

Für Mensch & Umwelt

Umwelt 
Bundesamt

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

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

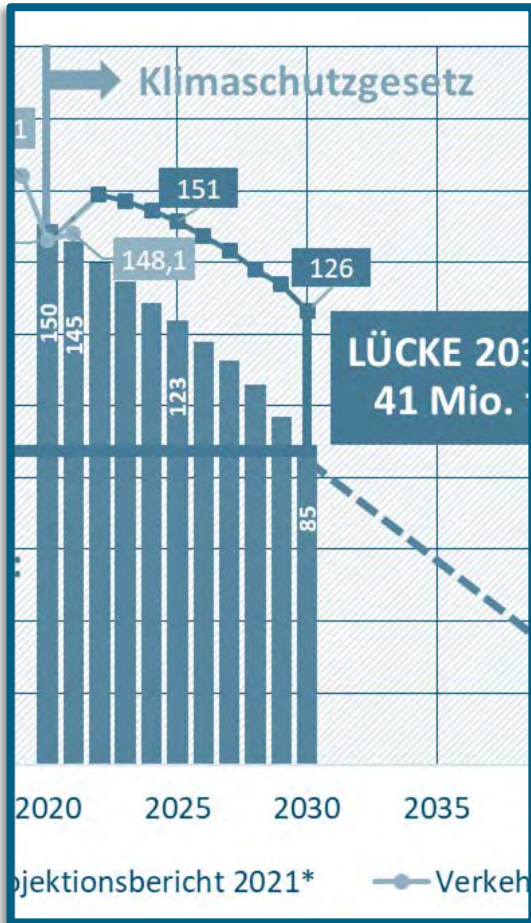
Dr. Martin Lange

Leiter des Fachgebiet I 2.2

„Schadstoffminderung und Energieeinsparung im Verkehr“

29. April 2022

Gliederung



Klimaziele, -projektionen und Handlungsbedarf

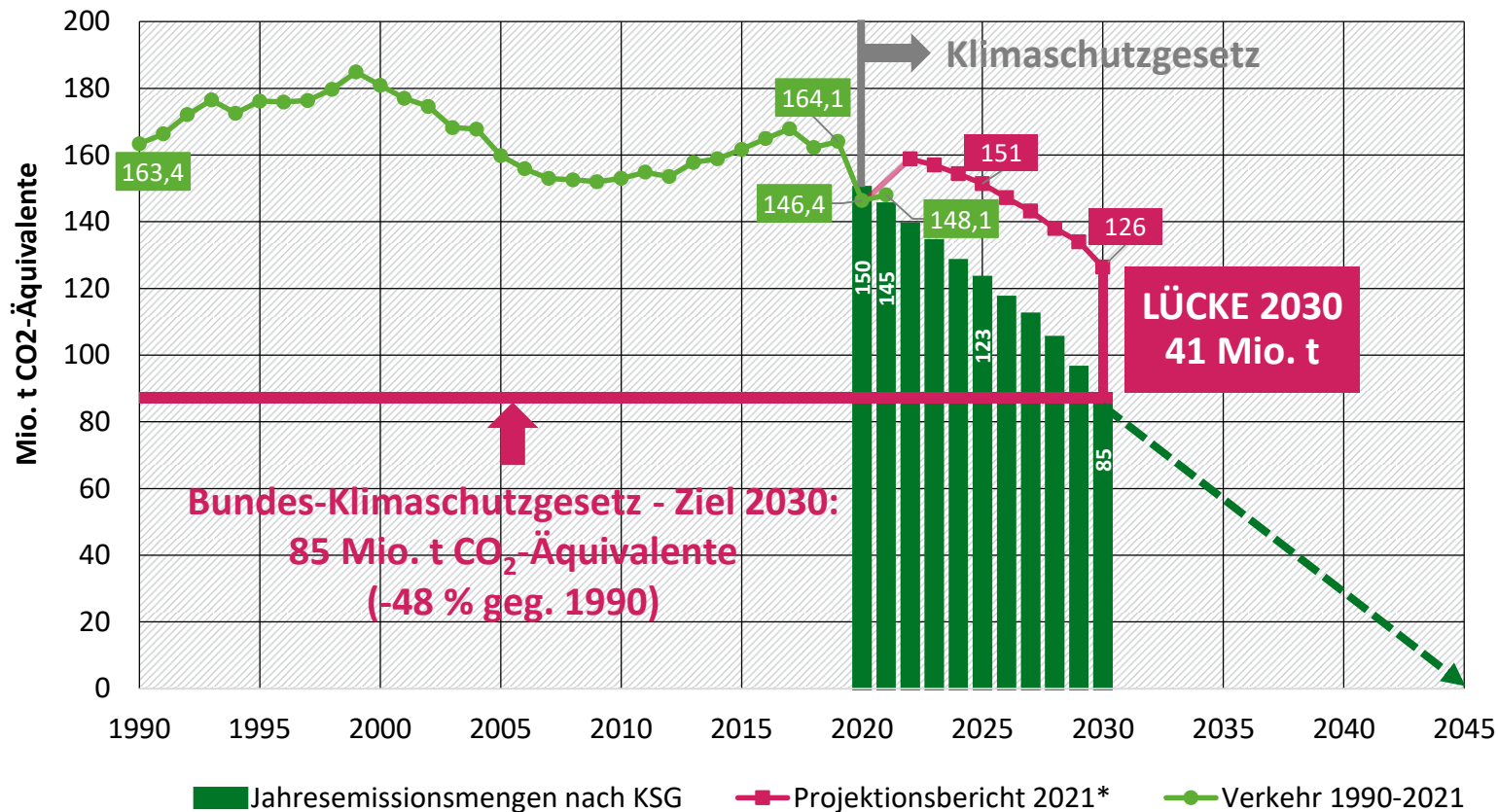


Optionen zur Energiewende im Verkehr und Bewertung



Wichtige nationale und EU-Instrumente

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



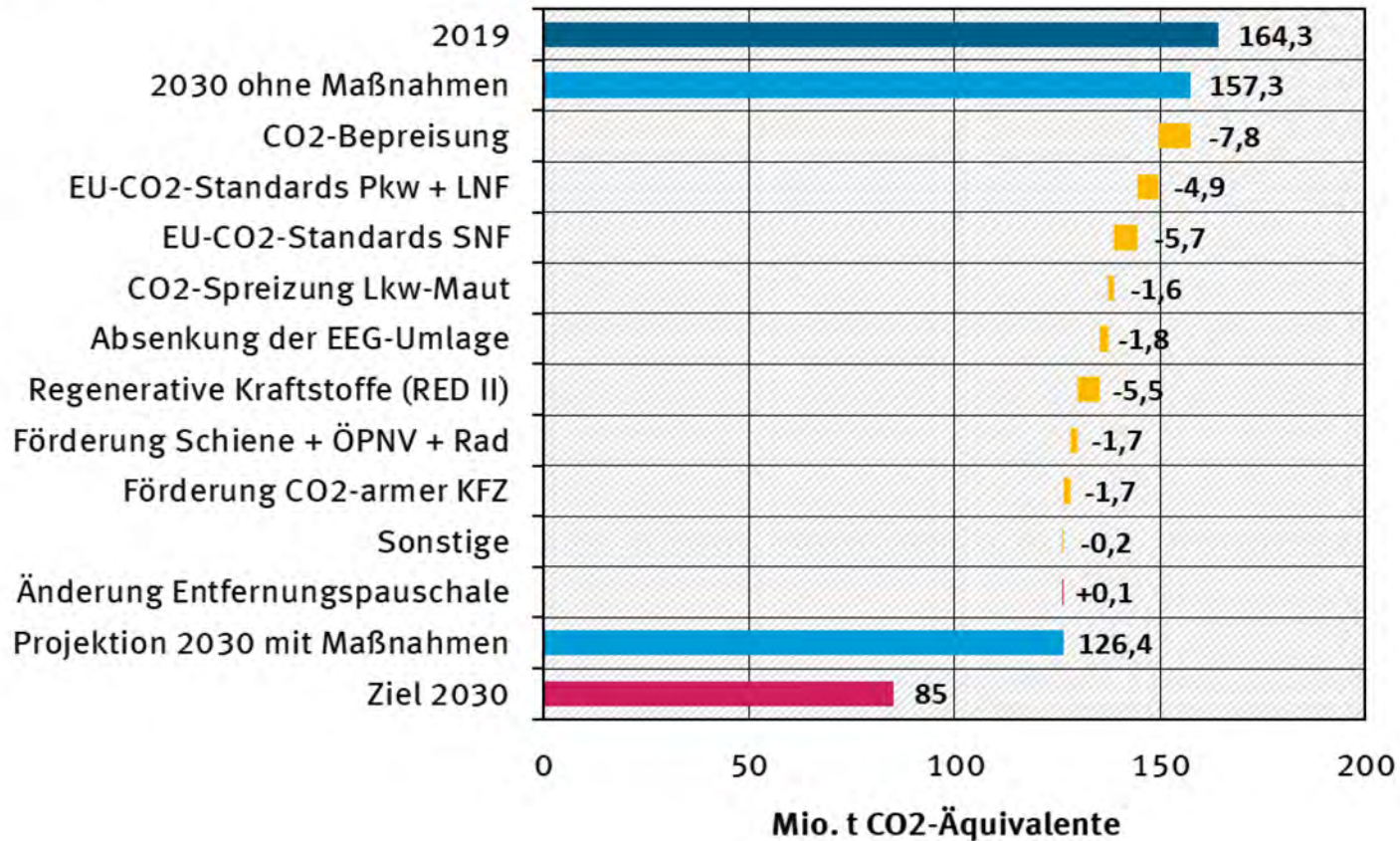
* Berechnete Werte des „Projektionsbericht 2021“ (rote Linie, basierend auf Daten mit Stand August 2020) weichen für die Jahre 2020 und 2021 von den später veröffentlichten offiziellen IST-Werten (grüne Linie) ab.

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

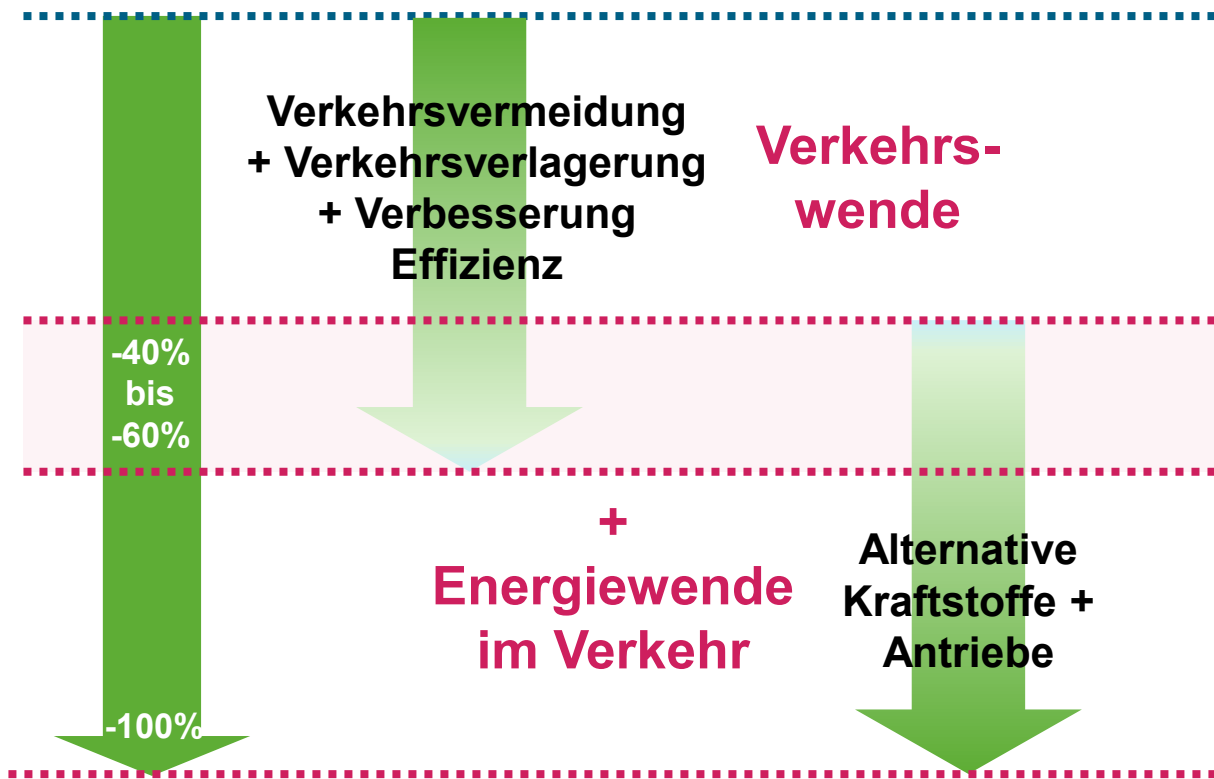
Wirkung der bisher beschlossenen Maßnahmen



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)



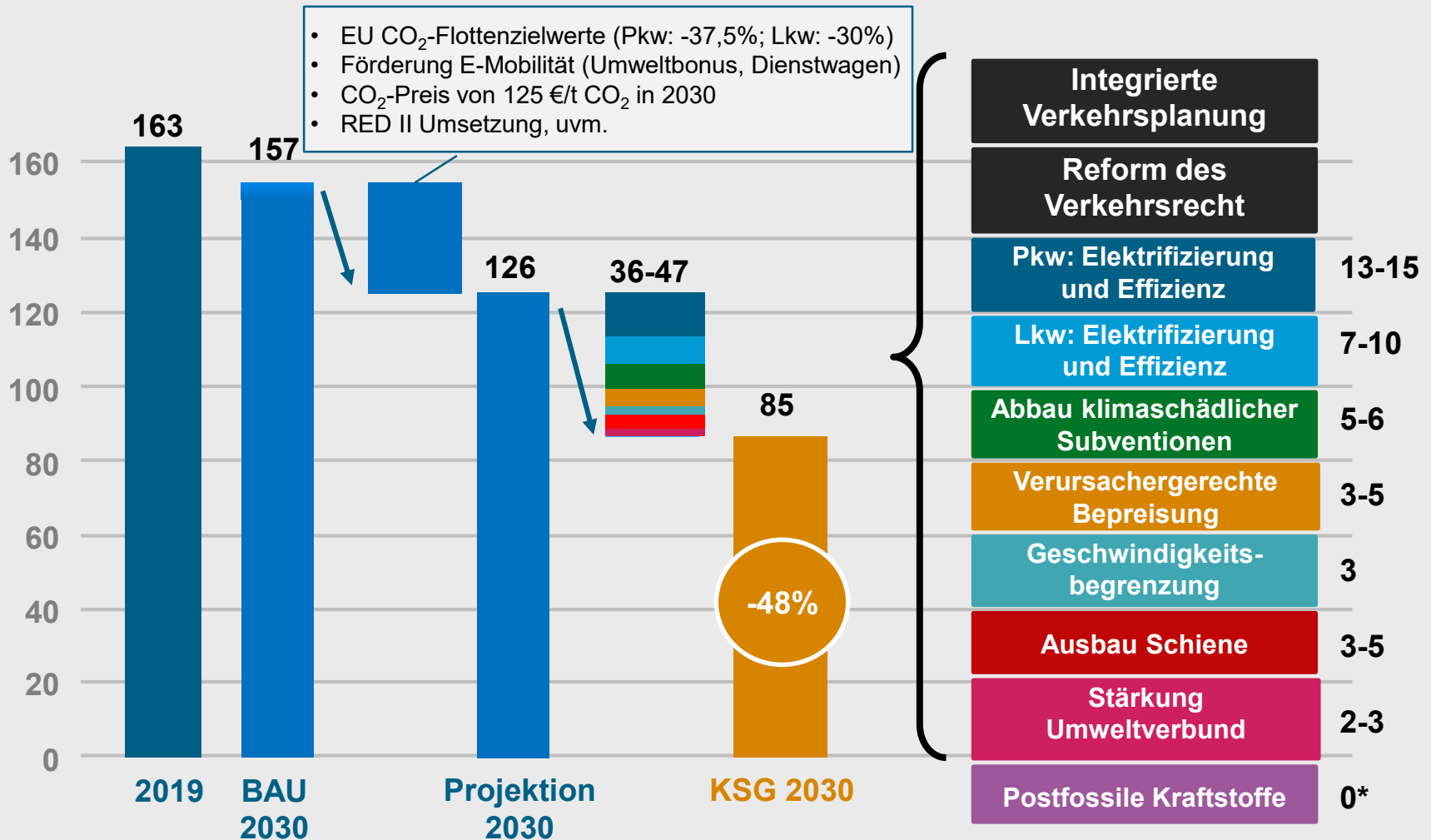
- Für anspruchsvolle Klimaschutzziele im Verkehr müssen eine Verkehrswende und eine Energiewende Hand-in-Hand gehen.
- Eine Energiewende wird umso teurer, je mehr Energie der Transportsektor benötigt.

Quellen: Darstellung des UBA.

Bausteine zur Erreichung ambitionierter Klimaschutzziele im Verkehr bis 2030



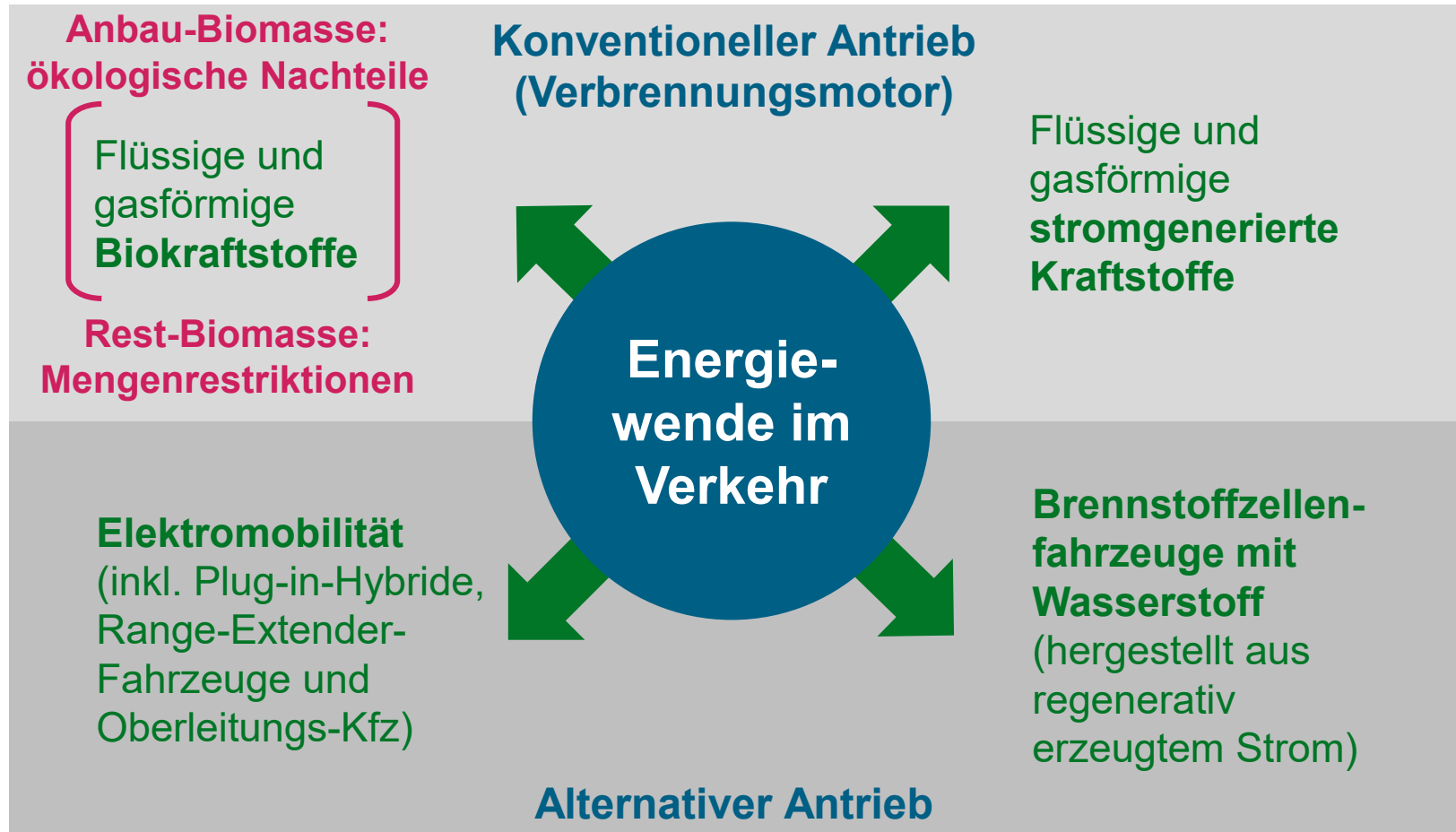
Treibhausgasemissionen des Verkehrs in Mio. t CO₂-Äquivalente:



* Keine zusätzlichen Minderungen zu den bereits in Projektion berücksichtigten

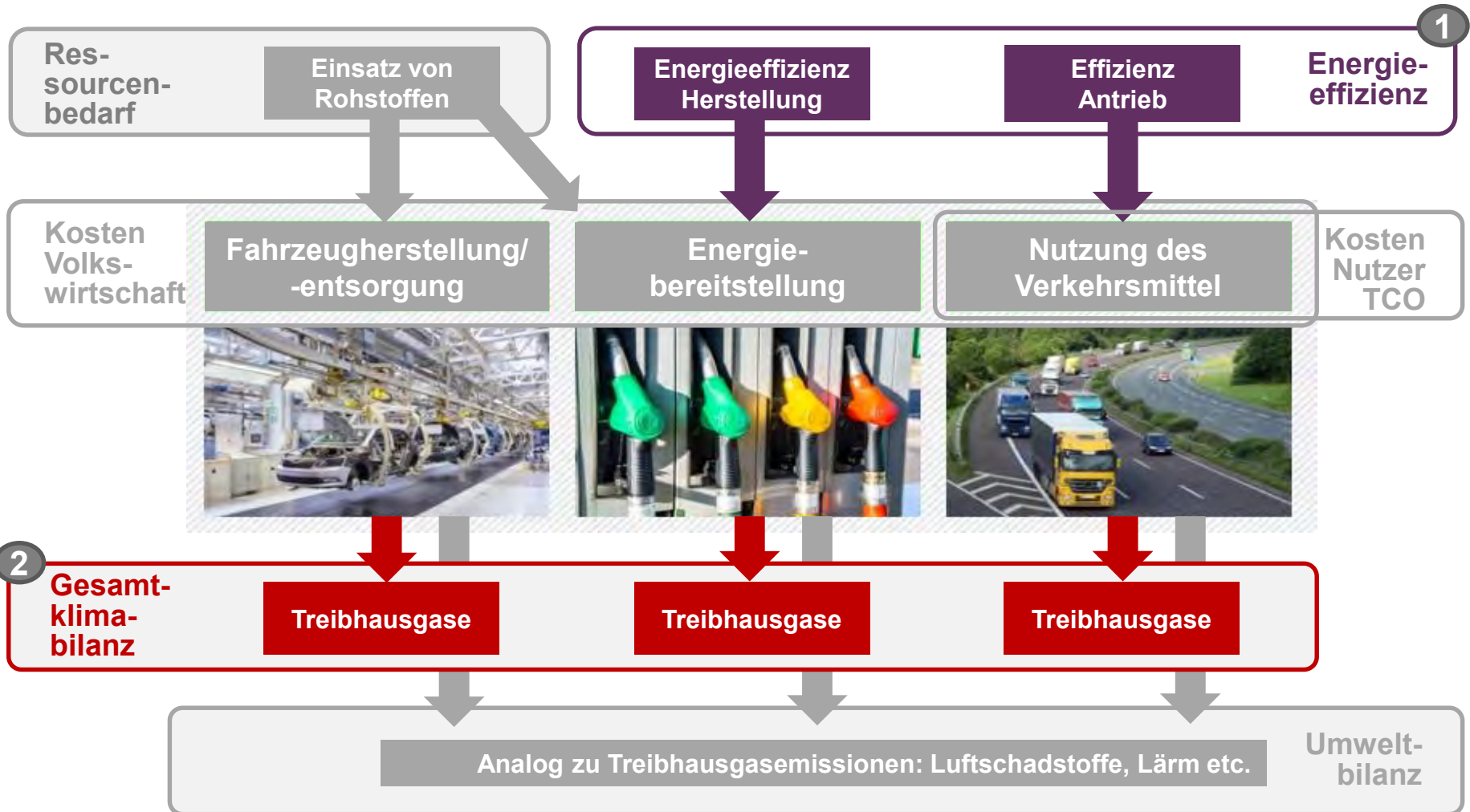
Drei

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



Quelle: Darstellung INFRAS (Ergänzungen UBA).

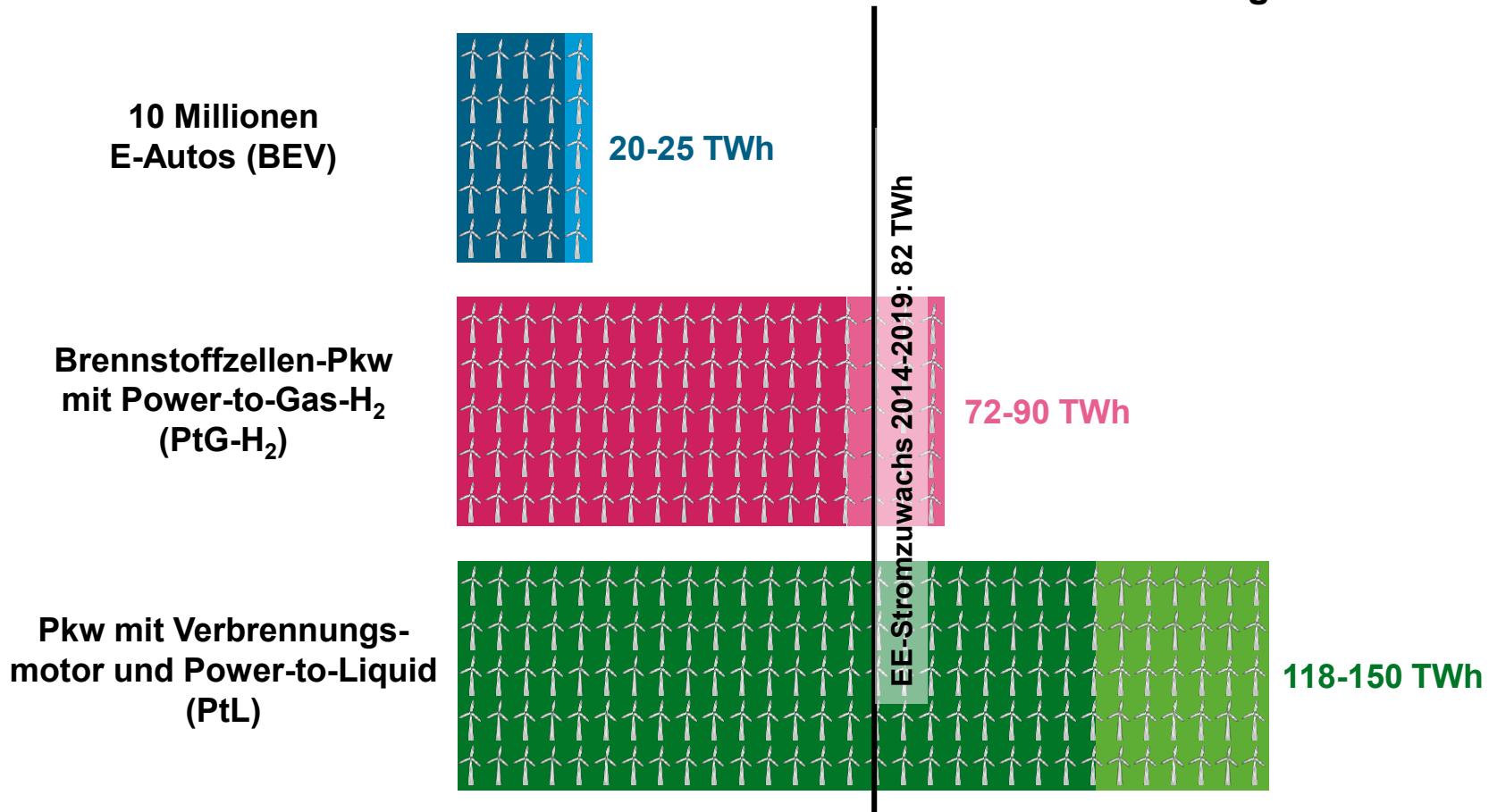
Ganzheitliche Bilanzen von Antrieben und Kraftstoffen berücksichtigen Energieeffizienz, Klima-/Umweltfolgen sowie Kosten



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.

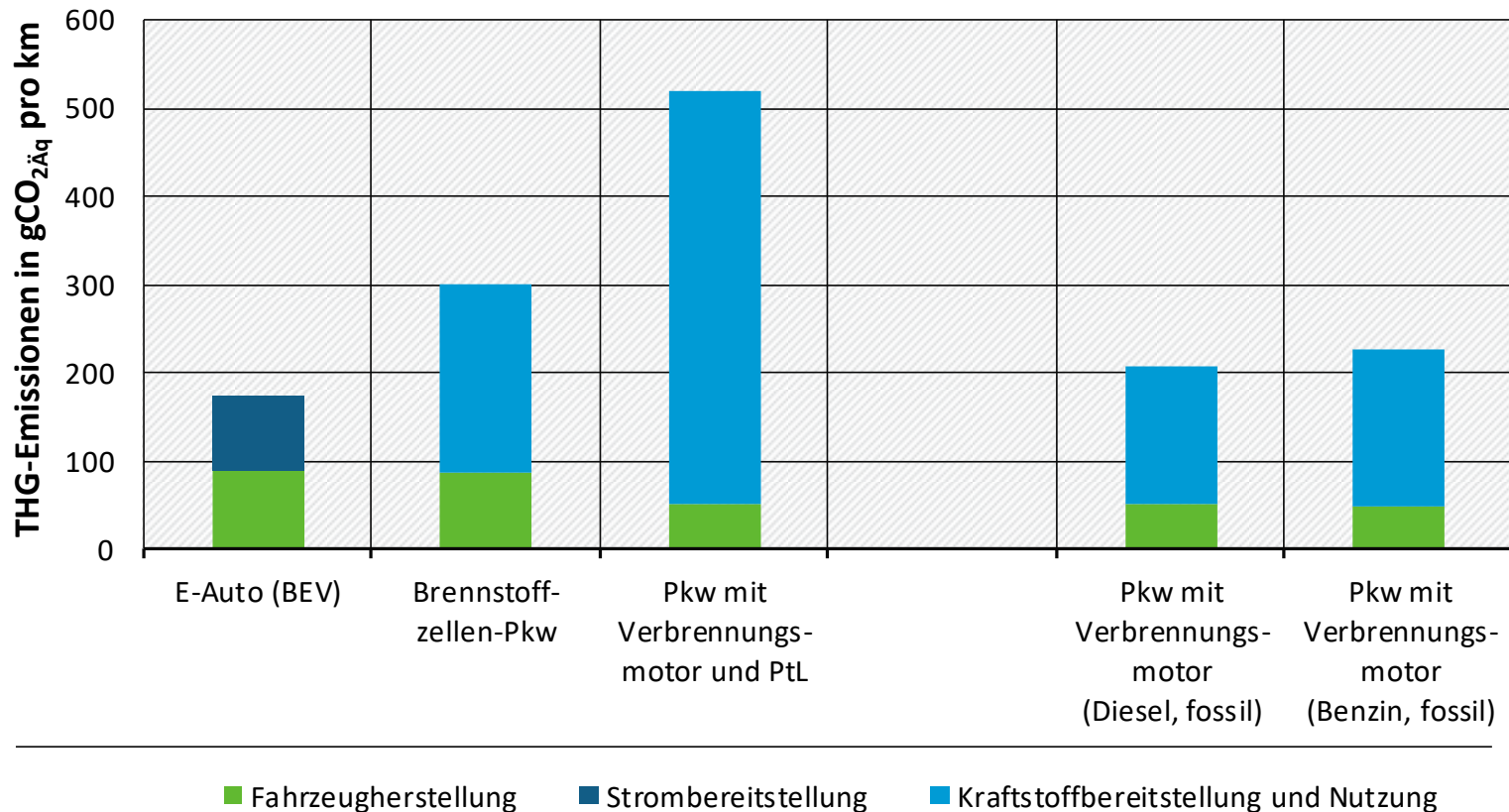


* Hier vereinfacht nur Windstrom dargestellt.

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

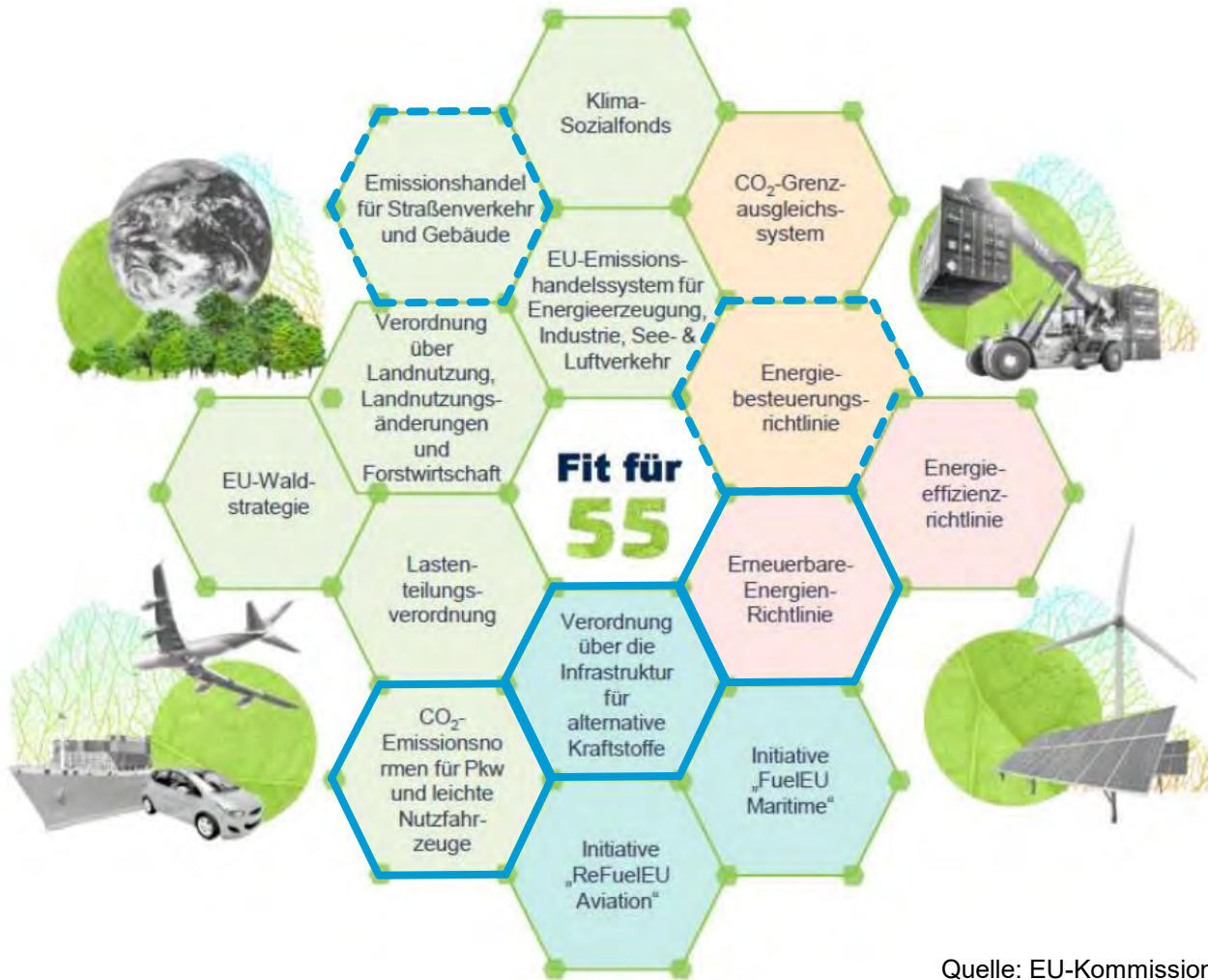
Klimabilanz Pkw: E-Mobilität hat bereits heute einen Vorteil gegenüber anderen alternativen Antrieben und Kraftstoffen

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

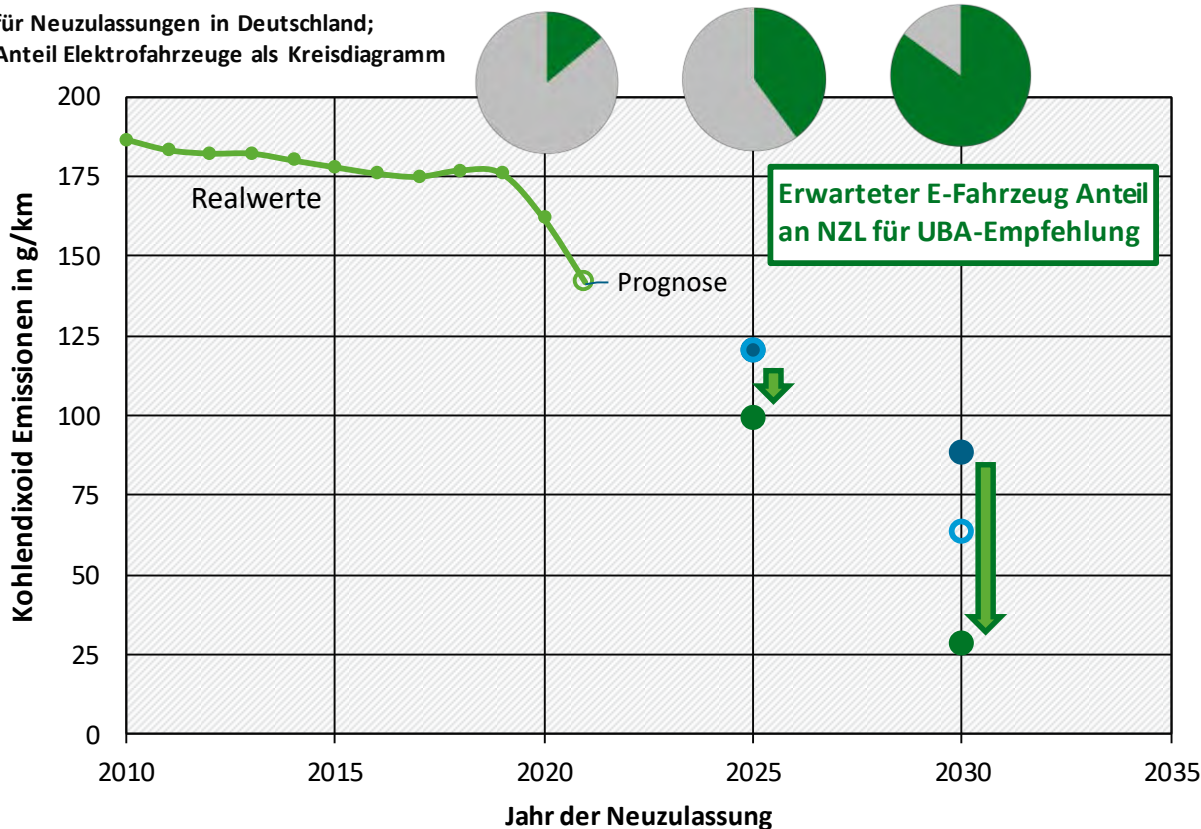
- Effizienz von Verbrennern & insbes. der E-Fahrzeug-Anteil werden von EU-Vorgaben zur Effizienz bestimmt
- Deren Verschärfung stellt sicher, dass:
 - bis 2030 das BReg-Ziel von 15 Mio. vollelektrischen E-Fahrzeugen erreicht werden kann
 - die Minderungslücke im Klimaschutzgesetz (KSG) durch techn. Maßnahmen 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

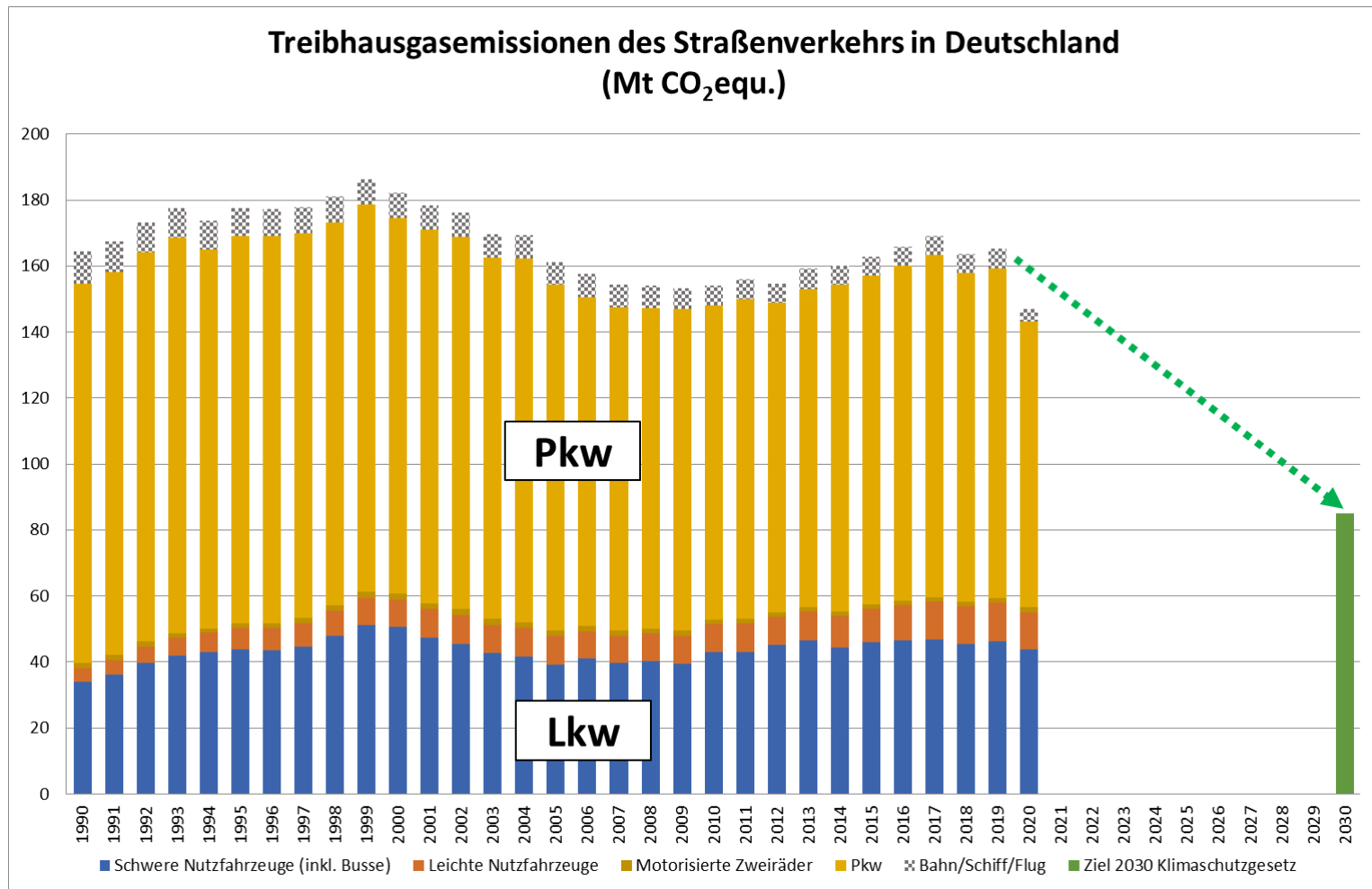
Energieeffizienter Verkehr:

- 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

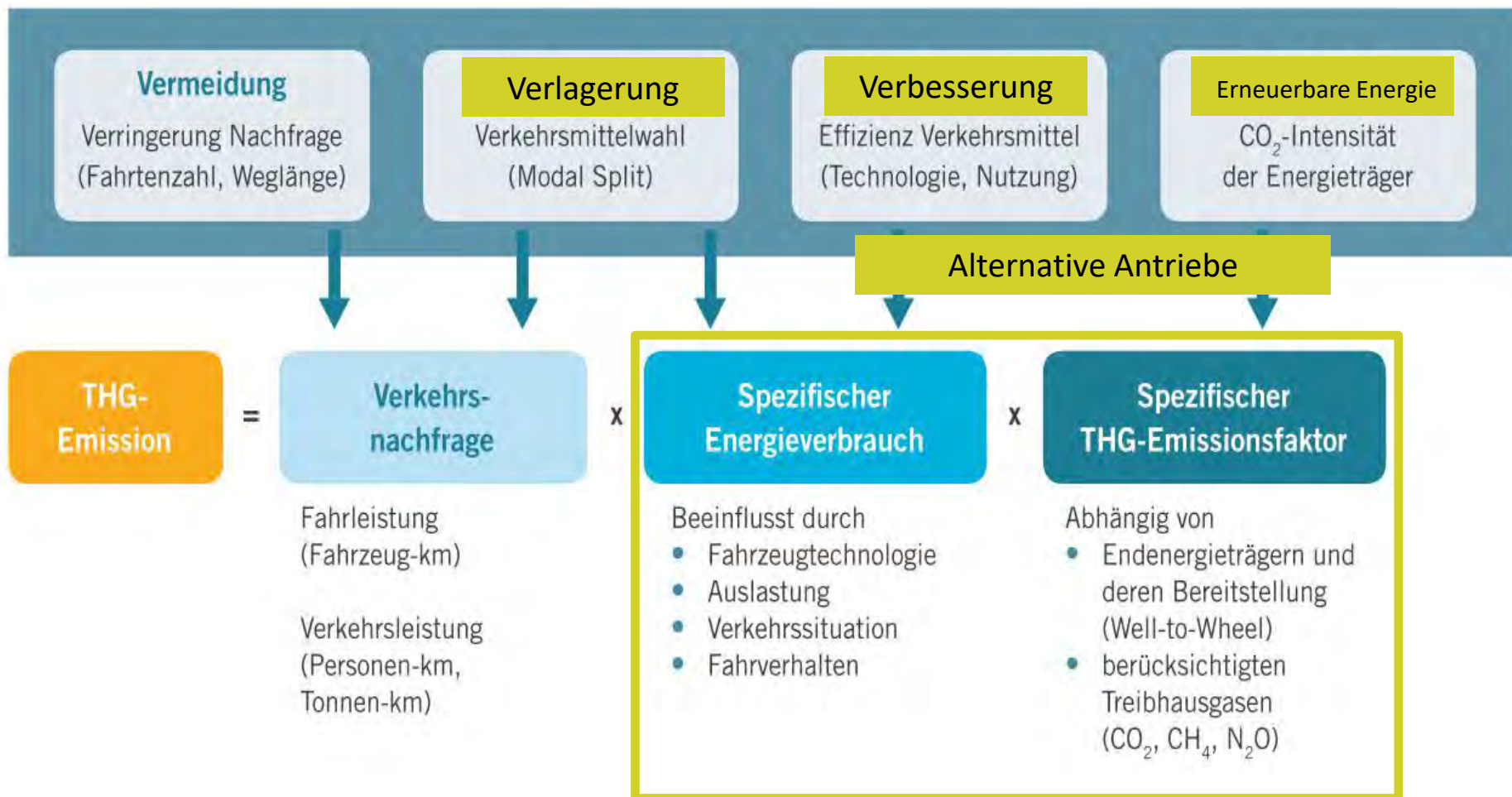
- dazu neben Effizienzverbesserung der Einsatz von alternativen Energieträgern (möglichst CO₂-frei – erneuerbare Energie)
- dazu werden tlws. „**alternative“ Antriebe**

Bisher geringe Reduktion der THG-Emissionen Ziele Klimaschutzgesetz erfordern Minderungen

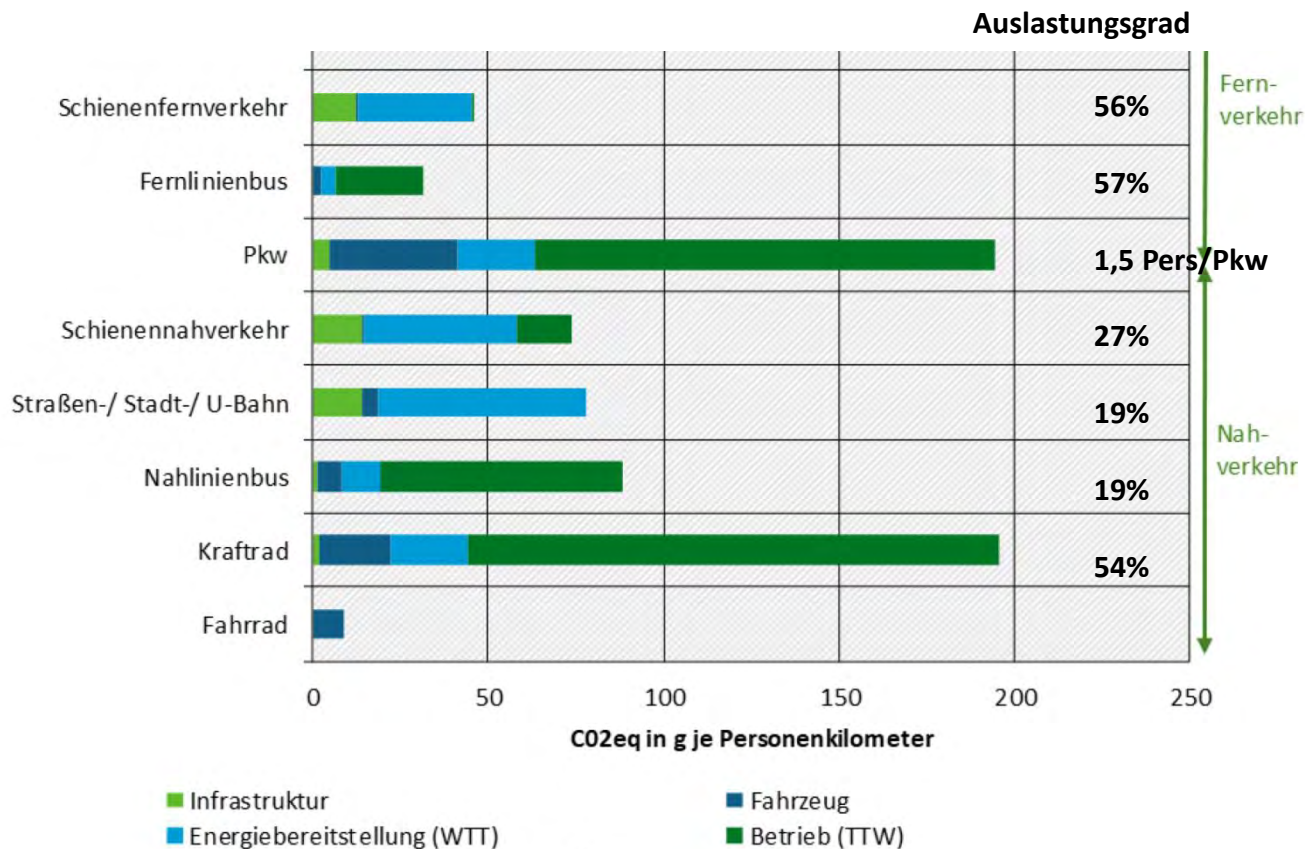


Ansatzpunkte zur Minderung des Energieverbrauchs sowie THG-Emissionen im Verkehr

Strategien für einen klimafreundlichen Verkehr



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



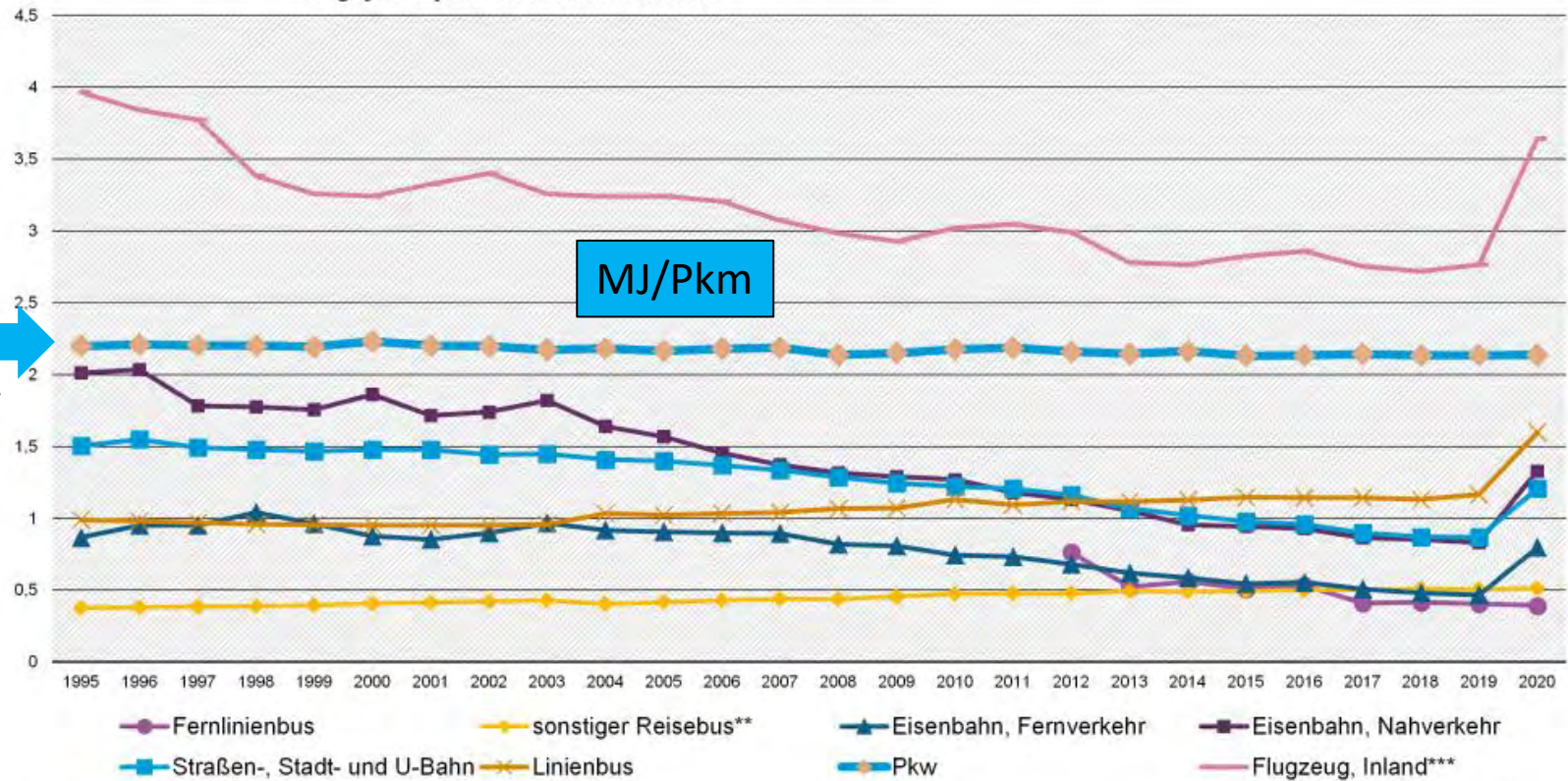
Quelle: eigene Berechnungen

Entwicklung spezifischer Energieverbrauch Keine Verbesserung seit 1995 bei Pkw



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

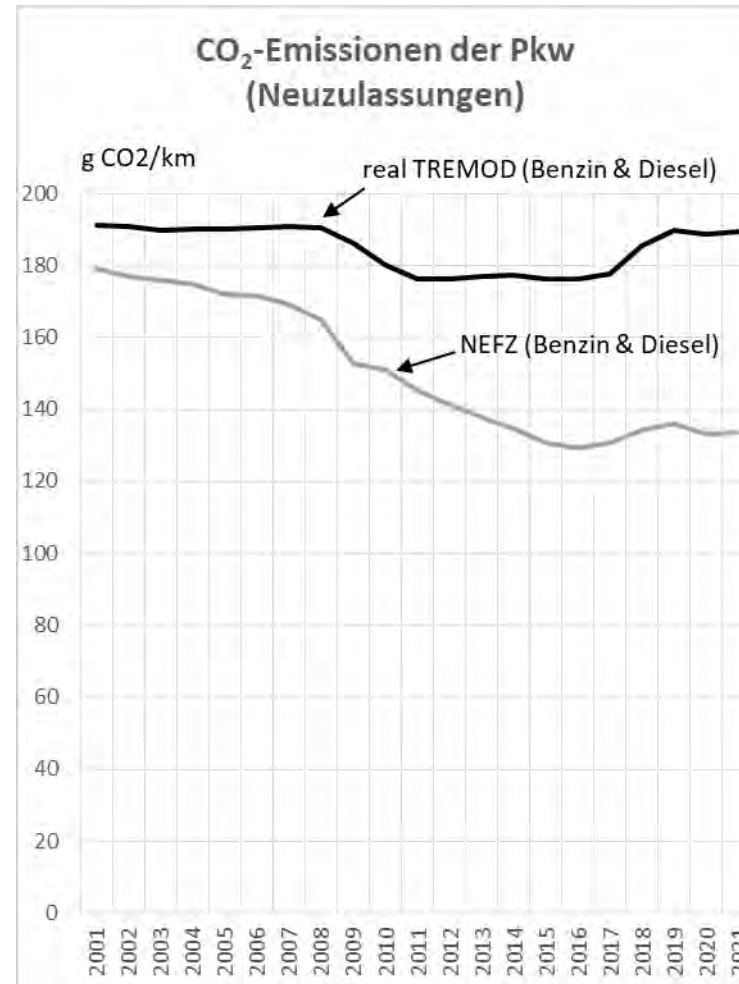
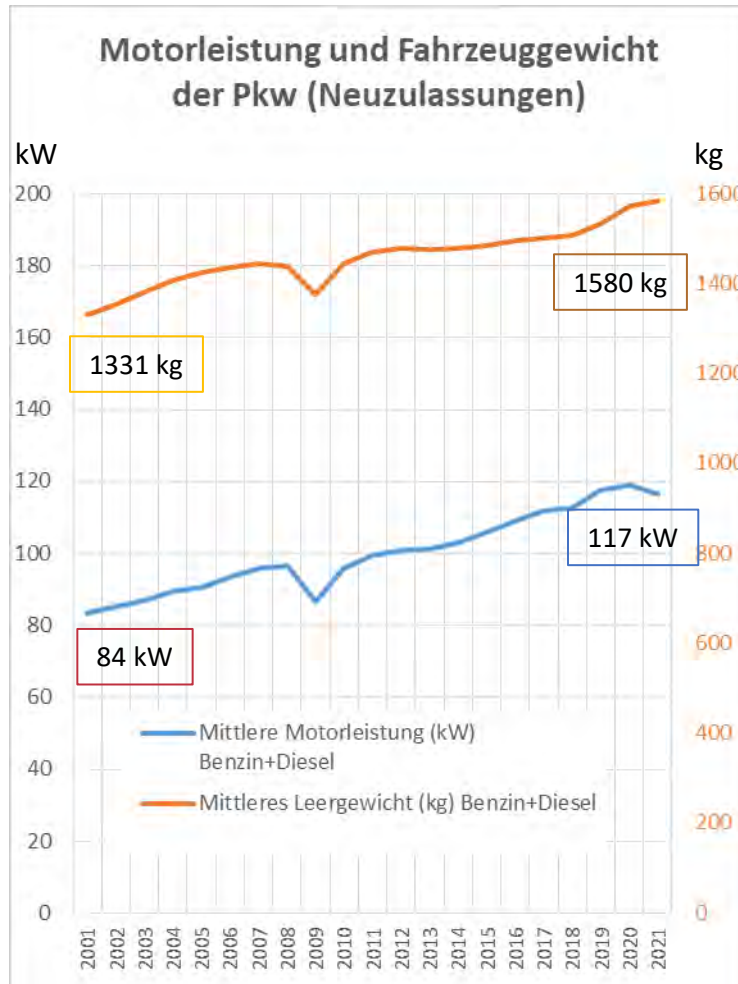
Megajoule pro Personenkilometer Diagrammtitel



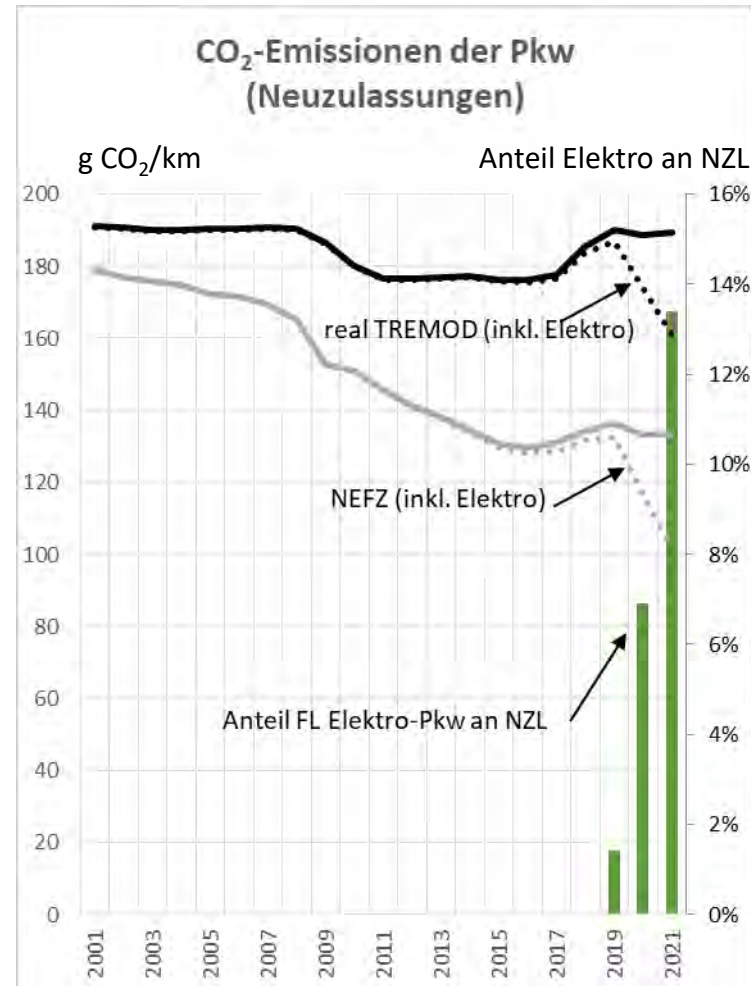
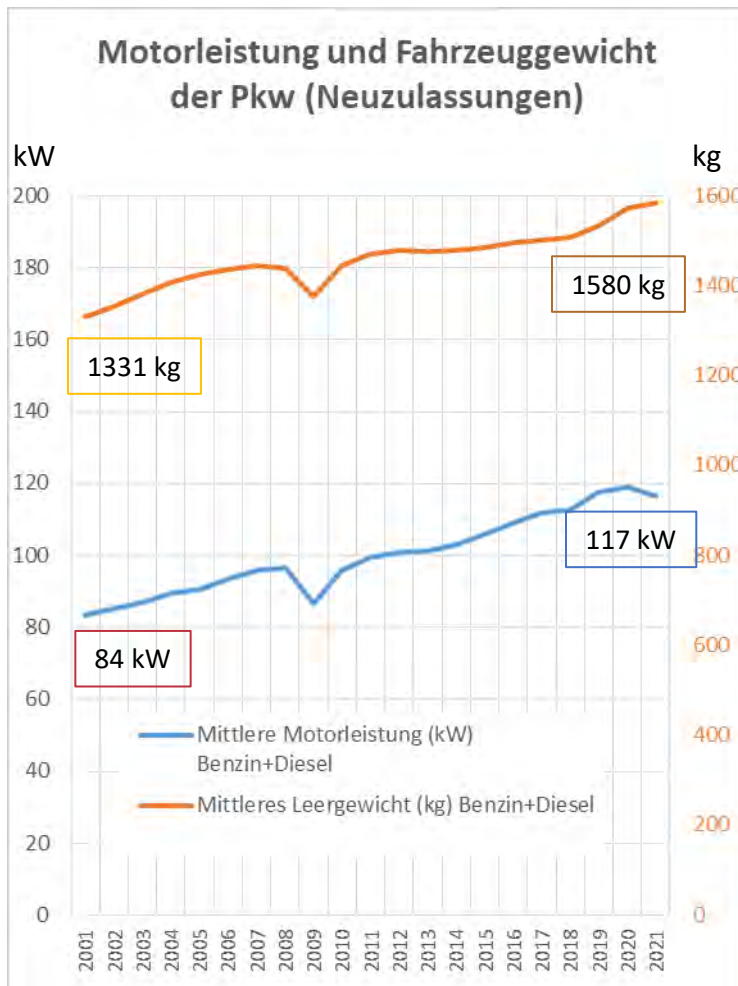
*inkl. der Emissionen aus Bereitstellung und Umwandlung der Energieträger in Strom, Benzin, Diesel, Flüssig- und Erdgas sowie Kerosin **Gruppenfahrten, Tagesfahrten (z.B. Busrundreisen, Klassenfahrten etc.), ***Flugverkehr ausgewählter Flughäfen, nur Kero

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

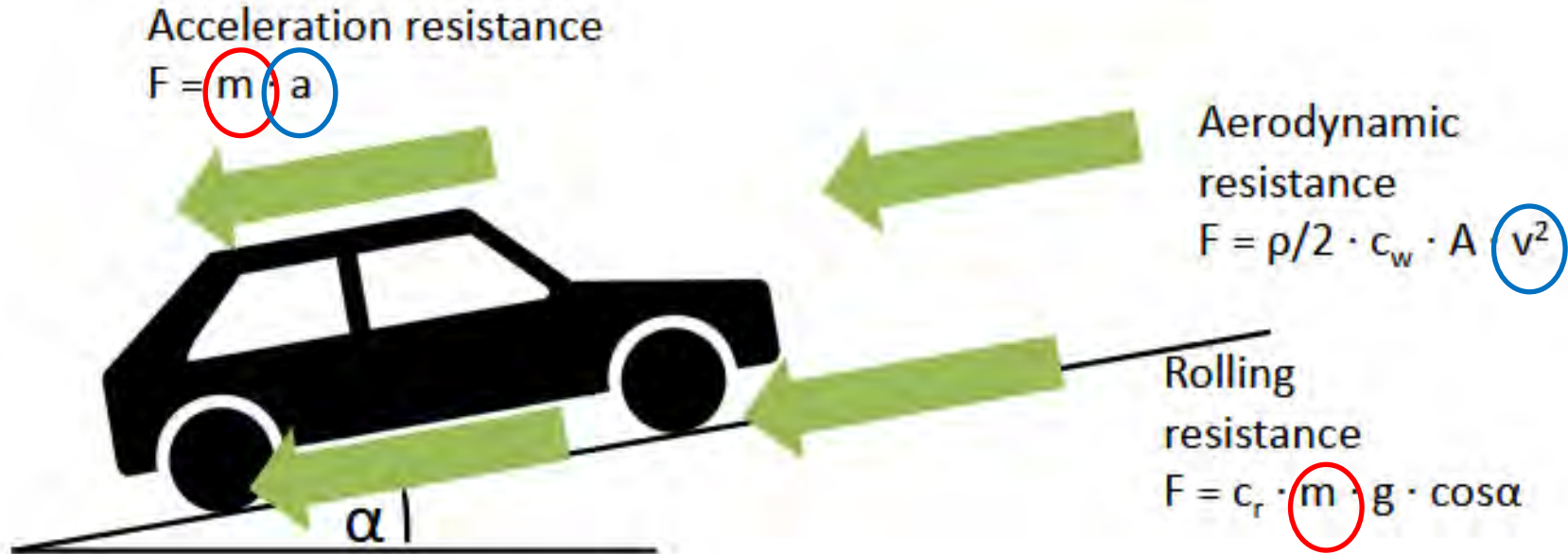
Fahrzeuggewicht und Motorleistung angestiegen. Spezifische CO₂-Emissionen (real) Verbrenner stagnieren



Elektro-Pkw führen zur Minderung der CO₂-Emissionen



Einflussparameter für Energieverbrauch Wie kann die Effizienz verbessert werden?



**Energieverbrauch
am Reifen verringern**

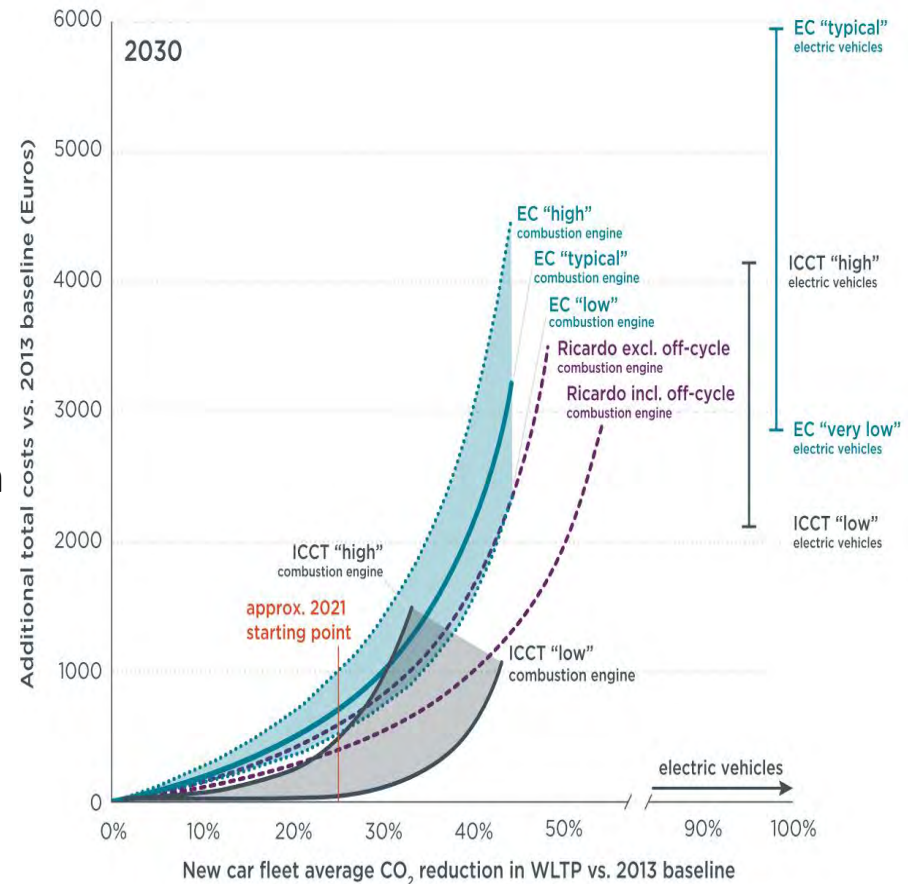
- Gewicht
- Fahrverhalten
- Rollwiderstand, Fläche, cw-Wert
- Umgebung

**effizienten
Antrieb einsetzen**

**Auslastung (Personen/Pkw)
erhöhen**

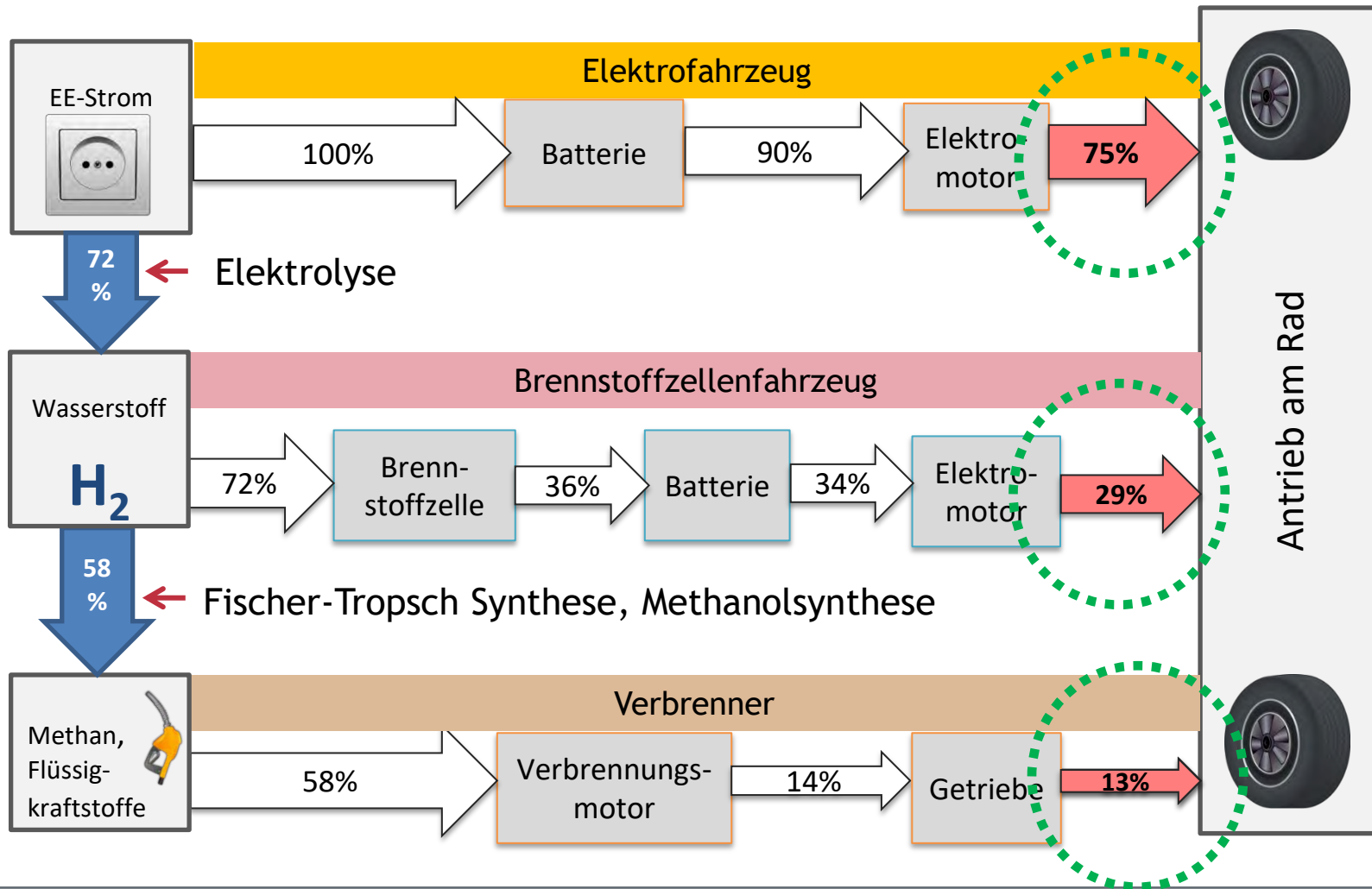
Fahrzeugmehrkosten für technische Effizienzsteigerungen

- 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!

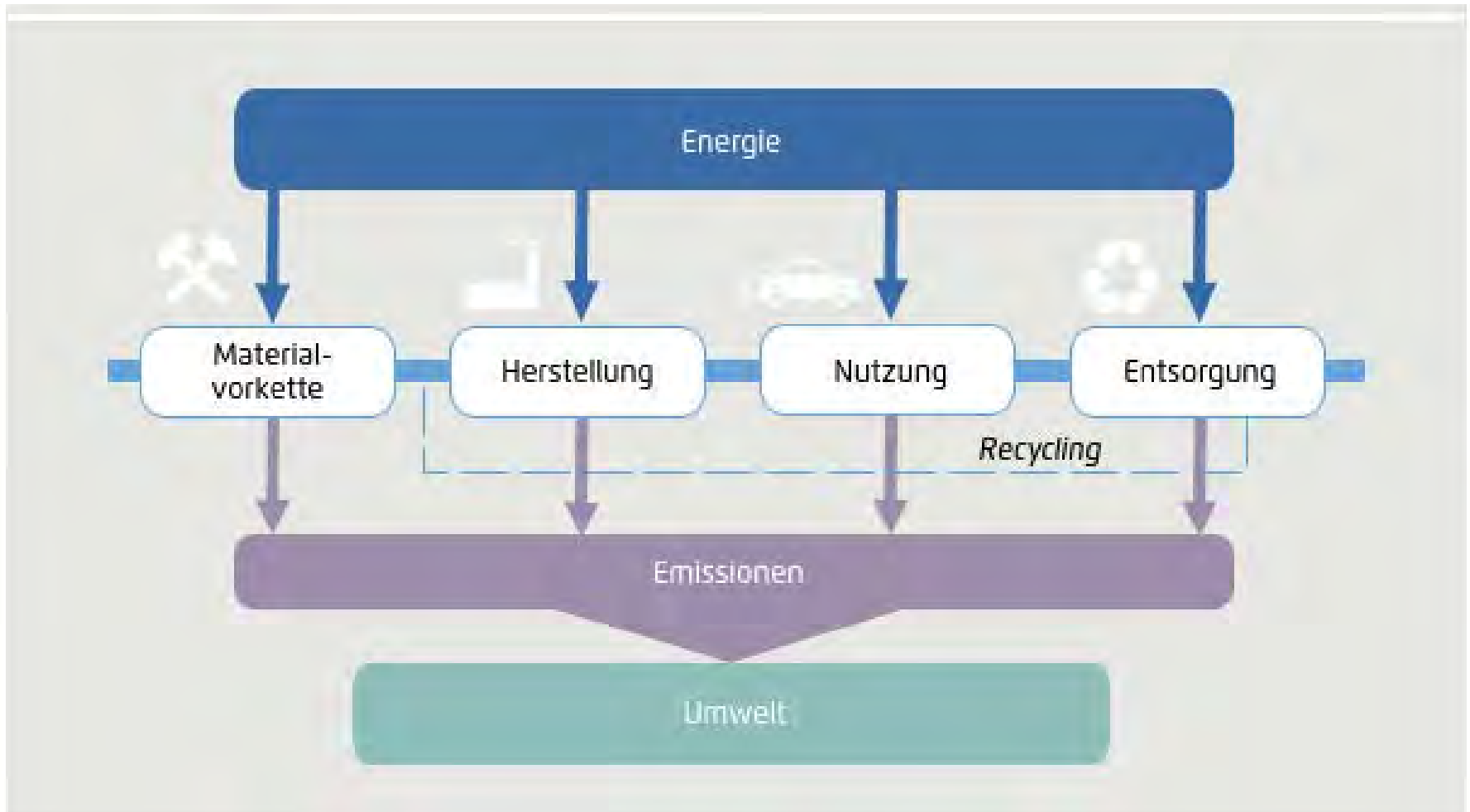
- Aktuelle synthetische Kraftstoffe haben in Deutschland einen höheren Carbon Footprint als die fossilen Kraftstoffe
- Synthetische Kraftstoffe machen nur Sinn, wenn **zusätzlicher** erneuerbarer Strom genutzt wird

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:

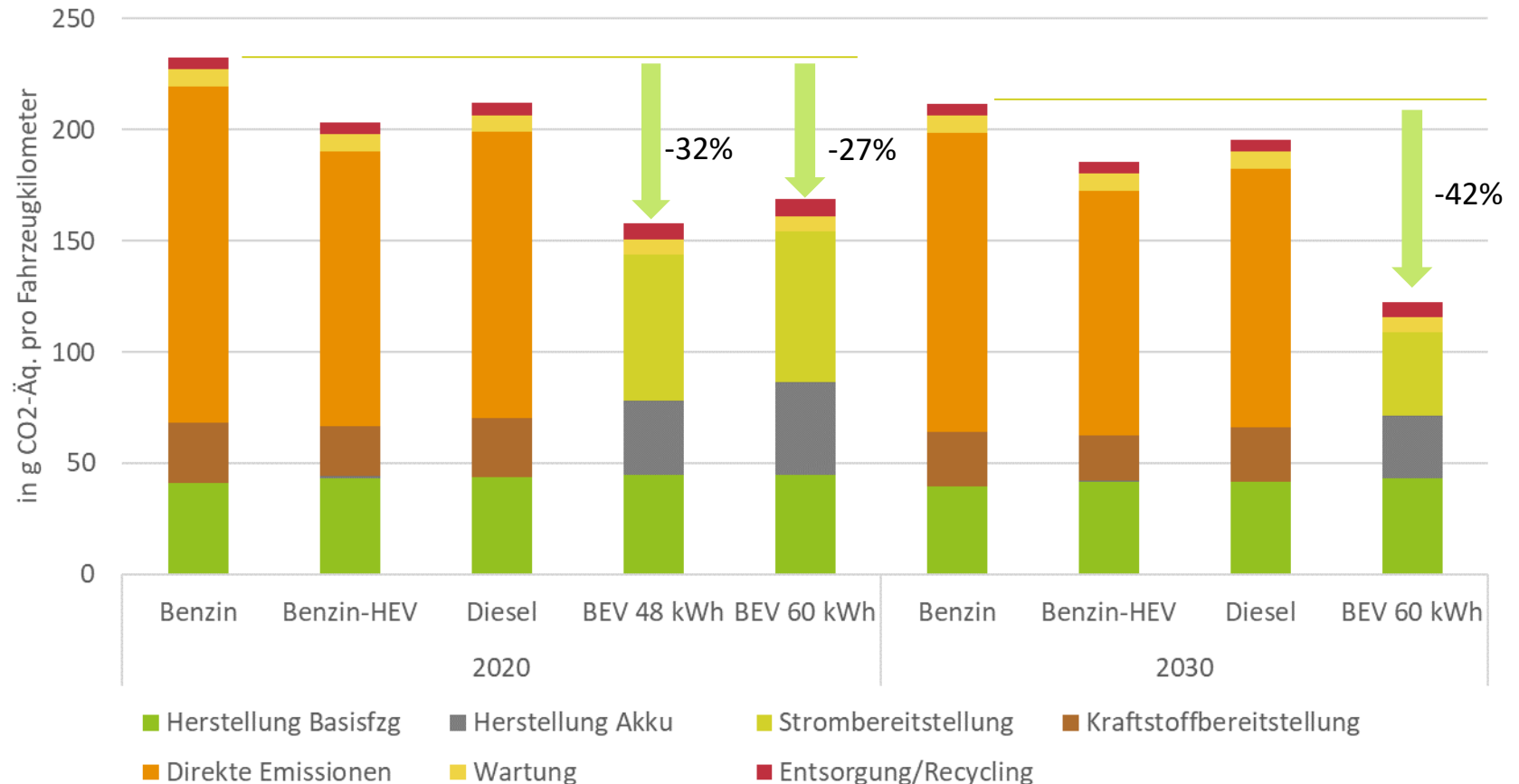
- Ladestrommix in der Nutzungsphase (Land, Eigenerzeugung)
- Spezifischer Stromverbrauch (Fahrzeug und Nutzungsmuster)
- Nutzungsintensität (Substitution von „Verbrennungs-km“)

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

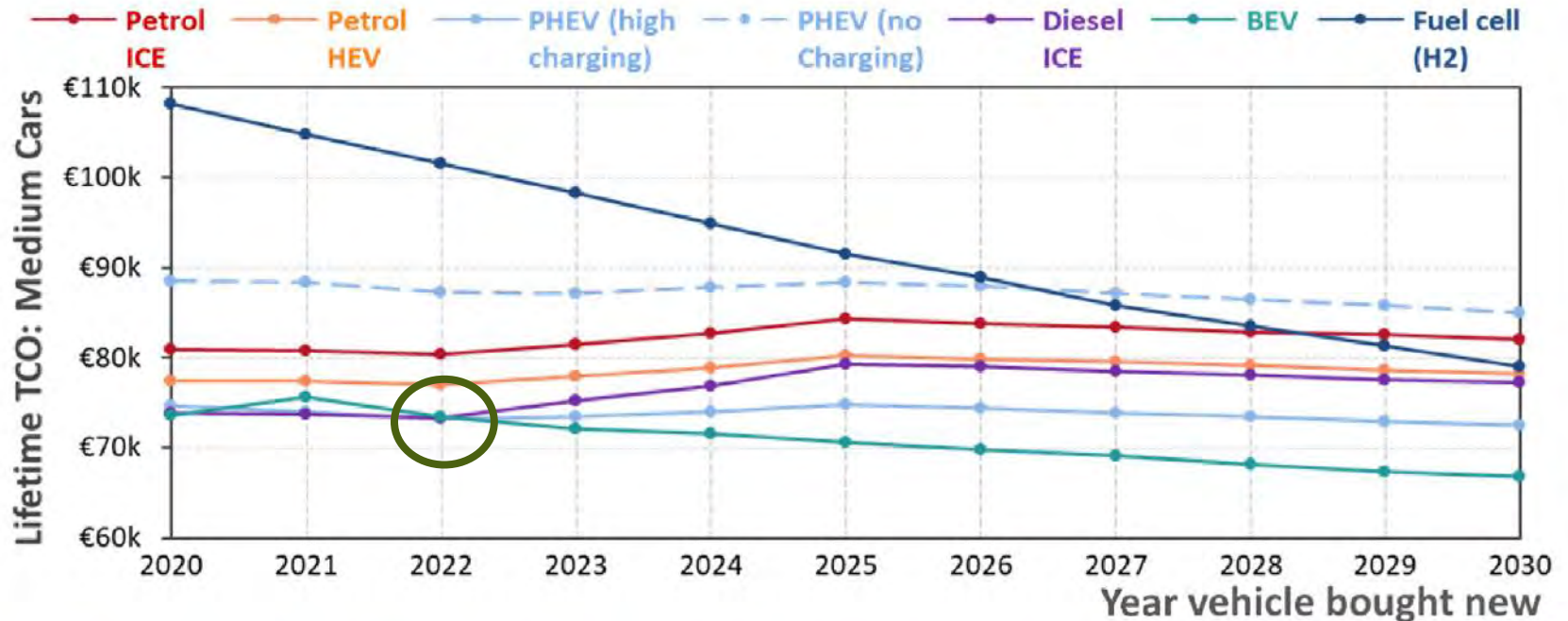


Figure 1: Lifetime TCO comparison between different powertrains for a medium car. Note that the year indicates when the car is first bought new.

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!**

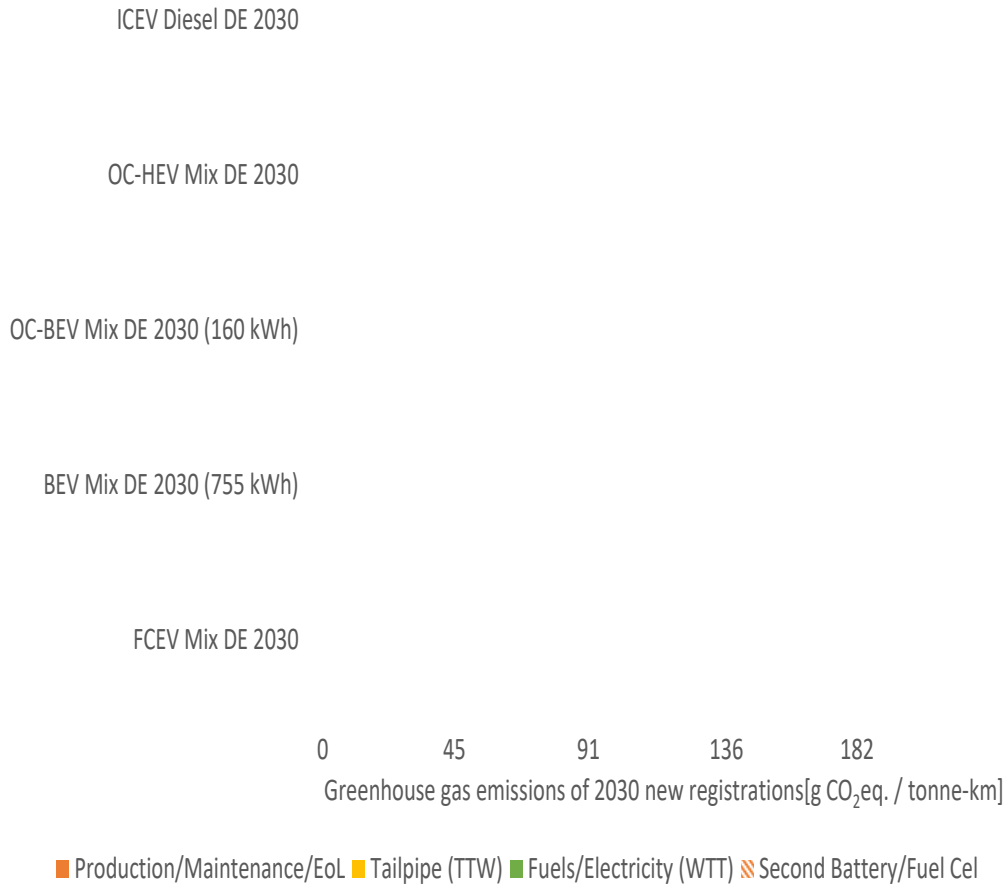
Gesamtbetrachtung LCA und Kosten Lkw

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:

- Partial electrification already with partial electrification on motorways
- Partial electrification with full electrification using catenary lines and small batteries
- Full electrification using large batteries in a pure BEV
- Full electrification using hydrogen with electrolysis from the German grid mix

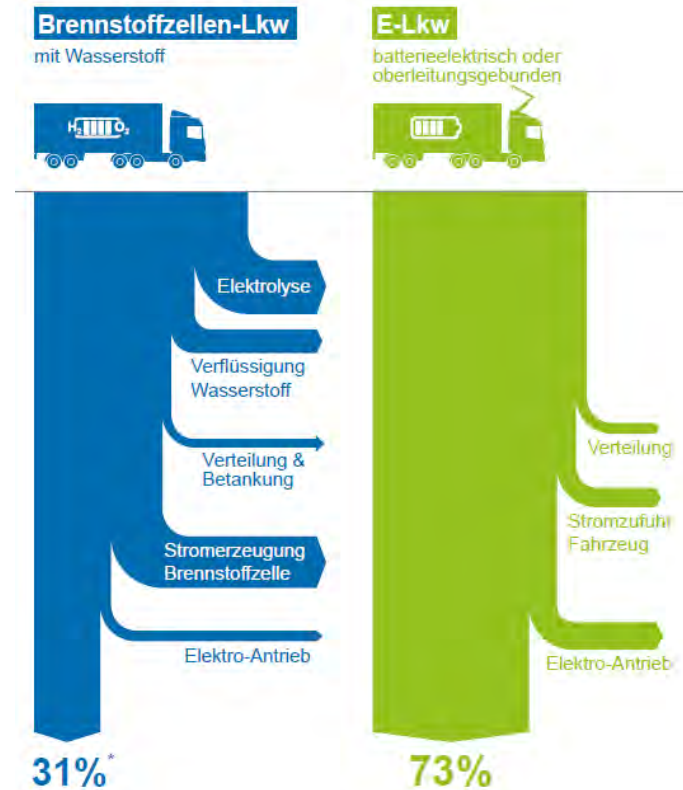
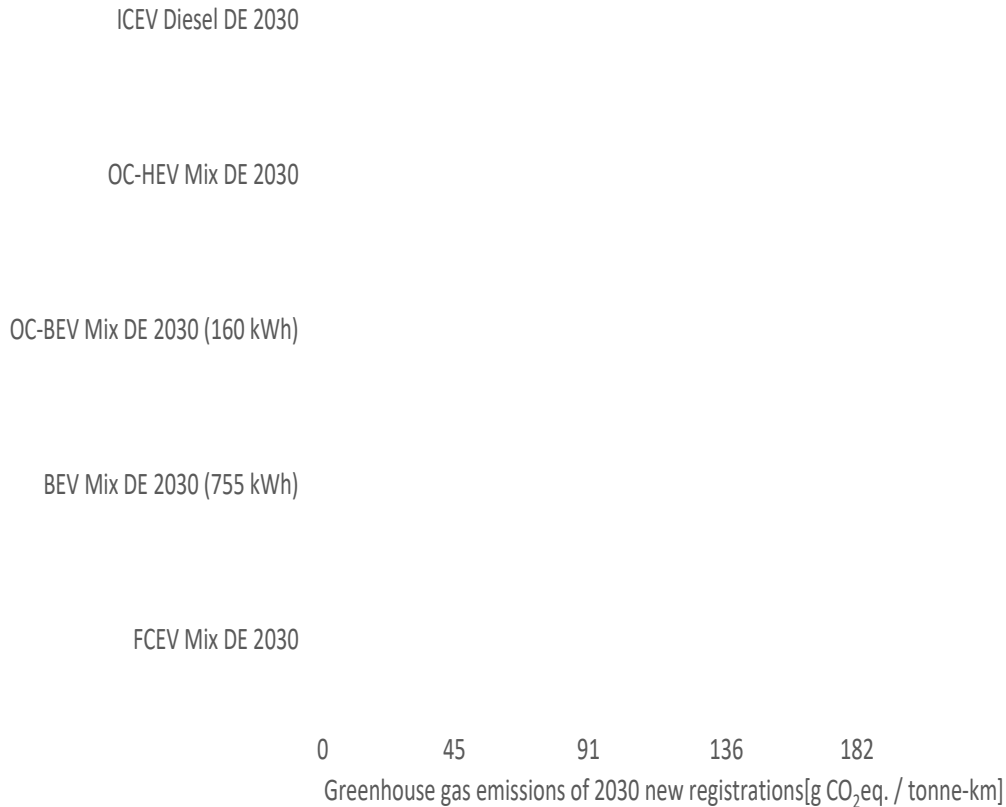
Key prerequisite is the successful ramp up to 70% by 2030

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?

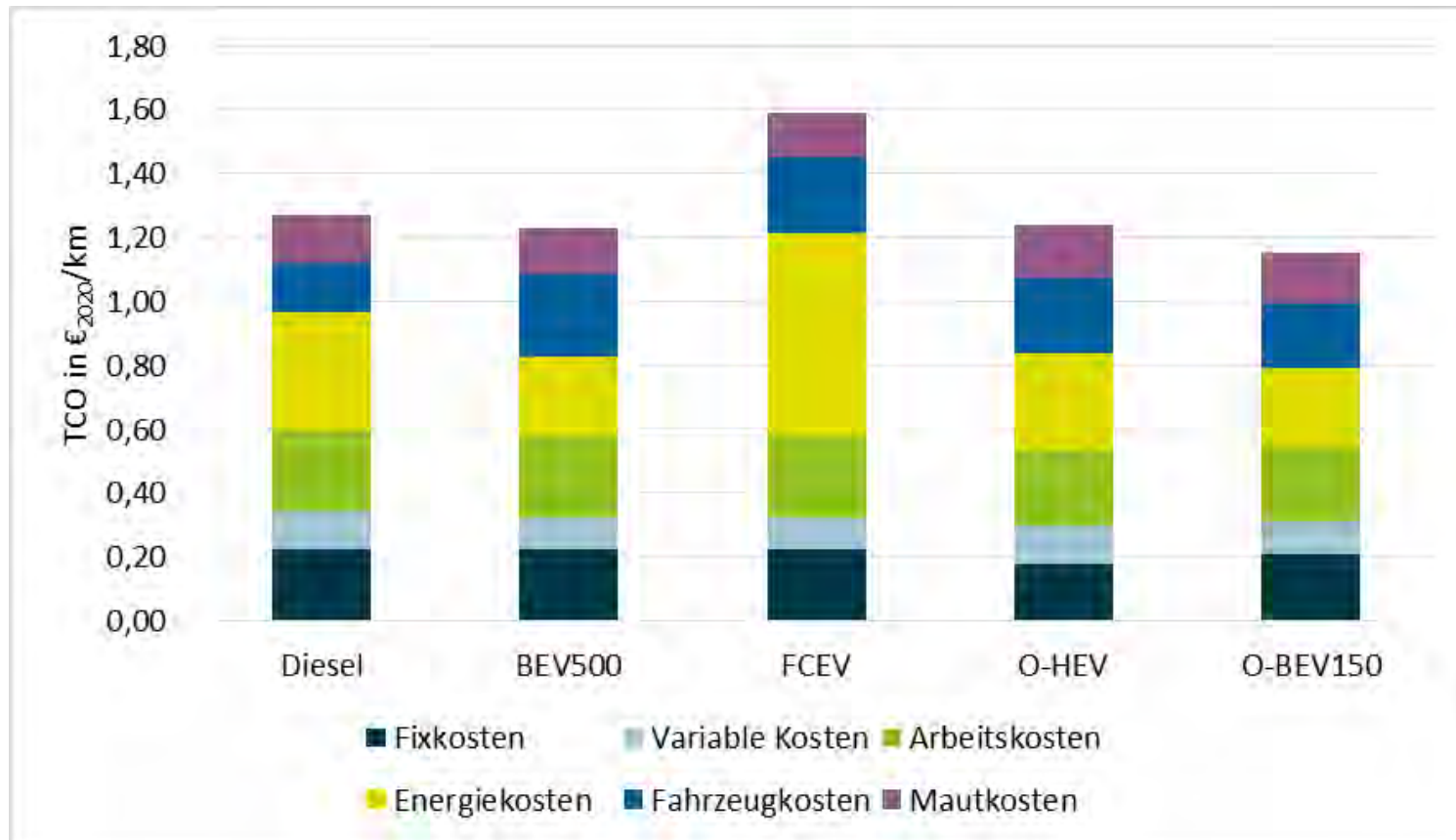


Source: ÖKO-INSTITUT 2020, CC BY-SA 2.0

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

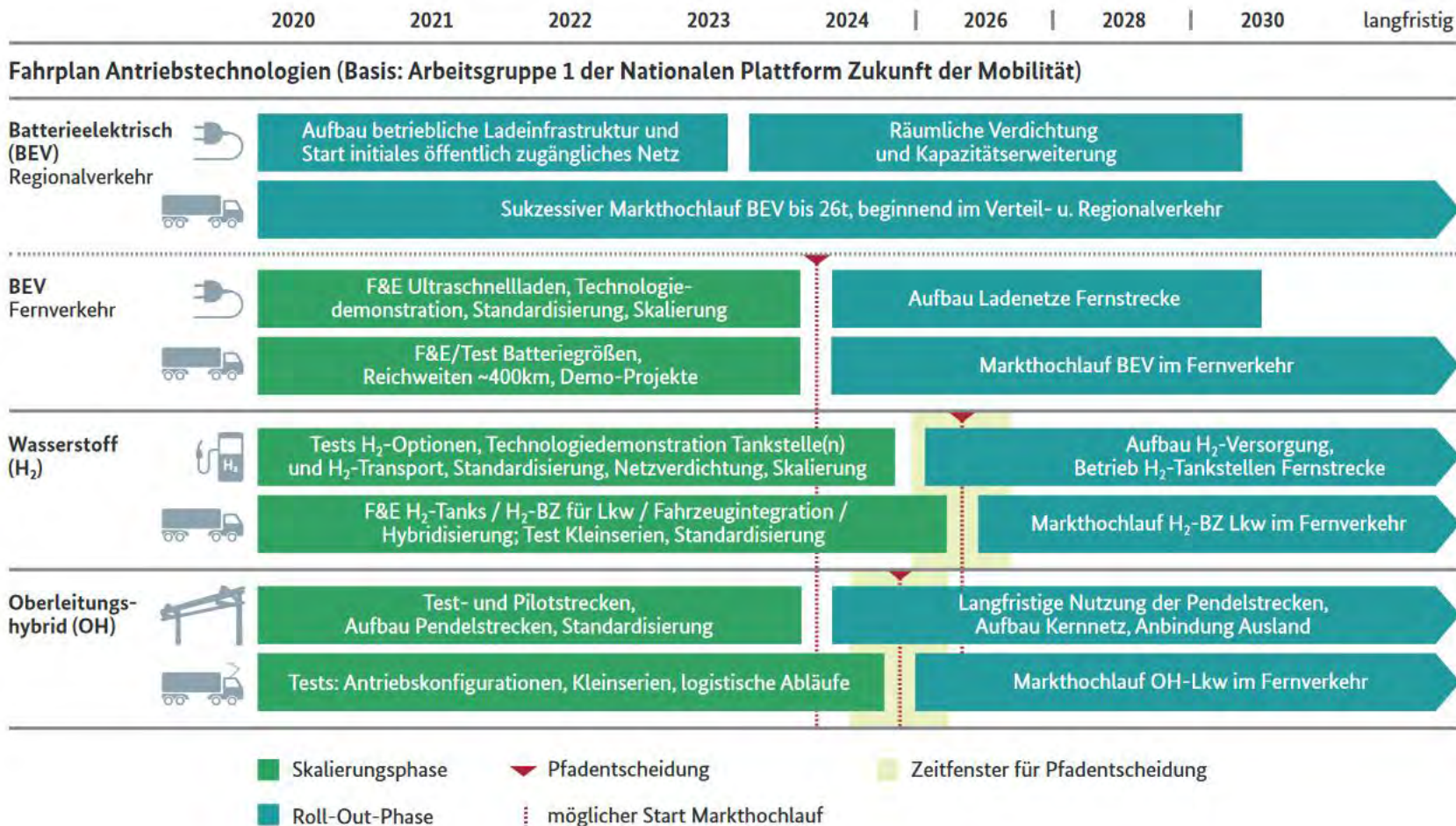
Kostenvergleich Lkw-Antriebstechnologien 2030

Kostenparität Diesel/BEV/Oberleitung



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

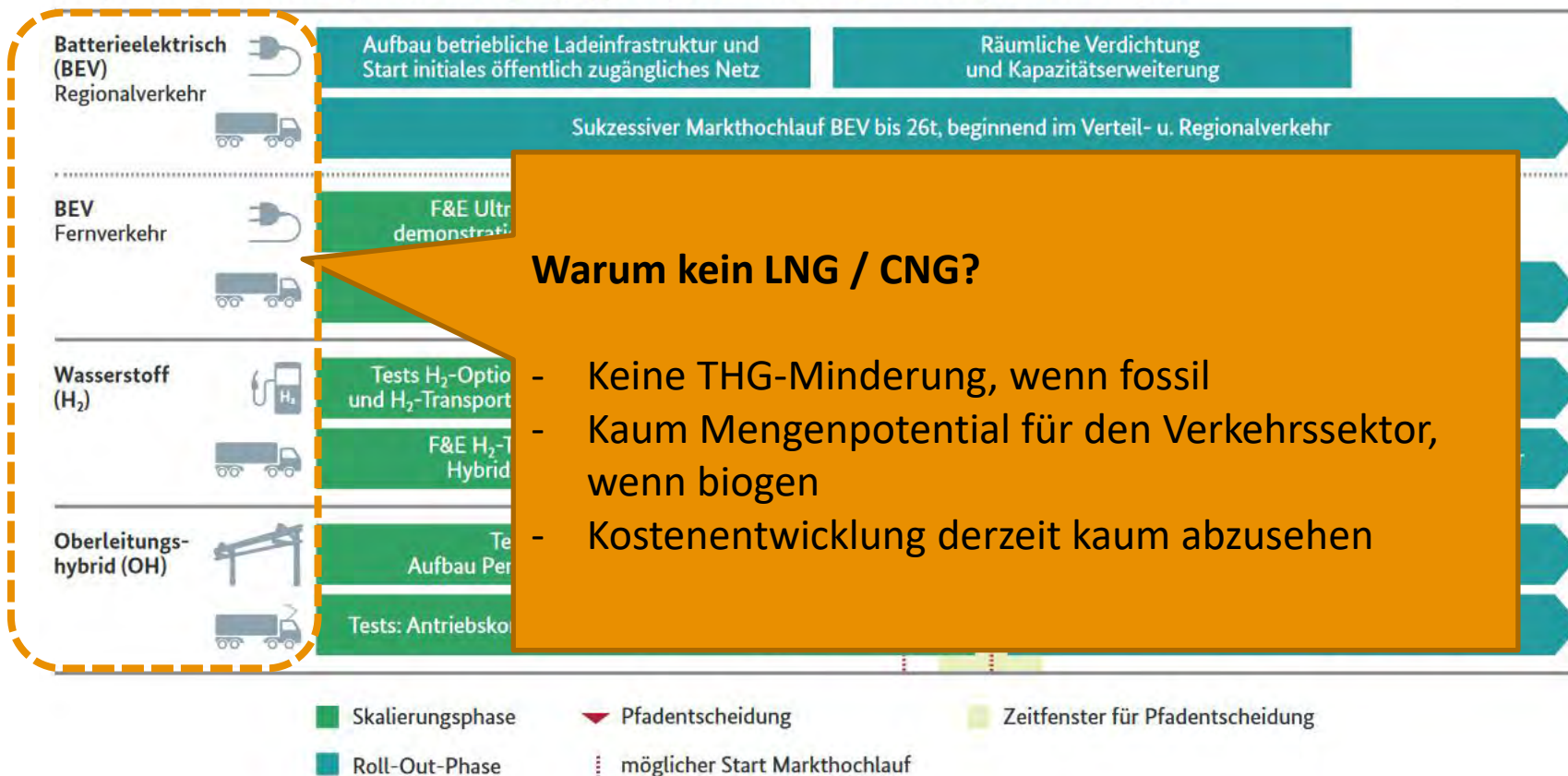
Fahrplan Lkw-Antriebswende



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)



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

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

■ 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

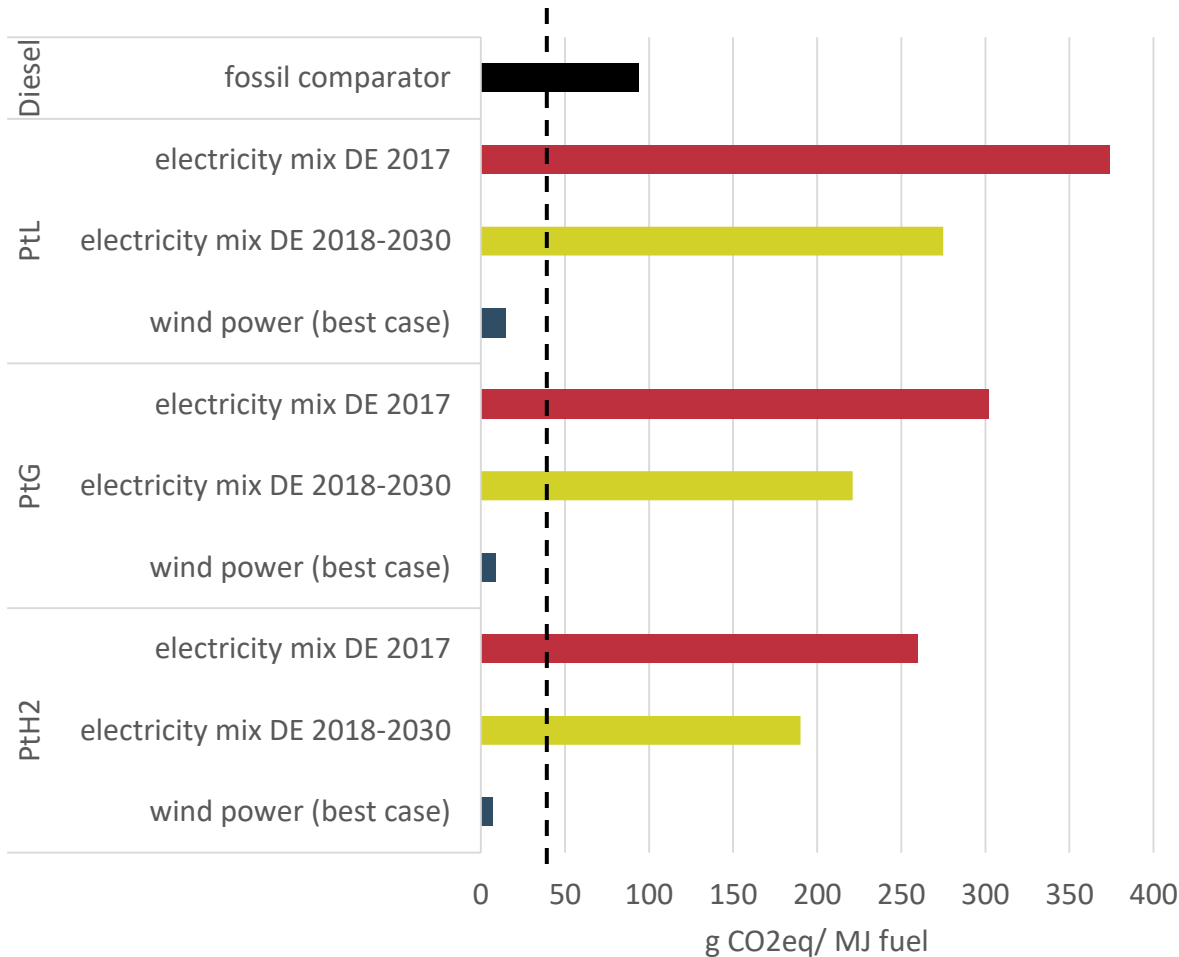
ifeu (2019a) Klimabilanz von strombasierten Antrieben und Kraftstoffen
https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2019/Klimabilanz_Batteriefahrzeugen/32_Klimabilanz_strombasierten_Antrieben_Kraftstoffen_WEB.pdf#

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

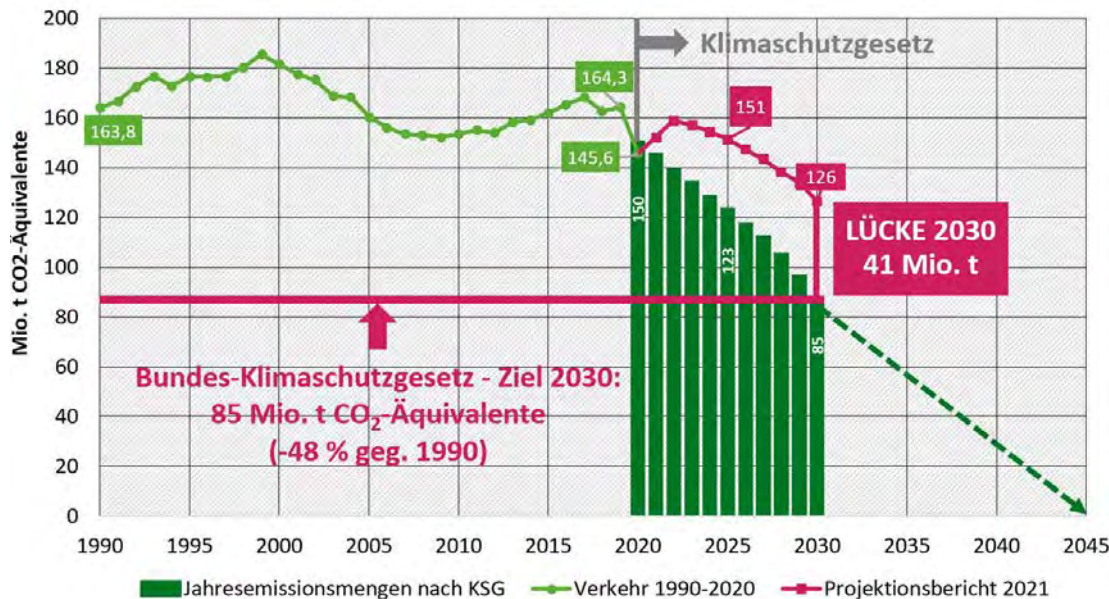
Peter Kasten

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



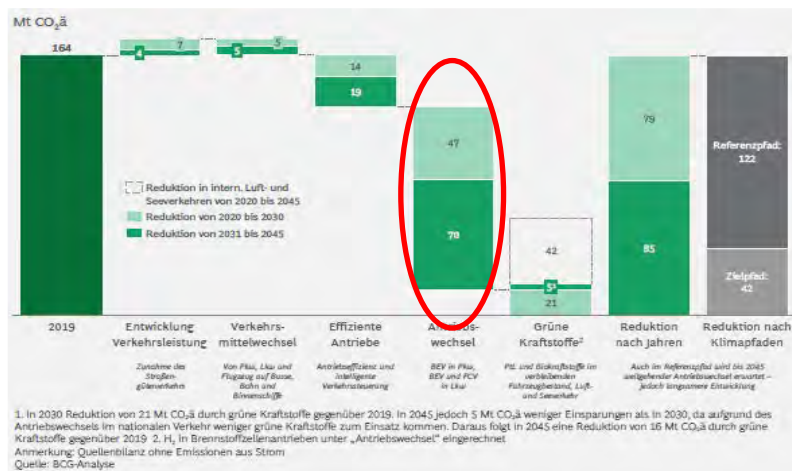
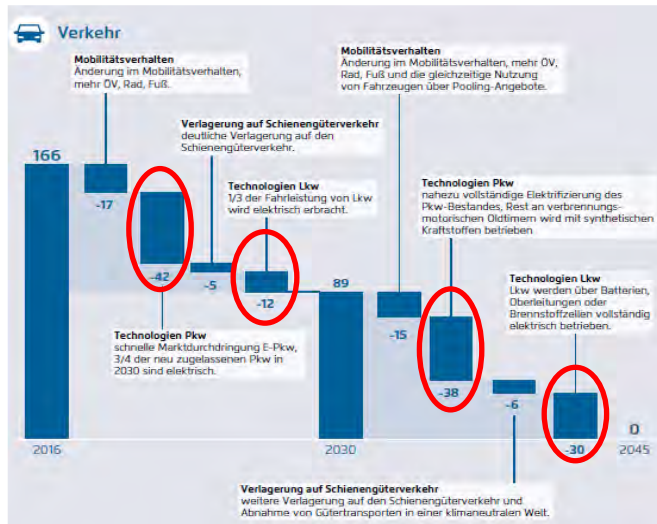
Klimaschutzgesetz mit Sektorzielen

- 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

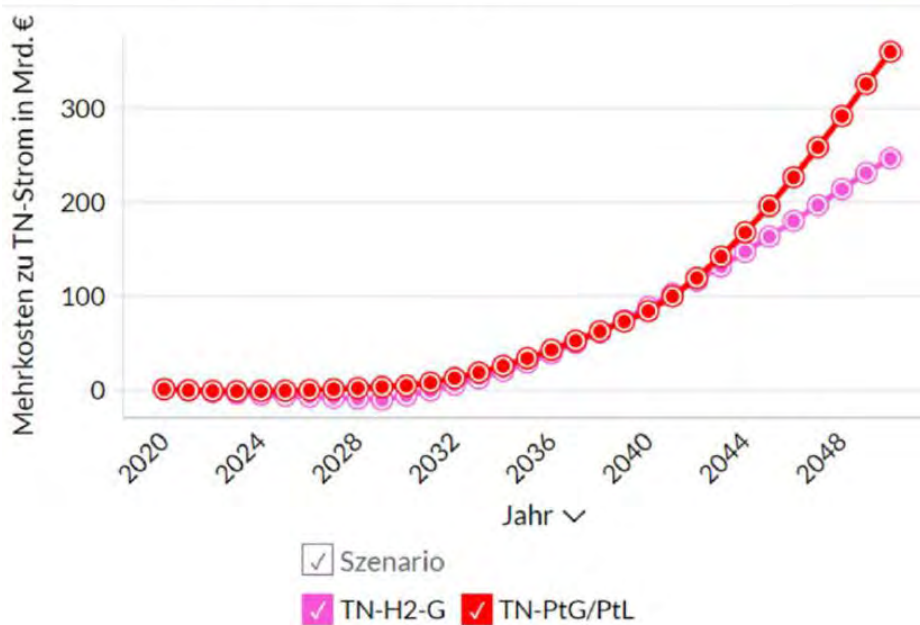


- Zentrale Technologie im Personen- sowie im urbanen und regionalen Straßengüterverkehr sind batterieelektrische Fahrzeuge
- Technologiewettkampf zwischen batterieelektrischen und BZ-Fahrzeugen im Straßengüterfernverkehr
 - Kosteneffiziente Alternativtechnologie: Oberleitungs-Lkw
- Verkehrsverlagerung 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

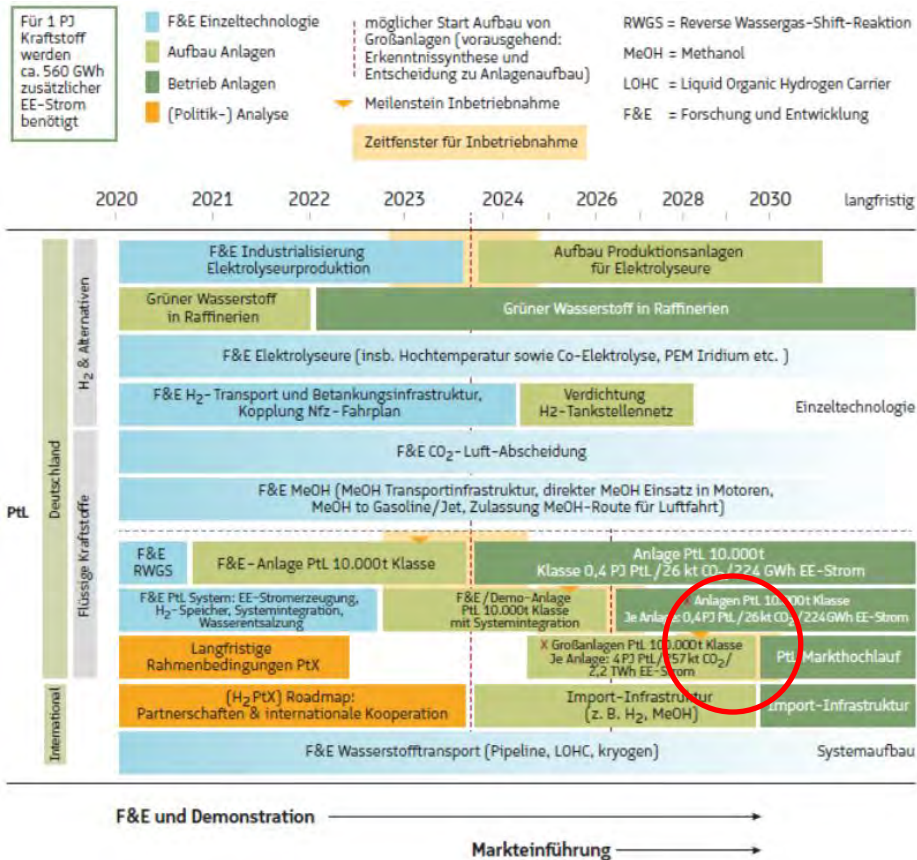
Mehrkosten zu TN-Strom kumuliert



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



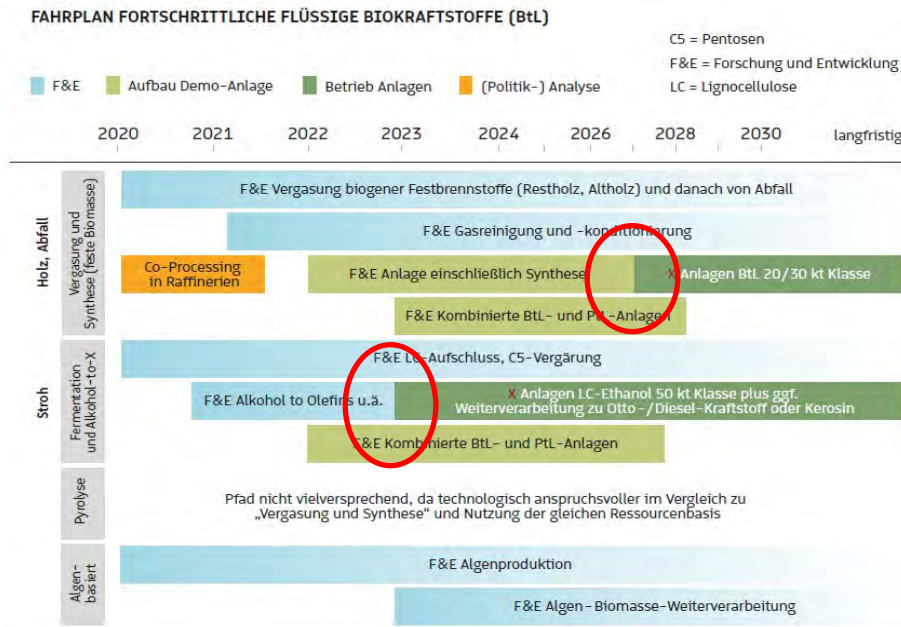
Nutzung nachhaltiger Kraftstoffe (auch Wasserstoff) ist die teuerste Option für Klimaschutz im Verkehrssektor

- 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



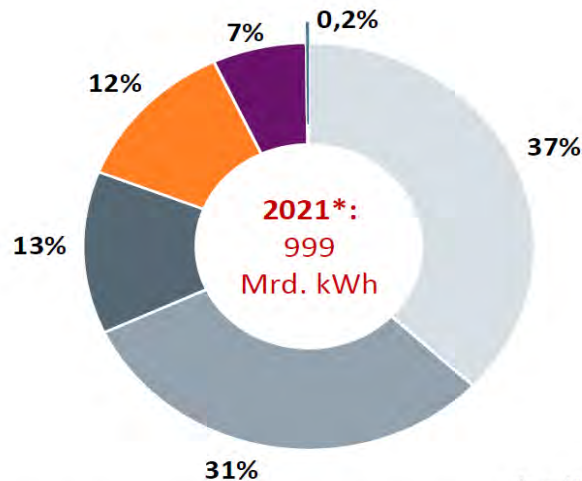
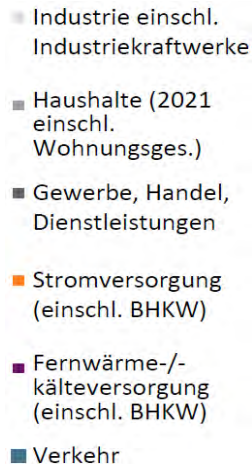
Nutzung nachhaltiger Kraftstoffe (auch Wasserstoff) ist die teuerste Option für Klimaschutz im Verkehrssektor

- 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



2021*: 999 Mrd. kWh
* vorläufig;
Der Erdgasabsatz enthält nicht den Eigenverbrauch der Gaswirtschaft.

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

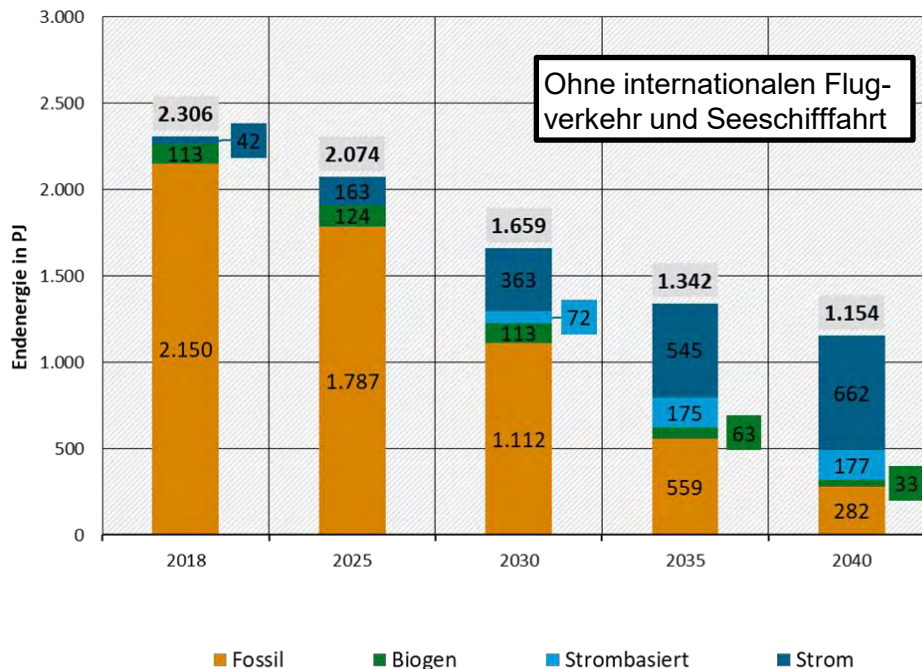
Großskalige Serienproduktion batterieelektrischer Fahrzeuge vs. großskalige Verfügbarkeit nachhaltiger Kraftstoffe

- 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

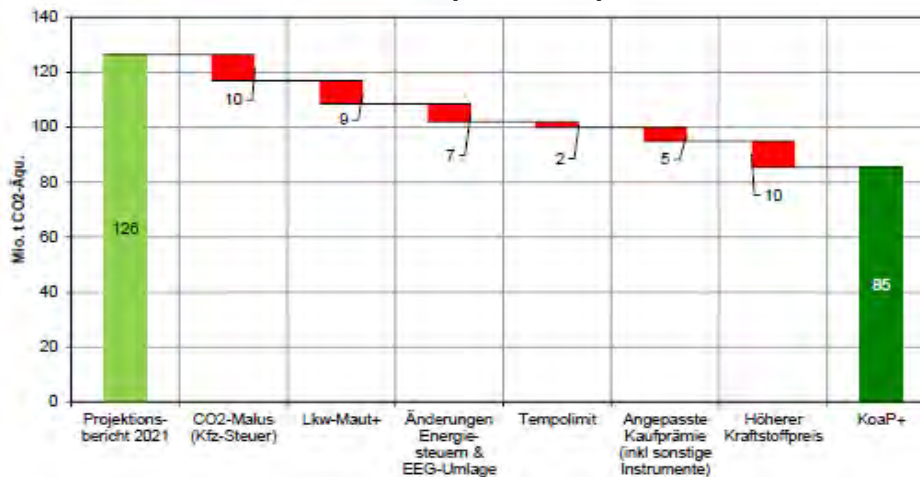
- Nachfrage nach strombasierten Kraftstoffen wesentlich durch Wasserstoffnutzung im Straßengüterfernverkehr
- Biomassenutzung verschoben in andere Anwendungssektoren

→ **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

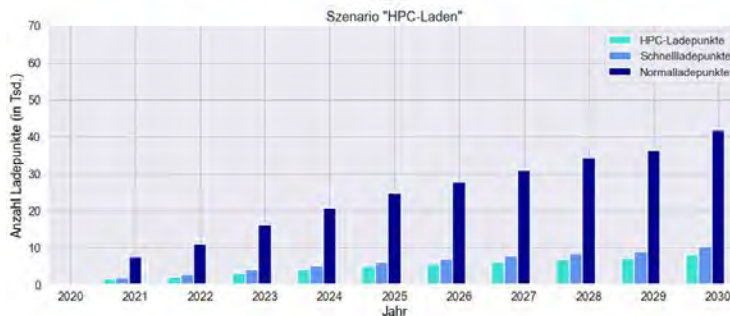
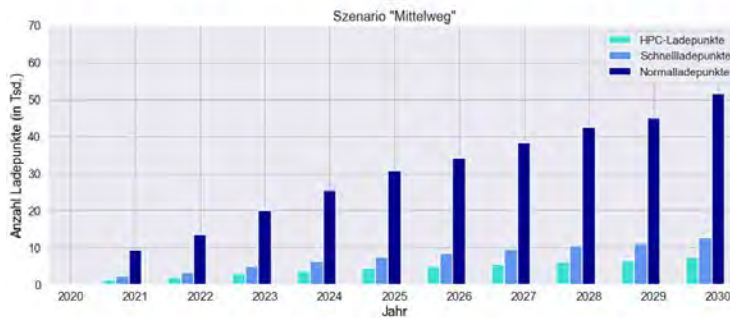
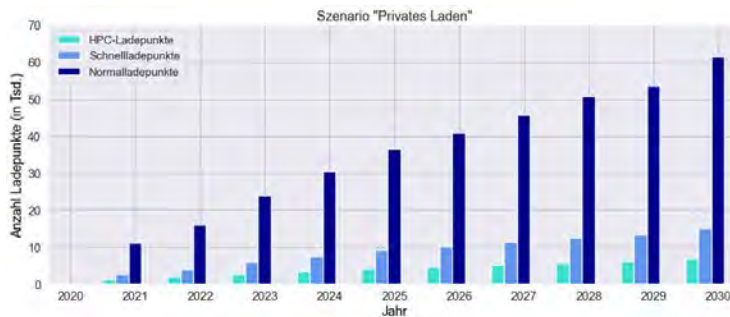
→ **Anpassung der politischen Rahmensetzung kann auch zu sozial-gerechterer Mobilität führen und ist notwendig für die Stabilisierung des Staatshaushalts**

→ **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>

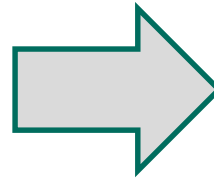
Verkehrliche Chancen und Herausforderungen von AF

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. Parkplätze	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.

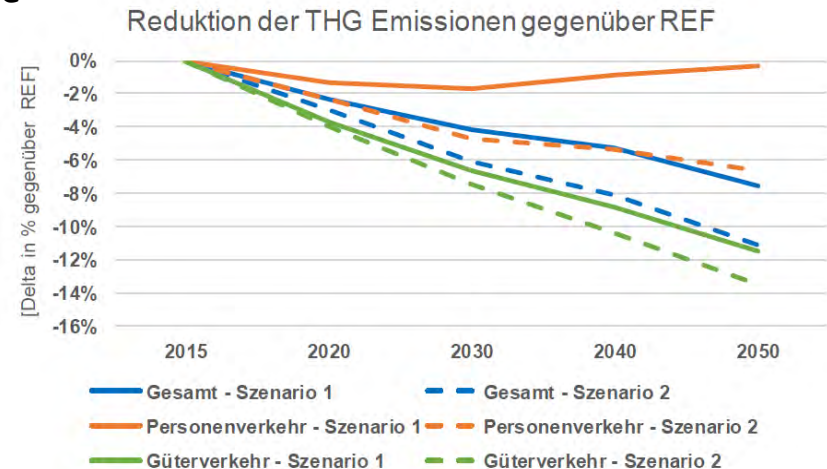
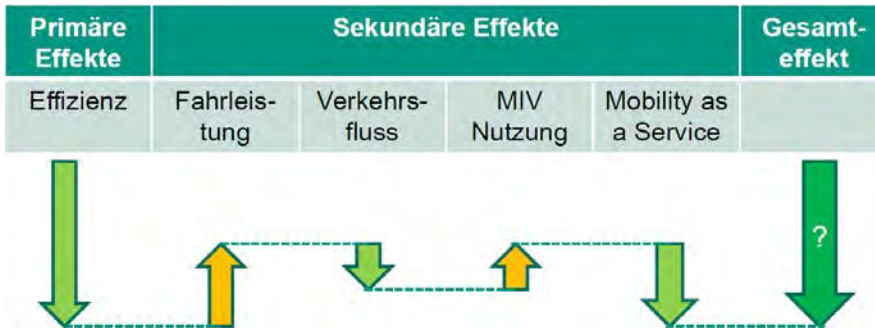
Meyer et al. (2016) zeigen, dass gut erschlossene, **ländliche Gemeinden große Erreichbarkeitsgewinne durch AF** aufweisen könnten. Ergebnisse der Studie lassen Automatisierung als potentiellen Treiber für **Urban Sprawl** verstehen.

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

Infrastrukturkapazitäten/Effizienz

- 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

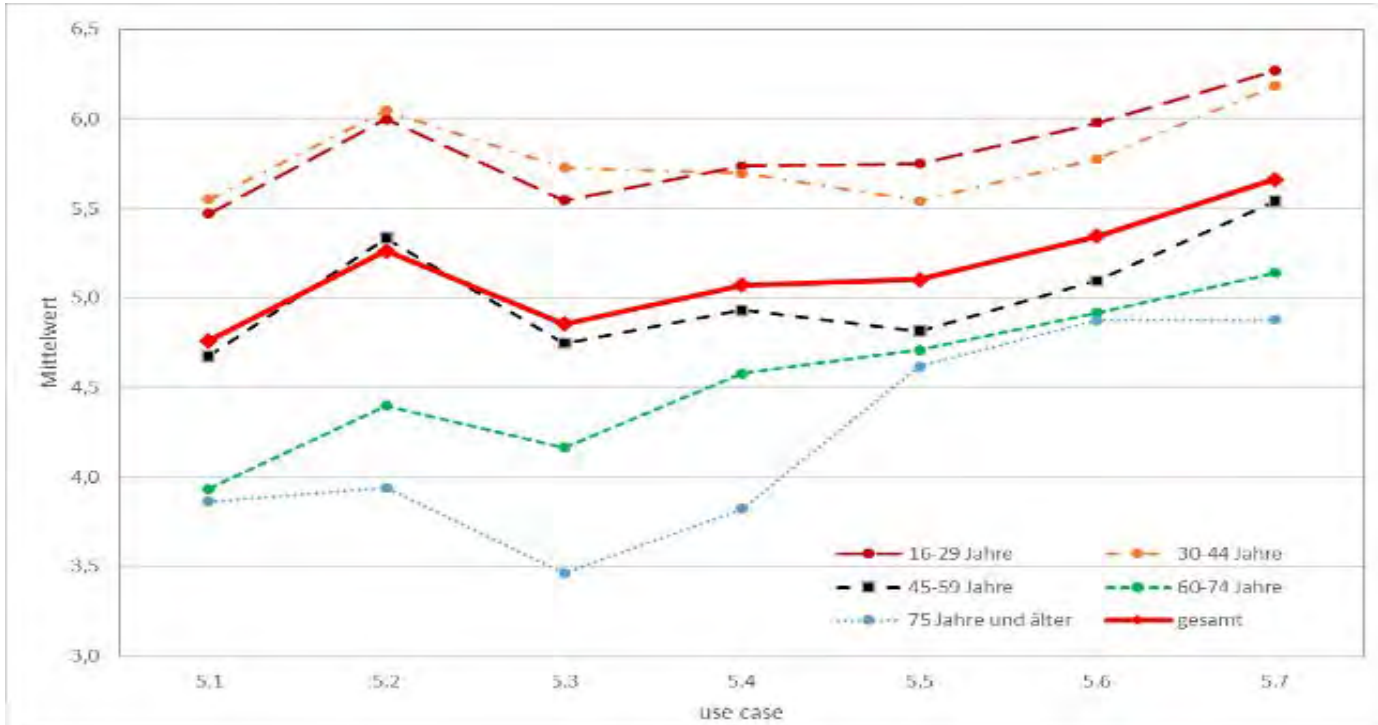
„Stellen Sie sich bitte einmal vor, es gäbe in Zukunft autonome Straßenfahrzeuge, die in der Lage wären, am öffentlichen Straßenverkehr genauso selbständig teilzunehmen, wie es heute Fahrzeuge mit menschlichen Fahrern tun. In welcher Konstellation würden Sie sich denn bei einer Fahrt damit wohlfühlen?“

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“

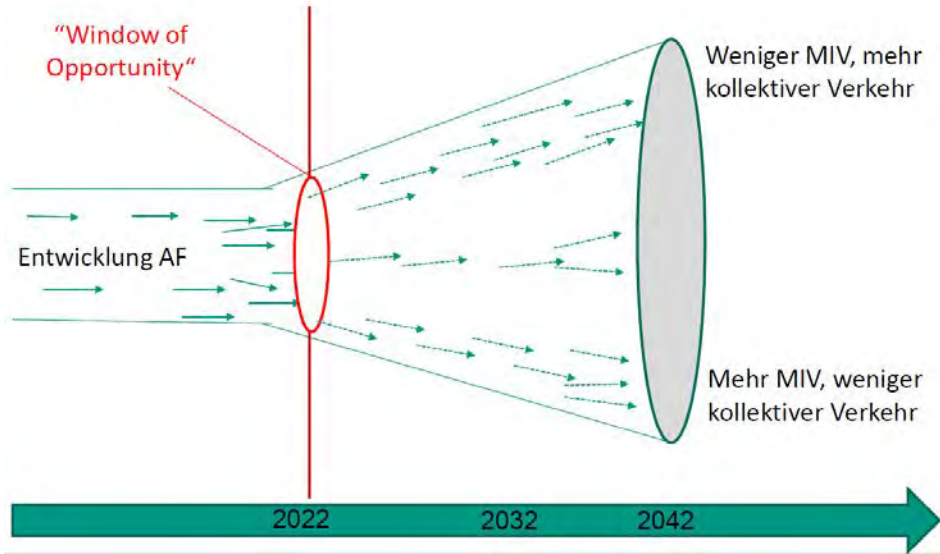
Fortsetzung - zur „Akzeptanz“ verschiedener Angebotsformen



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
- 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.

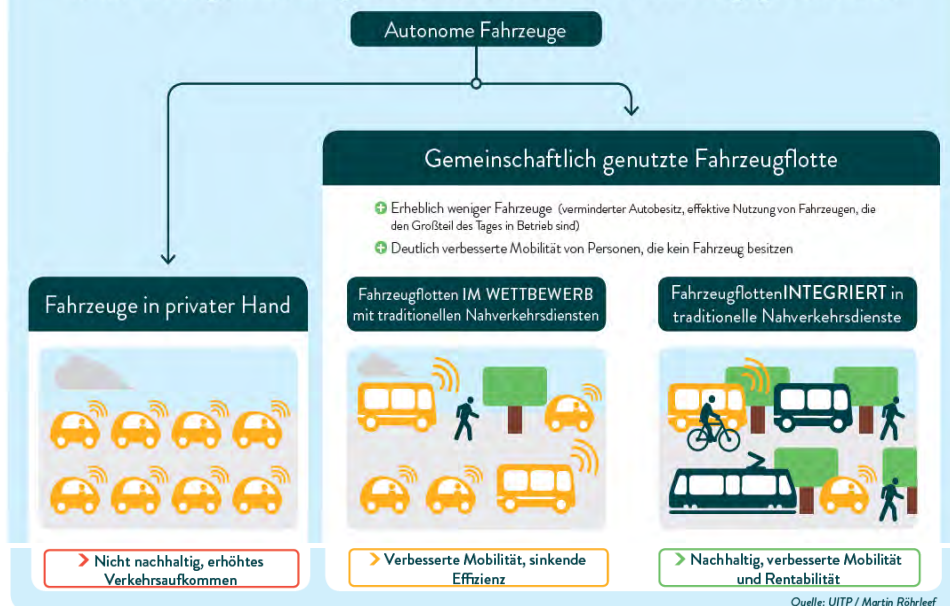


@VDV/CP:Compartner

© 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.

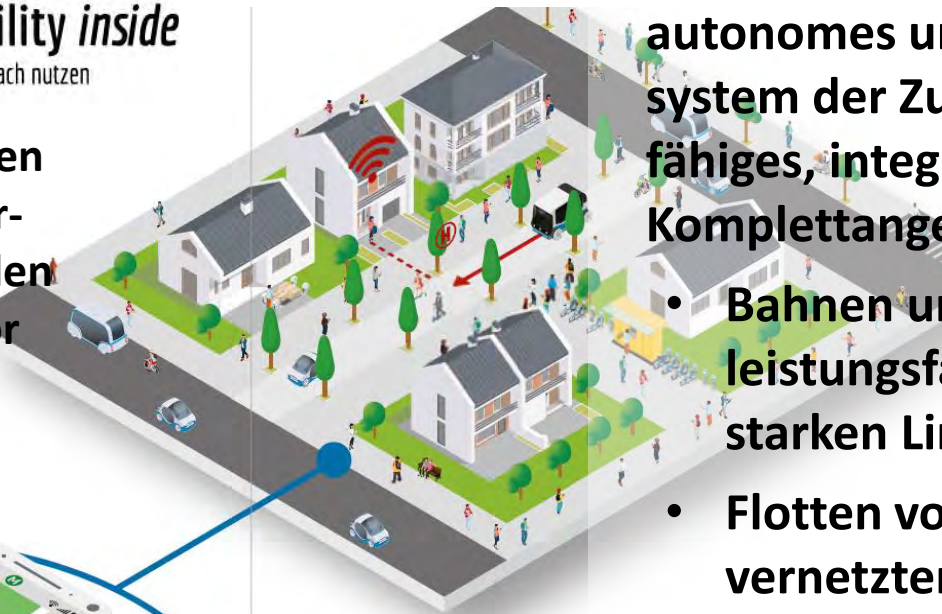


- Wiedergewinnung von Stadtraum durch gesenkten Parkplatzbedarf und gemeinsame Nutzung von autonomen Fahrzeugen
- Effizienter Verkehr, Rückgang der Fahrzeugkilometer, Verminderung Energieverbrauch
- Verbesserter Zugang zum ÖV und geringe Kilometerkosten
- Öffentliche Verkehrsunternehmen werden zu integrierten 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)

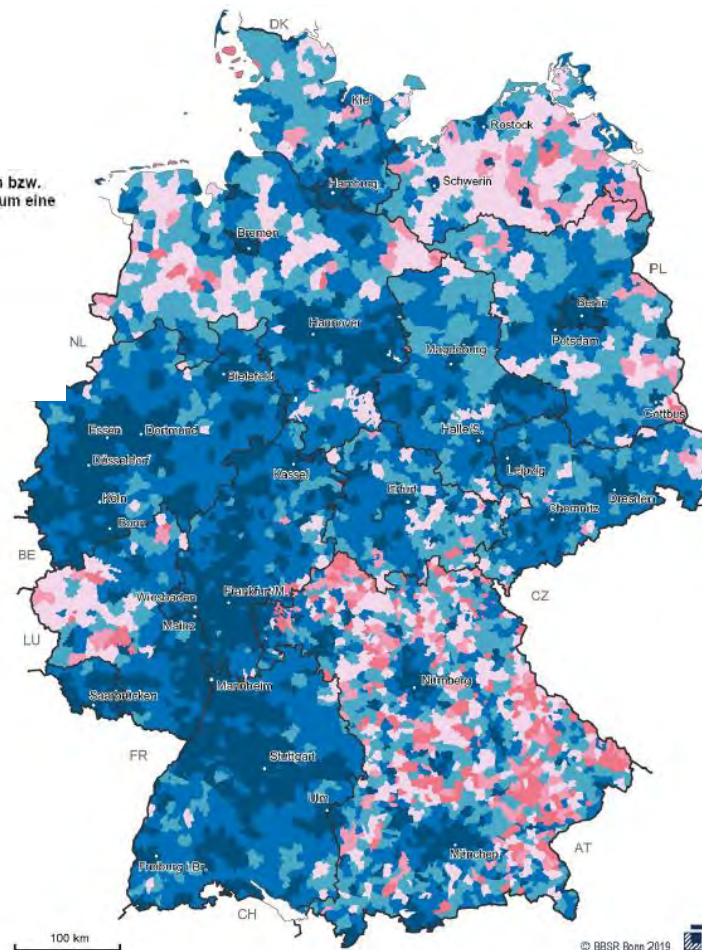
- **Gebündelter Bedarfsverkehr § 50 PBefG**

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

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

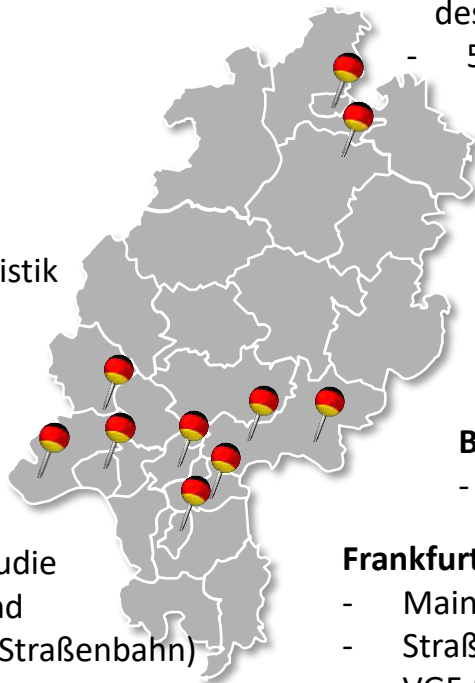
- EASY-Testbetrieb
ländl. Raum & Touristik

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

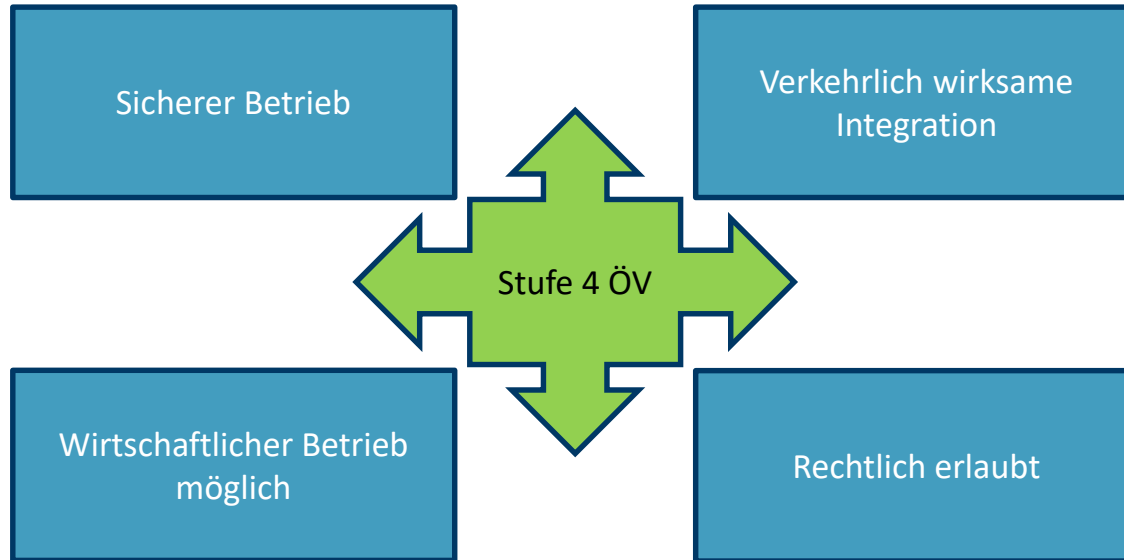
Bad Soden-Salmünster

- 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

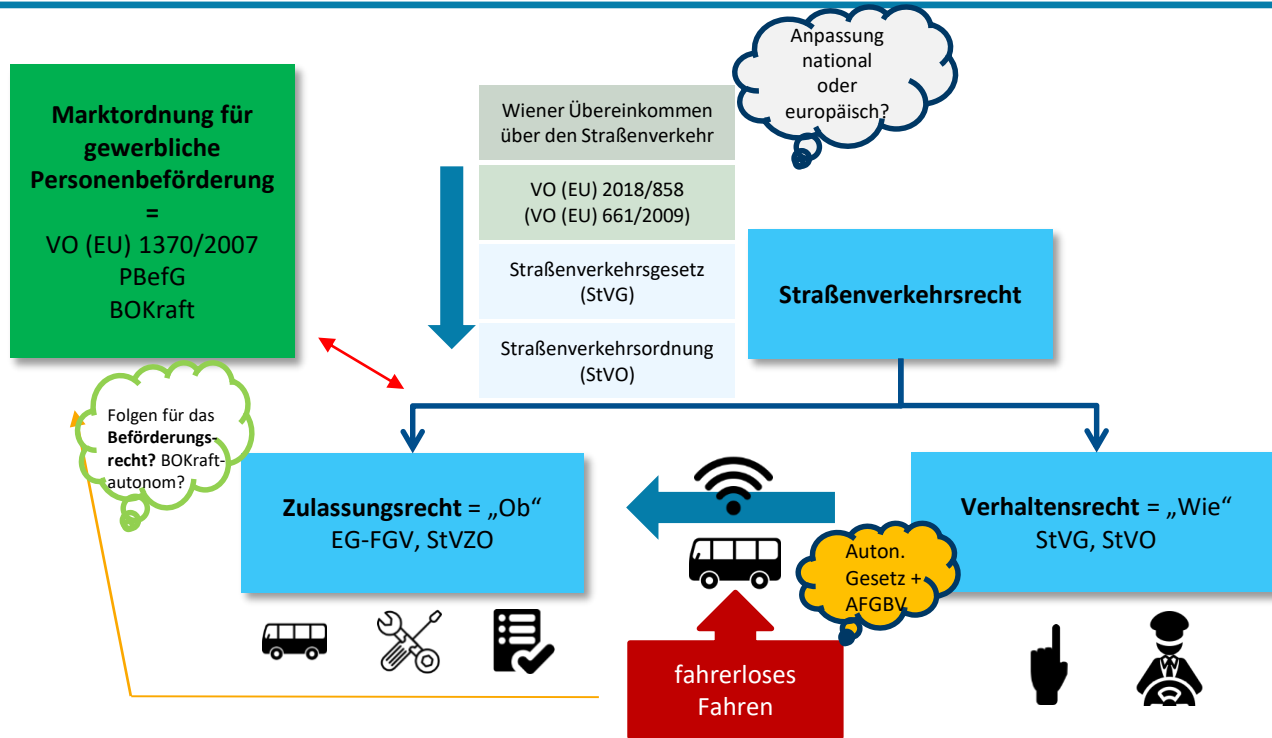
Kernanforderungen an eine Stufe 4 ÖV



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.

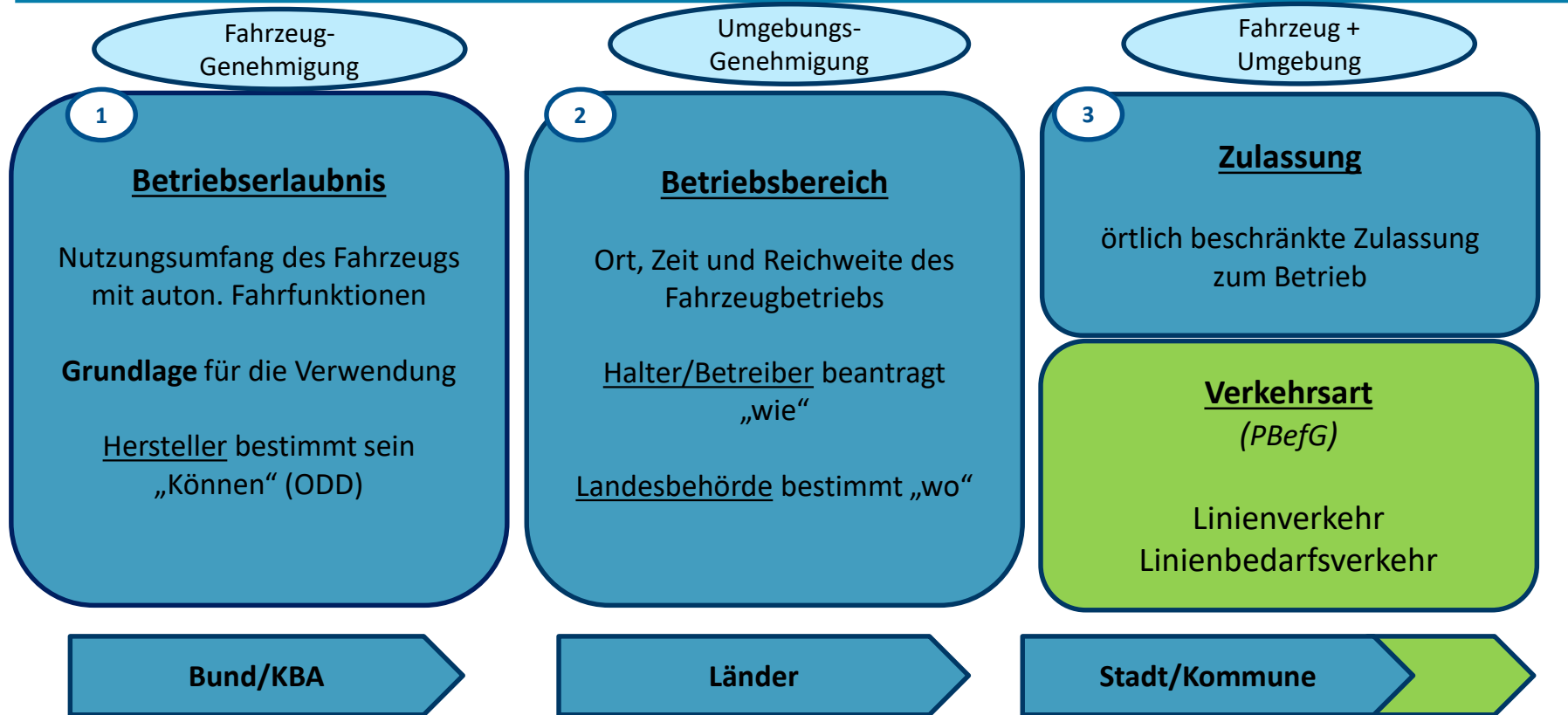
Regelungssystematik des nationalen Straßenverkehrsrechts



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“



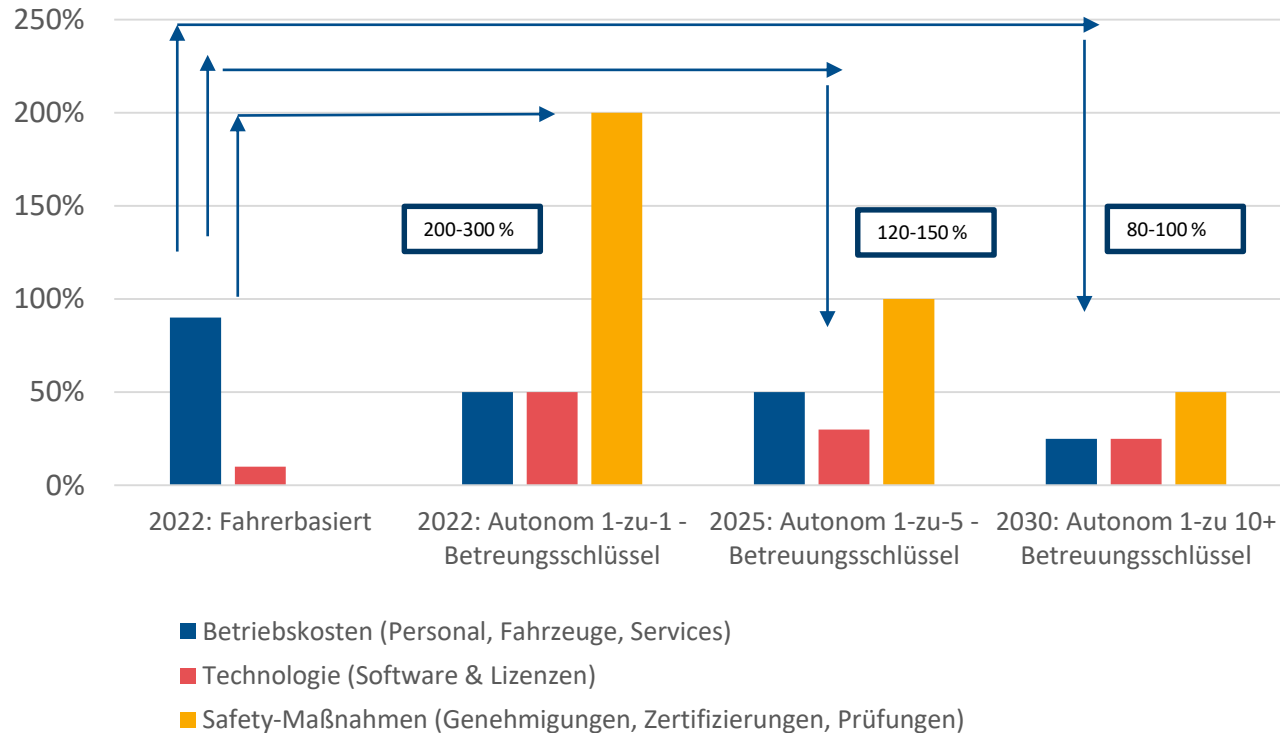
(Rechtliche) Würdigung aus ÖPNV-Sicht

- ✓ 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

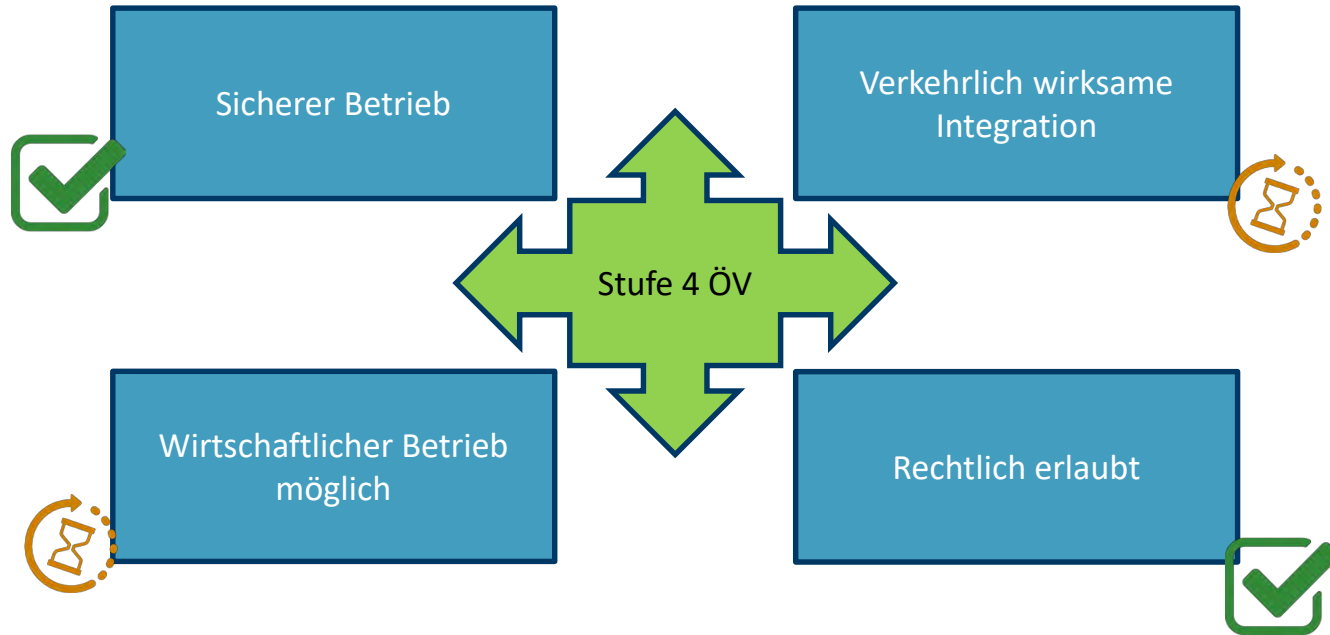
- **Allgemeines Verständnis** zu dem Gesetz sowie den in der Verordnung genannten Möglichkeiten und **Anforderungen für alle Stakeholder** => RTAF 2.0?
- Diskussion von **prozessualen Vorgängen** (Antragsverfahren, Anfangsbewertung, Schnittstellen zwischen Bund und Ländern, **Betriebsbereichsfestlegung**, **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>

