschine ist sicherer als der Mensch (Vision Zero)	<ul style="list-style-type: none">• Hacking, Datensicherheit, fehlende Redundanz• Menschliche Fahrer verboten > Ausgrenzung
Effizienzgewinne	<ul style="list-style-type: none">• Optimierter Verkehrsfluss, Reduktion von Staus, erhöhte Kapazität der Infrastruktur• Parkplatzsuche entfällt• Einsparen von Infrastruktur• Wegfall des Fahrers reduziert Kosten	<ul style="list-style-type: none">• Attraktivität der Strecken steigt > Wachstum der Nachfrage und/oder der Fahrleistung• Ohne Parkplatzsuche gewinnt Individualverkehr an Attraktivität• Kosten für intelligente Infrastruktur
Mobilitäts-ermöglichung	<ul style="list-style-type: none">• Selbstbestimmte Mobilität für mobilitätseingeschränkte Menschen oder Kinder/Jugendliche	<ul style="list-style-type: none">• Erhöhung des Verkehrsaufkommens
Zeitnutzung während Fahrt	<ul style="list-style-type: none">• Ohne Fahraufgabe Reisezeit produktiver nutzbar• Erreichbarkeit ländlicher Regionen steigt	<ul style="list-style-type: none">• Längere Wege/Staus werden in Kauf genommen• Zersiedlung
Ermöglichung Mobilitätswende	<ul style="list-style-type: none">• Neue Formen flexibler, effektiver, bezahlbarer Mobilität als Alternative zum MIV	<ul style="list-style-type: none">• Leerfahrten beim Holen/Bringen

Verkehrliche Wirkungen von AF im PV

Oft genannte Einflussfaktoren auf
Verkehrsnachfrage / Fahrleistung:

- Effizienzsteigerung
- Kapazitätserhöhung
- Kostensenkung
- Mobilitätsermöglichung
- Zeitnutzung während der Fahrt
- Leerfahrten
- Neue Angebote



Viel diskutierte Effekte:

- Kapazitäten von
Infrastruktur / Effizienz
- Modal Shift
- Neue, längere Wege (oder
Vermeidung)

Bsp. Megafon Studie – Berechnung für Region Stuttgart

Modell hält in AF-Szenarien viele Parameter konstant und vereinfacht stark, z.B.

- Verkehrsnachfrage bleibt konstant
- Alleine Fahrzeit entscheidet ob Bahn oder NS/CS/RS (nicht die Kosten)
- **Dennoch wird deutlich: Nutzungsform und Rahmenbedingungen sind entscheidend für die verkehrliche Wirkung von AF**

Szenario		Anteil Bus& Bahn	Anzahl Fahrzeuge	Fahrzeug-km.	Erf. Park plätze	Anteil Zeit die Fzge nicht genutzt	Besetzungsgrad (pro Fahrt)
0	Ist-Zustand	16%	100	100	100	96%	1,26
1	NS000, CS100 , RS000, mBahn	11%	19;2%	118,5	19,1	70%	1,30
2	NS000, CS000, RS100 , mBahn	11%	7,1%	63,9	7,2	64%	3,69
3	NS000, CS100 , RS000, oBahn	0%	24,3%	138,6	24,1	72%	1,30
4	NS000, CS000, RS100 , oBahn	0%	9,2%	80,0	9,2	66%	3,56

NS = No Sharing, CS= CarSharing, RS=RideSharing, m/o Bahn = mit/ohne Bahn

Quelle: Friedrich und Hartl 2016

Bsp. MOIA Hamburg, Simulation E

MOIA-Shuttles heute:

- Max. 6 Fahrgäste, ohne festen Fahrplan, über App buchbar
- hunderte Fahrzeuge in HH (und Hannover) im Probebetrieb
- Derzeit mit Fahrer – autonomer Betrieb ab 2025 angekündigt

Annahmen Simulation E, u.a.:

- MOIA mit 5.000 Fahrzeugen in ganz Hamburg verfügbar
- Maßnahmen zur Reduktion des MIV-Verkehrs umgesetzt
- Pkw-Besitz hat um 20 % abgenommen.
- Günstigere Fahrten > Effizienz steigt > über 50 % der Fahrzeugkilometer werden mit 2 oder mehr Passagieren zurückgelegt.

Ergebnisse Simulation E:

- Deutlicher Rückgang Fahrzeugkilometer
- Umweltverbund gewinnt dazu
- ÖV + MOIA (3%) fast 32 % Wege-Anteil am Modal Split; MIV 23% (heute 24% bzw. 34%)

> **Wirklicher Effekt nur mit flankierenden Maßnahmen**



Quelle: Kagerbauer et al. 2021

Weitere Studien zur Wirkung von AF (I)

Bahamonde-Birke et al. (2016) erwarten, dass **vollautomatisiertes Fahren** auch dann zu **negativen Effekten** (Stau, Luftverschmutzung) führen kann, wenn sich neue Geschäftsmodelle wie Car-Sharing oder Car-Pooling durchsetzen, weil das **Verkehrsvolumen** trotzdem steigen würde (ähnlich vgl. May et al 2020).

Nach Berechnungen von Deloitte (2019) für deutsche Agglomerationen werden **autonome Shuttles und Taxis günstiger sein als private Pkw und der traditionelle ÖV**. Die Berechnungen zeigen, dass ein Kilometer mit dem Robotaxi 34 Cent, mit dem Roboshuttle lediglich 15 Cent kosten könnte. Dadurch würden **mehr Menschen auf ein eigenes Auto verzichten**. Wenn aber auch die Nutzung des ÖV zurückgeht, dann würde sich das **Verkehrsaufkommen** dennoch erhöhen. Mehr Staus und geringe innerstädtische Durchschnittsgeschwindigkeiten könnten die Folge sein.

Hörl et al. (2019): Studie zeigt, dass Unterschiede der **Kosten pro Passagierkilometer** zwischen den Verkehrsmitteln durch deren Automatisierung deutlich kleiner werden. Insbesondere **automatisierte Taxis könnten für eine deutlich größere Kundengruppe für den Alltagsgebrauch erschwinglich** werden. Zudem stellen die deutlich geringeren Kosten als Regionalbusse deren konventionellen Betrieb in Frage.

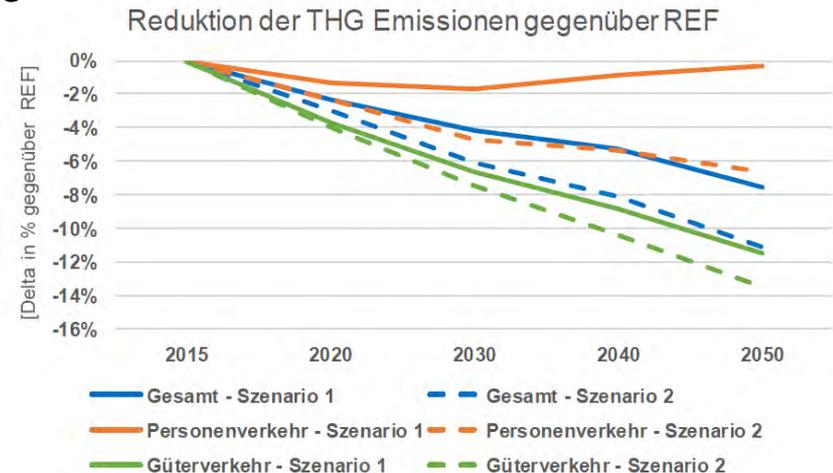
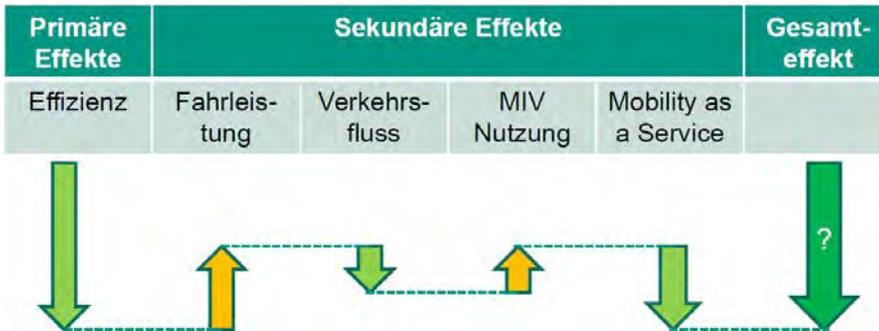
Meyer et al. (2016) zeigen, dass gut erschlossene, **ländliche Gemeinden große Erreichbarkeitsgewinne durch AF** aufweisen könnten. Ergebnisse der Studie lassen Automatisierung als potentiellen Treiber für **Urban Sprawl** verstehen.

Weitere Studien zur Wirkung von AF (II)

Krail et al. 2019 berechnen für 2 Szenarien Einsparpotentiale für THG durch eine zunehmende Verbreitung **unterschiedlicher Automatisierungsstufen** im Vergleich zum Referenzszenario (REF)

Szenario 1: "Welt des Fahrzeugbesitzes", u.a. wie heute
geringe Besetzungsgrade im MIV, eigener Pkw als Standard,
wenig flexibler ÖV, moderate Optimierung d. Logistik

Szenario 2: "Welt der Mobilitätsdienstleistungen", höhere
Anteile Car+Ridesharing, flexiblerer ÖV, Optimierung d.
Logistik



Abbildungen nach/aus Krail et al. 2019

THG = Treibhausgasemissionen

- Kapazitätssteigerungen möglich, z.B. durch intelligente Kreuzungen, adaptive Geschwindigkeitsregulierung, Platooning (Verkehrsfluss mit kürzeren Fahrzeugfolgen)
- Aber: lange Übergangsphase mit Mischverkehr wirkt Effizienzgewinnen entgegen (Haas 2022)
- AF können energiesparsam fahren (aber: Technik erhöht Energieverbrauch u. Gewicht)
- "Valet-Parking": bis zu 60% mehr Parkplätze auf gleicher Fläche möglich (Heinrichs 2015)

Für einen **Autobahnabschnitt** in Deutschland berechnen Krause et al. (2017) für die Übergangsphase mit **Mischverkehr** zunächst eine Reduktion der Kapazität um 7%, die vor allem auf das **regelkonforme Fahrverhalten der AF** zurück zu führen ist. Erst bei einer stärkeren Durchdringung mit hochautomatisierten Fahrzeugen wird von einem durchschnittlichen Zuwachs im Bereich von 30% ausgegangen der zu einem Reisezeitgewinn von 7% führt .

Nach Friedrich et al. (2015) könnte sich die **Kapazität einer signalisierten Kreuzung** um 40% erhöhen lassen, wenn **alle** Fahrzeuge hochautomatisiert und als Platoon (Konvoi) organisiert sind. Lioris et al. (2017) gehen von noch deutlich höheren Potentialen zur Erhöhung der Kapazität aus.

Zur „Akzeptanz“ verschiedener Angebotsformen

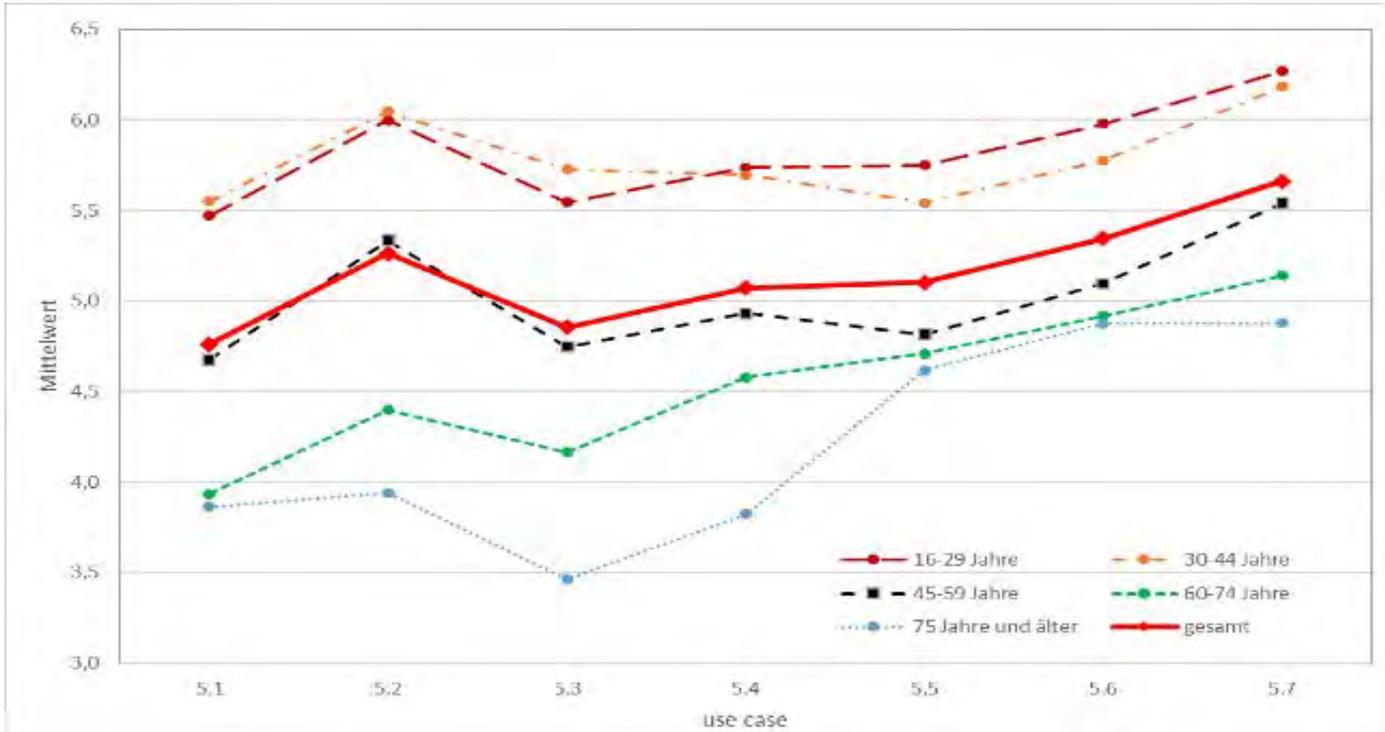
„Stellen Sie sich bitte einmal vor, es gäbe in Zukunft autonome Straßenfahrzeuge, die in der Lage wären, am öffentlichen Straßenverkehr genauso selbständig teilzunehmen, wie es heute Fahrzeuge mit menschlichen Fahrern tun. In welcher Konstellation würden Sie sich denn bei einer Fahrt damit wohlfühlen?“

Abgefragte Use Cases	Mittelwert	Std. Abw.
5.1 allein in meinem eigenen autonomen Fahrzeug auf der Autobahn bei der heute geltenden Richtgeschwindigkeit	4,76	3,5
5.2 allein in meinem eigenen autonomen Fahrzeug im Stadtverkehr,	5,26	3,5
5.3 allein in einem gemieteten autonomen Fahrzeug im Stadtverkehr,	4,86	3,4
5.4. allein in einem gemieteten autonomen Fahrzeug im Stadtverkehr, bei dem die Fahrt ständig durch einen Tele-Operator überwacht wird,	5,07	3,3
5.5 zusammen mit 2-5 anderen Fahrgästen in einem autonomen Mini-Bus im Stadtverkehr,	5,10	3,1
5.6 in einem halbvollen autonomen Bus in der Größe heutiger Linienbusse im Stadtverkehr,	5,34	3,1
5.7 in einer halbvollen autonomen Straßenbahn im Stadtverkehr.	5,66	3,2

2.001 BürgerInnen ab 16 Jahren im einem mixed-mode-Design, Feldphase im November 2021 (Quelle: Fleischer, Puhe, Schippl 2022)

Antwortoptionen: 11-teilige Likert-Skala mit 0 = „darin würde ich mich überhaupt nicht wohlfühlen“ bis 10 = „darin würde ich mich auf jeden Fall wohlfühlen“

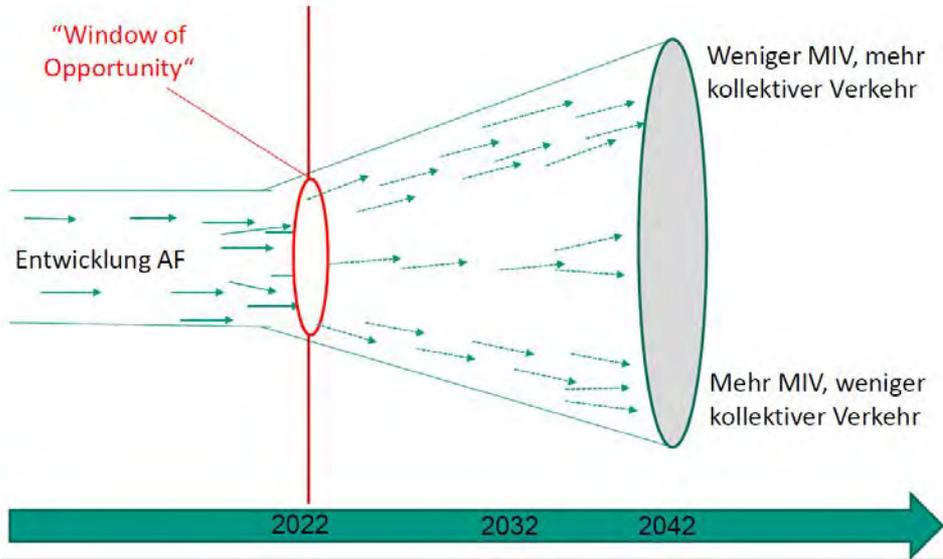
Fortsetzung - zur „Akzeptanz“ verschiedener Angebotsformen



Mittelwert des subjektiven Wohlbefindens in verschiedenen Use Cases - nach Alterskategorien

(Quelle: Fleischer, Puhe, Schippl 2022)

Verschiedene Zukünfte möglich - Pfadabhängigkeiten können entstehen – systemische Perspektive wichtig



„Virtuous Cycle“ für ÖV:

AF ergänzt/stärkt System „ÖV“ > Wettbewerbsvorteil des ÖV > Verringerung der relativen Attraktivität von Pkw > Akzeptanz für Restriktionen für Pkw > weniger Pkw in urbane Räumen > mehr Raum für kollektive Angebote > Attraktivität des „ÖV“ steigt weiter > usw.

„Vicious cycle“ für ÖV:

AF vor allem im PKW-Bereich > PKW-Nutzung wird bequemer > relative Attraktivität des ÖV sinkt > weniger Kunden für ÖV > Angebot wird reduziert > relative Attraktivität des PKW steigt weiter > usw.

Nach Freadrich et al. 2017; Schippl et al. 2022

- **AF im L4 Bereich wird kommen – in welchen Angebotsformen bleibt offen**
- **AF bringt immenses transformatives Potential!**
- **Aber: Das Potential muss in gesellschaftliche gewünschte Richtung gestaltet werden**

- Durch Effizienzgewinne und insbesondere durch Modal Shift kann AF zu deutlich mehr Nachhaltigkeit im Mobilitätssystem führen
- Aber: Auch negative Effekte könnten überwiegen (mehr MIV-Anteil, höhere Fahrleistung, Zersiedlung)
- (Unerwünschte) Pfadabhängigkeiten sind möglich, Lock-Ins
- AF bietet „Window of Opportunity“ für „Verkehrswende“ – aber politische Flankierung erforderlich

- Gesetzliche Rahmenbedingungen (z.B. aktuelles Gesetz zum AF)
- Pilotprojekte – in unterschiedlichen Raumkategorien – starke Einbindung des ÖV
- Integrierte Projekte/Visionen – AF als Teil Bestandteil kommunaler/regionaler Mobilitätsprojekte bzw. –konzepte
- Perspektivisch: Maßnahmen um Leerfahrten zu begrenzen
- Zudem: bekannte Maßnahmen zur Förderung nachhaltiger Mobilität

Viele Unsicherheiten bleiben, u.a.:

- Wie reagieren Bürger/Nutzer wirklich?
- Was ist die richtige Lösung für unterschiedliche Raumstrukturen?
- Infrastruktur: Bedarf, Finanzierung, Verantwortlichkeiten?
- Wann entstehen erwünschte/unerwünschte Pfadabhängigkeiten

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

- Bahamonde-Birke, F.; Kickhöfer, B.; Heinrichs, D.; Kuhnimhof, T. (2016): A systemic view on autonomous vehicles: Policy aspects for a sustainable transportation planning. Working Paper, Karlsruhe Institute of Technology
- Deloitte 2019: Urbane Mobilität und autonomes Fahren im Jahr 2035. Welche Veränderungen durch Robotaxis auf Automobilhersteller, Städte und Politik zurollen.
<https://www2.deloitte.com/de/de/pages/trends/urbane-mobilitaet-autonomes-fahren-2035.html>
- ERTRAC (2019): Connected Automated Driving Roadmap. ERTRAC Working Group "Connectivity and Automated Driving". Brussels
- Fleischer, T.; Puhe, M.; Schippl, J. (2022): Autonomes Fahren und soziale Akzeptanz: konzeptionelle Überlegungen und empirische Einsichten. Journal für Mobilität und Verkehr, 12, 9–23
- Fraedrich, E; Kröger, L.; Bahamonde-Birke, F.; Frenzel, I.; Liedtke, G.; Trommer, S.; Lenz, B.; Heinrichs, D. (2017): Automatisiertes Fahren im Personen- und Güterverkehr. Auswirkungen auf den Modal-Split, das Verkehrssystem und die Siedlungsstrukturen. Herausgeber: e-mobil BW GmbH – Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie Baden-Württemberg; Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Verkehrsforschung; Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg
- Friedrich, Bernhard (2015): Verkehrliche Wirkung autonomer Fahrzeuge. In: Markus Maurer, J. Christian Gerdes, Barbara Lenz und Hermann Winner (Hg.): Autonomes Fahren: Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 331–350.
- Friedrich, M. & Hartl, M. (2016): MEGAFON. Modellergebnisse geteilter autonomer Fahrzeugflotten des öffentlichen Nahverkehrs. Stuttgart: Universität Stuttgart.
- Haas, C. U. (2022) Autonome Fahrzeuge - Belastungsprobe für die städtische Verkehrsinfrastruktur? ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift, 124
- Heinrichs, D. (2015): Autonomes Fahren und Stadtstruktur. In: Maurer M., Gerdes J., Lenz B., Winner H. (eds) Autonomes Fahren. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg
- Hörl, S.; Becker, F.; Dubernet, T.; Axhausen, K.W. (2019): Induzierter Verkehr durch autonome Fahrzeuge: Eine Abschätzung. Forschungsprojekt SVI 2016/001 auf Antrag der Schweizerischen Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI)
- Kagerbauer, M, Kistorz, N.; Wilkes, G.; Dandl, F.; Engelhardt, R.; Glöckl, U.; Fraedrich, E.; Zwick, F. (2021) Ridepooling in Hamburg auf dem Weg in die Zukunft. Ergebnisbericht zur MOIA Begleitforschung.
- Krail, M.; Hellekes, J.; Schneider, U.; Dütschke, E.; Schellert, M.; Rüdiger, D.; Steindl, A.; Luchmann, I.; Waßmuth, V.; Flämig, H.; Schade, W.; Mader, S. (2019): Energie- und Treibhausgaswirkungen des automatisierten und vernetzten Fahrens im Straßenverkehr. Wissenschaftliche Beratung des BMVI zur Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie. Fraunhofer ISI 2019, Karlsruhe.
- Krause, S.; Motamedidehkordi, N.; Hoffmann, S.; Busch, F.; Hartmann, M.; Vortisch, P. (2017): Auswirkungen des teil- und hochautomatisierten Fahrens auf die Kapazität der Fernstraßeninfrastruktur. Berlin: Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V (FAT-Schriftenreihe 296).
- Lioris, Jennie; Pedarsani, Ramtin; Tascikaraoglu, Fatma Yildiz; Varaiya, Pravin (2017): Platoons of connected vehicles can double throughput in urban roads. In: Transportation Research Part C: Emerging Technologies 77, S. 292–305. DOI:
- May, A.- D.; Shepherd, S. Pfaffenbichler, P. Emberger, G. (2020): The potential impacts of automated cars on urban transport: An exploratory analysis. Transport Policy Volume 98, S. 127-138
- Meyer, J., Bösch, P.M., Becker, H., Axhausen, K.W., (2016): Erreichbarkeitswirkungen autonomer Fahrzeuge. Internationales Verkehrswesen 69.
- Schippl, J.; Truffer, B.; Fleischer, T. (2022): Potential impacts of institutional dynamics on the development of automated vehicles: Towards sustainable mobility? Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, 14,

“Infrastructure Support Levels for Automated Driving”

EU Vision: Cooperative, Connected and Automated Mobility (CCAM); V2I, V2V

Level	Name	Description	Digital information provided to AVs			
			Digital map with static road signs	VMS, warnings, incidents, weather	Microscopic traffic situation	Guidance: speed, gap, lane advice
Digital infrastructure	A	Cooperative driving Based on the real-time information on vehicles movements, the infrastructure is able to guide AVs (groups of vehicles or single vehicles) in order to optimize the overall traffic flow	X	X	X	X
	B	Cooperative perception Infrastructure is capable of perceiving microscopic traffic situations and providing this data to AVs in real-time	X	X	X	
	C	Dynamic digital information All dynamic and static infrastructure information is available in digital form and can be provided to AVs	X	X		
Conventional infrastructure	D	Static digital information / Map support Digital map data is available with static road signs. Map data could be complemented by physical reference points (landmarks signs). Traffic lights, short term road works and VMS need to be recognized by AVs	X			
	E	Conventional infrastructure / no AV support Conventional infrastructure without digital information. AVs need to recognise road geometry and road signs				

Quelle:
INFRAMIX2,
www.inframix.eu;
ERTRAC 2019

Viele offene Fragen, z.B.: wie intelligent soll/kann welches Infrastrukturelement sein?
Finanzierung? Unterhaltung? Haftungsfragen?

Autonomes Fahren im Öffentlichen Verkehr

Umsetzungsbedarfe für eine erfolgreiche Integration autonomer Verkehrsangebote in den ÖPNV

15. Sitzung der Enquetekommission „Mobilität der Zukunft in Hessen 2030“

29.04.2022, Wiesbaden

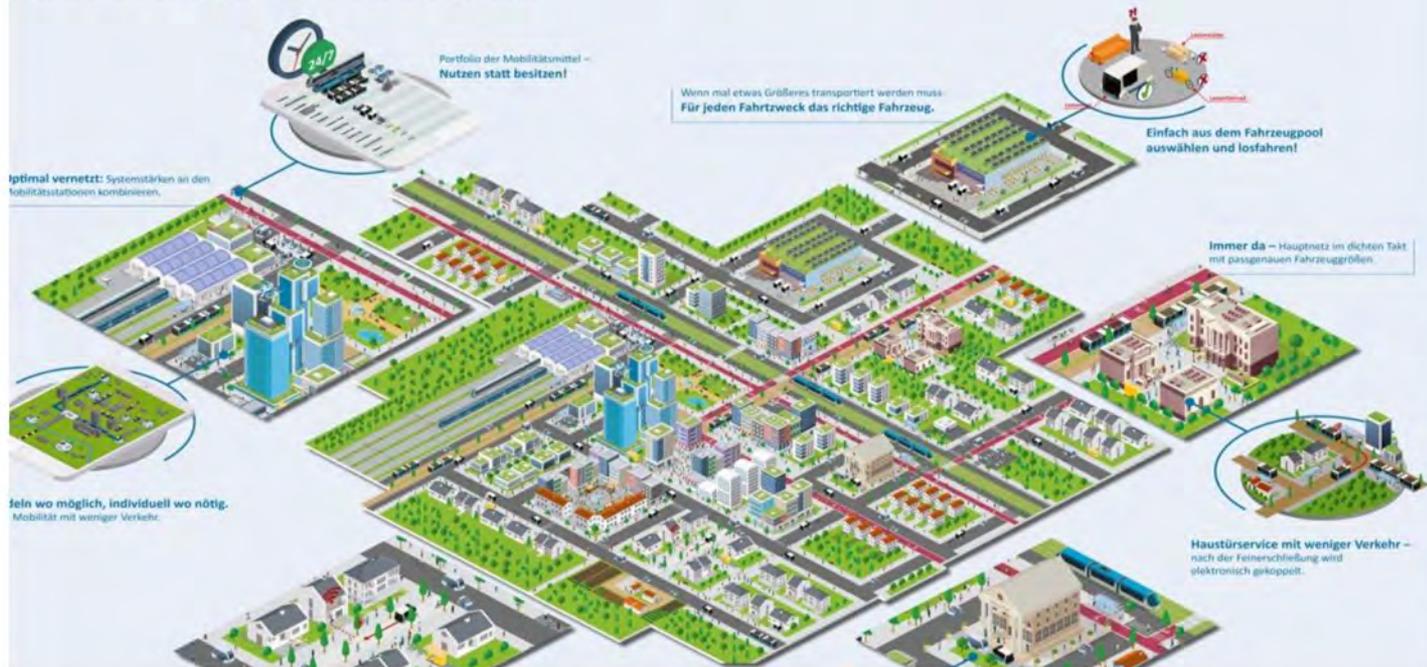
Emanuele Leonetti

Verband deutscher Verkehrsunternehmen e.V.

Mobilität der Zukunft: ÖV als Integrator automatisierter und vernetzter Verkehrsangebote

ZUKUNFTSBILD "AUTONOMES FAHREN"

Individuelle und öffentliche Mobilität aus einem Guss.
Für eine Stadt mit mehr Lebensqualität.

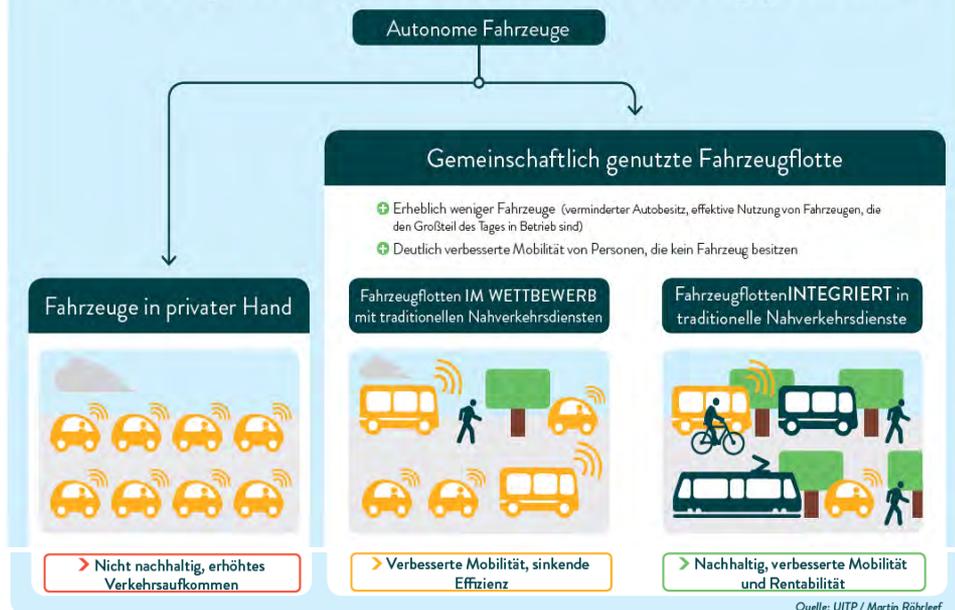


@VDV/CP:Compartner

© VDV

Nur mit dem Hochleistungs-ÖV kombinierte und ÖV-integrierte geteilter Flotten führen zu einer nachhaltigen, effizienten und gerechten Mobilität

Autonome Fahrzeuge können nur zur Umsetzung staatlicher Zielvorgaben beitragen, wenn sie als gemeinsam genutzte Flotten in den ÖPNV eingegliedert sind.

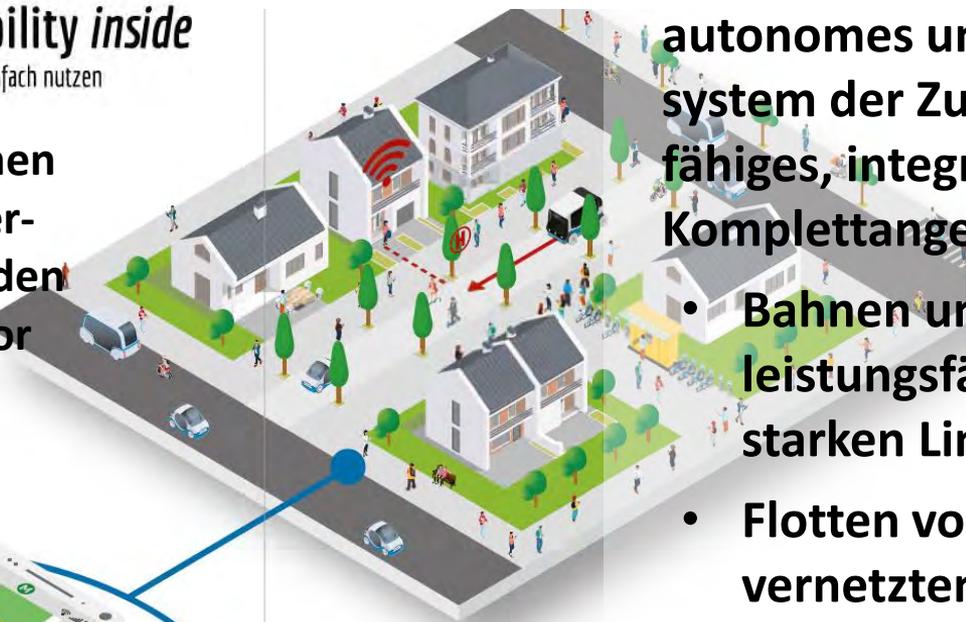


- Wiedergewinnung von Stadtraum durch gesenkten Parkplatzbedarf und gemeinsame Nutzung von autonomen Fahrzeugen
- Effizienter Verkehr, Rückgang der Fahrzeugkilometer, Verminderung Energieverbrauch
- Verbesserter Zugang zum ÖV und geringe Kilometerkosten
- Öffentliche Verkehrsunternehmen werden zu integrierten Mobilitätsanbietern
- Kommunen können Verkehr nach gemeinwirtschaftlichen Zielen steuern

Der öffentliche Verkehr ist das Rückgrat der Mobilität – er wird leistungsfähiger, individueller, passgenauer und leichter verfügbar!



Die öffentlichen Verkehrsunternehmen werden zum Integrator der Mobilität



- Basis und Rückgrat für ein neues autonomes und vernetztes Mobilitätssystem der Zukunft, ist ein hochleistungsfähiges, integriertes, multimodales Komplettangebot als ÖV-System.
- Bahnen und Bussysteme als leistungsfähiges Grundangebot auf starken Linien
- Flotten von automatisierten und vernetzten ÖPNV-Shuttles als nachfragegesteuertes Flächenangebot im Linienbedarfsverkehr

Von Haltestelle zu Haltestelle oder von Tür zu Tür – alles über die App des lokalen Verkehrsunternehmens.

Gesetzliche Rahmenbedingungen: erfolgte Novellierung von PBefG und StVG

Mit der Novellierung des Personenbeförderungsgesetzes (PBefG) wurden 2021 neue Verkehrsformen geschaffen:

- **Linienbedarfsverkehr § 44 PBefG**

Teil des ÖPNV mit allen Pflichten und Rechten (z.B. Betriebs- und Beförderungspflicht, Tarifpflicht, Barrierefreiheit, Sammelbeförderung)

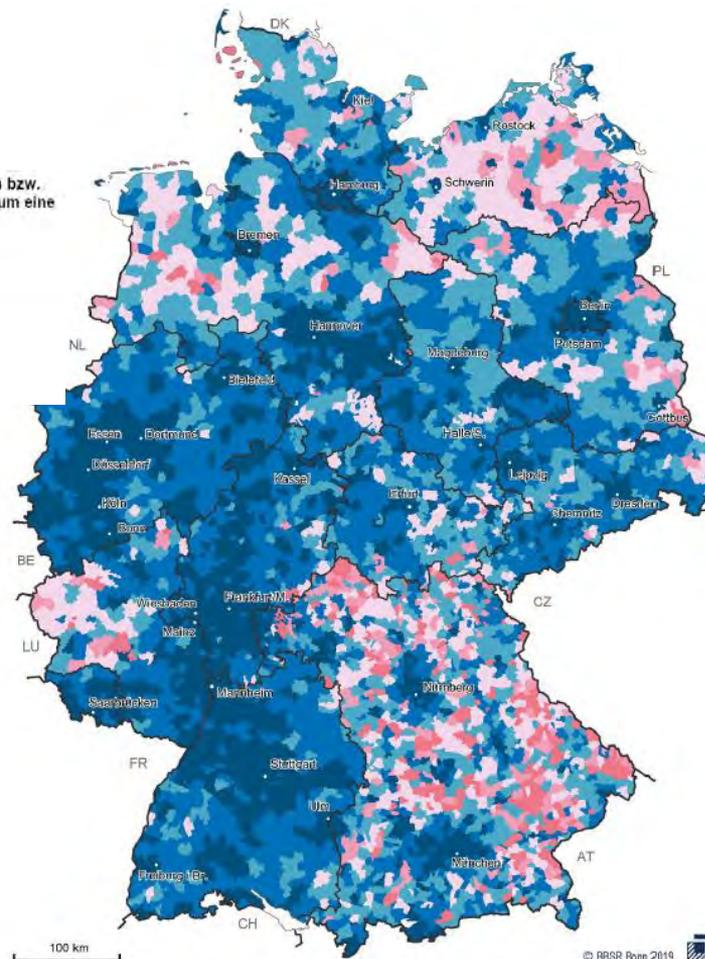
- **Gebündelter Bedarfsverkehr § 50 PBefG**

Keine ÖPNV-Integration, Pflichten durch Genehmigungsbehörde auferlegbar (z.B. Bündelungsquote, Rückkehrpflicht, Kontingentierung (zeitl./räumlich.), Barrierefreiheit, Emissions- u. Sozialstandards, Mindest- und Höchstbeförderungsentgelt)

Linienbedarfsverkehr als Chance zur verbesserten Integration des ländlichen Raumes



Anteil der Bevölkerung, die in maximal 600 m bzw. bei Bahnhöfen 1.200 m Luftlinienentfernung um eine Haltestelle mit mindestens 20 Abfahrten im ÖV am Tag wohnt, im Jahr 2018 in %



Quelle: BBSR Deutschlandatlas 2019

© BBSR Bonn 2019

VDV-Leistungskostengutachten:
Massive Ausweitung des ÖPNV-Angebotes um 60% (Stadt, Land, Regionalverkehr) zur Erreichung der Klimaziele im Verkehr mit **offensivem Aufbau des Linienbedarfsverkehrs insbesondere im ländlichen Raum**. Grundlage der Bund-Länder-Gespräche zur Anpassung der öffentlichen Mittel.

Sachstand: Automatisierte und Autonome Test- und Pilotprojekte im ÖPNV



Herausforderungen aktueller Testbetriebe



Zeitverzug bei Genehmigung



langsamfahrend (18 km/h)



Gebietsbeschränkt und streckenbezogen



Operator (Anforderung: D-Fahrerlaubnis)



fährt auf „virtueller Schiene“



keine Flotten



keine On-Demand-Bedienung

@VDV; Aktuelle Übersicht unter: <https://www.vdv.de/innovationslandkarte.aspx>

Sachstand: New Mobility & autonomes Fahren in Hessen



Eltville am Rhein/ Kloster Eberbach

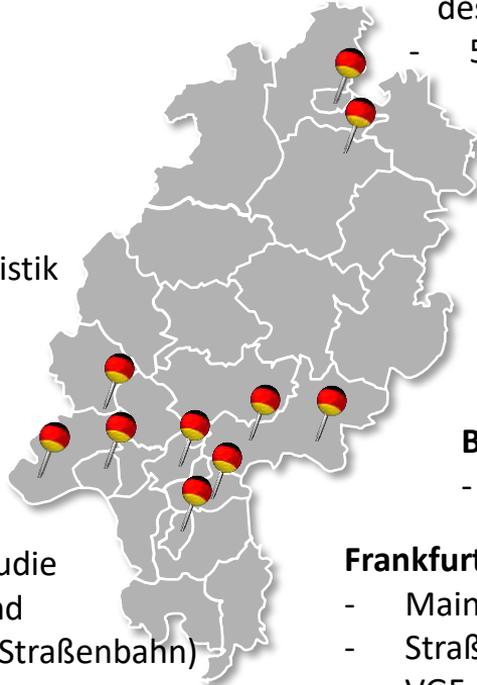
- EASY-Testbetrieb
ländl. Raum & Touristik

Wiesbaden:

- EASY-Testbetrieb auf
dem Helios Klinikgelände

Darmstadt:

- MAAS (Machbarkeitsstudie
zur Automatisierung und
Assistenzsystemen der Straßenbahn)



Kassel: VERONIKA (Vernetztes Fahren des öffentlichen Nahverkehrs in Kassel)

- 5G und V2X-Ansätze

On-Demand-Verkehre

- OnDeMo, Knut – Frankfurt a.M.
- DaDiLiner/HeinerLeiner, Darmstadt
- „Emil“ – Taunusstein, Main-Taunus
- Hopper – Mainhausen
- Offenbach, kvG Hopper
- MegMobil, Melsungen
- und weitere in Planung

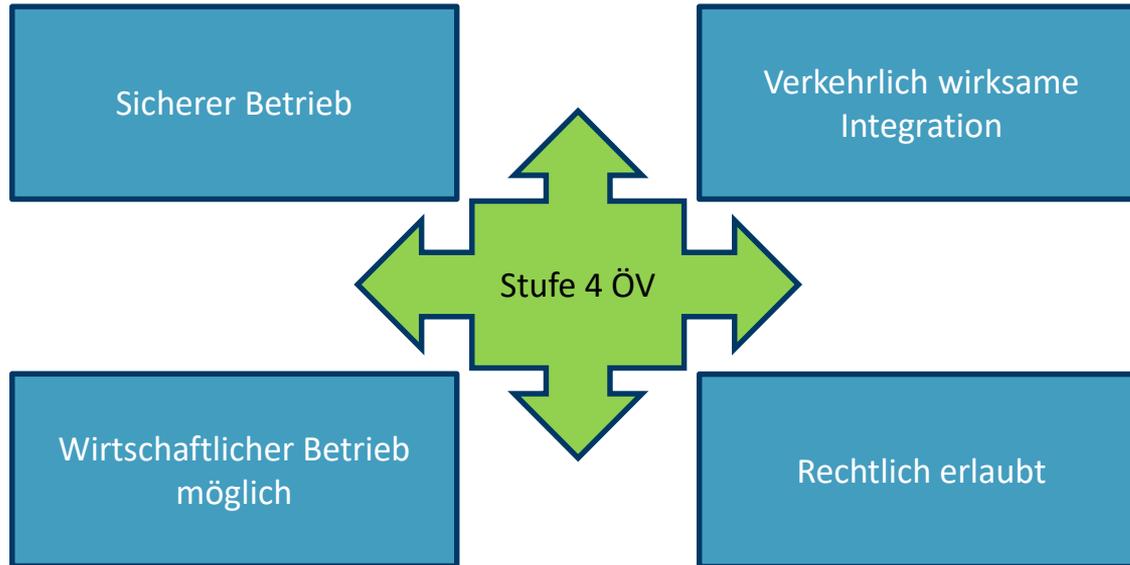
Bad Soden-Salmünster

- EASY-Testfeld im ländlichen Raum

Frankfurt: EASY-Testfelder & Automatisierung der Straßenbahn

- Mainkai-Ufer (über 25.000 Fahrgäste)
- Straßenbahnzentralwerkstatt (No-Op-Betrieb)
- VGF-Strab: Assistenzsysteme für Tram
- Vorbereitung eines On-Demand-Testfelds

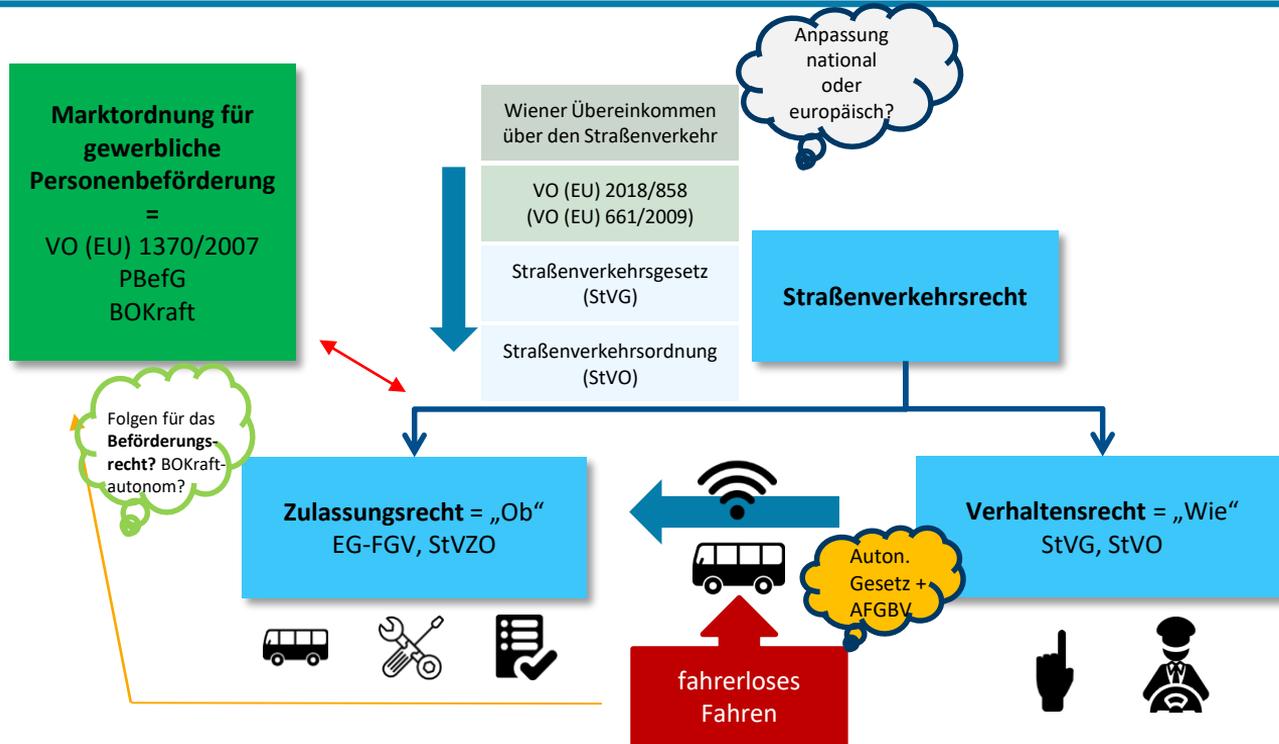
Kernanforderungen an eine Stufe 4 ÖV



StVG + PBefG intelligent verknüpfen: Rechtsrahmen für eine Stufe 4 ÖV

Automatisierungs-Level	Stufe 0	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4	Stufe 4 ÖV	Stufe 5
Stufenbeschreibung	alleine der Fahrer	assistiert	teilautomatisiert	hochautomatisiert	vollautomatisiert	fahrerlos im spezifischen ÖV-Anwendungsfall	fahrerlos
technische Fahrer-aufgaben	Fahrer führt dauerhaft längs- und Querführung aus	Fahrer führt dauerhaft längs- oder Querführung aus	Fahrer muss das System dauerhaft überwachen	Fahrer muss das System dauerhaft nicht mehr dauerhaft überwachen aber potentiell übernehmen.	Kein Fahrer erforderlich im spezifischen Anwendungsfall (bsp. Autobahn-Pilot, Staupilot, einparken)	Kein Fahrer im Fahrzeug im ÖV-Betrieb auf spezifischer Linie oder im spezifischen Bedienungsgebiet anwesend	Von „Start“ bis „Ziel“ ist kein Fahrer erforderlich
technische System-aufgaben	Kein eingreifendes Fahrzeugsystem aktiv	System übernimmt die jeweils andere Funktion	System übernimmt Längs- und Querführung in einem spezifischen Anwendungsfall	System übernimmt Längs- und Querführung im spezifischen Anwendungsfall. System erkennt Grenzen und fordert mit Zeitreserve zur Übernahme auf.	System kann im spezifischen Anwendungsfall alle Situationen automatisch bewältigen	System kann im ÖV-Betrieb auf spezifischer Linie oder im spezifischen Bedienungsgebiet dynamische Fahraufgabe automatisch bewältigen und wird durch Leitstelle fakultativ unterstützt	Das System übernimmt die Fahraufgabe vollumfänglich bei allen Straßentypen, Geschwindigkeitsbereichen und Umfeldbedingungen.

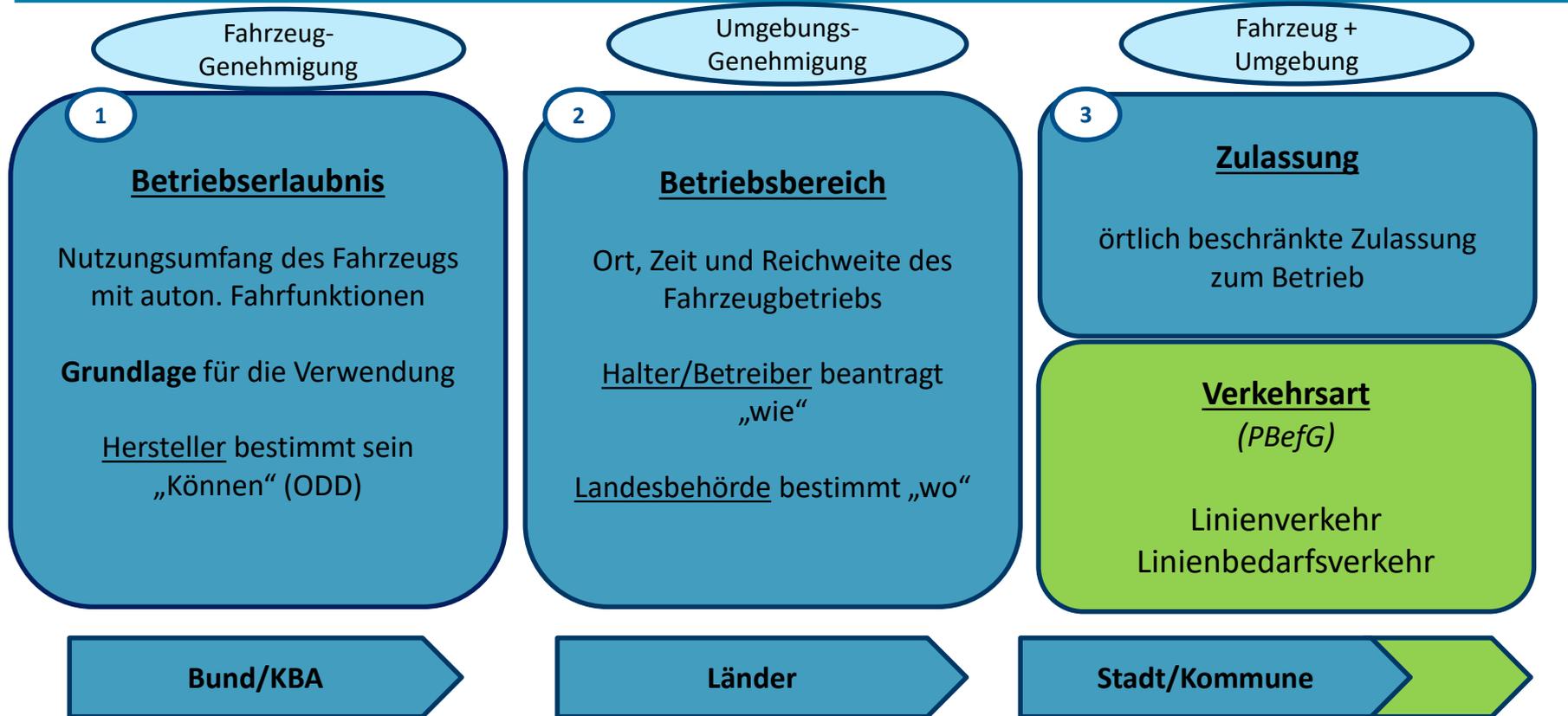
Regelungssystematik des nationalen Straßenverkehrsrechts



Grundzüge des neuen Rechtsrahmens zum autonomen Fahren

- Weitestgehend Deckungsgleichheit mit VDV-Zukunftsbild „**Stufe 4 ÖV**“
- **Autonomes/Fahrerloses Fahren in festgelegten Betriebsbereichen** wird zulässig (SAE L4)
- Neue Rechtsfigur: **Technische Aufsicht** statt Fahrzeugführer
- Nur Manöverfreigabe und Deaktivierung, **keine Teleoperation**
- **Wegfall der 25 km/h** Grenze
- **Gesetzgebungsverfahren** Juli 2021 abgeschlossen
- **EU-Notifizierung** für Verordnung (AFGBV) abgeschlossen
- Verabschiedung der Verordnung durch den **Bundesrat** vsl. noch im Mai 2022

Zulassungsverfahren und Regelungsinhalte der „Autonomes-Fahren/StVG-Novelle“



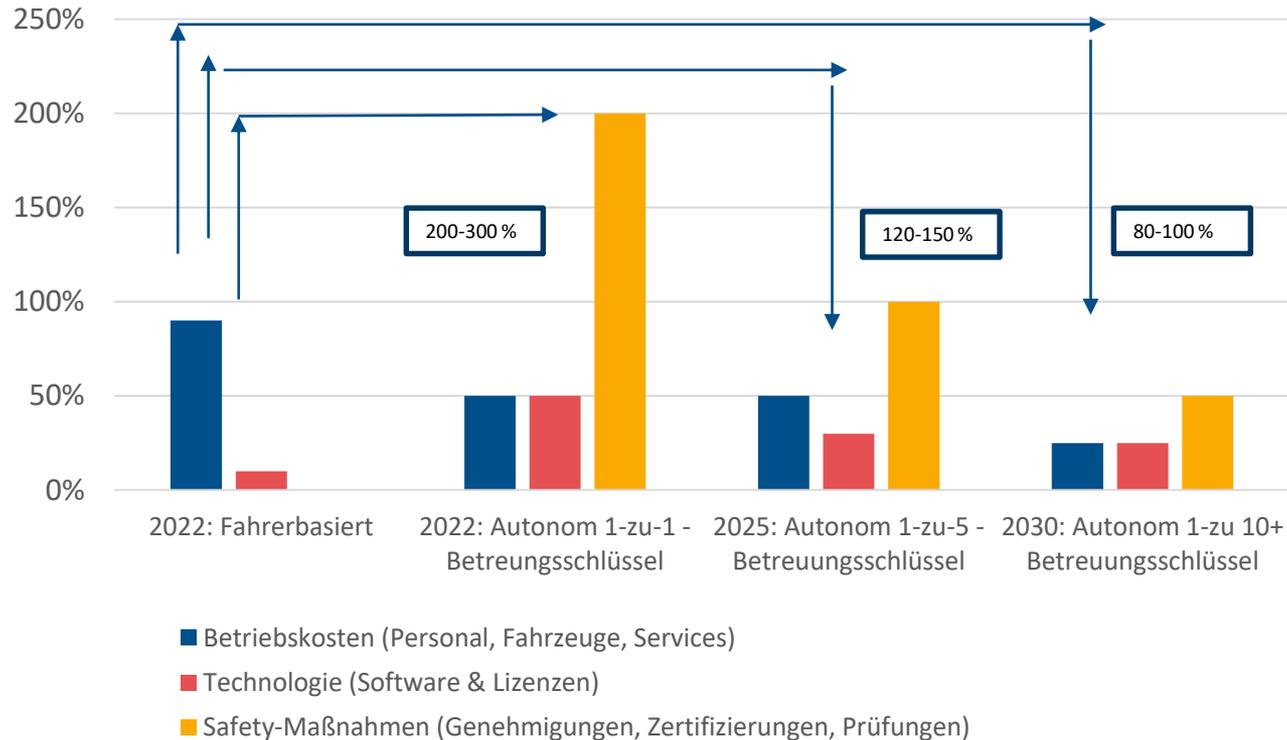
(Rechtliche) Würdigung aus ÖPNV-Sicht

- ✓ Betreiberbasierter Regulierungsansatz: Autonomes Fahren kommt über den **ÖPNV** (und Logistik)
- ✓ Technische Aufsicht (**TA**) trifft **keine Fahrerhaftung**
- ✓ **Fahrzeugseitige** Umsetzung der allgemeinen **Verhaltensanforderungen** des Straßenverkehrs
- ❖ Streitpunkte AFGBV:
 - **Anforderungen** „Technische Aufsicht“ (Ingenieursnachweis) !!
 - **erhöhtes Pflichten- und Aufgabenprogramm**:
 - regelmäßige **Wartung und Prüfung** (halbjährliche HU, 90-tägige „Inspektion“, tägliche erweiterte Abfahrkontrolle)
 - **Dokumentations-** und **Übermittlungspflichten** (nach ISO-Standard) für Datenverarbeitung
 - **Nachweispflichten** bzgl. eingesetzten Personals (Fachkunde und Zuverlässigkeit)

Weiterhin viele offene Umsetzungsfragen

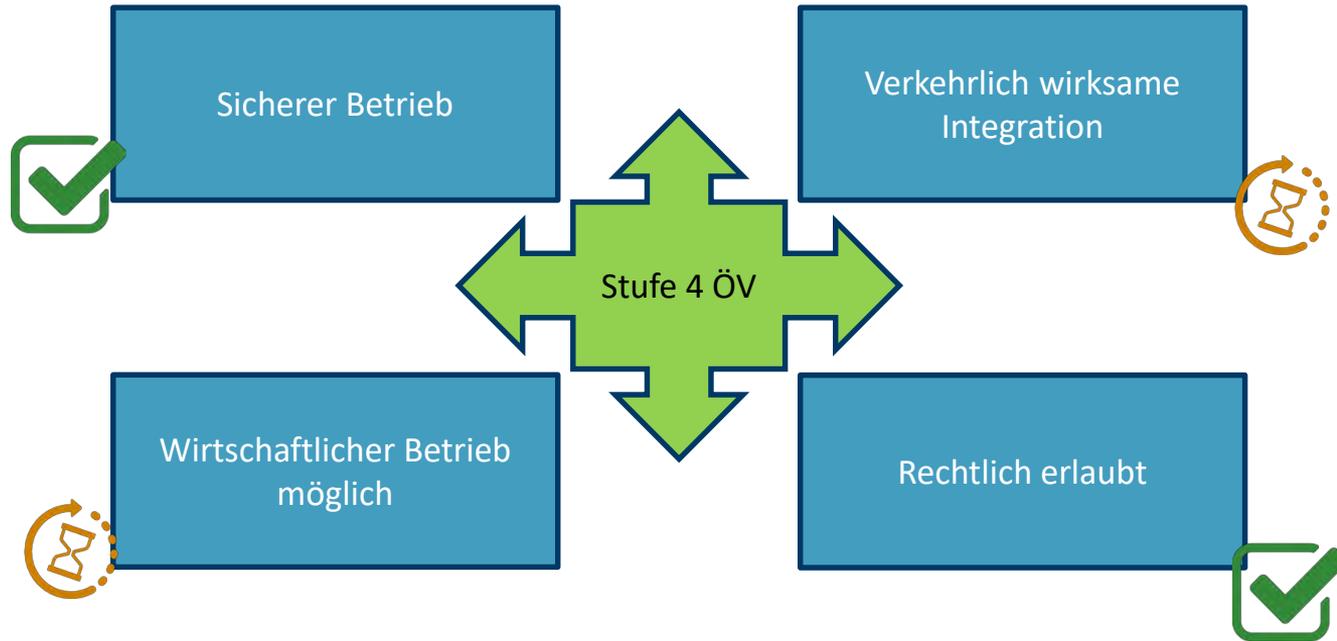
- **Allgemeines Verständnis** zu dem Gesetz sowie den in der Verordnung genannten Möglichkeiten und **Anforderungen für alle Stakeholder** => RTAF 2.0?
- Diskussion von **prozessualen Vorgängen** (Antragsverfahren, Anfangsbewertung, Schnittstellen zwischen Bund und Ländern, **Betriebsbereichsfestlegung**, **Planungskompetenz** Aufgabenträger/LK/Kommunen)
- Readiness von Kommunen/Gebietskörperschaften hinsichtlich „Verkehrsinfrastruktur“
- **Technische Aufsicht** => Anforderungen/Qualifikationen => neue **Berufsbilder**
- Externe MMI: **Fahrgastkommunikation** im fahrerlosen Betrieb
- Interne MMI: **Leitstellenkonzepte** und anforderungsgemäße Betreuung
- Wirtschaftlichkeitsberechnungen, **Total-Cost-of-Ownership** für (skalierbare) Anwendungsfälle

Betriebskostenabschätzung Linienbedarfsverkehr fahrerbasiert vs. autonom 2022 - 2030



- deutliche Steigerung der **Technologie-Kosten**
- Aufwändige **Genehmigungs- und Abnahmeprozesse**, sowie **Qualifikationsanforderungen** steigern Safety-Kosten
- **Betreuungsschlüssel** ist entscheidender **Kostenhebel**

Kernanforderungen an eine Stufe 4 ÖV



Wettlauf um die erfolgreiche Integration autonomer Fahrzeuge





@RMV

- **Öffentliche Mobilität wird individueller und digitaler**
 - ÖV entwickelt On-Demand Verkehre hin zu autonomen Anwendungen
 - Forschungsprojekte zum Testen und zur Einbindung in die Steuerungssysteme
 - On-Demand / New Mobility funktioniert nur mit dem ÖV als Backbone – daher sollten die Kommunen die Steuerung in der Hand behalten
- Nationale Betreiber sollten die Angebote umsetzen & steuern, um Arbeitsplätze vor Ort zu schaffen und zu sichern
- Erwartungen:
 - Bund: Evaluierung des Rechtsrahmens zum autonomen Fahren, Hochfahren von Innovationsmitteln für den ÖPNV
 - Länder: Effiziente Verwaltungsabläufe und best-practices für die Umsetzung schaffen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Emanuele Leonetti

Wissenschaftlicher Mitarbeiter

E leonetti@vdv.de | T 0221 57979-117

<https://www.vdv.de/AutonomesFahren>

