

DIE MOBILITÄTSWENDE

Wie sie gelingen kann
und was wir dafür tun
können!

Prof. Stefan Weiherer

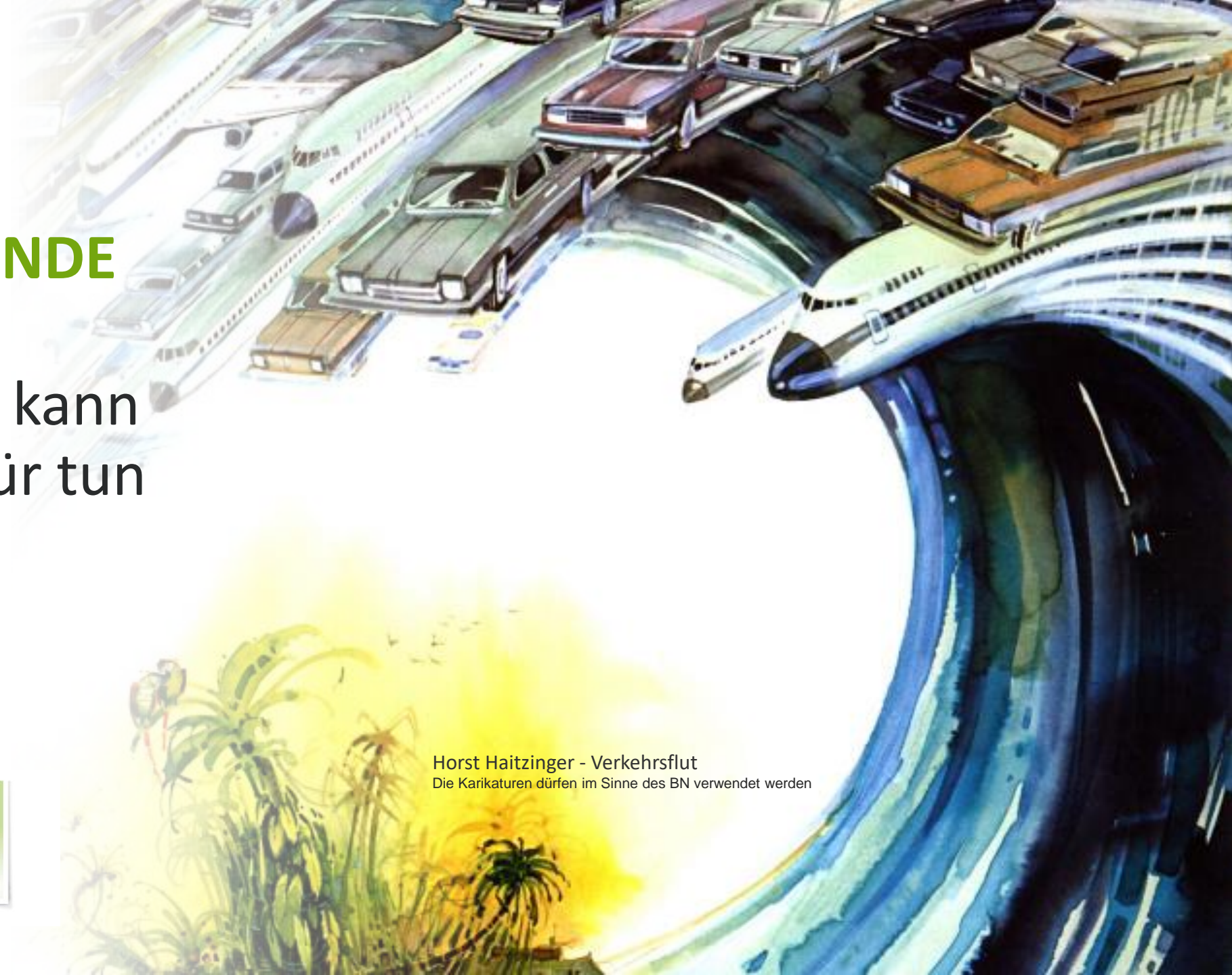
HOCHSCHULE
ANSBACH



24.11.2023

Horst Haitzinger - Verkehrsflut

Die Karikaturen dürfen im Sinne des BN verwendet werden



Fakten

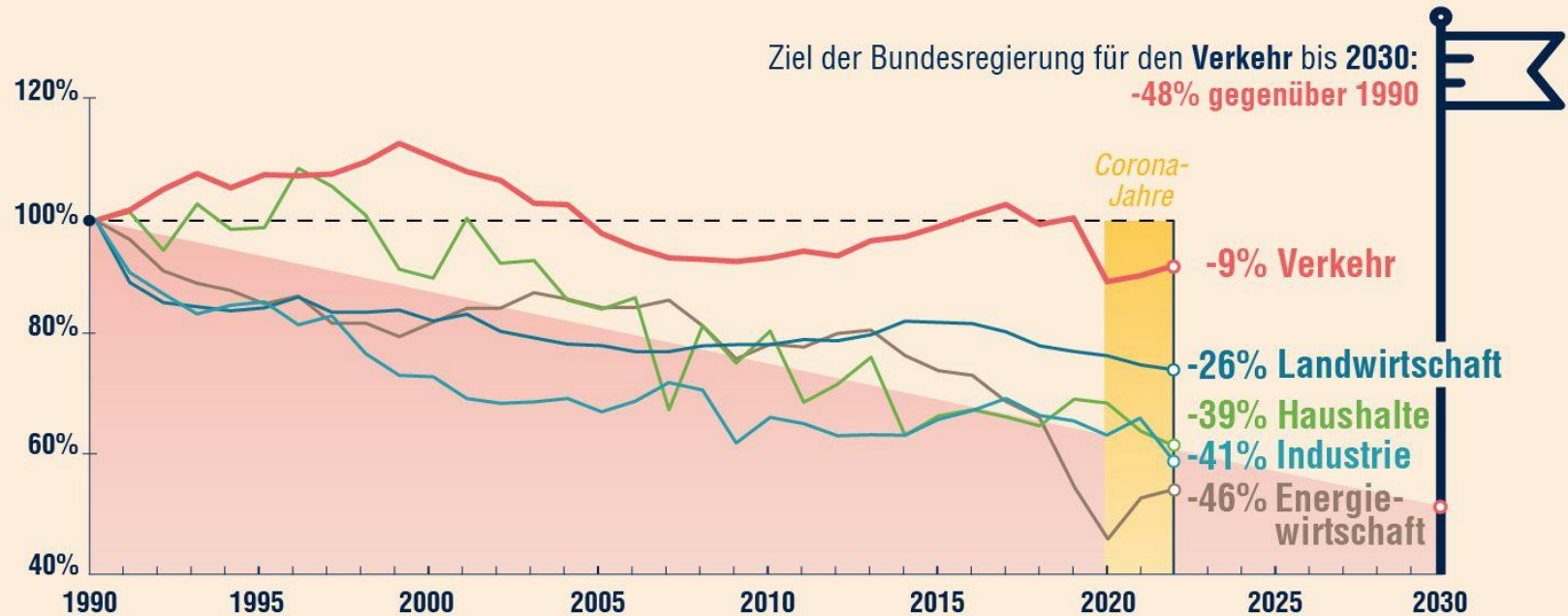


Quelle: VCD Verkehrsclub Deutschland e.V.

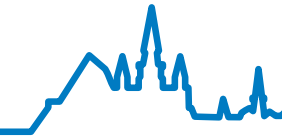
Fakten

Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland

1990 bis 2022 (1990=100%)

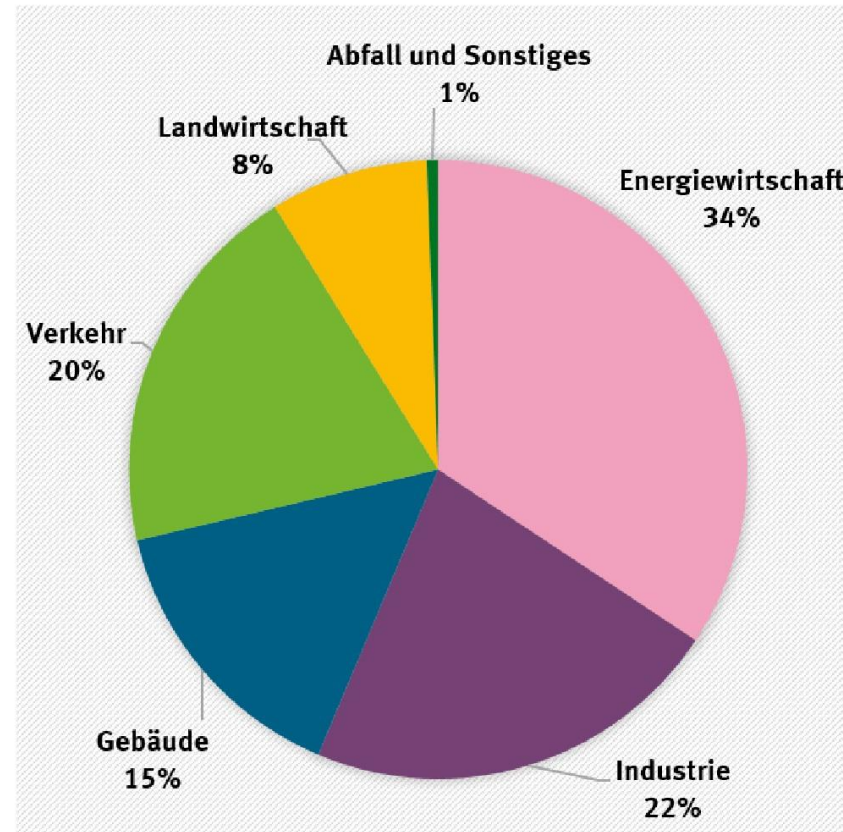


Quelle: Allianz pro Schiene | 03/2023 | auf Basis von Umweltbundesamt
Lizenz:  Nutzung frei für redaktionelle Zwecke unter Nennung von Allianz pro Schiene



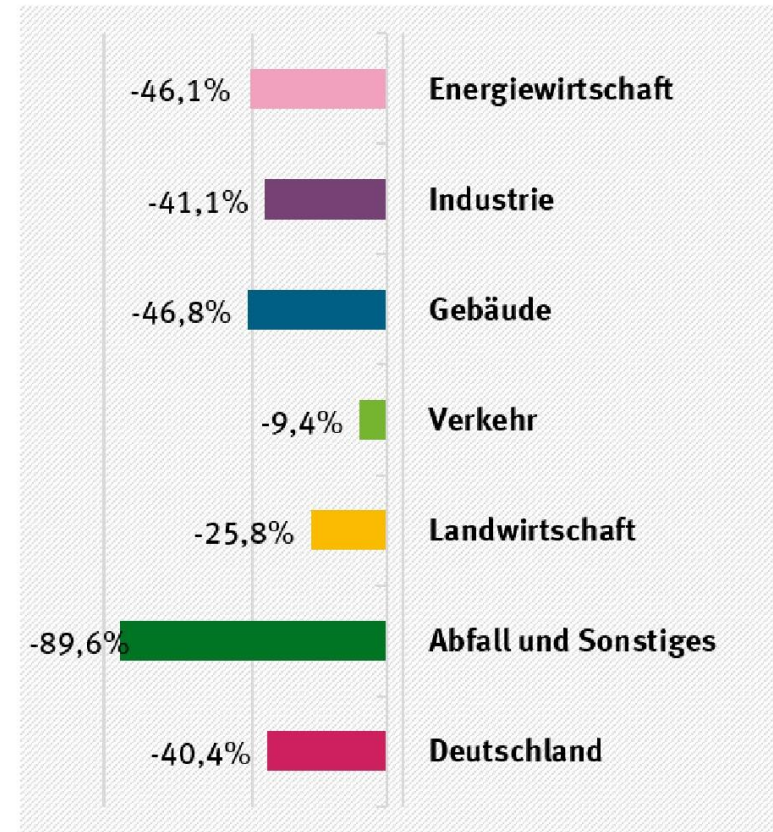
Fakten

Anteil der Treibhausgasemissionen nach Sektoren des Klimaschutzgesetzes (KSG) im Jahr 2022



Anmerkung: ohne internationalen Verkehr, vorläufige Daten

Entwicklung der Treibhausgasemissionen nach Sektoren des KSG 1990-2022

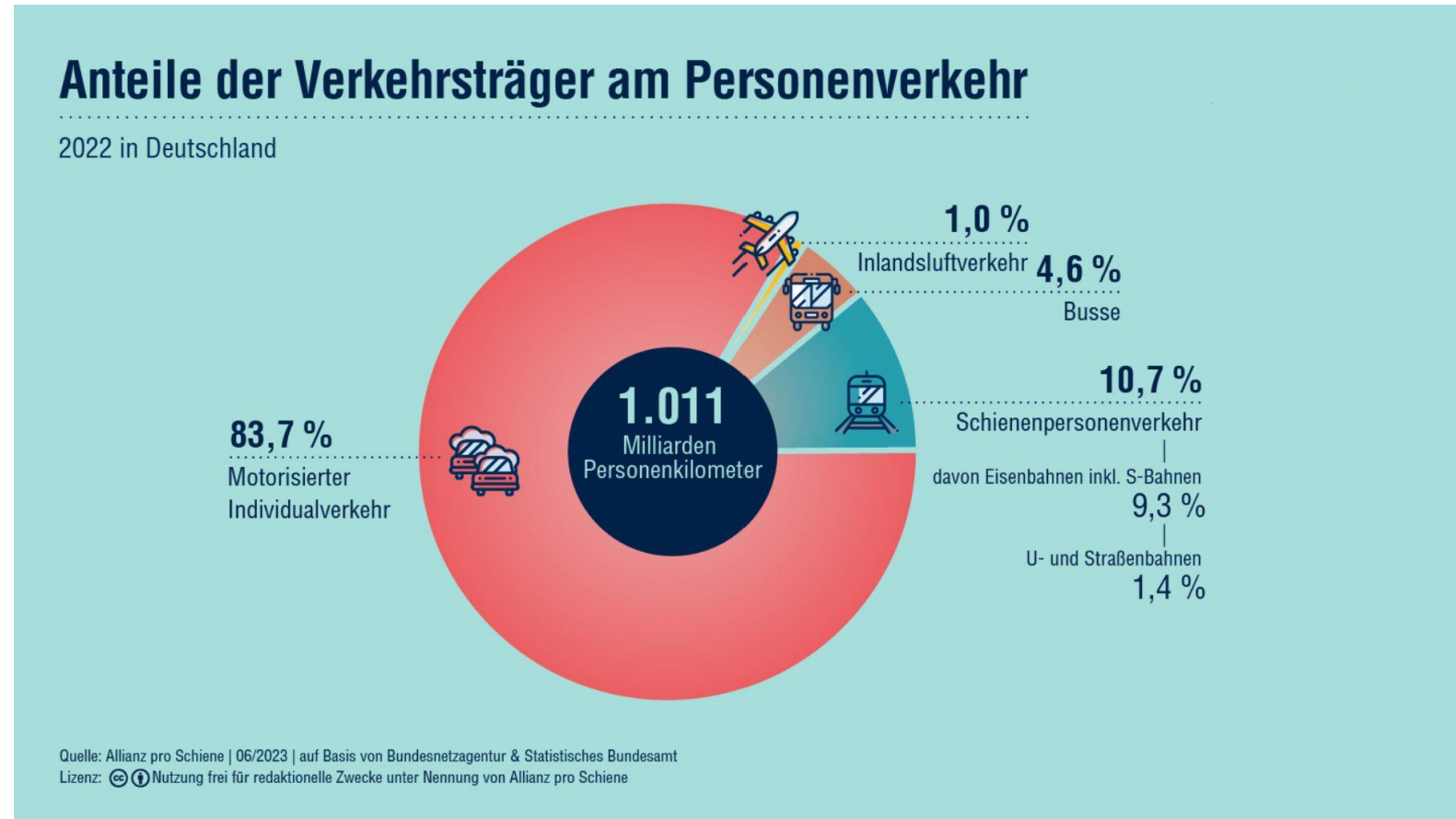


Anmerkung: ohne internationalen Verkehr, vorläufige Daten

Quelle: UBA 2023

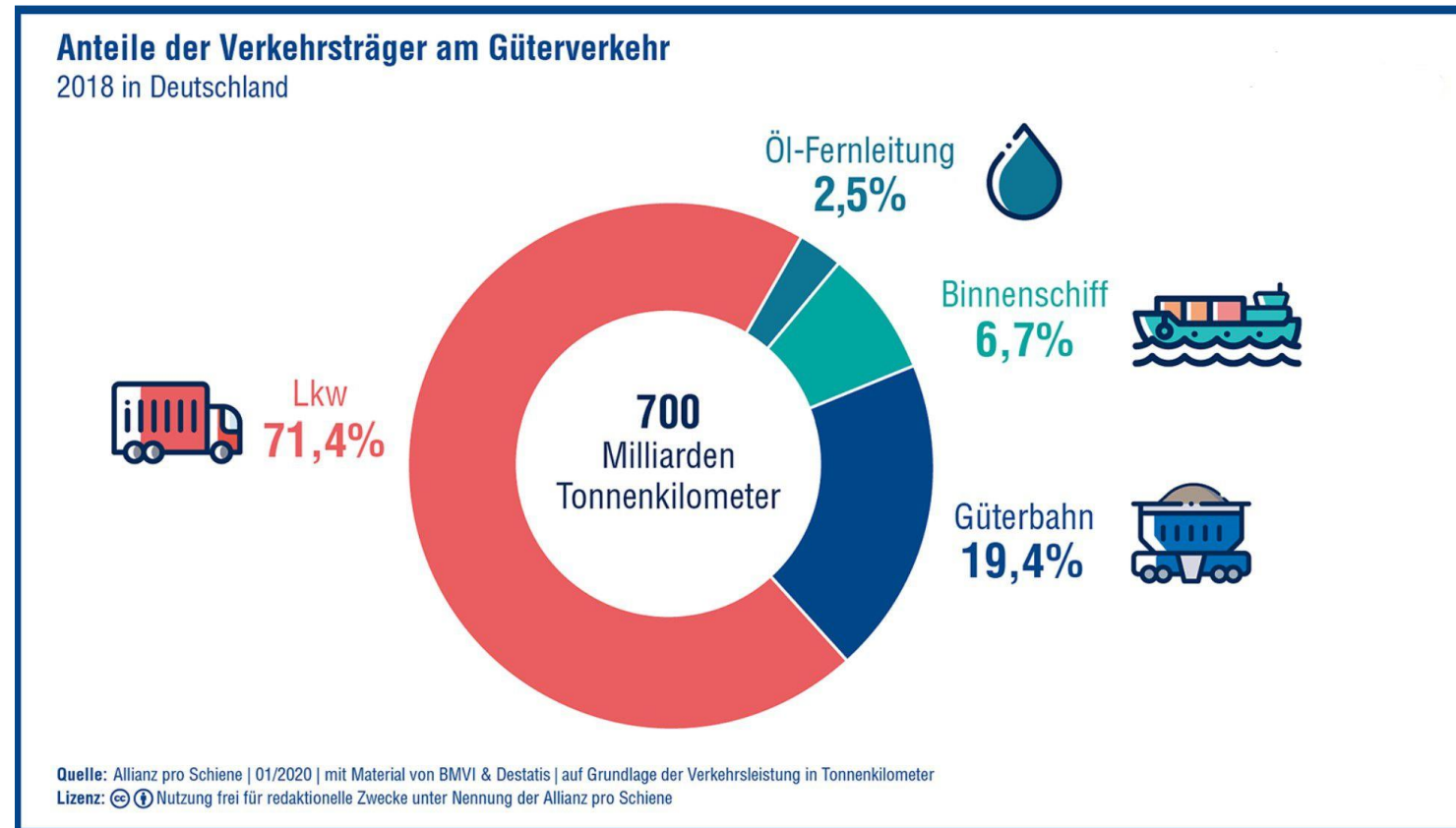
Fakten

Modal Split Personenverkehr



Fakten

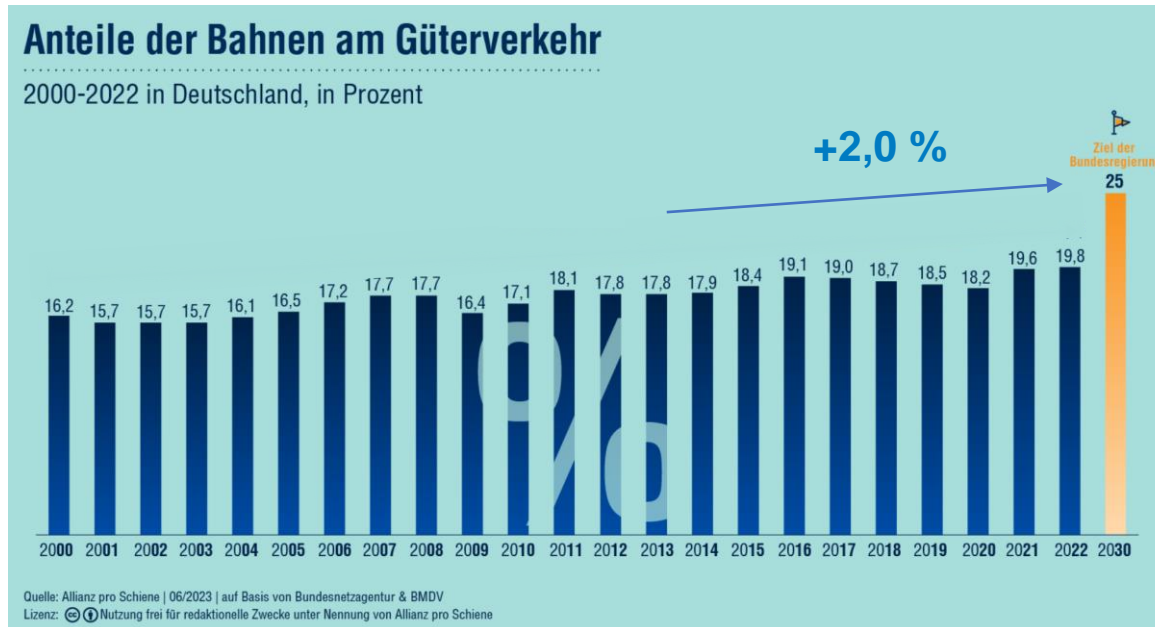
Modal Split Güterverkehr



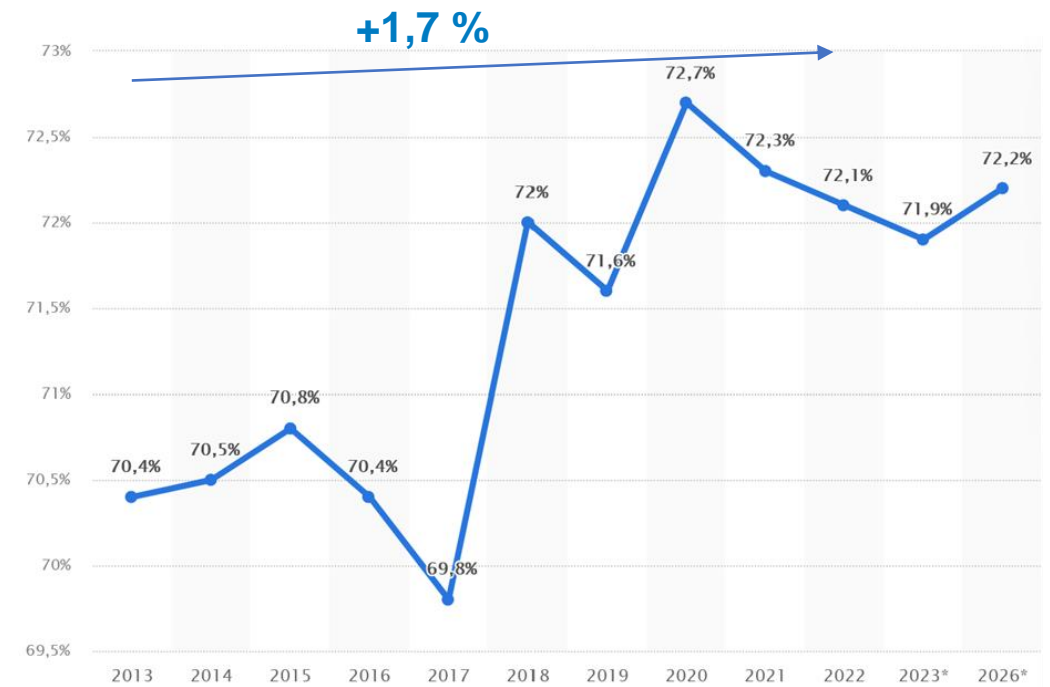
Fakten

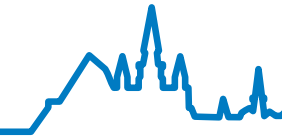
Entwicklung des Modal-Split

Güter-Bahnen



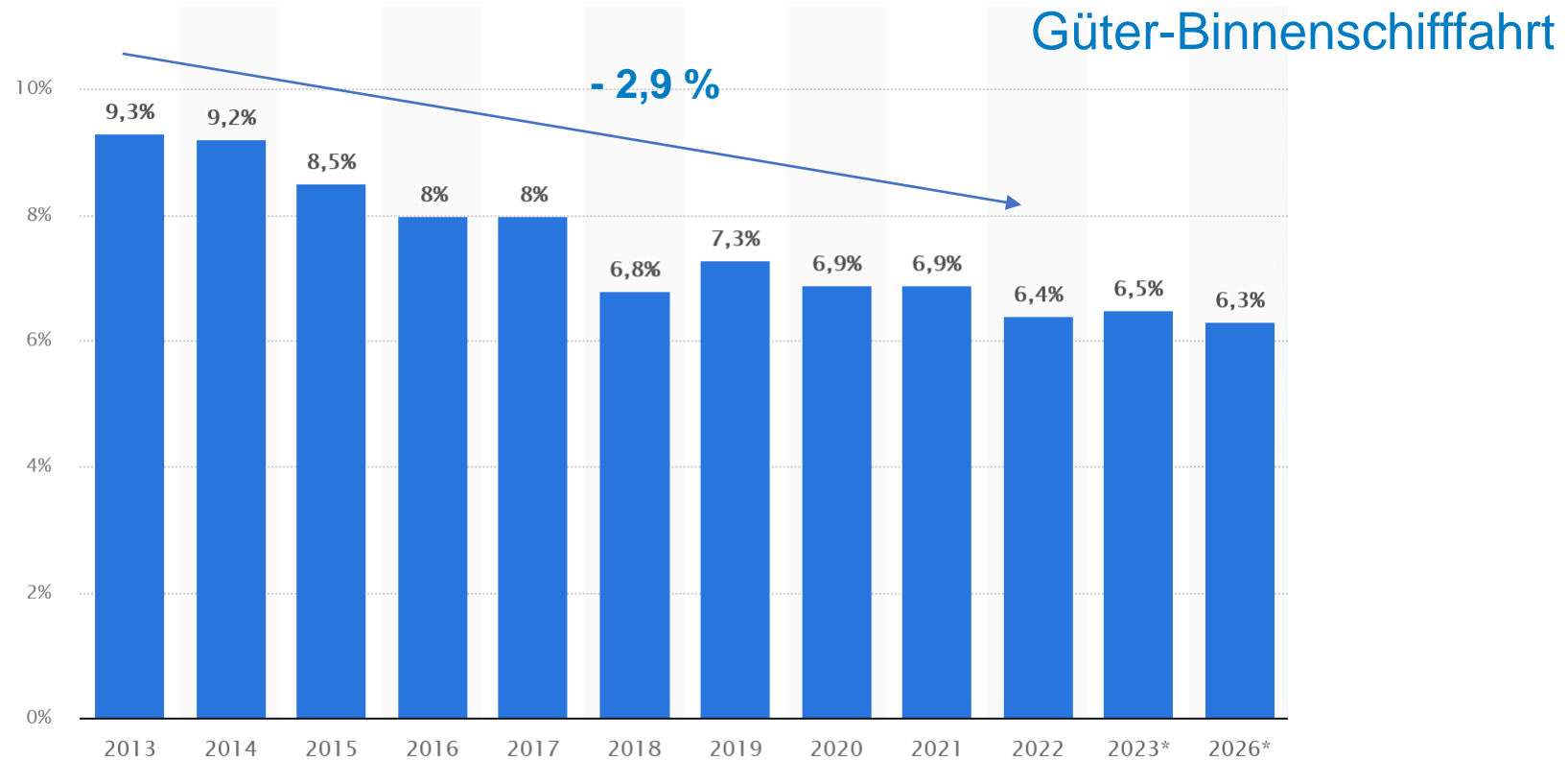
Güter-LKW





Fakten

Entwicklung des Modal-Split



© Statista

Lösung

- **Mobilitätswende = Verlagerung des Verkehrs**
→ Reduktion Straßengüterverkehr und MIV



A 9 vor München (Bild: picture alliance / Matthias Balk)



Binnenschiffe: umweltfreundlicher als Lkws (Bild: Irina Fischer / Fotolia.com)

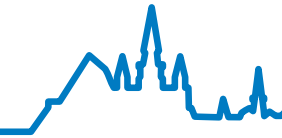


Radschnellweg Hovenring Eindhoven NL (Bild: imago images/Jochen)



Karlsruhe (Bild: EVA-Shuttle/Paul Gärtner)

- **Antriebswende = Elektrifizierung = Dekarbonisierung**

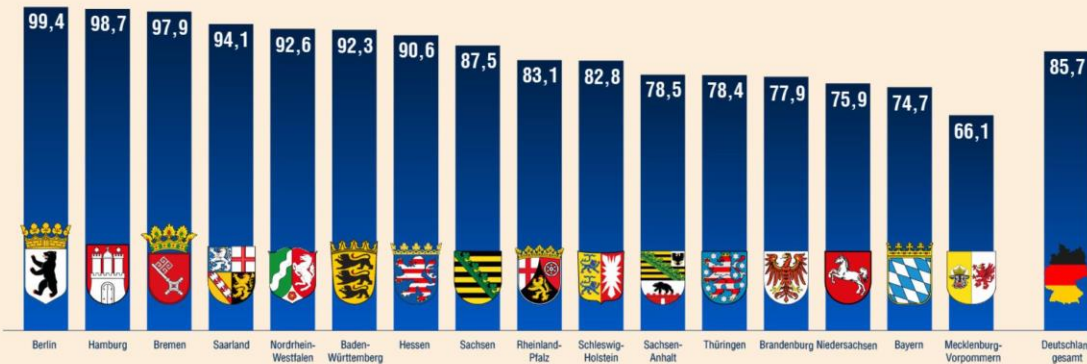




Chancen

Verlagerung des Verkehrs: Straße → Schiene

Erreichbarkeit von Bus und Bahn

Anteil der Bevölkerung in Prozent, dessen Wohnort in 2022 maximal 600 Meter (Bus) bzw. 1.200 Meter (Bahn) Luftlinie von einer Haltestelle mit mindestens 28 Abfahrten am Tag entfernt lag



Quelle: Allianz pro Schiene | 06/2023 | auf Basis von Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
Lizenz: ©   Nutzung frei für redaktionelle Zwecke unter Nennung der Allianz pro Schiene



Ländliche Räume und urbane Randgebiete wurden bisher vernachlässigt

Schwerlasttransporte auf der Straße sind aufwendig und unzuverlässig

Chancen

Nach Jahrzehnten des Schrumpfens erlebt die Schiene auch durch die Reaktivierung von Bahnstrecken in ganz Deutschland ein Comeback

Verlagerung des Verkehrs: Straße → Schiene

- Reaktivierung von Bahnstrecken

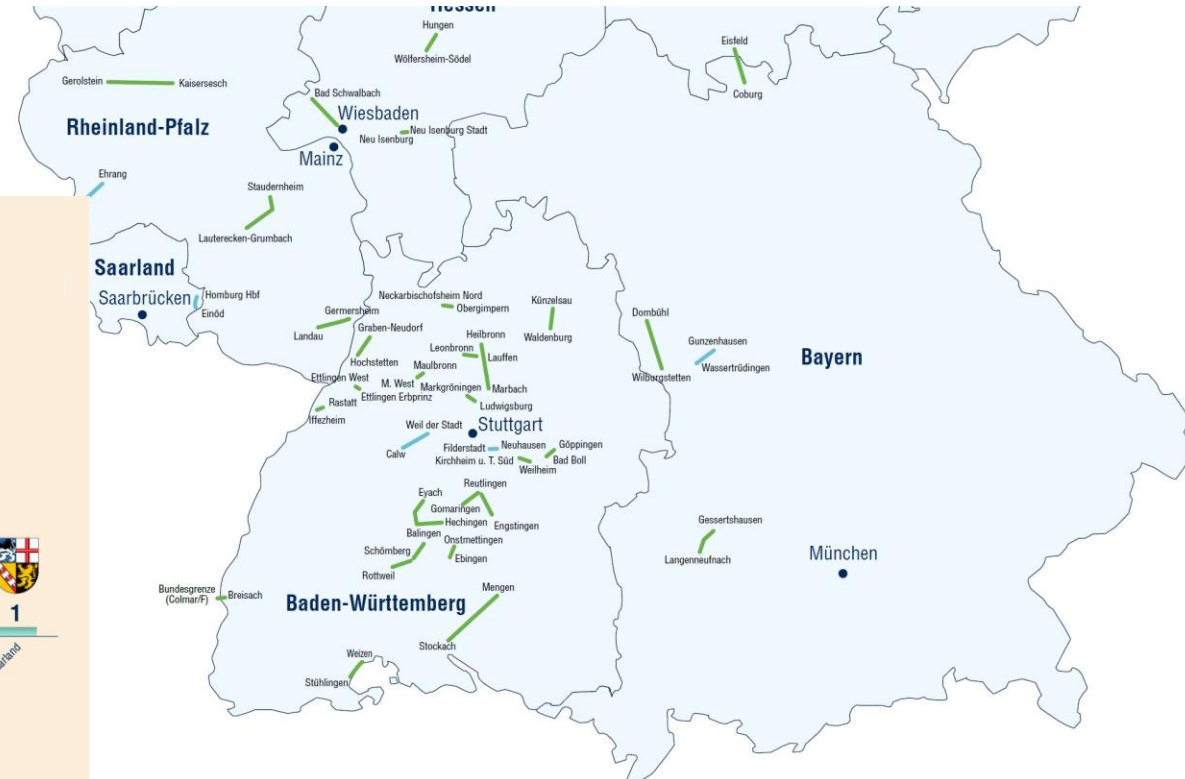
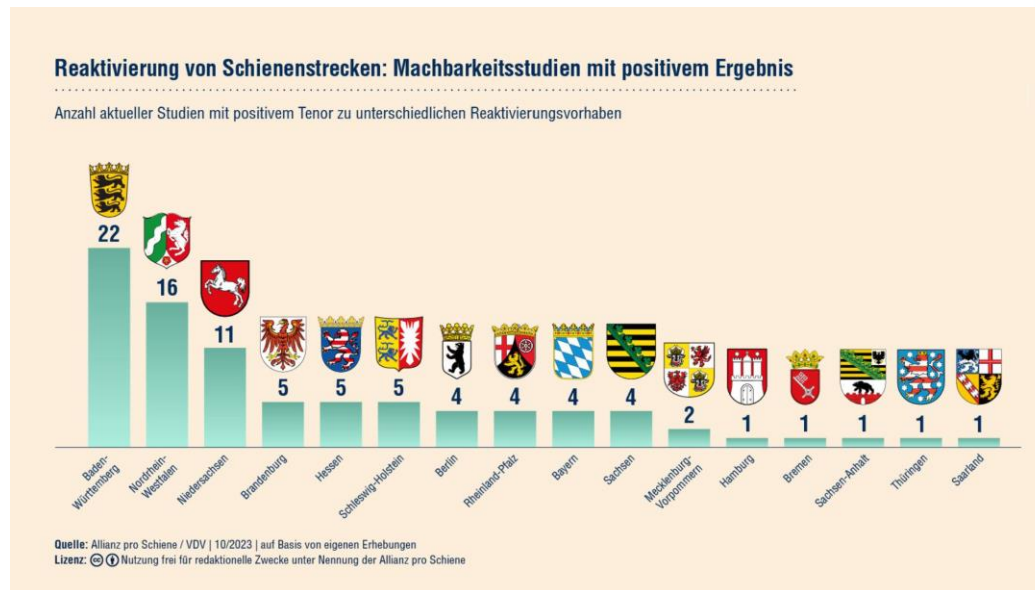


Chancen

Verlagerung des Verkehrs: Straße → Schiene

- Reaktivierung von Bahnstrecken

Machbarkeitsstudien mit positivem Ergebnis



Quelle: Allianz pro Schiene / VDV | 10/2023 | auf Basis von eigenen Erhebungen
Lizenz: © Nutzung frei für redaktionelle Zwecke unter Nennung der Allianz pro Schiene

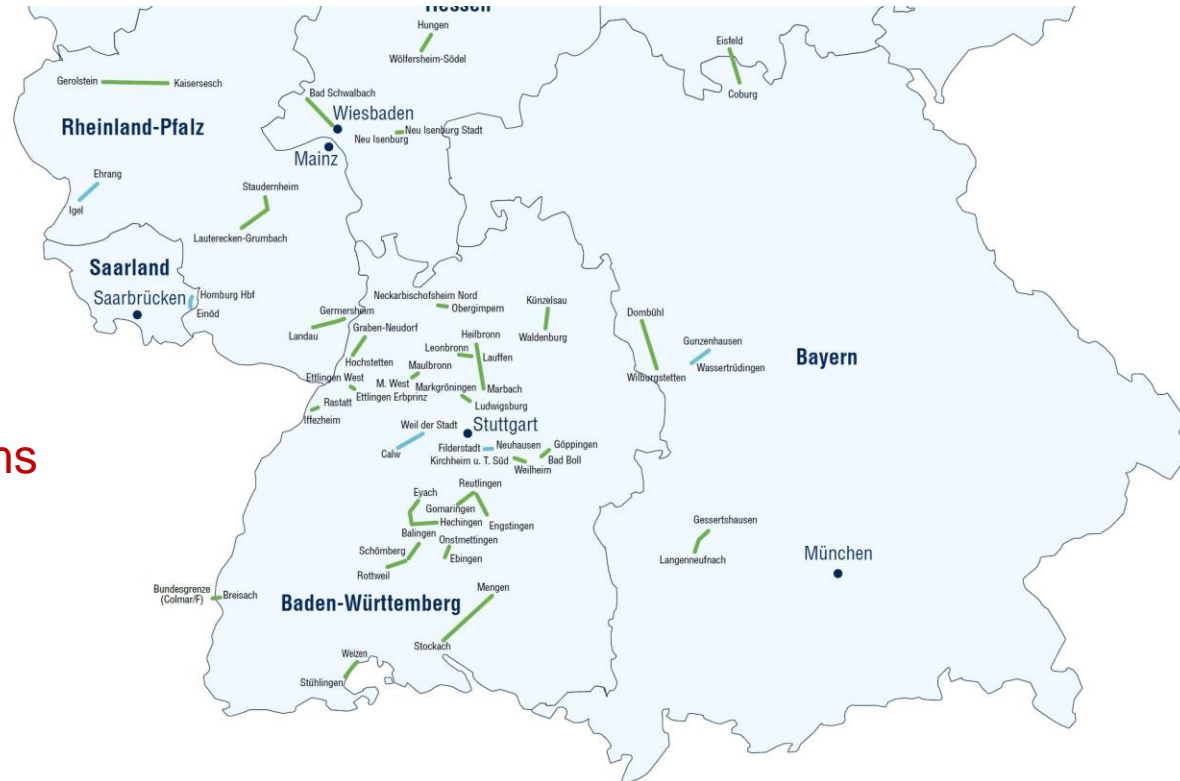
Chancen

Verlagerung des Verkehrs: Straße → Schiene

- Reaktivierung von Bahnstrecken

Warum scheitern die Bemühungen insb. in Bayern:

- 1000er Kriterium nicht erfüllt
- jede betroffene Gemeinde muss zustimmen
- keine proaktive Vorgehensweise des Ministeriums



Quelle: Allianz pro Schiene / VDV | 10/2023 | auf Basis von eigenen Erhebungen
Lizenz: © Nutzung frei für redaktionelle Zwecke unter Nennung der Allianz pro Schiene

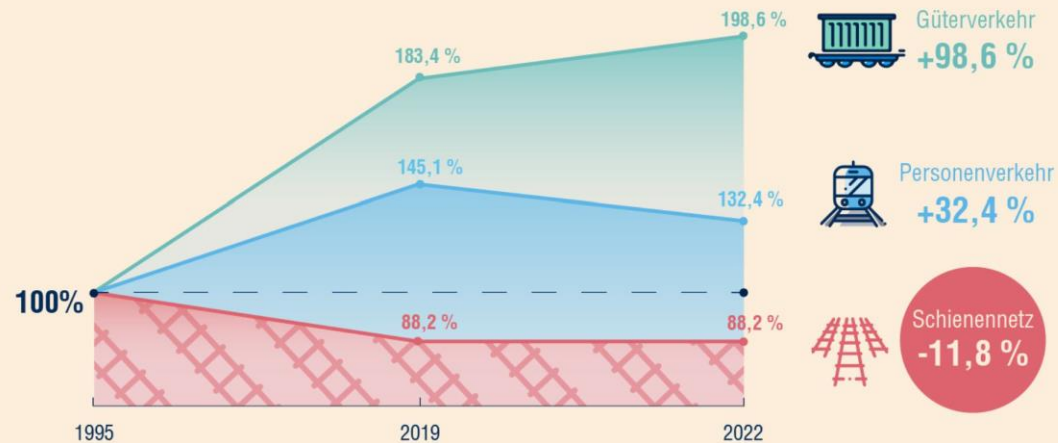
Chancen


Verlagerung des Verkehrs: Straße → Schiene

- Ausbau des Schnellbahn- und Güterbahnnetzes

Es wird immer enger auf Deutschlands Schienen

Entwicklung von Streckenlänge und Verkehrsleistung im Vergleich (1995-2022)



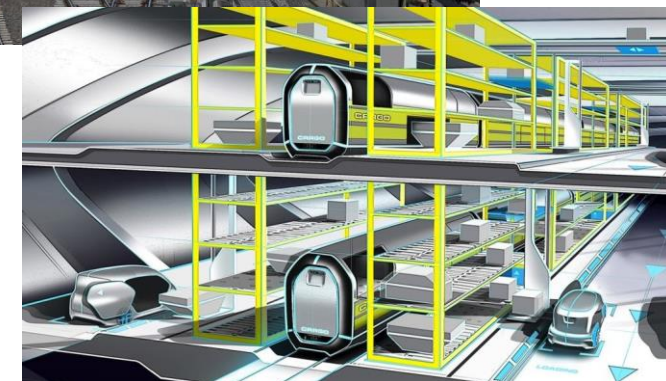
Quelle: Allianz pro Schiene | 06/2023 | auf Basis von Verkehr in Zahlen, Bundesnetzagentur & destatis
Lizenz: ©  Nutzung frei für redaktionelle Zwecke unter Nennung von Allianz pro Schiene

Schiennetz: Bundesschiennetze und Infrastruktur nichtbundeseigener Eisenbahnen

Rangierbahnhof Maschen in Niedersachsen
© picture alliance/ imageBROKER



© DB Fernverkehr AG



Güterzug der Zukunft nach einer Idee des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt © DLR

Chancen

Verlagerung des Verkehrs: Straße → Schiene

- Beispiel „Sackasse“

Elektro-Highway
LKW mit Stromabnehmer



Schwertransport mit Hirschgeweih: Seit Mai 2019 sind in Südhessen versuchsweise Elektro-Lastwagen im Einsatz. Bild: dpa

Chancen

Verlagerung des Verkehrs: Straße → ÖPNV

- Verkehrsverbünde – Das 49,- € Ticket

Wie erfolgreich war das 49,- € Ticket nach 3 Monaten (01. Mai – 01. August 2023):

- **Fakten:**

- 11 Mio Abos verkauft
- Nachfrage auf dem Land meist geringer (Studie DIW):
 - ✓ kein Bedarf (32 %)
 - ✓ Präferenz für's Auto (35 %)
 - ✓ umständliche Verbindungen (33 %)

- **Verkehrsministerium:**

- 1 Mio Neukunden
- CO₂ Einsparung ca. 22 Megatonnen
- 1000,- bis 1500,- € pro Tonne eingespartem CO₂

- **Mobilitätsforschung / BMWK:**

- ½ Mio Neukunden
- 0,5% des MIV wird verlagert
- CO₂ Einsparung ca. 4 Megatonnen
- geringe Kostendeckung → hoher Subventionsbedarf
- 6000,- bis 8000,- € pro Tonne eingespartem CO₂
- Profiteur ist die gesellschaftliche Mittelschicht
- Finanzierung ist unklar. Verteuerung ab 2024 wahrscheinlich



Chancen

Verlagerung des Verkehrs: Straße → ÖPNV

- flächendeckend attraktive Angebote

- Deutschlandtakt (integraler abgestimmter Taktfahrplan)
- Vereinfachung des Tarifsystems
- Rufbusangebote ausbauen
- Automatisierungsgrad steigern:
 - Autonomes fahren
 - Digitalisierung (e-Ticket)
- Ausbau der Fuß- und Radinfrastruktur zu einer Haltestelle im attraktiven Hauptnetz
- etc.

Der Deutschland-Takt kommt
Schneller und verlässlicher unterwegs **ab 2021***

Optimierter Fahrplan
Fernverkehrszüge fahren alle 30 Min. auf den Hauptachsen, passgenaue Anschlüsse

Kürzere Fahrzeiten
z. B. Berlin-Düsseldorf in 3:34 Std. statt 4:14 Std.
Stuttgart-Hamburg 4:27 Std. statt 5:10 Std.

Deutschlandweit abgestimmt
Kompletter Fahrplan für Fern-, Nah- und Güterverkehr

* Umsetzung in Etappen bis 2030
© Bundesregierung



© Bundesregierung

Chancen

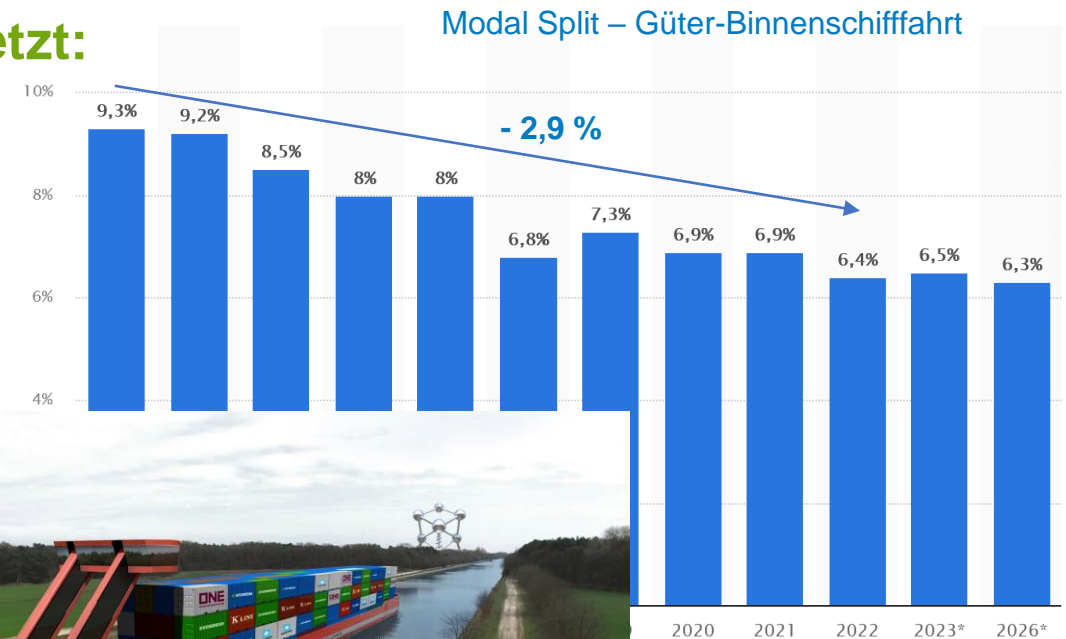
Verlagerung des Verkehrs: Straße → Wasserstraße

1 Binnenschiff ersetzt:

- 150 LKWs oder
- 147m Güterzug

Gründe für den Negativtrend des Modal-Splits der Güter-Binnenschifffahrt :

- Investitionsstau / Infrastrukturschulden (insb. Schleusen)
- Klimawandel - Niedrigwasserstände
- bürokratische Hürden
- Nachhaltigkeit / Treibhausgasbilanz



vollelektrisches Binnenschiff (Brennstoffzelle mit LOHC-Wasserstoffspeichertechnik) © Omega Architects / H2 Industries SE

Chancen

Potentiale:

- **43 %** aller Fahrten mit dem Kfz liegen im Entfernungsbereich bis **5 km**, **63 %** im Entfernungsbereich **10 km**¹
- Die Akzeptanz des Fahrrads als Alltagsverkehrsmittel steigt: In Bayern wollen aktuell **44 %** das Fahrrad häufiger nutzen - 2017 lag dieser Wert noch bei **36 %**²

¹ Mobilität in Deutschland (MiD), 2017

² SINUS Markt- und Sozialforschung GmbH, Fahrrad-Monitor Deutschland 2023

Verkehrsflächen neu definieren

- Ausbau der Fahrradinfrastruktur

Attraktivität steigern:

- Radschnellwege, städtisches und ländliches Wegenetz ausbauen
- Fahrradabstellmöglichkeiten (Parkhäuser an Bahnhöfen, Veloboxen, etc.)
- Fahrradmitnahme in allen öffentlichen Verkehrsmitteln
- Für Arbeitgeber: Job-Bike, Auszeichnung „Fahrradfreundlicher Arbeitgeber“, etc.
- Sharing-Systeme
- Fahrradwegweisung verbessern
- Winterdienst, etc.



D-Martin-Luther-Straße,
Regensburg



Veloboxen am Baseball-Stadion,
Regensburg



Sharing-System „Donau Donkeys“

VeloParkhaus Amsterdam - Bild:Dutch Cycling Embassy



Fazit

Mobilitätswende:

- entscheidend ist hier der politische Wille, entsprechend zu investieren (Schiene, ÖPNV, Fahrradinfrastruktur, Wasserstraßen) → Reduktion der Investitionsschulden und Ausgleich der Folgen des Klimawandels.

Verbrennungsmotor



Bildquelle Fotolia

- + gut ausgebaute Tankinfrastruktur
- + hohe Energiedichte der verwendeten Kraftstoffe
- + (zu?) moderate Kosten fossiler Brennstoffe
- Wirkungsgrad: $\eta = 35-40 \%$, keine Rekuperation
- hohe CO₂-Emission
- Umweltbilanz bei Kraftstoffherstellung
- Getriebe, Abgasbehandlung notwendig

VS


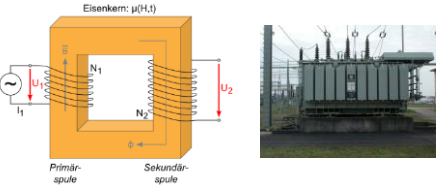



Elektrische Maschine (batteriebetrieben)

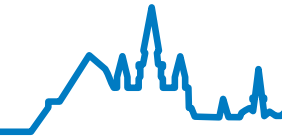


Bildquelle Fotolia

- + Wirkungsgrad $\rightarrow \eta = 85-90 \%$, Rekuperation möglich
- + emissionsfrei im Betrieb
- + hohes, konstantes Drehmoment über alle Drehzahlbereiche ohne Getriebe
- Ladezeiten
- beschränkte Ladeinfrastruktur
- geringe Energiedichte der aktuell verwendeten Akkutechnologie
- Umweltbilanz bei (Batterie-) Herstellg. / Entsorg. / Recycling

Wirkungsgrade elektrischer Betriebsmittel

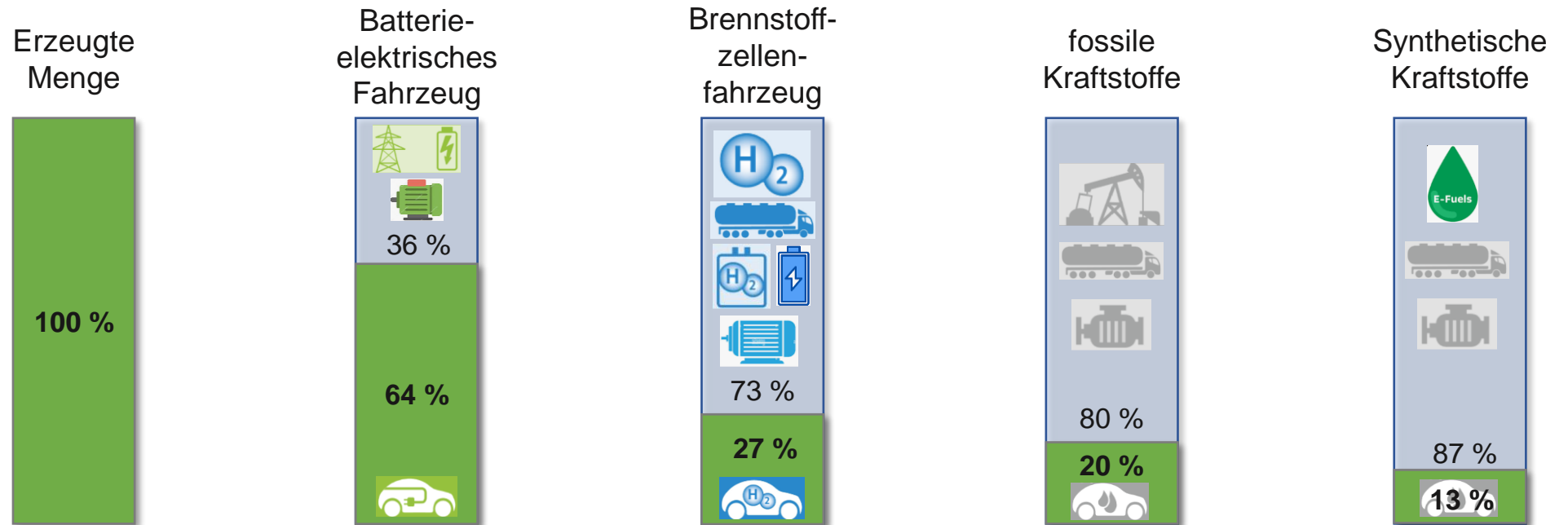
- PV-Wechselrichter:  $\eta = 99 \%$
- Transformator:  $\eta = 95 \%$
- Wärmepumpe:  $\eta = 80-85 \%, \text{ COP} = 3-4$
- LED / Photodiode:  $\eta = 20-25 \%$
- Glühlampe:  $\eta = 5 \%$



Wirkungsgrade von der Energiequelle bis zum Rad (Well to Wheel)



Bildquelle Fotolia

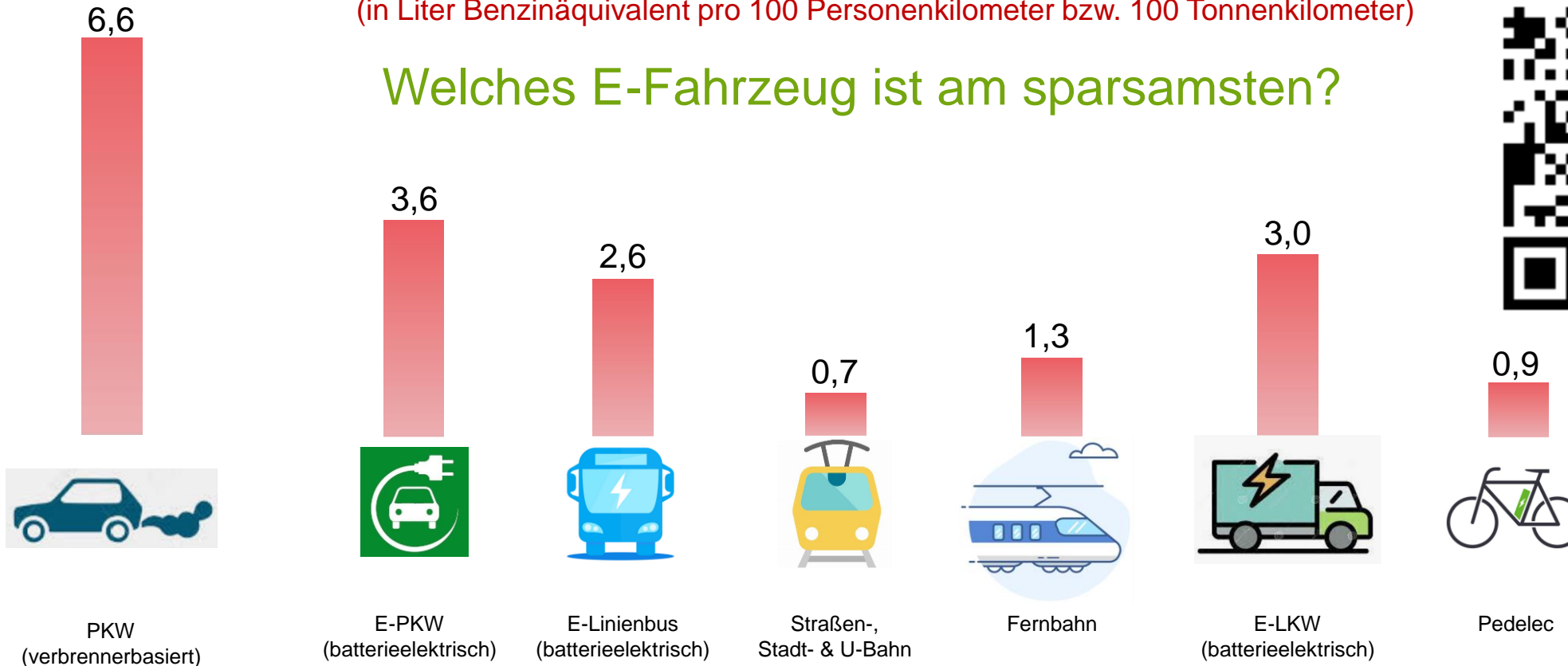


Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz

Energieverbrauch elektrifizierter Verkehrsmittel (LCA)

(in Liter Benzinäquivalent pro 100 Personenkilometer bzw. 100 Tonnenkilometer)

Welches E-Fahrzeug ist am sparsamsten?



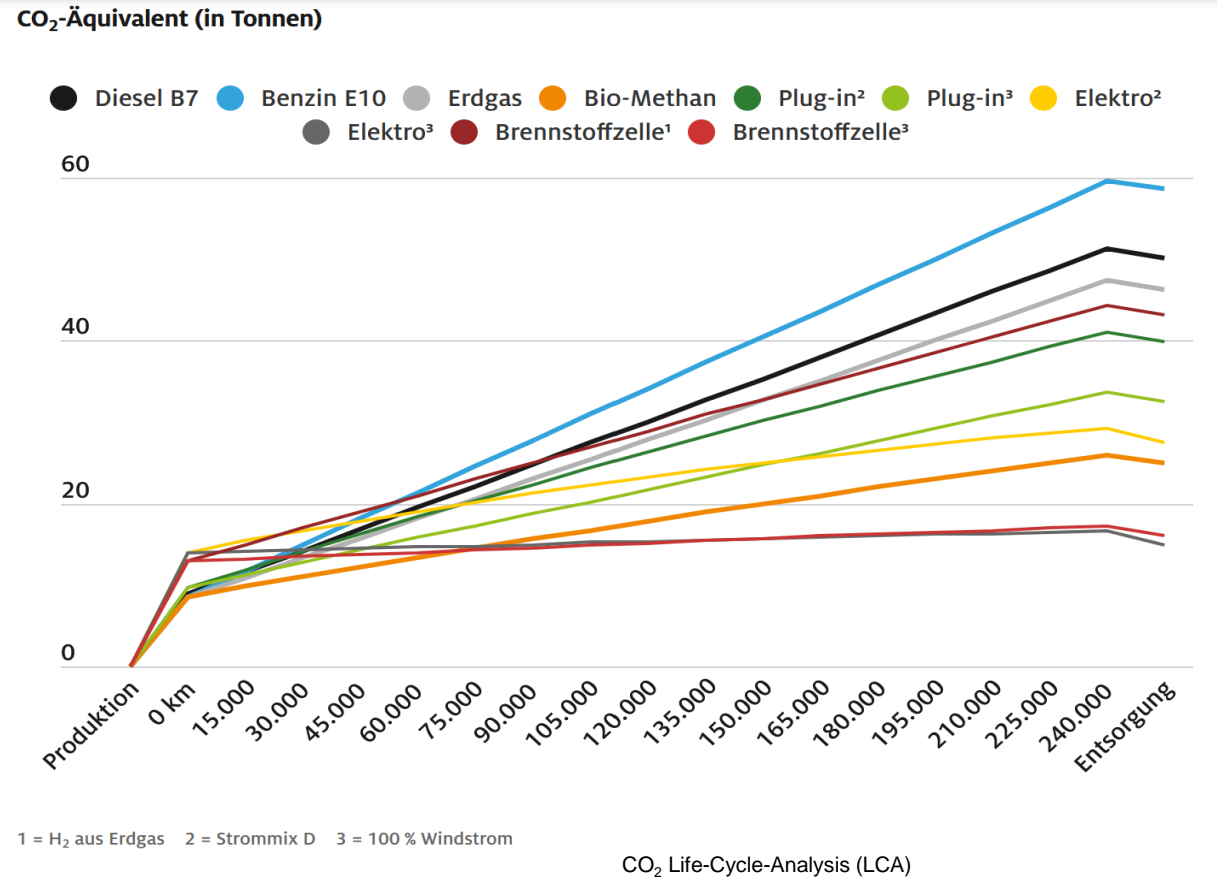
Quelle: Allianz pro Schiene auf Basis Umweltbundesamt → Grundlage: durchschnittlicher Strommix in Deutschland, Benzinäquivalent 1 l = 32 MJ = 8,9 kWh, Alle Werte incl. Energetischer Vorkette, Auslastung 50%

10 Mythen und Fakten der E-Mobilität

1. „Die CO₂-Bilanz ist schlecht“

Hintergrunddaten:

- Benzin (E10): 7,3 l/100 km Kraftstoffverbrauch
- Diesel (B7): 5,4 l/100 km Kraftstoffverbrauch
- Erdgas/Bio-Methan: 4,5 kg/100 km
- Plug-in-Hybrid: 3,2 l/100 km Benzin, 11 kWh Strom (30% rein elektrisch)
- Brennstoffzelle (H₂): 1 kg/100 km
- Elektro (Strom): 19 kWh/100 km Stromverbrauch
- eFuel (FT-Diesel): 5,1 l/100 km Kraftstoffverbrauch
- Jährliche Fahrleistung: 15.000 km
- Pkw-Lebensdauer: 16 Jahre
- Motorleistung: 90 kW
- Batterie-Kapazität E-Auto: 55 kWh
- Batterie-Lebensdauer: 240.000 km (lebenslang)



Quelle: Joanneum Research, Graz

© ADAC e.V. 12.2022

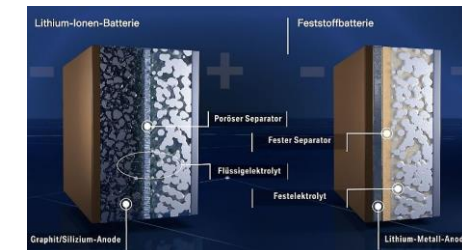
10 Mythen und Fakten der E-Mobilität

2. „E-Fahrzeuge sind nicht alltagstauglich“ (Reichweitenproblematik)

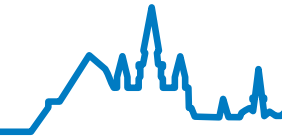
- Wir befinden uns erst am Anfang der Batteriespeicherentwicklung (vergleichbar mit dem Jahr 1960 bzgl. Otto-Motor)
- Die Energiedichte der Batteriespeicher hat sich in den letzten 6 Jahren mehr als verdoppelt (bei identischem Bauraum):
 - Renault Zoe 2016 → **22 kWh** (reale Reichweite **120 km**)
 - Renault Zoe 2022 → **52 kWh** (reale Reichweite **325 km**)
- Bis 2030 sollen mehrere neue Batterietechnologien ihr Debüt feiern:
 - ab 2025 Lithium-Ionen-Akku der nächsten Generation mit **knapp 900 km** Reichweite
 - ab 2027 **Feststoffbatterie** (Ankündigung Toyota... und auch andere Hersteller):
 - ✓ hohe Reichweiten (**1200 km... nach oben offen**)
 - ✓ kurze Ladezeiten (**10 Min.** / 20% → 80% SOC)
 - ✓ Lange Lebensdauer (**Zyklenzahlen bis 100.000**)



Bildquelle: Renault



Bildquelle: BMW

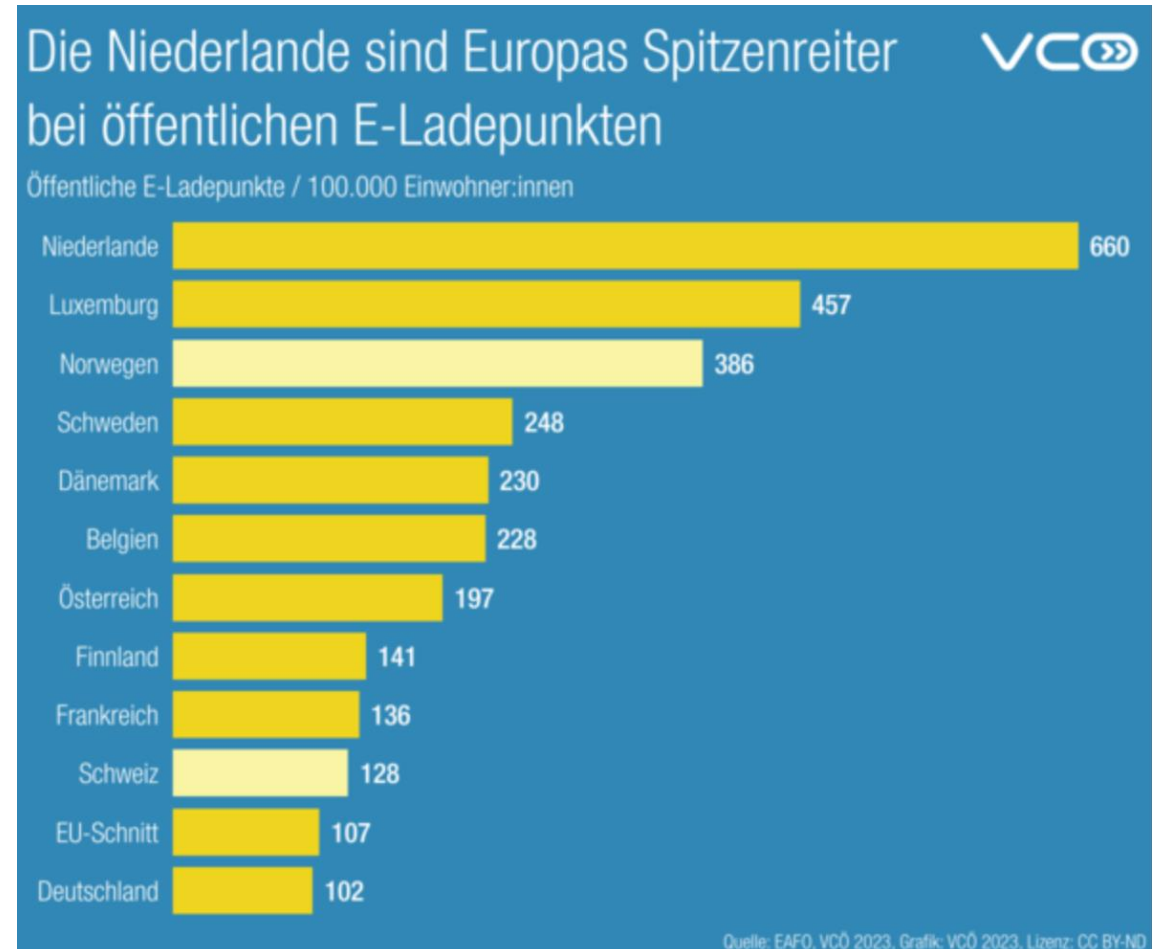


10 Mythen und Fakten der E-Mobilität

3. Es gibt zu wenig Lademöglichkeiten



Bildquelle: Tesla



10 Mythen und Fakten der E-Mobilität

4. E-Fahrzeuge sind brandgefährlich

- Technische Fehler können nie ausgeschlossen werden Das Risiko wird durch strenge Überprüfung und **zertifizierte Herstellungsprozesse** minimiert.
- Brandereignisse treten **statistisch seltener** auf als bei Verbrenner-Fahrzeugen:
 - Flammpunkt Benzin: **-20°C**
 - Li-Ion-Batterie: Thermal Runway ab etwa **150°C**
- **Thermal Runaway:**
Überhitzung der Zelle durch einen sich selbst verstärkenden wärmeproduzierenden Prozesses (Kettenreaktion). Auslöser insb.:
 - Kurzschluss (z.B. als Unfallfolge)
 - Überladung, Überströme
- Feuerwehr-Verbände geben an, dass sie mit solchen Brandereignissen professionell umgehen können (**keine Löschung sondern Kühlung**)



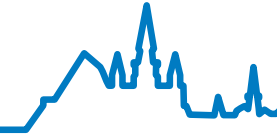
Bildquelle: BMW



Bildquelle: dpa



Bildquelle: Lion Smart GmbH



10 Mythen und Fakten der E-Mobilität

5. Hohes Gewicht führt zu hohen Energieverbrauchswerten

„Gewicht spielt hinsichtlich Reichweite keine entscheidende Rolle“

Erkenntnis einer Studie des Forschungsinstituts Center Automotive Research (CAR) der Universität Duisburg (Ferdinand Dudenhöffer) aus 2017

Ursachen:

- insb. bei Langstreckenfahrten sind der cw-Wert und die Außentemperatur die entscheidenden Größen
- die Geschwindigkeit beschleunigter Massen kann mit geringem Energieaufwand konstant gehalten werden
- Bremsenergierückgewinnung (Rekuperation)

Karosserie-Leichtbau hat bzgl. E-Reichweite somit keine Präferenz. Der Benefit liegt in der Schonung von Ressourcen durch weniger Materialeinsatz und ist daher weiterhin relevant!

10 Mythen und Fakten der E-Mobilität

6. Die CO₂ Bilanz bei Herstellung und Entsorgung ist schlecht.

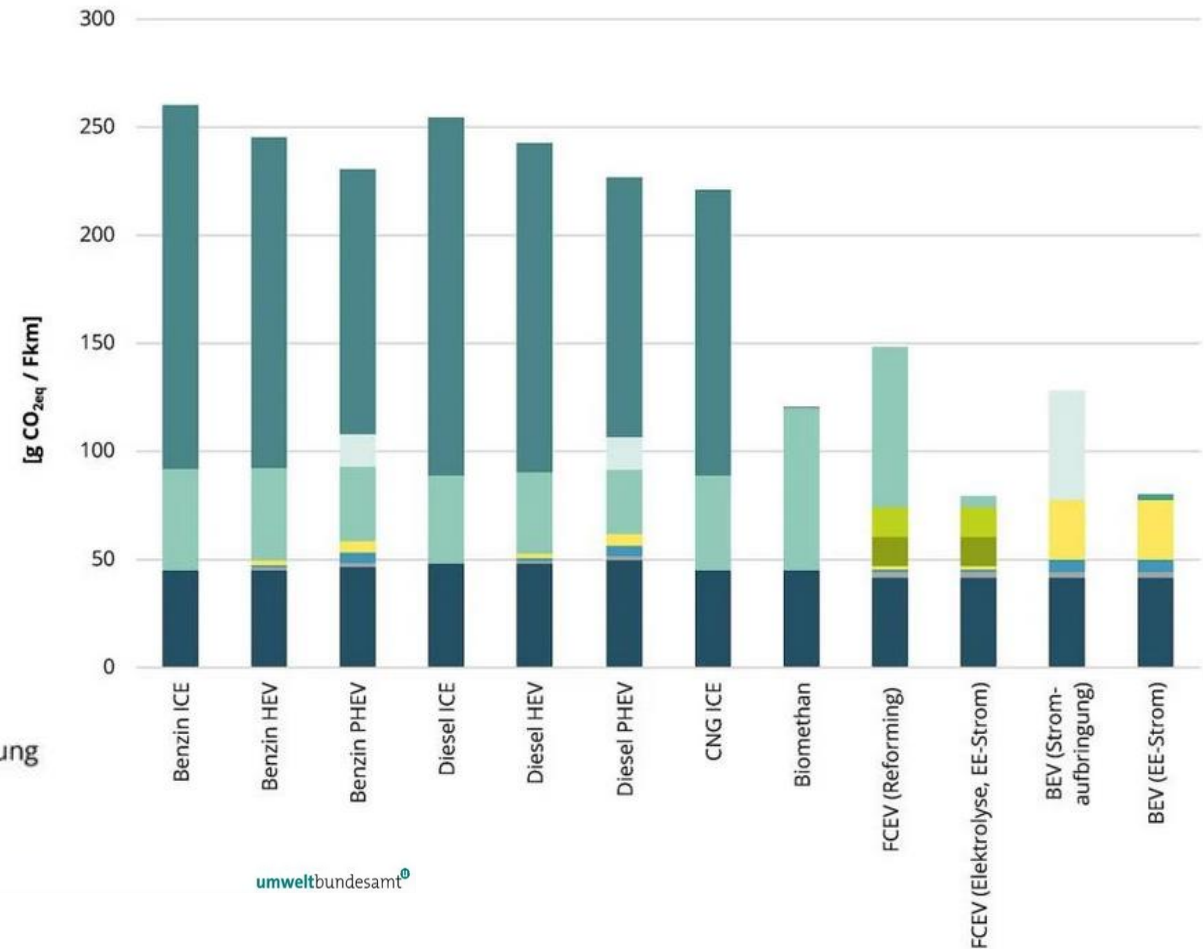
Legende:

- EE = Erneuerbare Energie
- ICE = Internal Combustion Engine (Verbrennungsmotor)
- HEV = Hybrid Electric Vehicle
- PHEV = Plugin Hybrid Electric Vehicle
- CNG = Compressed Natural Gas (Erdgas)
- FCEV = Fuel Cell Electric Vehicles
- Reformed → Methanol als Brennstoff
- BEV = Battery Electric Vehicle
- Stromaufbringung → Strommix

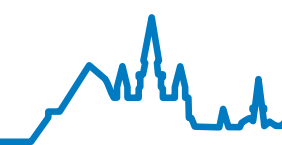
- Fahrzeugherstellung
- Herstellung elektr. Antriebsstrang
- Herstellung BZ
- vorgelagerte THG-Emissionen Energiebereitstellung
- Emissionen Antrieb erneuerbarer Strom
- Herstellung E-Motor
- Akku Herstellung
- Herstellung H₂-Speicher
- Emissionen Antrieb Stromaufbringung
- direkte THG-Emissionen

Quelle: Umweltbundesamt

THG-Emissionen je Fahrzeugkilometer
Kompaktklasse II



umweltbundesamt



10 Mythen und Fakten der E-Mobilität

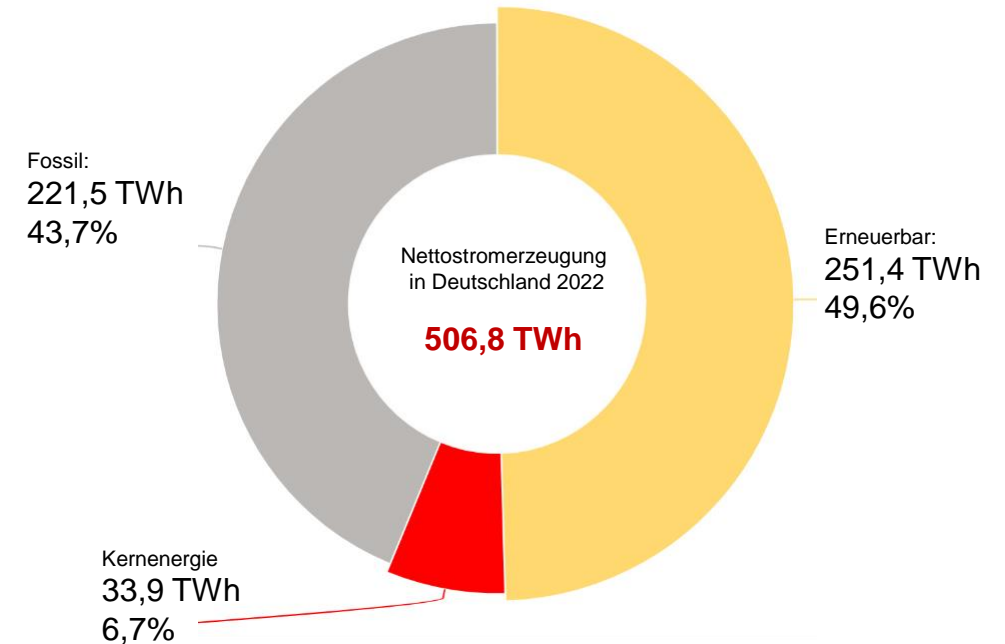
7. Das Stromnetz wird zusammenbrechen

	Fahrzeug-Bestand	Verbrauch	Fahrstrecke/Jahr	Strombedarf
Nur Pkw	46.500.000	12 kWh	13.922 km	77,68 TWh
	46.500.000	15 kWh	13.922 km	97,11 TWh
	46.500.000	20 kWh	13.922 km	129,47 TWh
Alle Kraftfahrzeuge				
	56.500.000	23,6 kWh	13.257 km	176,77 TWh
	56.500.000	25,6 kWh	13.257 km	191,75 TWh

Bildquelle: Edison Media

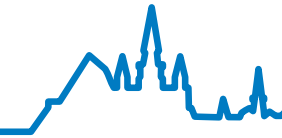
Nettostromverbrauch in Deutschland 2022:
484,2 TWh

Nettostromüberschuss in Deutschland 2022:
22,6 TWh



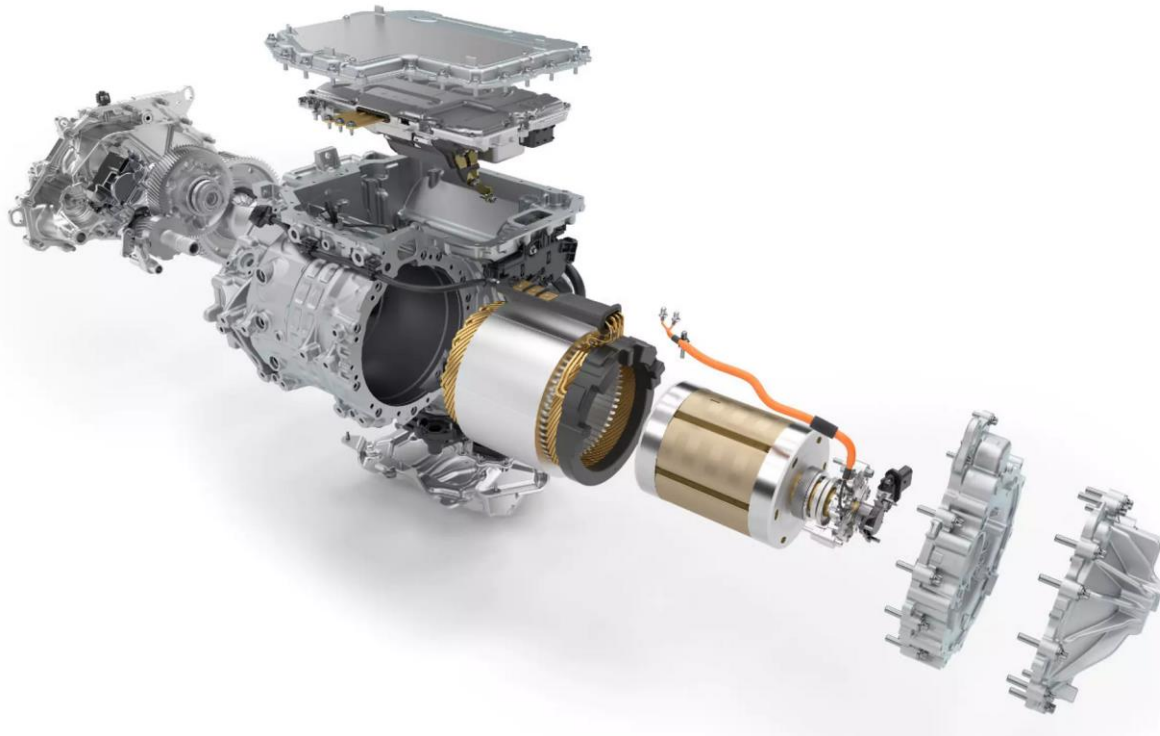
Bildquelle: Fraunhofer / energy-charts.info / Bundesnetzagentur

- Weniger Individualverkehr verändert die Rechnung!
- Fahrzeug-Akkus als Netzstromspeicher (bidirektionales Laden, unterstützt durch KI-gestütztes Lade- / Entlademanagement)
 - Gesetzgeber, Industrie und Energieversorger müssen noch Normen, Regeln und passende Stromtarife entwickeln
 - noch gibt es kaum geeignete Fahrzeuge, Wallboxen



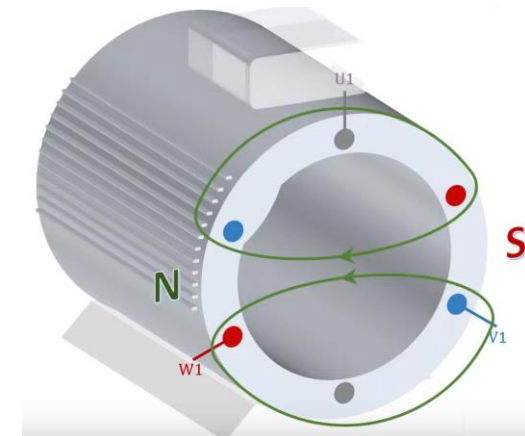
10 Mythen und Fakten der E-Mobilität

8. Für Elektrische Antriebe werde Unmengen von Seltene Erden benötigt



BMWs fremderregter Synchronmotor, wie er in iX, iX3 und i4 zum Einsatz kommt. Beachten Sie die Stromversorgung des Rotors!
(Bildquelle: BMW)

rotierendes Magnetfeld
im Stator

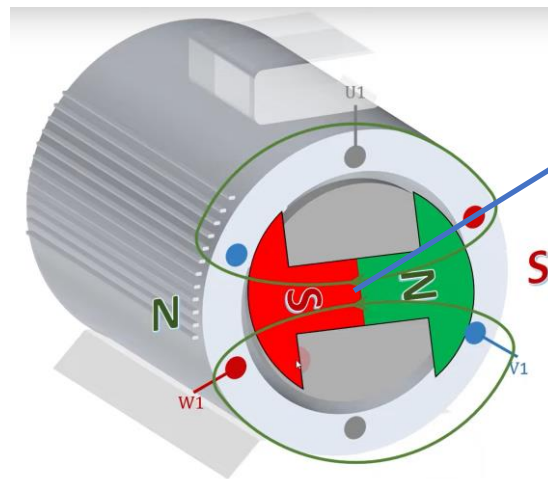


Bildquelle: Sven Stemmler

10 Mythen und Fakten der E-Mobilität

8. Für Elektrische Antriebe werde Unmengen von Seltene Erden benötigt

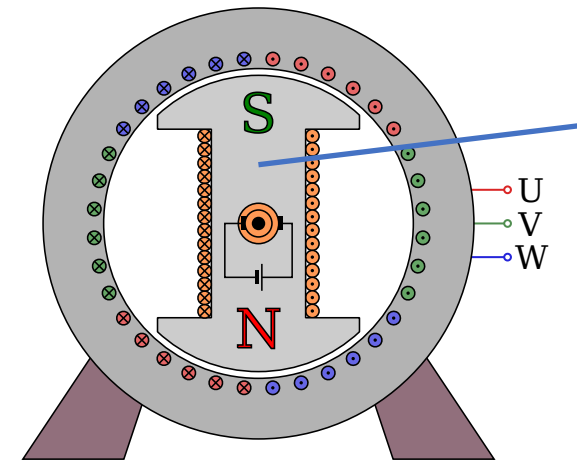
**Permanenterregte
Synchronmaschine
(PSM)**



**Permanentmagnet
als Läufer**

Bildquelle: Sven Stemmler

**Fremderregte
Synchronmaschine
(FSM)**



**Elektromagnet
als Läufer**

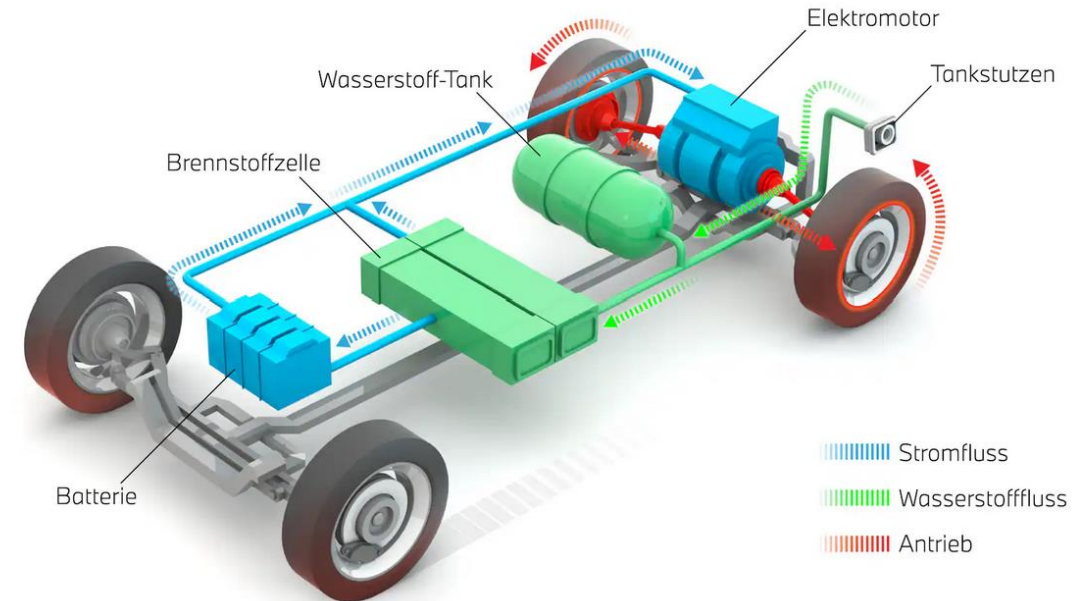
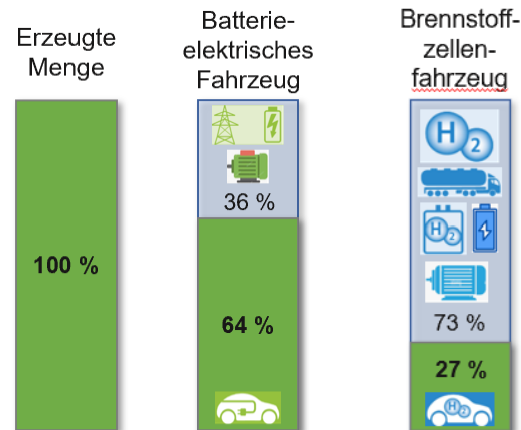
Bildquelle: Sven Stemmler

10 Mythen und Fakten der E-Mobilität

9. Warten wir doch auf den Wasserstoff

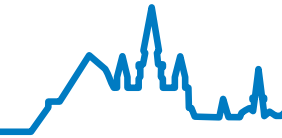


Bildquelle Fotolia



Bildquelle BMW

- Autoindustrie bestätigt von sich aus, dass zumindest im MIV-Bereich die Zukunft ausschließlich bei den batterieelektrischen Fahrzeugen liegt.
- Der Einsatz von H_2 / Brennstoffzelle ist bei energieintensiven und speziellen Anwendungsfällen zielführend: LKW / Schwerlastverkehr, Luftverkehr, Schifffahrt, Schwerindustrie, etc.



10 Mythen und Fakten der E-Mobilität

10. „E-Fahrzeuge sind zu teuer“

- Die Kosten eines Elektrofahrzeugs werden aktuell (noch) zu rund 30 Prozent von der Batterie bestimmt.
- Das Entwicklungspotenzial ist groß. Höhere Stückzahlen, Produktionsautomatisierung und neue Batterietechnologien werden dazu führen, dass die Preise sinken, bzw. schon gesunken sind. McKinsey: zwischen 2010 und 2016 sind die Batteriepreise um rund 80 Prozent gefallen.
- Elektrofahrzeuge haben im Vergleich zu herkömmlichen Fahrzeugen weniger bewegliche Teile, was den Bedarf an häufiger Wartung und kostspieligen Reparaturen verringert.
- Umweltprämie ab 2024: 3000,- € (Fahrzeuge mit einem Basispreis bis 45.000,- €)



Bildquelle: Opel

Opel Corsa – Basispreis (incl. MwSt.)

- Verbrenner (75 kW): **21.680,- €**
- E-Version (100 kW / 50 kWh): **34.650,- €**



Bildquelle: Volvo

Volvo – Basispreis (incl. MwSt.)

- XC40 (95 kW): **38.700,- €**
- EX30 (200 kW / 50 kWh): **34.805,- €**



Bildquelle: BMW

BMW 4er – Basispreis (incl. MwSt.)

- Verbrenner (135 kW): **51.300,- €**
- E-Version (210 kW / 67 kWh): **56.500,- €**

10 Mythen und Fakten der E-Mobilität

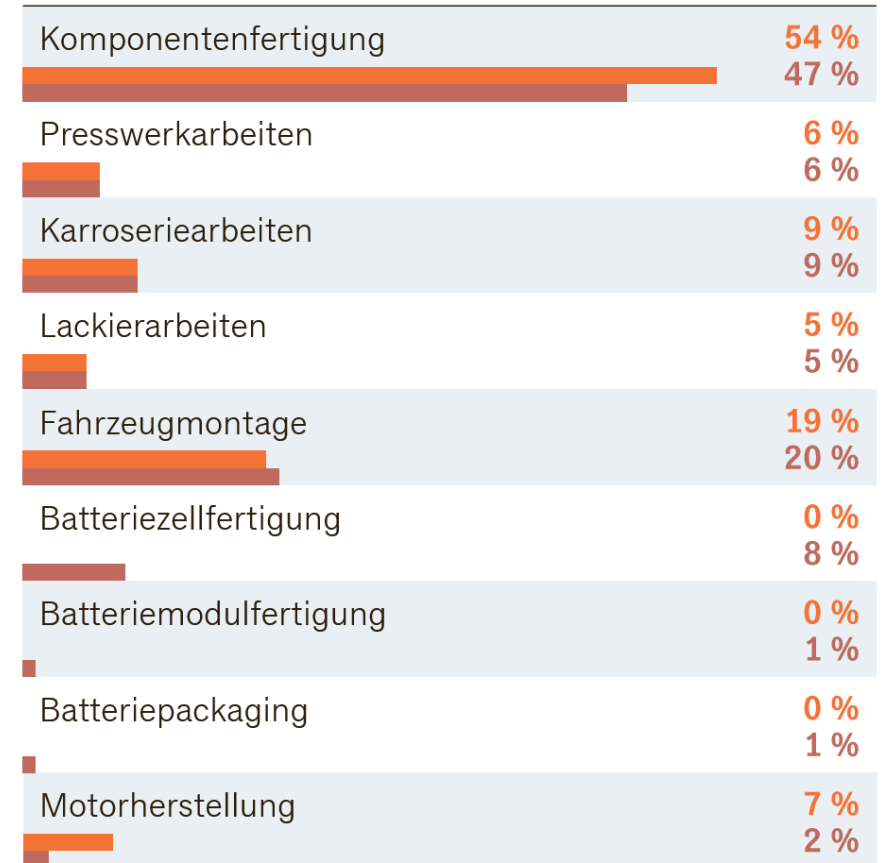
11. „Elektromobilität vernichtet Arbeitsplätze“

In E-Fahrzeugen steckt ähnlich viel Arbeitsaufwand wie in Verbrennern. Das Potential hoher Stellenverluste ist dennoch gegeben, warum?

- Neue Werke für Komponenten der E-Fahrzeuge werden aus Kostengründen und wegen Fachkräftemangel eher in Osteuropa als in Deutschland entstehen. Die Lieferkette wird sich über die Region hinaus verschieben.
- Umqualifizierung der hiesigen Mitarbeiter*Innen dauert lange und ist kostenintensiv
- Die deutsche Autoindustrie fertigt bislang keine Batteriezellen. Dieses Arbeitsvolumen geht aktuell verloren.

Quelle: Studie der Boston Consulting Group (BCG)

■ **Verbrennungsmotor**
■ **Elektroauto**



Quelle: Studie der Boston Consulting Group (BCG)

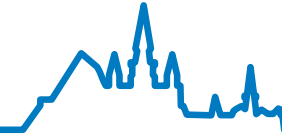
Fazit

Mobilitätswende:

- entscheidend ist hier der politische Wille, entsprechend zu investieren (Schiene, ÖPNV, Fahrradinfrastruktur, Wasserstraßen) → Reduktion der Investitionsschulden und Ausgleich der Folgen des Klimawandels.

Antriebswende:

- Technisch sind 95% der Probleme gelöst, um die Antriebswende erfolgreich zu gestalten → Politik, Gesellschaft und Wirtschaft sind hier insb. gefragt.
- Technologieoffenheit wo's sinnvoll und notwendig ist, Ideologien vermeiden
- Es wird hoffentlich so sein wie beim Rauchverbot... in 20 Jahren werden wir uns nicht mehr vorstellen können, dass wir überhaupt jemals auf die Idee kommen konnten fossile Ressourcen zu „verschwenden“, nur um von A nach B zu kommen



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!



Fragen?