

Wasserstoff im Mobilitätssektor

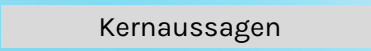
Christopher Hecht und das Wasserstoff-Kompass-Team

Struktur des Dokuments

Hinweise zum Lesen des Dokuments

Im Projekt Wasserstoff-Kompass analysieren acatech und DECHEMA aktuelle Publikationen und Studien zum Thema Wasserstoffhochlauf. Dieses Dokument fasst die Ergebnisse aus der Meta-Analyse zur Mobilität in Deutschland zusammen.

Auf der folgenden Folie sind die Kernaussagen der Meta-Analyse zum Thema Wasserstoff in der Mobilität zusammengefasst. Jede Kernaussage auf erster Ebene wird in einem eigenen Kapitel behandelt und kann per Klick auf den entsprechenden Text erreicht werden.

Eine Rückkehr zu den Kernaussagen ist im kompletten Foliensatz durch Klick auf den Button  unten links auf jeder Folie möglich. Ein Wechsel zwischen den Kapiteln ist ebenfalls möglich. Die Detail-Kapitel sind dabei jeweils gleichartig aufgebaut:

- Folie 1 (wo sinnvoll): Vergleichende Mengenübersicht der Studien
- Folie 2: Zusammenfassung des Kapitels mit erweiterten Kernaussagen
- Weitere Folien: Details zu den Mengenübersichten

- **Der deutsche Endenergiebedarf im Verkehr beträgt 300 – 400 TWh in 2045/2050**

Aufgrund der Gesamteffizienzen werden alle Bereiche elektrifiziert, wo dies möglich ist. Falls dies technisch nicht möglich oder ökonomisch nicht sinnvoll ist, werden Wasserstoff und als letzte Option e-Fuels genutzt.

- **25 – 100 TWh des deutschen Verkehrs-Endenergiebedarfs werden durch Wasserstoff gedeckt**

60 – 80% des im Verkehr eingesetzten Wasserstoffs werden im Schwerlastverkehr benötigt. Auch im Busverkehr und in der Binnenschifffahrt ist Wasserstoff signifikant, aber der Endenergiebedarf dieser Sektoren ist recht klein.

- **85 – 150 TWh entfallen auf e-Fuels**

E-Fuels werden primär in der Luft- und in geringerem Maße in der Schifffahrt benötigt. Auf der Straße werden e-Fuels zur Defossilisierung des Bestands sowie in einigen Szenarien für den Schwerlastverkehr auf der Langstrecke benötigt.

- **Politisches Ziel ist es, dass Wasserstoff vorrangig in nicht elektrifizierbaren Sektoren genutzt wird**

In den meisten Szenarien wird das Emissionsziel von 85 Mio t CO₂ im Jahr 2030 verfehlt.

- **Internationale politische Ziele und Pläne ähneln den deutschen in großen Teilen**

International verfolgen primär Südkorea und Japan das Ziel, Wasserstoff in der PKW-Sparte einzusetzen. Deutsche Automobilhersteller sehen den Einsatz der Brennstoffzelle eher im LKW-Segment.

Inhalte

Endenergiebedarf im Verkehr

Wasserstoffbedarf im Verkehr

E-Fuelsbedarf im Verkehr

Politische Ziele in Deutschland

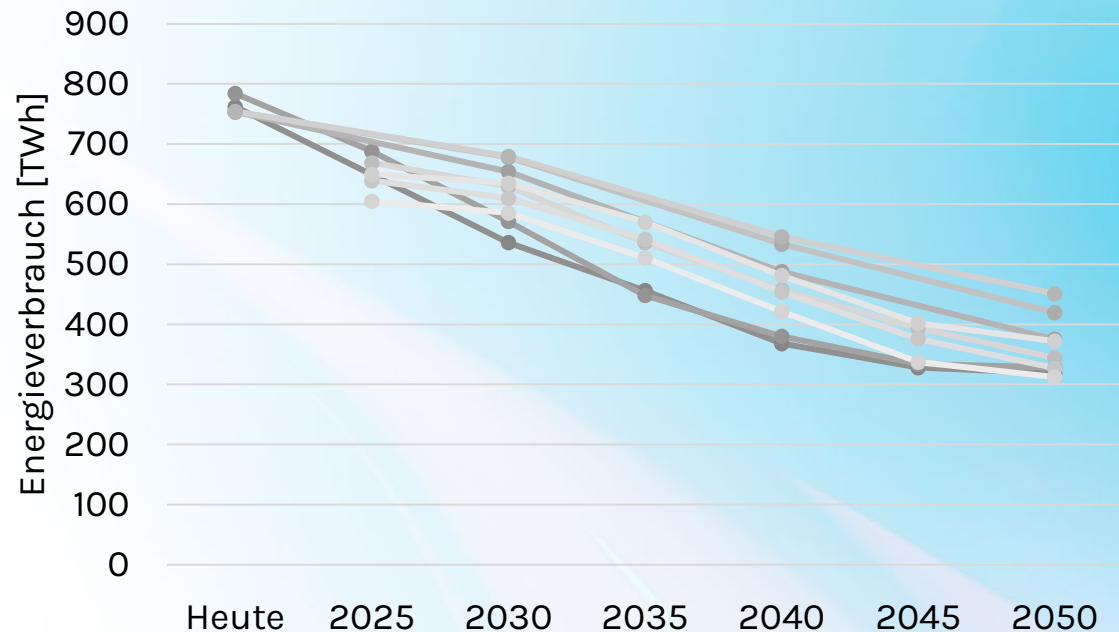
Internationale Ziele

Roundtable Schwerlastverkehr

Übersicht

Endenergieverbrauch im Verkehr

Energieverbräuche im Verkehr der verschiedenen großen Studien in Deutschland [TWh]



- Die meisten Szenarien gehen von einer drastischen Senkung des Endenergieverbrauchs in der Mobilität aus. Dies erklärt sich vor allem durch die stärkere Elektrifizierung im PKW- und LKW-Bereich und dem damit verbundenen deutlich höheren Wirkungsgrad.
- Die Varianz der verschiedenen Studien erklärt sich primär durch Unterschiede in der anteiligen Nutzung von e-Fuels und Wasserstoff sowie Änderungen der Transportmodi.

Quellenangabe der Studien

Zusammenfassung

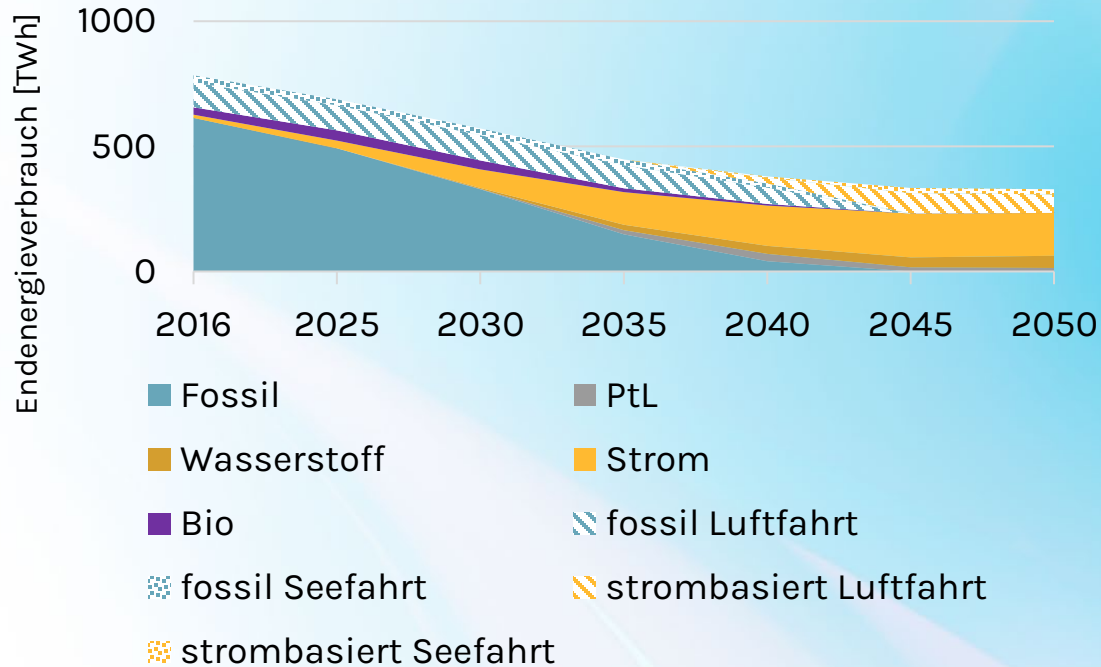
Endenergieverbrauch im Verkehr

- Der Endenergieverbrauch reduziert sich in den meisten modellierten Szenarien stark. Dies erklärt sich vor allem aus der stark höheren Energieeffizienz von batterieelektrischen Fahrzeugen im Vergleich zu Verbrennerfahrzeugen.
- Die meisten Szenarien ergeben einen Endenergieverbrauch im Verkehr von ungefähr 320 TWh. Dieser Wert steigt aber stark, wenn e-Fuels statt batterieelektrischer Fahrzeuge in nennenswerter Menge genutzt werden. Eine verstärkte Nutzung von Wasserstoff erhöht ebenfalls den Endenergiebedarf, aber nicht in demselben Maße.
- Viele Szenarien gehen von einer stark reduzierten Nutzung fossiler Kraftstoffe bereits ab 2040 aus. Dies liegt darin begründet, dass die meisten Szenarien prognostizieren, dass der Anteil der Verbrenner an den Neuzulassungen bereits 2030 stark reduziert sein wird:
 - 22% bei der dena Leitstudie (2021) wovon 15 Prozentpunkte Plug-In Hybride sind
und
 - 45% bei Agora KN2045 (2021) wovon 24 Prozentpunkte Plug-In Hybride sind (bei niedriger Gesamtzahl an PKW)

Energieträger

Endenergieverbrauch in TWh im Verkehr

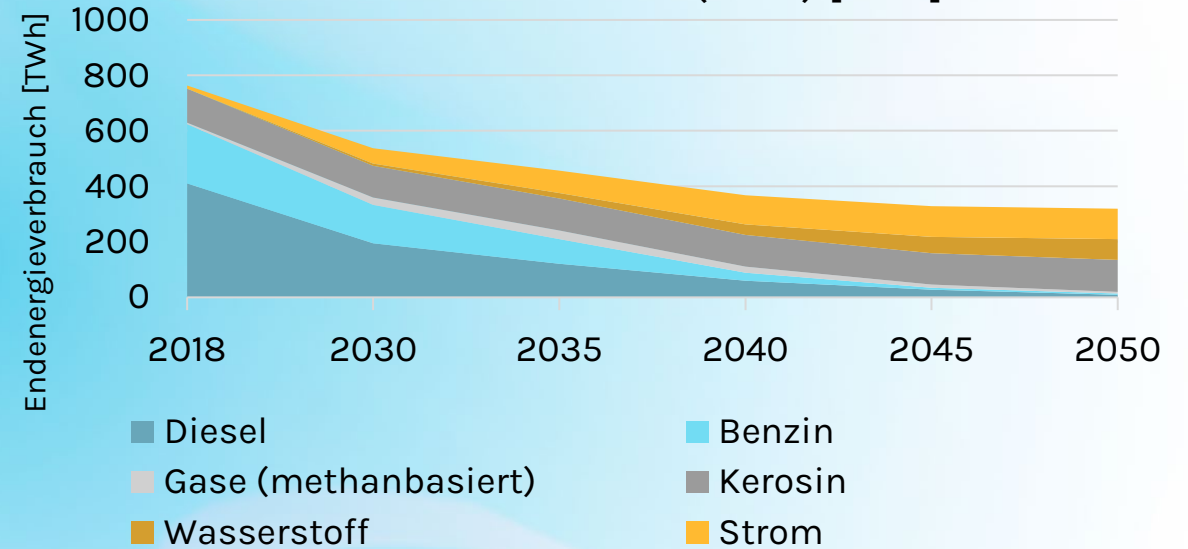
Endenergiebedarf im Verkehr nach Agora KN2045 (2021) [TWh]



Beschreibung der Agora-Studie

Datenblatt

Endenergiebedarf im nationalen Verkehr nach dena Leitstudie (2021) [TWh]

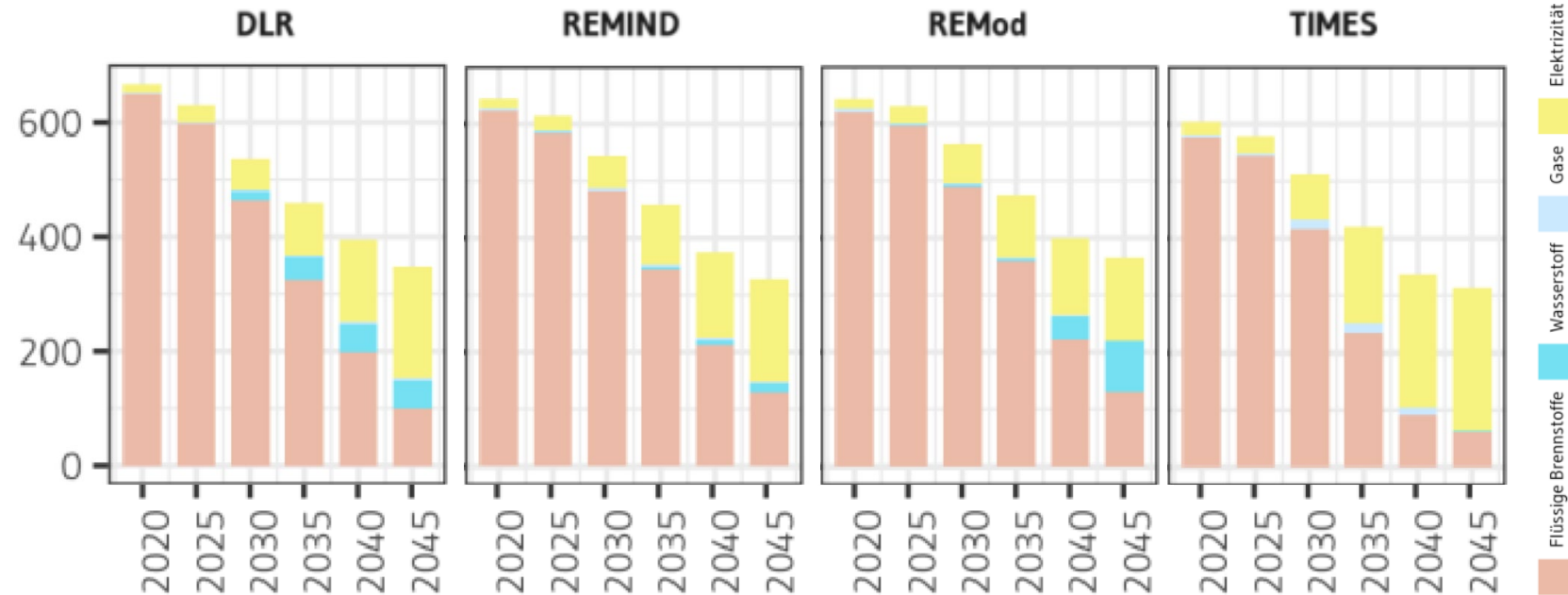


Beschreibung der dena-Studie

Hinweis: Die Studien nutzen unterschiedliche Energieträger. Die Farben entsprechen einer groben Zuordnung. dena gibt allerdings nicht an, welcher Anteil bei kohlenstoffbasierten Energieträgern aus Power-to-Liquid stammt. Kerosin, Diesel und Gase sind 2050 nahezu ausschließlich klimaneutral und entsprechend den strombasierten Energieträgern in Agora KN204. Das aktualisierte Emissionsziel im Verkehrs von 85 Mio. t in 2030 wird bei Agora verfehlt und bei dena erreicht.

Energieträger

Endenergieverbrauch in TWh im Verkehr nach Ariadne (2021)



Details finden sich auf [Seite 2 des Szenario-reports](#). Eine vollständige Darstellung aller Szenarien ist im Anhang bzw. im [Ariadne-Bericht auf Seite 74](#) zu finden. Alle Daten sind im [Datenexplorer](#) einsehbar.

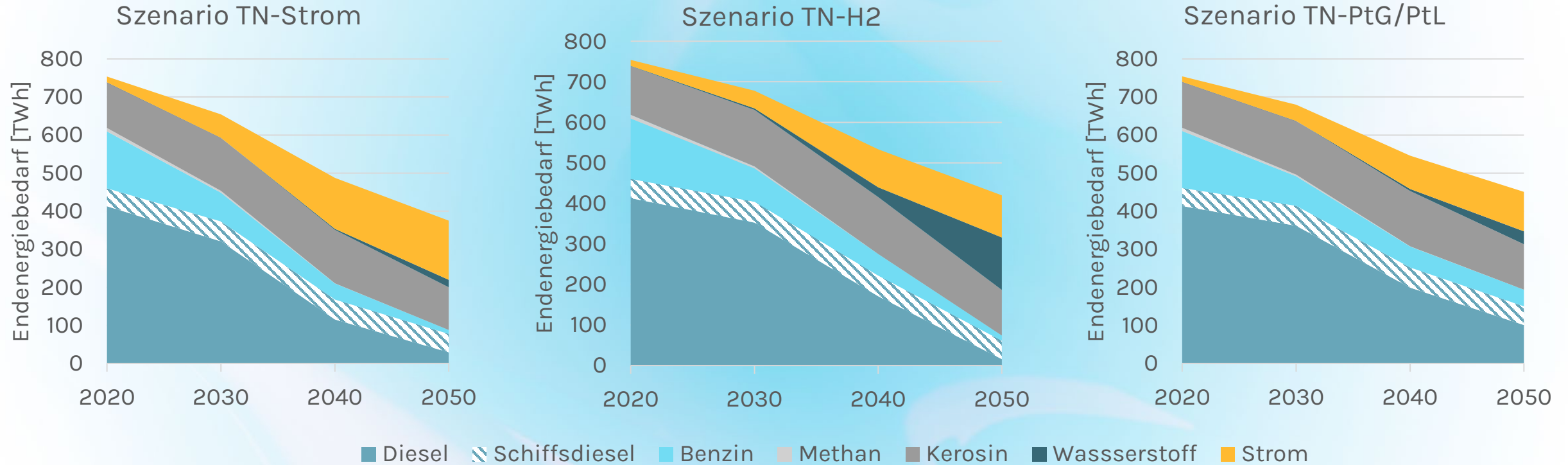
Dargestellt ist das „Mix“-Szenario, welches eine Balance der Technologien anstrebt. Die Emissionsziele des Verkehrs 2030 werden je nach Szenario um 20 - 55 Mio t verfehlt.

Beschreibung der Studie

Datenexplorer

Energieträger

Endenergieverbrauch in TWh der Langfristszenarien des Fraunhofer ISI et al. (2021)

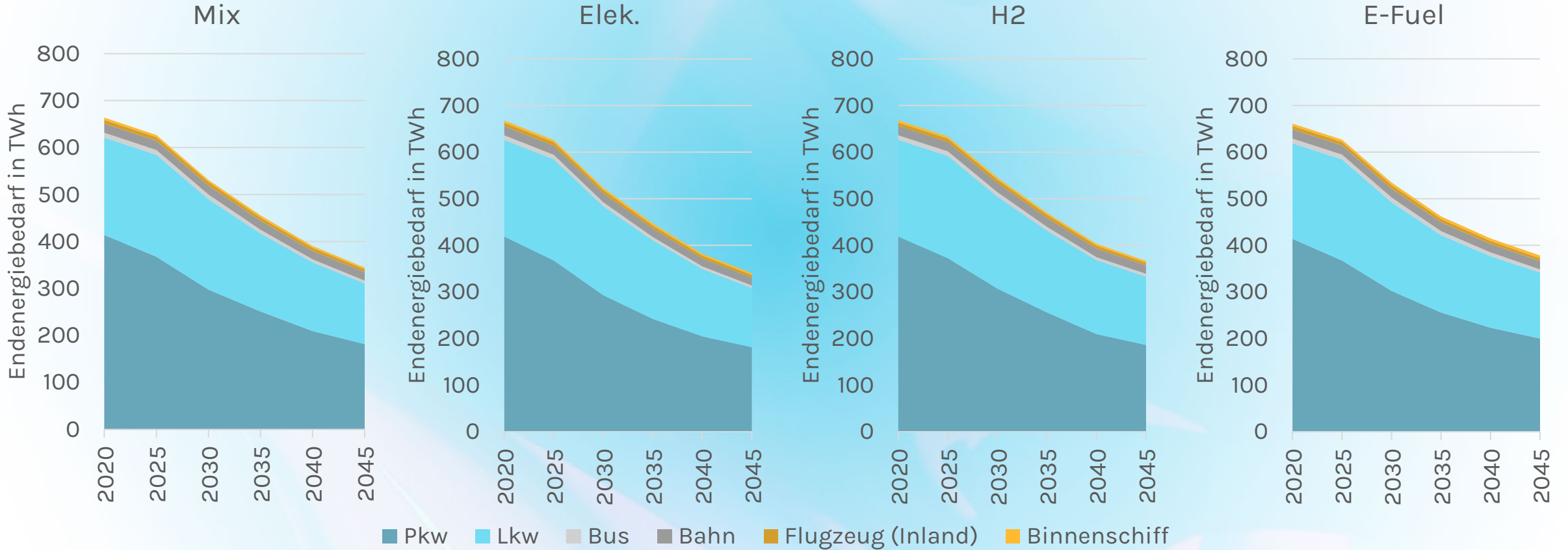


Systemisch werden CO₂-Emissionen um 40%, 55%, 70%, und 80% in 2020, 2030, 2040 und 2050 reduziert (keine Sektorziele, siehe [Hintergrundbericht](#)). Der Anteil strombasierter Kraftstoffe ist nicht angegeben, dafür aber die [Emissionsfaktoren](#). 2050 sind alle Kraftstoffe emissionsfrei.

[Beschreibung der Studie](#)
[Datenexplorer](#)

Verkehrsmittel

Endenergieverbrauch in TWh nach Verkehrsmittel in den Szenarien von Ariadne



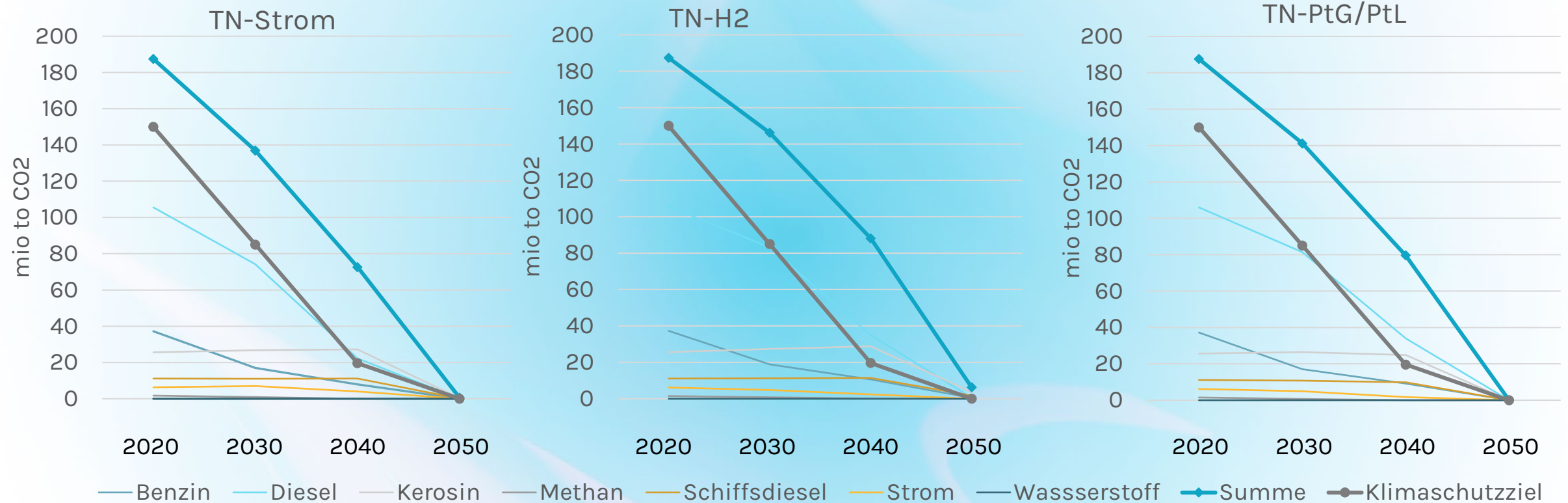
[Beschreibung der Studie](#)

[Aufteilung Energieträger nach Verkehrsmittel](#)

[Datenexplorer](#)

Emissionen in Mio t CO₂

CO₂-Emissionen nach Energieträger der Langfristszenarien des Fraunhofer ISI et al.



Die dargestellten Werte sind eine Abschätzung. Die CO₂-Intensität der Brennstoffe Benzin, Diesel, Methan und Strom wurden [hier](#) zur Verfügung gestellt. Für Schiffsdiesel und Kerosin wurde basierend auf [Werten des BMU](#) eine gleiche Prozentuale Senkung wie bei Diesel angenommen.

Beschreibung der Studie

Inhalte

Endenergiebedarf im Verkehr

Wasserstoffbedarf im Verkehr

E-Fuelsbedarf im Verkehr

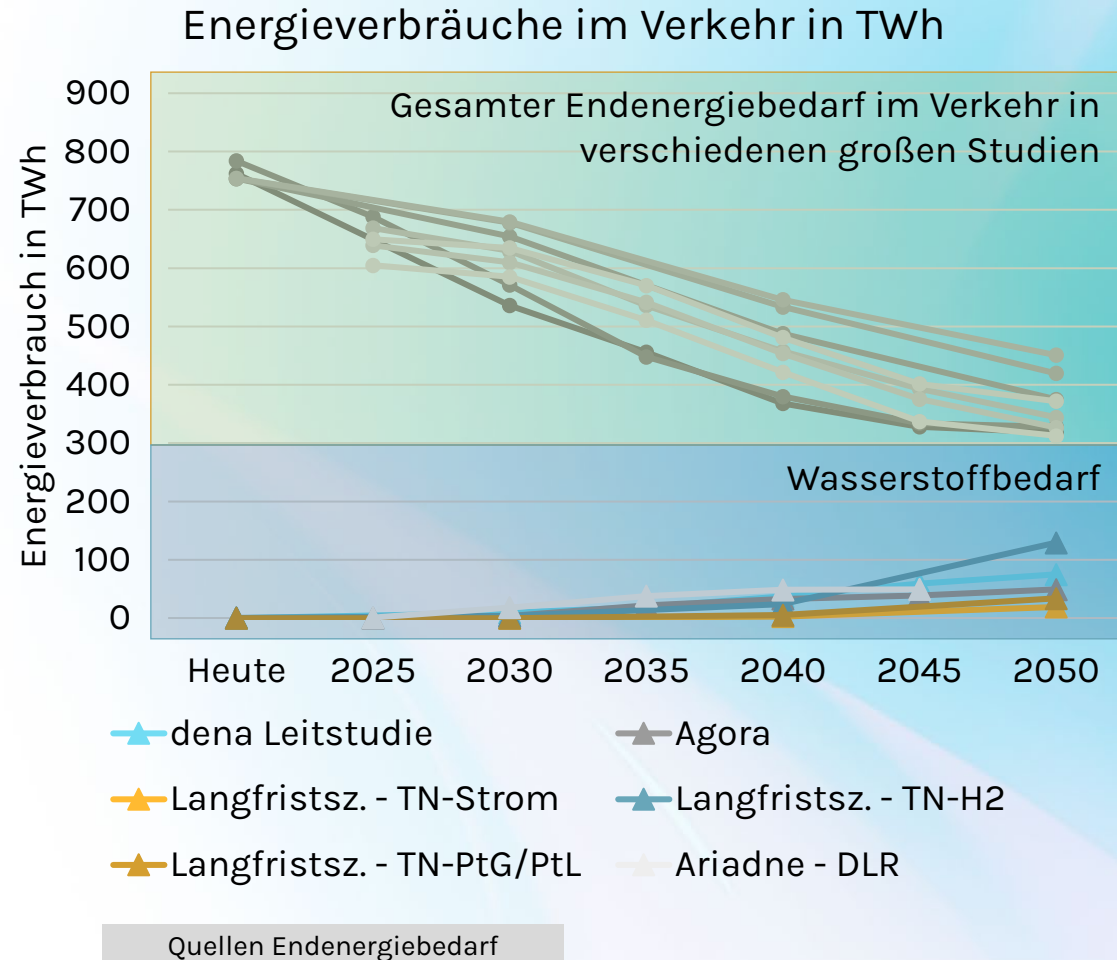
Politische Ziele in Deutschland

Internationale Ziele

Roundtable Schwerlastverkehr

Übersicht

Wasserstoffbedarf in TWh



- Die meisten Szenarien gehen von einer drastischen Senkung des Endenergieverbrauchs in der Mobilität aus. Dies erklärt sich vor allem durch die stärkere Elektrifizierung im PKW- und LKW-Bereich und dem damit verbundenen deutlich höheren Wirkungsgrad.
- Selbst in Szenarien, in denen der Einsatz von Wasserstoff sehr stark forciert wird, deckt dieser selten mehr als 25% des Endenergiebedarfs im Verkehr.
- Die Rolle des Wasserstoffs in den Segmenten:
 - LKWs: Erzeugen den Großteil des Wasserstoffbedarfs, besonders im Schwerlastbereich. Je nach Szenario nutzen 0% bis ~75% der LKW Wasserstoff.
 - PKWs: Geringer Bedarf, da BEVs dominieren.
 - Schiene, Schiff, Bus: Je nach Szenario substantieller Bedarf, aber geringer Endenergiebedarf und daher auch keine großen Wasserstoff-Bedarfe. Mit industriellen H₂-Anwendungen ergeben sich z.T. lokale Wasserstoffcluster („Hydrogen Valleys“).

Zusammenfassung

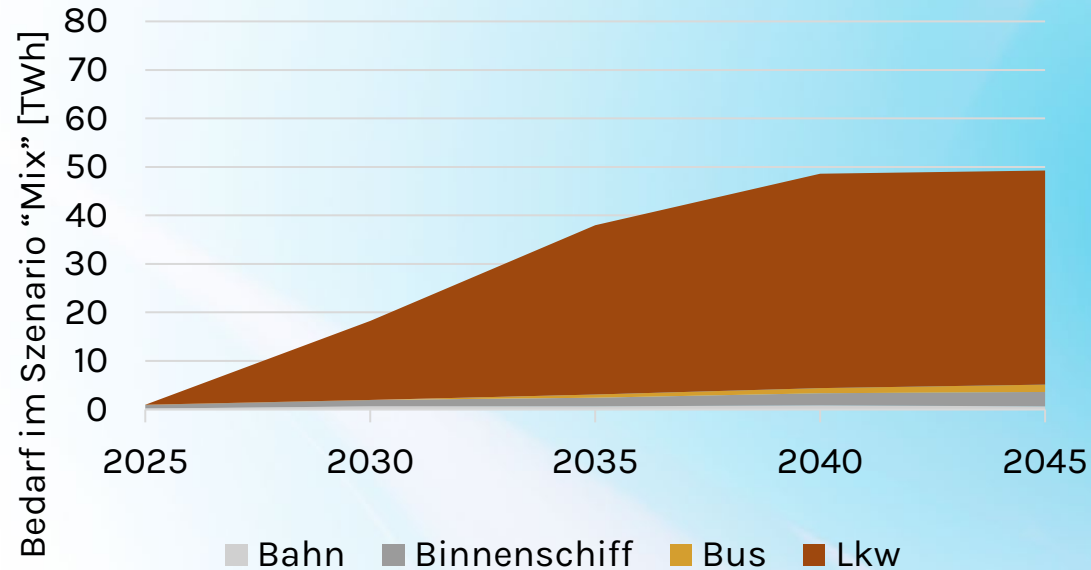
Wasserstoffverbrauch im Verkehr

- Der Bedarf an reinem Wasserstoff wird im Verkehrsbereich von schweren LKWs dominiert.
- Bei Bussen ist zwar davon auszugehen, dass ein substantieller Teil mit Wasserstoff betrieben werden könnte. Die Gesamtenergieverbräuche in diesem Sektor sind aber deutlich unter denjenigen in anderen Bereichen und daher ist auch der absolute Wasserstoffverbrauch niedrig. Ähnliches gilt auch für die Binnenschifffahrt.
- Der Anteil des Wasserstoffs in den übrigen Bereichen PKW, Bahn und Flugzeug ist deutlich kleiner.
- Bei PKW, Binnenschifffahrt und Flugzeugen könnten aber e-Fuels eine Rolle spielen. Bei PKWs sind das vor allem Bestandsfahrzeuge, bei den anderen Optionen auch Neuanschaffungen.
- Die dena Leitstudie (2021) und Ariadne (2021) gehen für das Jahr 2050 von etwa 40 - 50 TWh/a Wasserstoffbedarf im LKW-Verkehr und zwischen 10 und 20 TWh/a in anderen Bereichen aus.

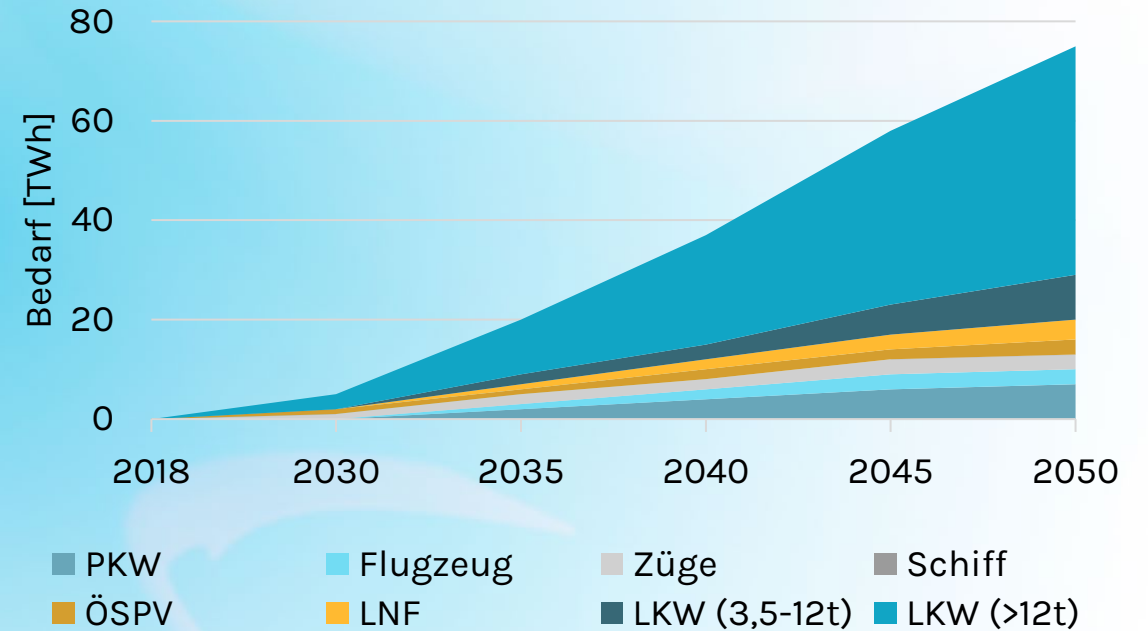
Verkehrsmittel

Wasserstoffverbrauch in TWh im Verkehr

Wasserstoffbedarf nach Ariadne-Report (2021)*



Wasserstoffbedarf nach dena Leitstudie (2021)



* Daten wurden maschinell aus Grafiken ausgelesen. Leichte Ungenauigkeiten sind daher möglich. In der Luftfahrt sind keine Bedarfe vorgesehen.

[Beschreibung der Ariadne-Studie](#)

[Datenexplorer](#)

[Beschreibung der dena-Studie](#)

Zitate aus Studien

Wasserstoffverbrauch im Verkehr

bdi-klimapfade, 10.2021:

„Der Brennstoffzellenantrieb wird aus heutiger Sicht eine **Nischenrolle** spielen. Wasserstoff Pkw werden momentan nur von einigen Herstellern als Alternative zu rein batterieelektrischen Fahrzeugen entwickelt und haben mindestens mittelfristig höhere Anschaffungskosten, die sich aufgrund erheblich niedrigerer Forschungsinvestitionen weniger dynamisch entwickeln. Im Personenverkehr werden sie deswegen absehbar eine untergeordnete Rolle spielen.“

Ariadne, 10.2021:

„Für Pkw ist das Potenzial bis 2030 durch den späten Markteintritt von FCEVs im Vergleich zu bereits heute verfügbaren BEVs und deren Kostenvorteil und Effizienz **sehr gering und auch bis 2045 begrenzt.**“

2021_DEU_dena_Metastudie:

„Bei PKW und leichten Lkw ist eine starke Spreizung in den Studienergebnissen bezüglich der Relevanz von Wasserstoff zu erkennen. Wenn Studien hier einen Wasserstoffeinsatz sehen, dann **erst nach 2030** in größerem Umfang. In älteren Studien wurde dies oft noch positiver eingeschätzt.“

Agora 2021_Klimaneutrales Deutschland 2045:

„Die Neuzulassungen ab dem Jahr 2032 bestehen nahezu ausschließlich aus rein batterieelektrischen Pkw (BEV). Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV) kommen in diesem Szenario **nur zu sehr geringen Anteilen** in den Pkw-Markt, denn sie sind wegen der auch in Zukunft vergleichsweise deutlich höheren Technologiekosten **im Pkw-Bereich nicht konkurrenzfähig.**“

Inhalte

Endenergiebedarf im Verkehr

Wasserstoffbedarf im Verkehr

E-Fuelsbedarf im Verkehr

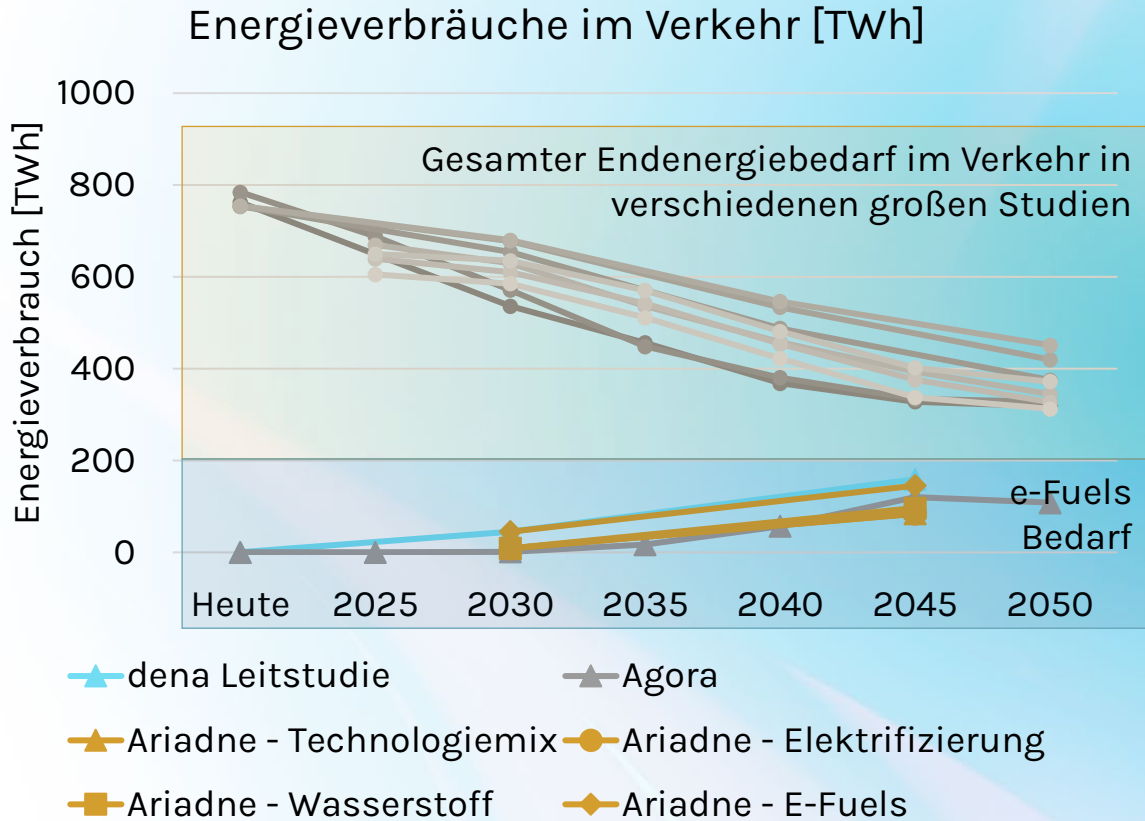
Politische Ziele in Deutschland

Internationale Ziele

Roundtable Schwerlastverkehr

Übersicht

E-Fuelsverbrauch im Verkehr



Bei Ariadne werden nur Bedarfe für Straßenverkehr angegeben

Quellen Endenergiebedarf

- E-Fuels werden vor allem dort benötigt, wo eine Elektrifizierung oder die Nutzung von Wasserstoff technisch unmöglich ist.
- Nach Schätzung der Agora Energiewende (2021) werden knapp 70% der e-Fuels im Luftverkehr benötigt. Bei Szenarien mit vorgegeben hoher Nutzung von e-Fuels wie z.B. im „E-Fuels“-Szenario in Ariadne (2021) sind aber auch im Straßenverkehr große Verbräuche möglich.
- Der Endenergieverbrauch e-fuels ist aufgrund des geringen Wirkungsgrads der Benzin/ Diesel-Verbrennung (25-35%) stark erhöht.

Zum Vergleich: BEV Wirkungsgrade 70% - 90%

Zusammenfassung

E-Fuelsverbrauch im Verkehr

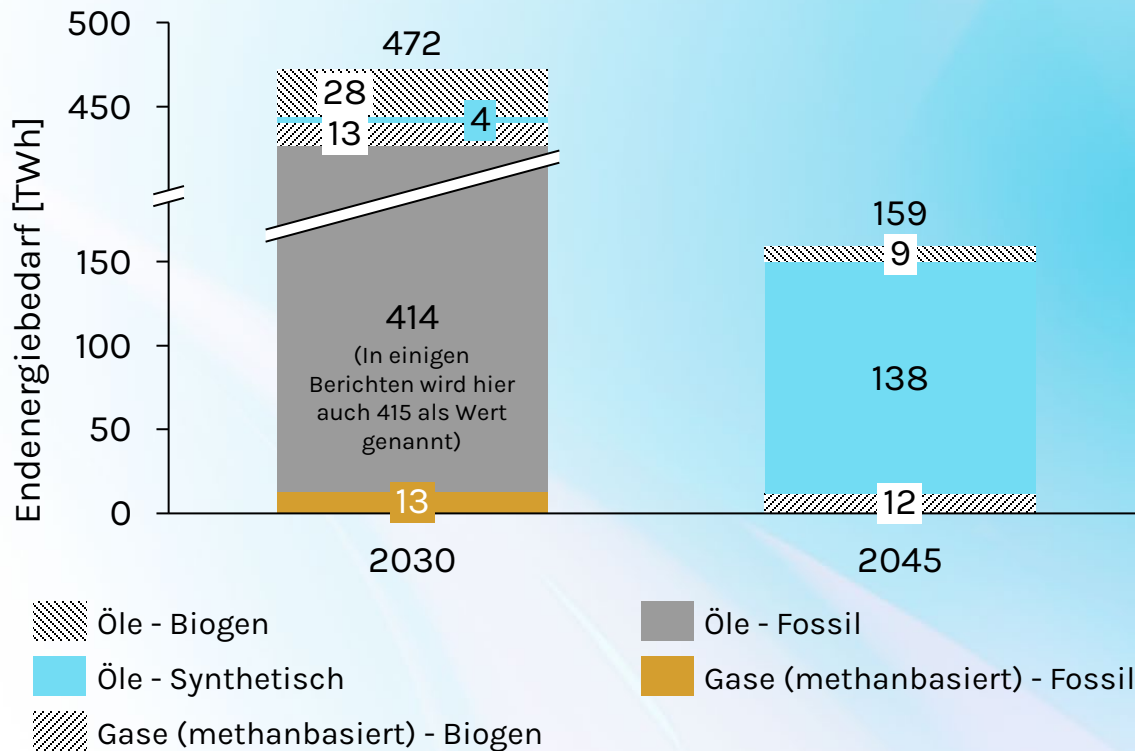
- E-Fuels sind vor allem relevant, um die Bestandsflotte CO₂-neutral zu gestalten oder in Anwendungen, die eine Energiedichte erfordern, welche von anderen Alternativen nicht erreicht wird.
- Je nach Szenario und Studie werden zwischen 84 und 145 TWh an e-Fuels in 2045 benötigt. Bei einer Effizienz von 50% für Power-to-Liquid und 70% für Power-to-Methane wird (verglichen mit einer direkten Nutzung durch batterieelektrische Fahrzeuge) in etwa das 4,2-fache bis 6-fache an elektrischer Energie benötigt¹ (unter Berücksichtigung der auf der vorherigen Seite genannten Wirkungsgrade im Fahrzeug).
- Die Transportfähigkeit kohlenstoffbasierter Kraftstoffe ist deutlich besser als bei Wasserstoff und könnte daher trotz niedrigerer Effizienz attraktiv bei Importen über lange Strecken sein.
- Sofern beim Motorendesign eine entsprechende Klopffestigkeit vorgesehen wurde, können synthetische Kraftstoffe problemlos in der Bestandsflotte verwendet werden.

1: https://theicct.org/sites/default/files/publications/CO2-based-synthetic-fuel-EU-assessment_ICCT-consultant-report_14112017_vF_2.pdf

Energieträger

(E-)Fuelsverbrauch in TWh im Verkehr

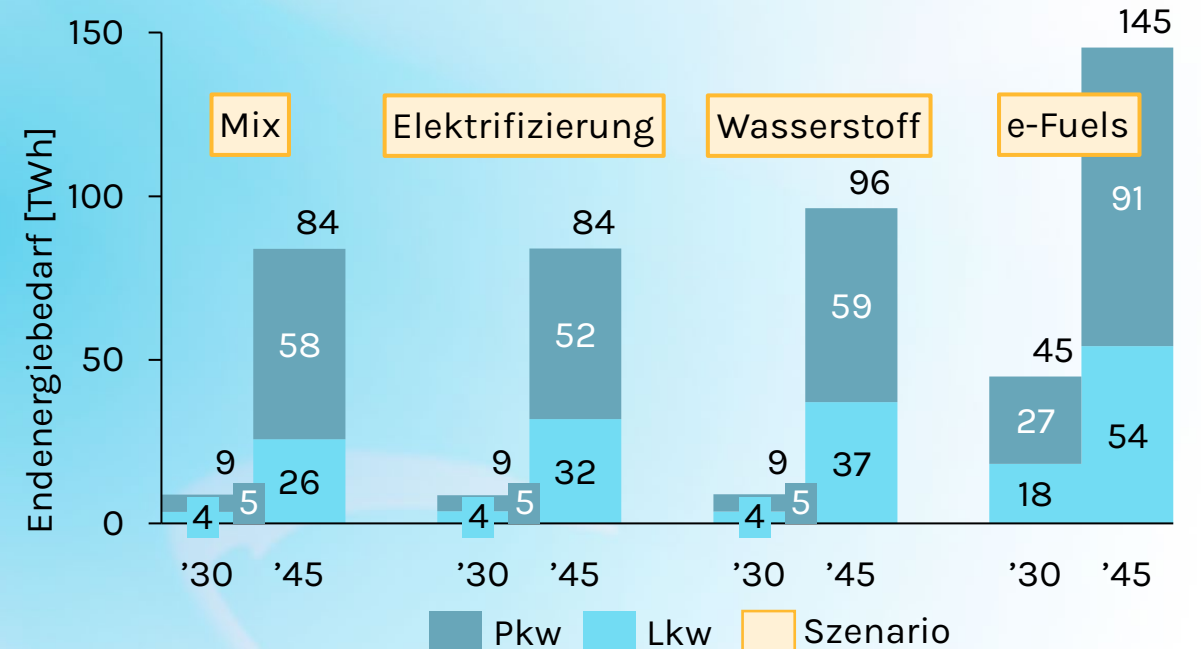
Endenergiebedarf an Gasen und Ölen im Verkehr nach dena (2021) [TWh]



Beschreibung der dena-Studie

[CO₂-Minderungen bei dena \(link\)](#)

Endenergiebedarf an e-Fuels nach Stützjahren und Szenario nach Ariadne (2021) [TWh]

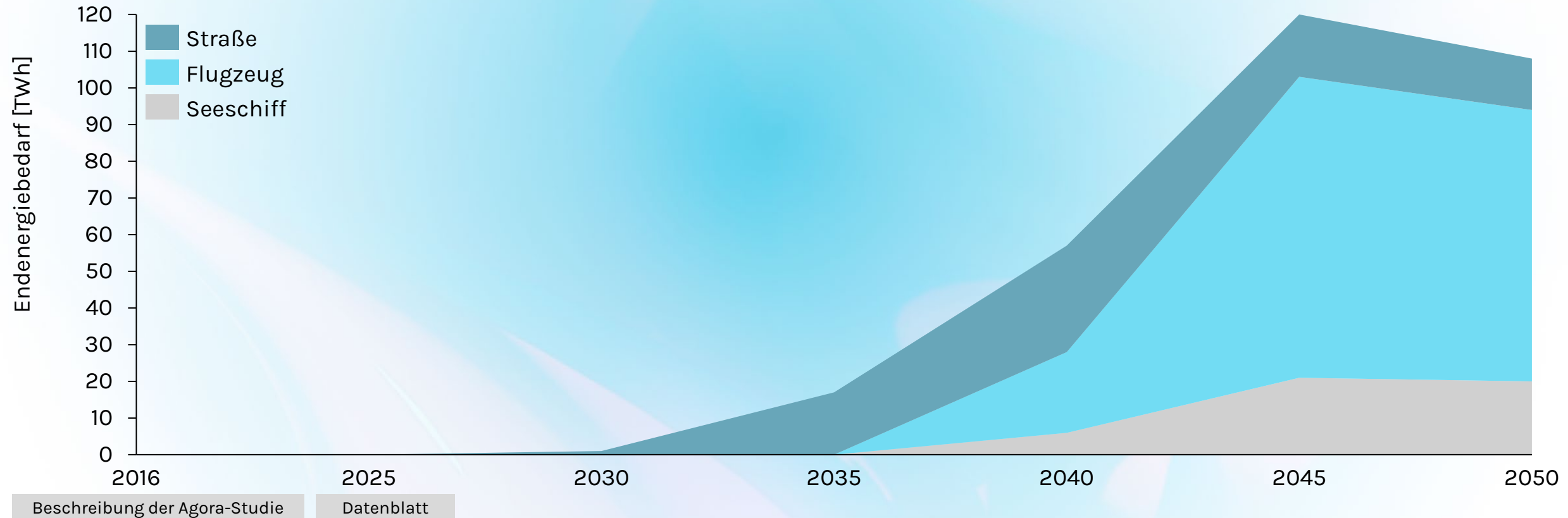


Beschreibung der Ariadne-Studie

Energieträger

E-Fuelsverbrauch in TWh im Verkehr nach Agora (2021)

Endenergiebedarf strombasierter Kraftstoffe nach Verkehrsträger nach Agora (2021) [TWh]



Inhalte

Endenergiebedarf im Verkehr

Wasserstoffbedarf im Verkehr

E-Fuelsbedarf im Verkehr

Politische Ziele in Deutschland

Internationale Ziele

Roundtable Schwerlastverkehr

Zusammenfassung

Politische Ziele

- Die Parteien der aktuellen Bundesregierung unterstützen eine Dekarbonisierung der Mobilität. Bei Grünen und SPD wurde dabei vor allem die Elektromobilität unterstützt, gekoppelt mit einem Wandel der Mobilitätsformen. Die FDP hat sich im Wahlkampf für e-Fuels auch im PKW-Bereich stark gemacht. Minister Wissing hat sich im Tagesspiegel Background allerdings gegen die Verwendung von e-Fuels im PKW-Bereich ausgesprochen.
- Im Koalitionsvertrag wird dargestellt, dass Wasserstoff in den Sektoren genutzt werden soll, in denen eine Elektrifizierung nicht möglich ist.
- Die EU-Wasserstoffstrategie ist in drei Phasen aufgeteilt. Bis 2024 soll Wasserstoff „möglicherweise“ im Schwerlastverkehr genutzt werden. 2025 – 2030 soll u.a. die Schifffahrt hinzukommen. Danach sollen Wasserstoff und e-Fuels schwer zu dekarbonisierende Verkehrssektoren erreichen.

Koalitionsvertrag

Politische Ziele in Deutschland

- Grüner Wasserstoff soll vorrangig in Sektoren genutzt werden, die nicht elektrifiziert werden können. Für eine Übergangsphase werden aber auch „zukunftsfähige Technologien“ gefördert, auch wenn nicht ausreichend grüner Wasserstoff bereitsteht.
- Wasserstoff wird mit Bezug auf Mobilität nicht explizit erwähnt. Indirekt könnte die CO₂-Differenzierung bei der LKW-Maut sowie das Ziel klimaneutraler Busse (inkl. Infrastruktur) aber relevant werden.
- E-Fuels werden erwähnt. Bei PKWs könnten diese bei Flottengrenzwerten angerechnet werden. Im Bereich Luft- und Schifffahrt sind „ambitionierte Quoten“ vorgesehen.

Wasserstoff und Mobilität

Politische Ziele in der EU

- Die EU Wasserstoffstrategie teilt sich in drei Phasen auf:
 - 2020 – 2024: Elektrolyseure mit einer Leistung von 6 GW sollen installiert werden und 1 Mio. Tonnen Wasserstoff erzeugen. Dieser soll im Chemiesektor, neuen Industrie-sektoren und „möglicherweise“ im Schwerlastverkehr verwendet werden. Wasserstofftankstellen sollen zuerst Busse, Züge oder Taxis und später LKW versorgen. Verbrauchszentren werden bevorzugt. Die Kostenlücke bei der Nutzung von Wasserstoff soll geschlossen werden.
 - 2025 – 2030: Elektrolyseure mit einer Leistung von 40 GW sollen installiert werden und 10 Mio. Tonnen Wasserstoff erzeugen. Wasserstoff soll in mehr Anwendungen genutzt werden. Im Bereich Mobilität betrifft dies u.a. die Schifffahrt. Ein europäisches Netzwerk von Wasserstoff-tankstellen soll geschaffen werden.
 - 2030 – 2050: Etwa ein Viertel der Stromproduktion soll für Wasserstoffproduktion verwendet werden. Wasserstoff und e-Fuels sollen in schwer zu dekarbonisierenden Bereichen wie Luft- und Schifffahrt verwendet werden.
- Investitionen in die Verteilinfrastruktur von insgesamt 65 Mrd Euro werden nötig, davon 850 Mio. bis 1 Mrd. Euro für 300 zusätzliche, kleine Wasserstofftankstellen. Die Verteilinfrastruktur wird von allen Verbrauchssektoren und nicht nur der Mobilität genutzt.
- Die CO₂-Intensität des genutzten europäischen Stroms unterliegt einigen Unsicherheiten, wird aber 2030 in den meisten Szenarien zwischen 80 und 150 g CO₂/kWh liegen.

Quellen: Europäische Wasserstoffstrategie, Centrum für Europäische Politik

Förderlandschaft

Umsetzung politischer Ziele in Deutschland

Wasserstoffprojekte werden auf Bundesebene primär durch das BMBF, BMWI, und BMDV (vormals BMVI) gefördert. Zentrales Koordinationsinstrument ist hierbei die nationale Wasserstoffstrategie. Zusätzlich gibt es Initiativen auf Länderebene und auf europäischer Ebene. Förderung geschieht auf allen Stufen der Wertschöpfungskette, wobei die Ministerien naturgemäß unterschiedliche Schwerpunkte setzen:

- BMBF: Forschungsförderung z.B. über die Leitprojekte TransHyDE, H₂Giga und H₂Mare, dem Wasserstoffkompass (gemeinsam mit BMWI) sowie weiteren Instrumenten.
- BMWI: Im Rahmen der Important Projects of Common European Interest (IPCEI) werden weitere 62 Projekte gemeinsam mit dem BMDV und den Bundesländern gefördert. Bei 50 dieser Projekte liegt der Fokus auf Erzeugung, Transport und industrieller Verwendung von Wasserstoff und fällt somit in den Bereich des BMWI. Weitere Forschungsförderung geschieht über das 7. Energieforschungsprogramm.
- BMDV: Im Rahmen der IPCEI werden 12 Vorhaben im Mobilitätssektor mit Fokus auf Fahrzeugentwicklung, -herstellung, Tankstelleninfrastruktur und Reallabore gefördert. Ein weiteres Fördercluster sind unter dem Begriff HyLand zusammengefasst und umfasst verschiedene Modellregionen. Weitere Förderungen werden von der NOW GmbH organisiert und umfassen verschiedene Projekte im Bereich Fahrzeuge und Betankungsinfrastruktur.

Inhalte

Endenergiebedarf im Verkehr

Wasserstoffbedarf im Verkehr

E-Fuelsbedarf im Verkehr

Politische Ziele in Deutschland

Internationale Ziele

Roundtable Schwerlastverkehr

Zusammenfassung

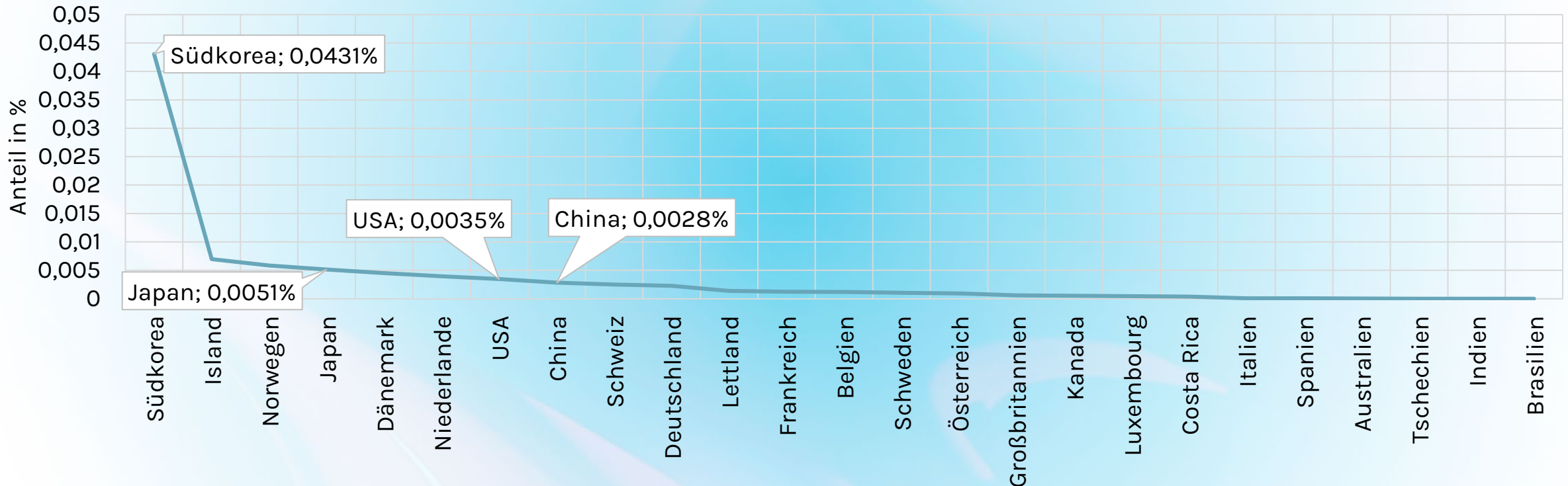
Internationale Ziele

- Viele Länder gehen davon aus, dass Wasserstoff im Schwerlastbereich eine signifikante Rolle spielen wird.
- Im PKW-Bereich unterscheiden sich aktuelle Zulassungszahlen und Planungen allerdings massiv. Relativ zur Bevölkerungsgröße sind in den bevölkerungsreichen Ländern Südkorea und Japan die meisten Brennstofffahrzeuge zugelassen.
- Auch bei den Fahrzeugherstellern zeigt sich ein solcher Trend. Toyota und Hyundai haben mit dem Mirai und dem Nexo jeweils einen Brennstoffzellen-PKW im Verkauf und planen dieses Segment auszubauen. Deutsche und europäische Hersteller sehen das Potential der Brennstoffzelle aber primär im Schwerlastbereich und bieten keine Brennstoffzellen-PKW an.

Fahrzeuge Ende 2020

Internationale Entwicklung

Anteil von Brennstoffzellenfahrzeugen an der gesamten Fahrzeugflotte



Quellen: [Deployment Status of Fuel Cells in Road Transport: 2021 Update](#), IEA Advanced Fuel Cells Technology Collaboration Programme (für Anzahl FCEVs); Wikipedia (für insgesamten Fahrzeugbestand)

Pressemeldungen

Internationale Ziele der OEMs

- Deutsche OEMs haben sich mehrheitlich vom PKW Brennstoffzellenantrieb abgewendet
- Deutsche OEMs fokussieren auf den LKW Brennstoffzellenantrieb
- Global verfolgen Toyota und Hyundai den PKW Brennstoffzellenantrieb weiter – Toyota erstmals in einer Serienfertigung - allerdings auf niedrigem Absatzniveau (30.000/a)

Deutsche OEMs

Audi

Audi-Chef bekräftigt Batterie-Fokus, Wasserstoff für PKW „schlicht absurd“

28. Oktober 2023, 18:55 Uhr Brennstoffzellen im Auto

Der schwierige Streit um den Wasserstoff

Wasserstoff? Nein danke! Für Audi-Vorstandschef Markus Duesmann ist das keine Idee. Er setzt für die Brennstoffzelle im Individualverkehr keinen Zukunft. „Wir können den für den Antriebsweg Wasserstoff im nächsten Jahrzehnt nicht in ausreichender Menge CO2-neutral produzieren. Als Wasserstoff für den Einsatz im Auto glauben wir daher nicht“, sagt er der Wochenzeitung *Die Zeit*. „Die Lösung für den PKW ist die Batterie.“

BMW

Oliver Zipse
Vorstandsvorsitzender der BMW AG

Er rügt an, dass BMW nicht davon ausgeht, dass Wasserstoffos Mainstream werden im PKW-Bereich, allerdings einen „signifikanten Anteil“ in der Gesamtpalette haben werden. Wasserstoff werde vor allem im Nutzfahrzeugbereich wichtig werden, sagt Guldner.

Während für die BMW Group das langfristige Potenzial des Brennstoffzellen-Antriebs außer Frage steht, „wird sie ihren Kunden kurzfristig noch kein Serienfahrzeug mit Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie anbieten. Das liegt vorrangig an den aktuell noch nicht passenden Rahmenbedingungen. Wasserstoff als Energieträger muss zunächst in hinreichenden Mengen, mit grünem Strom und zu wettbewerbsfähigen Preisen produziert werden. Grün-Wasserstoff wird dann vor allem in Anwendungen eingesetzt werden, die nicht direkt elektrifizierbar sind, also etwa im Schwerlastverkehr auf der Langstrecke. Zudem ist die benötigte Infrastruktur wie beispielsweise ein europäisches, flächendeckendes Netz an Wasserstofftankstellen derzeit noch nicht vorhanden.“

BMW nutzt die in Kooperation mit Toyota entwickelten Stacks

Daimler

„Die Brennstoffzellentechnologie ist integraler Bestandteil unserer Antriebsstrategie. Die Vorteile liegen für uns klar auf der Hand: Null Emissionen, hohe Reichweiten und kurze Betankungszeiten sowie ein breites Einsatzspektrum vom PKW bis zu Bussen, anderen großen Nutzfahrzeugen und nicht zuletzt auch für stationäre Anwendungen.“

Christian Mahrbeck
Leiter des Bereichs Brennstoffzellenentwicklung, Brennstoffzellenantrieb in Busen, LKW, Bsp. und Stationäre

Mercedes GenH2 Truck darf auf die Straße

Mercedes-Benz | Daimler Trucks | E-Cells | 2023 | GenH2 Truck | Mercedes-Benz

Daimler Truck hat von den zuständigen Behörden die Zulassung für den weltweiten Verkehr für den Brennstoffzellen-LKW GenH2 Truck erhalten. Das Modell, das in der Mitte des Bildes zu sehen ist, darf jetzt im Rahmen der Erprobung auch auf öffentlichen Straßen getankt werden. Diese erprobte gilt als Meilenstein für die Technologie.

Bildung wurde der GenH2 Truck auf dem Gelände der Mercedes-Benz-Werke in Wuppertal erprobt. Seit April sind die Versuchsfahrten auf dem dortigen Testgelände unterwegs – unter Aufsicht der zuständigen Behörden.

Filterbox und hat von einer Einbildung des gelben Lieferantensystems.

Bosch


Die Zukunft der Brennstoffzelle im LKW

Das Platinium gilt als die Zukunft der Brennstoffzelle im LKW. Das Platinium gilt als die Zukunft der Brennstoffzelle im LKW. Das Platinium gilt als die Zukunft der Brennstoffzelle im LKW.

Globale aktive OEMs

Toyota

War der Mirai der ersten Generation noch in Handarbeit gefertigt, so läuft der Nachfolger von einer eigenen Fabrik vom Band. Pro Jahr könnten 30.000 Mirai verkauft werden. Dieses Jahr waren es bislang 500. Der Mirai in der jetzt zweiten Generation ist in der Strategie von Toyota der Wegbereiter für eine Ausweitung des Brennstoffzellenantriebs auf weitere Modelle des Herstellers. Ähnlich der Popularisierung des Hybridantriebs mit dem Alltagsmodell Prius ab dem Jahr 1990.



Die angekündigte Elektro-Offensive umfasst zehn rein elektrische Modelle - entweder mit einer Batterie oder einer Brennstoffzelle. Dass Letztere zu einem einigermaßen annehmbaren Preis machbar ist, zeigt die neueste Version der **Brennstoffzellen-Limousine Mirai**, die rund 62.000 Euro kostet. Im Jahr 2025 wird die Modellpalette des japanischen Herstellers zu knapp 70 Prozent aus Hybriden, zehn Prozent PHEVs sowie rein elektrischen Fahrzeuge bestehen, während die Anzahl der Varianten mit klassischem Verbrennungsmotor unter zehn Prozent sinkt.

Hyundai

Hyundai-Europachef Michael Cole: „Wir glauben absolut an die Brennstoffzelle“

Die Koreaner setzen auf batteriebetriebene Elektroautos, wollen aber auch den Wasserstoffantrieb in Europa etablieren. Gelingen soll das mit einem Pilotversuch in der Schweiz.

Düsseldorf. Gerade einmal **1000 Wasserstoff-Autos** hat Hyundai im Jahr 2020 in Europa verkauft. Das klingt nicht besonders viel, doch es soll ein Anfang sein. Das Absatzerwartungen für den Nexo bleiben allerdings auch auf absehbare Zeit niedrig. Wie es dazu bei Hyundai heißt, kalkuliert der koreanische Hersteller künftig mit **der Verdoppelung der jährlichen europäischen Verkaufszahlen**. Ähnlich ist auch die Situation beim

Inhalte

Endenergiebedarf im Verkehr

Wasserstoffbedarf im Verkehr

E-Fuelsbedarf im Verkehr

Politische Ziele in Deutschland

Internationale Ziele

Roundtable Schwerlastverkehr

Roundtable Schwerlastverkehr

Formaterklärung

- Der Wasserstoff-Kompass veranstaltet sog. Round-Tables, zu denen Expert*innen aus Wirtschaft, Wissenschaft, und Verwaltung geladen werden, um bei strittigen Fragen ein Meinungsbild einzuholen.
- Drei Personen aus der Wissenschaft, drei aus Unternehmen, zwei Vertreter*innen von Verbänden und eine Person aus einer Institution des öffentlichen Dienstes diskutierten am 25.4.2022 über zwei Stunden folgende Fragestellung: „Wasserstoff oder Direktelektrifizierung?“ – Wird die Direktelektrifizierung auch den Schwerlastverkehr dominieren oder findet der Wasserstoff-Brennstoffzellenantrieb Einzug in diesen Bereich?
- Die folgenden Folien geben die Ergebnisse der Diskussion wieder. Vertretene Meinungen sind dabei nicht notwendigerweise übereinstimmend mit dem Wasserstoffkompass.

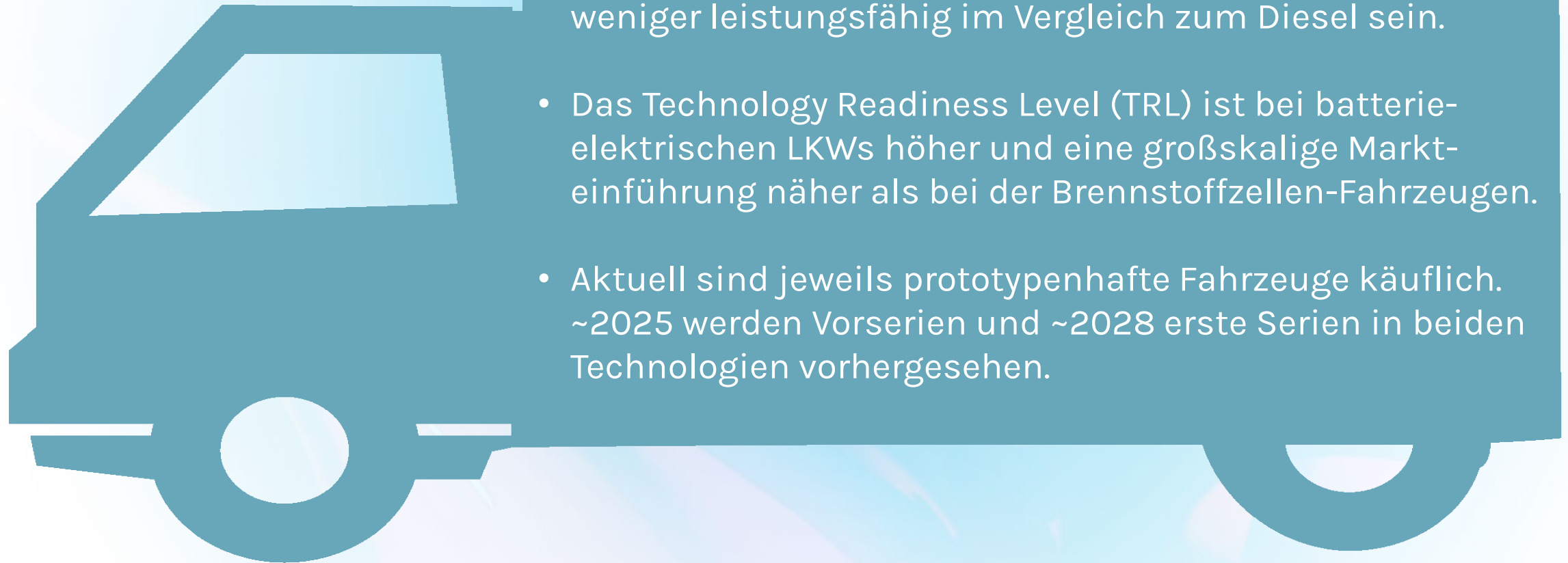
Zusammenfassung

Roundtable Schwerlastverkehr

- Die Direktelektrifizierung wird sich überall dort durchsetzen, wo sie einfach umzusetzen ist. Haupttreiber hierfür sind geringere Energiekosten durch die höhere Effizienz. Wo genau die Grenze zwischen einfach oder nicht umsetzbar ist, kann nicht genau definiert werden.
- Bis 2030 wird Wasserstoff im Schwerlastverkehr kaum nachgefragt, da es an Wasserstoff und Fahrzeugen mangelt wird. Danach werden beide Antriebsarten einen Markt bedienen – Wasserstoff wahrscheinlich in Nischensegmenten.
- Beide Antriebstechnologien sind auf einen noch kommenden Ausbau der Infrastruktur angewiesen.
- Die Stromnetze (auch Umspannwerke) sind ein Infrastruktur-Bottleneck. Eine großskalige Versorgung mit Wasserstoff fehlt allerdings ebenfalls.
- Die Marktdurchdringung bei kleineren Speditionen wird einige Jahre benötigen. Hier sind Fördermaßnahmen notwendig, um das unternehmerische Risiko abzufedern.

Verfügbarkeit Fahrzeuge

Roundtable Schwerlastverkehr



- Beide Antriebsarten werden in der Anschaffung teurer und weniger leistungsfähig im Vergleich zum Diesel sein.
- Das Technology Readiness Level (TRL) ist bei batterieelektrischen LKWs höher und eine großskalige Markteinführung näher als bei der Brennstoffzellen-Fahrzeugen.
- Aktuell sind jeweils prototypenhafte Fahrzeuge käuflich. ~2025 werden Vorserien und ~2028 erste Serien in beiden Technologien vorhergesehen.

Energieträgervergleich

Roundtable Schwerlastverkehr

- Eine CO₂-Maut/Besteuerung wird kommen – Spediteure müssen reagieren und die Fahrzeugflotte anpassen. Wasserstoff ist allerdings teurer als Strom, weswegen dies eher einen Umstieg Richtung Direktelektrifizierung fördern wird.
- Bei der Langstrecke dominieren Energiekosten, wobei die Direktelektrifizierung besser dasteht. Staatliche Preiskomponenten könnten Vorteile von BEVs negieren, wenn z.B. Wasserstoff geringer belastet wird als Strom.
- Die E-fuel-Verfügbarkeit ist aktuell und perspektivisch gering. Der Flugverkehr wird e-fuels prioritär benötigen.
- Akzeptanzstudien sind kaum möglich, da Erfahrungen mit Wasserstoff fehlen und ggfls. Hoffnungen auf Wasserstoff projiziert werden.
- Aus systemischer Sicht sollte Wasserstoff in den Sektoren Stahl, Düngemittel und Raffinerien eingesetzt werden. Inwieweit eine niedrigere Preiselastizität im Verkehr vorliegt und ob diese zu einem frühen Einsatz dort führen wird, ist umstritten. Ein früher Einsatz von Wasserstoff im Verkehr wird von der Mehrzahl als unrealistisch betrachtet.

Infrastruktur

Roundtable Schwerlastverkehr

- Das MCS (MegaWattChargingSystem) ist aus Sicht der Netzbetreiber nicht an allen Orten möglich, da Kapazitäten in den Umspannwerken tw. fehlen (Quelle: Gespräche eines Teilnehmers mit Netzbetreibern). Eine Unterscheidung zwischen technologischen und infrastruktur-bedingten Bottlenecks ist notwendig.
- MCS bei 800 kW ist ausreichend mit mind. 3-4 Ladepunkte pro Autobahnrastplatz. Die Netzanbindung und Flächen für Fahrzeuge sind mehrheitlich nicht gegeben.
- Induktives und Oberleitungsleitungen wurde abgelehnt, auch wenn es vereinzelt Unterstützung für induktives Laden gibt.
- Der Batterietausch wird keine Rolle spielen aufgrund von Handling, Bewertung des Batteriezustands, ungeklärter Haftung und Kosten durch doppelte Batterielagerhaltung.
- Erneuerbarer, dezentraler Strom wäre sinnvoll mit BEV-Ladeinfrastruktur gekoppelt.

Kontakt

Ansprechpartner*innen:

Christopher Hecht

Christopher.Hecht@isea.rwth-aachen.de

Thomas Hild

Thomas.Hild@dechema.de

Dr. Andrea Lübcke

luebcke@acatech.de

www.wasserstoff-kompass.de

acatech – Deutsche Akademie
der Technikwissenschaften
Geschäftsstelle
Karolinenplatz 4
80333 München

Hauptstadtbüro
Pariser Platz 4a
10117 Berlin
T +49 (0)30/2 06 30 96-0
F +49 (0)30/2 06 30 96-11

info@acatech.de
www.acatech.de

DECHEMA Gesellschaft für Chemische
Technik und Biotechnologie e.V.
Theodor-Heuss-Allee
2560486 Frankfurt am Main
T +49 (0)69 75 64-0

info@dechema.de
www.dechema.de

Impressum

- „Elektrolyse in Deutschland: Kapazitäten, Zielsetzungen und Bedarfe bis 2030“
- Herausgeber: acatech, Berlin, und DECHEMA, Frankfurt am Main, 2022 V.i.S.d.P.: Christoph Uhlhaas
- Geschäftsführendes Gremium des Präsidiums: Prof. Dr. Ann-Kristin Achleitner, Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier, Dr. Stefan Oschmann, Dr.-Ing. Reinhard Ploss, Manfred Rauhmeier, Prof. Dr. Christoph M. Schmidt, Prof. Dr.-Ing. Thomas Weber, Prof. Dr.-Ing. Johann-Dietrich Wörner
- Vorstand i.S.v. § 26 BGB: Dr.-Ing. Reinhard Ploss, Prof. Dr.-Ing. Johann-Dietrich Wörner, Manfred Rauhmeier
- Redaktion: Christopher Hecht/acatech, Thomas Hild/DECHEMA, Damien Rolland/DECHEMA, Dr. Andrea Lübcke/acatech, Layout-Konzeption: Lars Ole Reimer
- Empfohlene Zitierweise: acatech, DECHEMA (Hrsg.): Wasserstoff im Mobilitätssektor, Berlin 2022.
<https://www.wasserstoff-kompass.de/news-media/dokumente/erzeugungskapazitaeten>

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhalte

Anhang – Datenquellen

Anhang – Kernannahmen

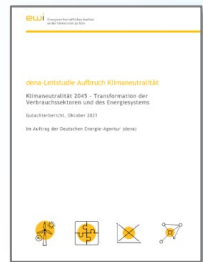
Anhang – Sonstige

Studienquellen

Aus folgenden vier Studien wurde das Mengengerüst abgeleitet. Gründe sind die ausführliche Modellierung, der Fokus auf Deutschland und die Bereitstellung detaillierter Eingangs- und Ergebnisdaten

Informationen zu den einzelnen Studien erhalten Sie mit Klick auf das Bild oder die Bildunterschrift.

Folgende Studien wurden als Referenzen konsultiert und Werte an einzelnen Stellen übernommen:



dena 2021



Ariadne 2021



Agora 2021



Langfrist-szenarien



dena2018



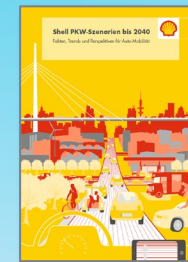
BDI2018



Fh-IEE2018



BDI2021



Shell2014



Prognos2018



UBA2019



Prognos2021

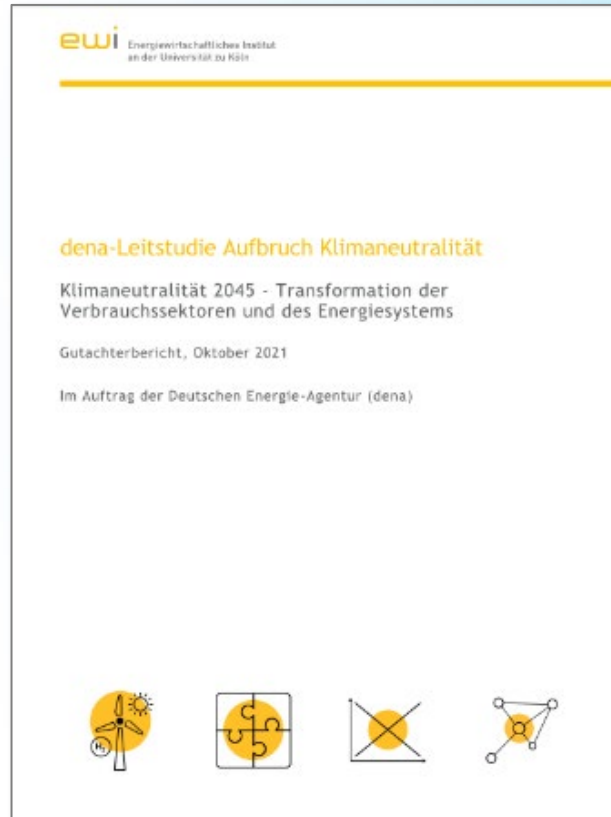


Distatis 2018

Zum Zurückkehren zur Inhaltsfolie bitte obiges Menü verwenden!

Dena (2021)

Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität



- Zeigt Pfad für Klimaneutralität bis 2045 auf.
- Expertise von 10 wissenschaftlichen Instituten sowie 70 Unternehmen eingeflossen. Diese Expertise formt einen großen Teil der exogenen Annahmen der Flottenzusammensetzung.
- Baut auf einer ersten Studie aus dem Jahr 2018 auf.
- Verfolgt “systemisch einen integrierten Ansatz”.
- Vier Kernsektoren: Energiewirtschaft, Verkehr, Industrie und Gebäude.
- Umfangreiche Zurverfügungstellung der gemachten Annahmen und genutzten Eingangsdaten.
- Auftraggeber dena sieht sich als unabhängiger Treiber und Wegbereiter der Energiewende. Der Aufsichtsrat setzt sich aus Vertretern der Politik, der KfW sowie mit der TU München assoziierten Venture Capital Firmen zusammen.

Zurück zur Übersichtsfolie

Ariadne (2021)

“Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045”



- Ziel des Ariadne-Projekts ist es existierende Szenarien zu analysieren, eigene Szenarien zu modellieren und diese im Dialog mit diversen Stakeholdern abzugleichen. Dadurch soll ein gemeinsamer Lernprozess gestaltet werden an deren Ende Entscheidungsprobleme der Energiewende gelöst werden können.
- Mehr als 25 Forschungseinrichtungen sind Teil des Konsortiums.
- Verfolgt einen Grünbuch-/Weißbuch-Prozess.
- Das Projekt läuft noch und finale Ergebnisse stehen noch aus.
- Auftraggeber ist das Bundesministerium für Bildung und Forschung mit einem großen Projektbudget von 30 Millionen Euro.
- Eines von insgesamt vier Projekten aus dem Kopernikus-Cluster.

Zurück zur Übersichtsfolie

Agora (2021)

“Klimaneutrales Deutschland 2045”



- Zeigt den Pfad zur Klimaneutralität bis 2045 auf.
- Baut auf der Vorgängerstudie auf in der die Klimaneutralität bis 2050 untersucht wurde.
- Sieht drei primäre Hebel zur Erreichung der Klimaneutralität:
 - Energieeffizienz und Senkung des Energiebedarfs
 - Erneuerbare Stromerzeugung und Elektrifizierung
 - Wasserstoff als Energieträger und Rohstoff
- Setzt im Vergleich zu anderen Studien deutlich mehr auf Verhaltensänderungen in der Mobilität.
- Agora Energiewende ist ein Thinktank mit dem Ziel, Pfade für die Klimaneutralität aufzuzeigen. Finanziert wird die Organisation im Wesentlichen durch die Stiftung Mercator, die European Climate Foundation, weiteren Stiftungen sowie über Drittmittelprojekte von öffentlicher Seite.

Zurück zur Übersichtsfolie

Fraunhofer et al. (2021)

“Klimaneutrales Deutschland 2045”



- Ziel ist die Entwicklung von Szenarien, in welchen die energie- und klimapolitischen der Bundesregierung erfüllt werden.
- Wird vom Fraunhofer ISI geleitet mit Unterstützung der consentec GmbH, dem ifeu Institut in Heidelberg und dem Lehrstuhl für Energie- und Ressourcenmanagement (E&R) der TU Berlin.
- Es werden drei Szenarienwelten mit zahlreichen Unterszenarien erstellt. Die Welten setzen primär auf 1) eine starke Elektrifizierung, 2) die Nutzung von Wasserstoff oder 3) synthetische Kohlenwasserstoffe.
- Das Projekt läuft noch und finale Ergebnisse stehen noch aus.
- Auftraggeber ist das BMWK.
- Die Auftragnehmer sind Forschungsinstitute (Fraunhofer, ifeu, E&R) und ein Beratungsunternehmen (consentec).

Zurück zur Übersichtsfolie

Inhalte

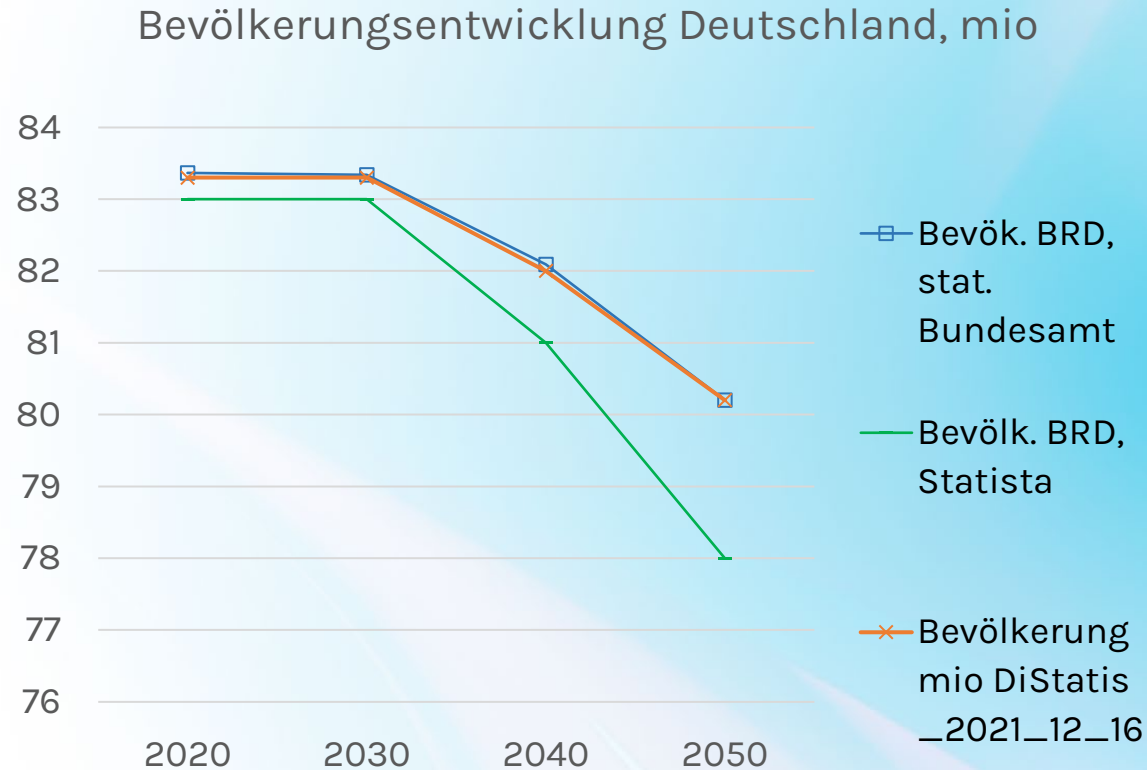
Anhang - Datenquellen

Anhang - Kernannahmen

Anhang - Sonstige

Annahmen

Bevölkerungsentwicklung in Deutschland in Mio. Einwohnern

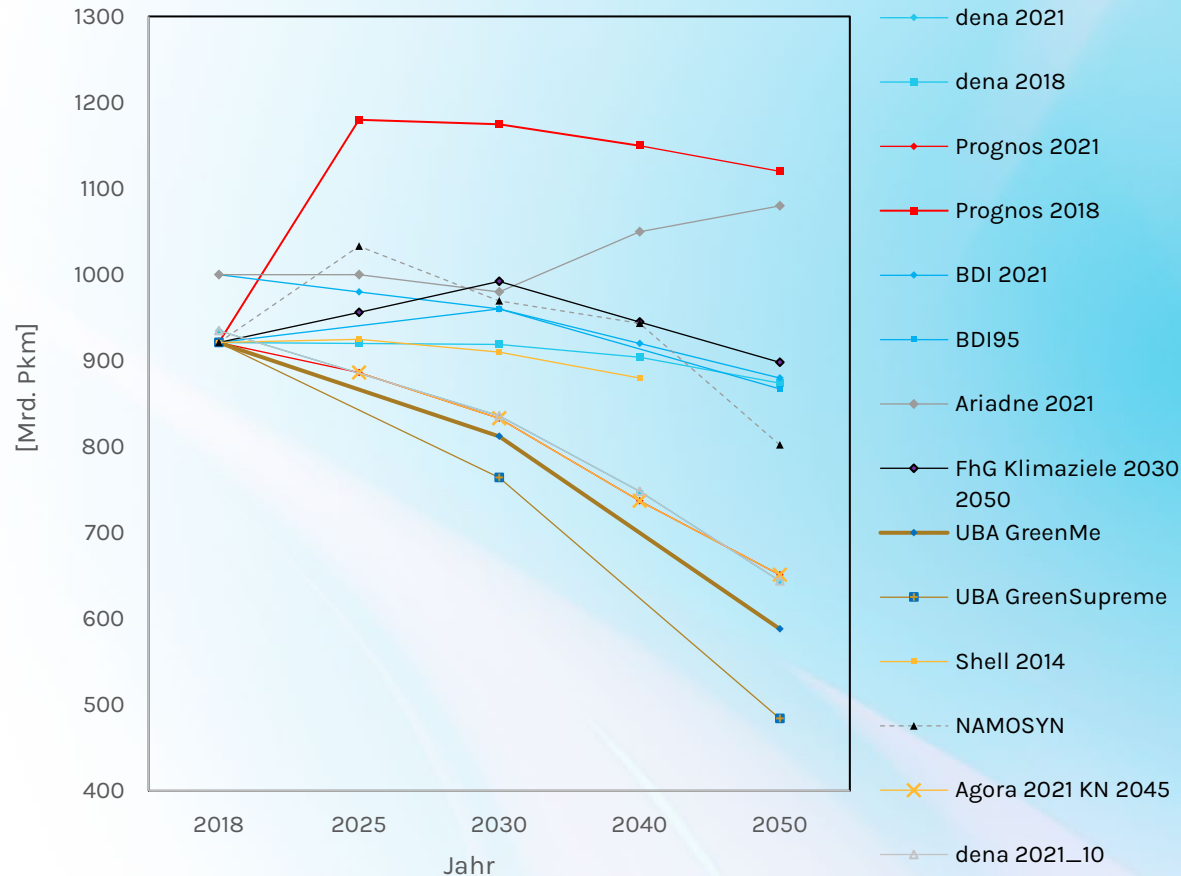


- Die Bevölkerung wird nach den meisten Studien abnehmen.
- Unterschiede bestehen z.T. durch Unterscheidungen zwischen Einwohner*innen und Bürger*innen.
- Der Anteil der über 67-Jährigen steigt von heute 19,5% auf 27,4%¹. Der Anteil der unter 20-Jährigen bleibt in etwa konstant.
- Unsicherheiten mit Bezug auf Mobilität ergeben sich vor allem aus der Anzahl der Menschen als auch aus deren Lebensstandard und Motorisierungsrate.

1: Quelle: Statistisches Bundesamt: Bevölkerung Deutschlands bis 2060, Ergebnisse der 14. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung, 2019

Annahmen

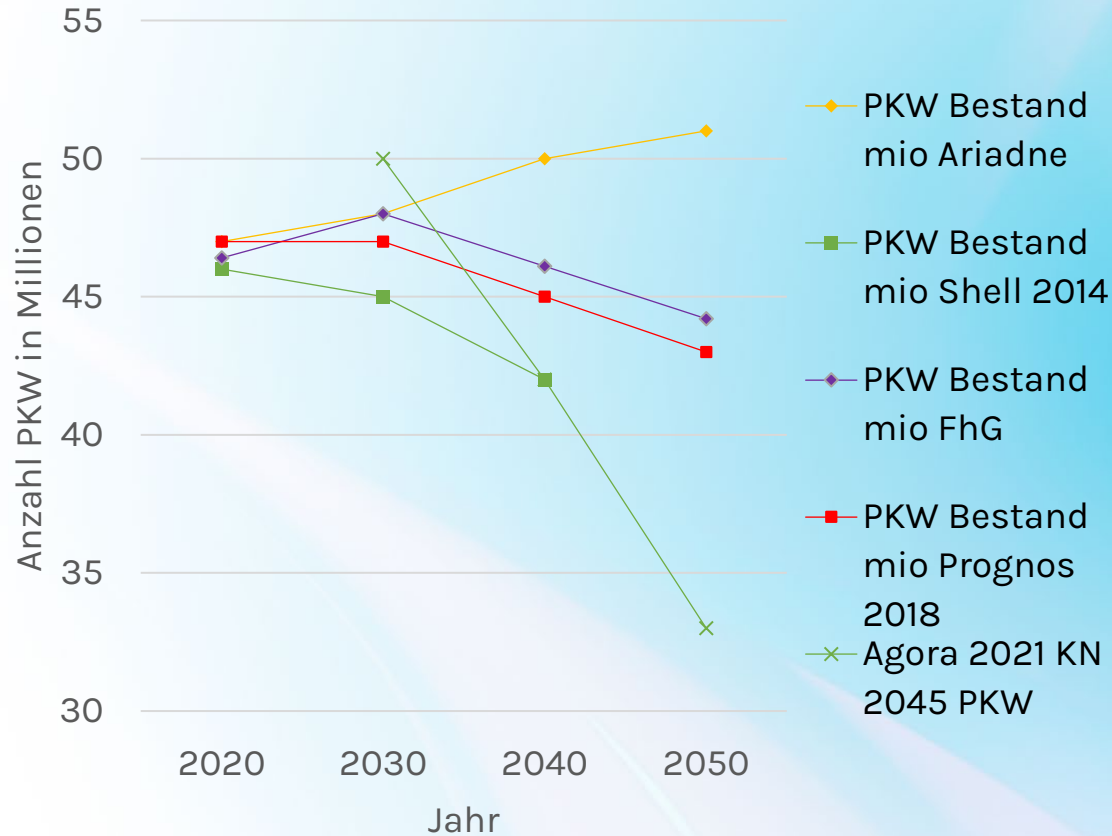
Personenverkehrsnachfrage nach PKW in Mrd. Personenkilometer



- Die Abnahme der Personenverkehrsnachfrage folgt der sinkenden Bevölkerungsstruktur.
- Ariadne (2021): trotz sinkender Bevölkerung steigt die individuelle Personenverkehrsnachfrage aufgrund steigender Wirtschaftsleistung.
- Starke Unterschiede entstehen zwischen Studien, bei denen eine substantielle Verhaltensänderung angenommen wird und jenen, welche heutige Mobilitätsbedarfe größtenteils fortschreiben.

Annahmen

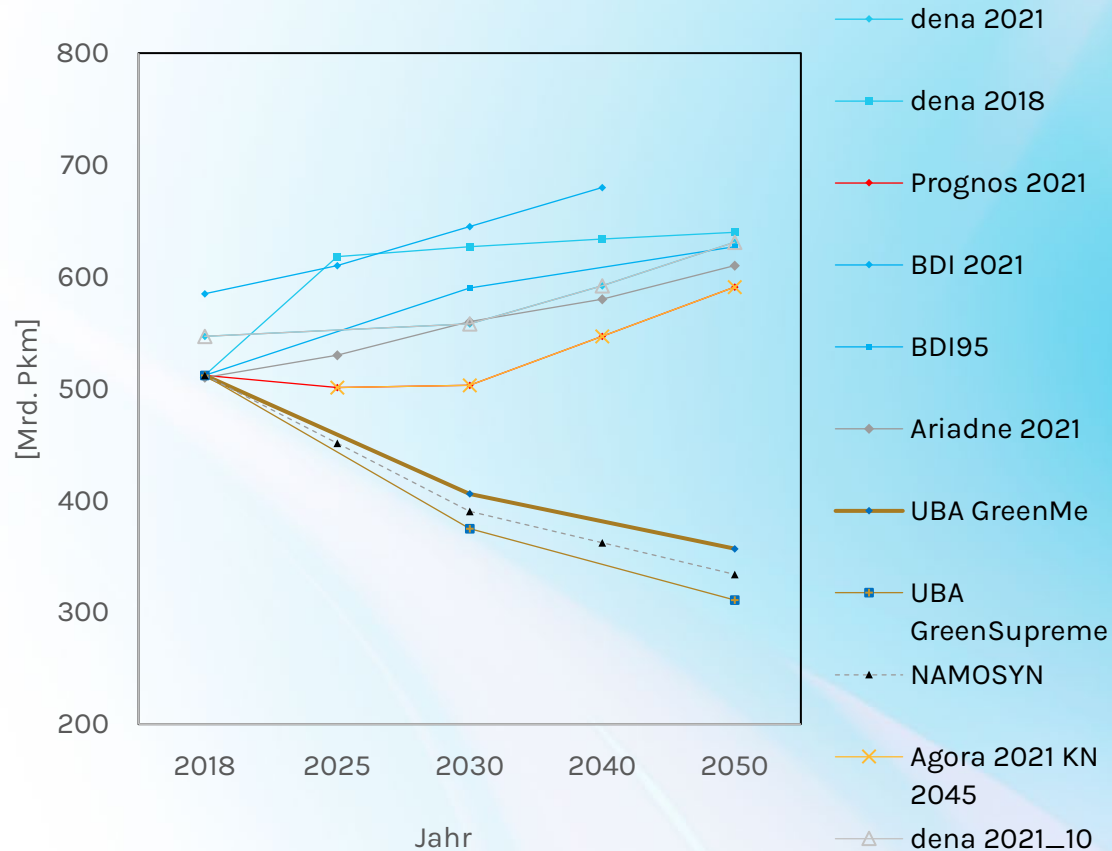
PKW-Bestand in Mio Fahrzeugen



- In der Mehrzahl der Studien folgt der PKW Bestand der Bevölkerungsentwicklung.
- Ariadne (2021): trotz sinkender Bevölkerung steigt Aufgrund von steigendem Wohlstand der PKW-Bestand.
- Die Agora Studie (2021) weißt einen drastischen Abfall des PKW Bestandes aus. Dies wird durch einen Umstieg auf andere Mobilitätsformen wie ÖPV und Car-Sharing zurückgeführt.
- Jahresfahrleistung PKW 2016-2020: 14.000 - 13300 Km/a (KBA).

Annahmen

Güterverkehrsnachfrage auf der Straße in Mrd. Tonnen-Kilometern



- Der Bedarf an Güterverkehr auf der Straße nimmt in nahezu allen Studien deutlich zu.
- Zu Fahrzeugbeständen werden in den Studien seltener Angaben veröffentlicht. Ein Vergleich ist darüber hinaus schwierig, da die Definitionen von LKW, schwerem Nutzfahrzeug, leichtem Nutzfahrzeug, etc. zwischen Studien abweichen.
- Der Anteil an Verteilverkehr wird steigen, was sich auch an den prognostizierten Zulassungszahlen im LNF-Segment ablesen lässt. Der Anteil des SNF ist tendenziell stabil.

Inhalte

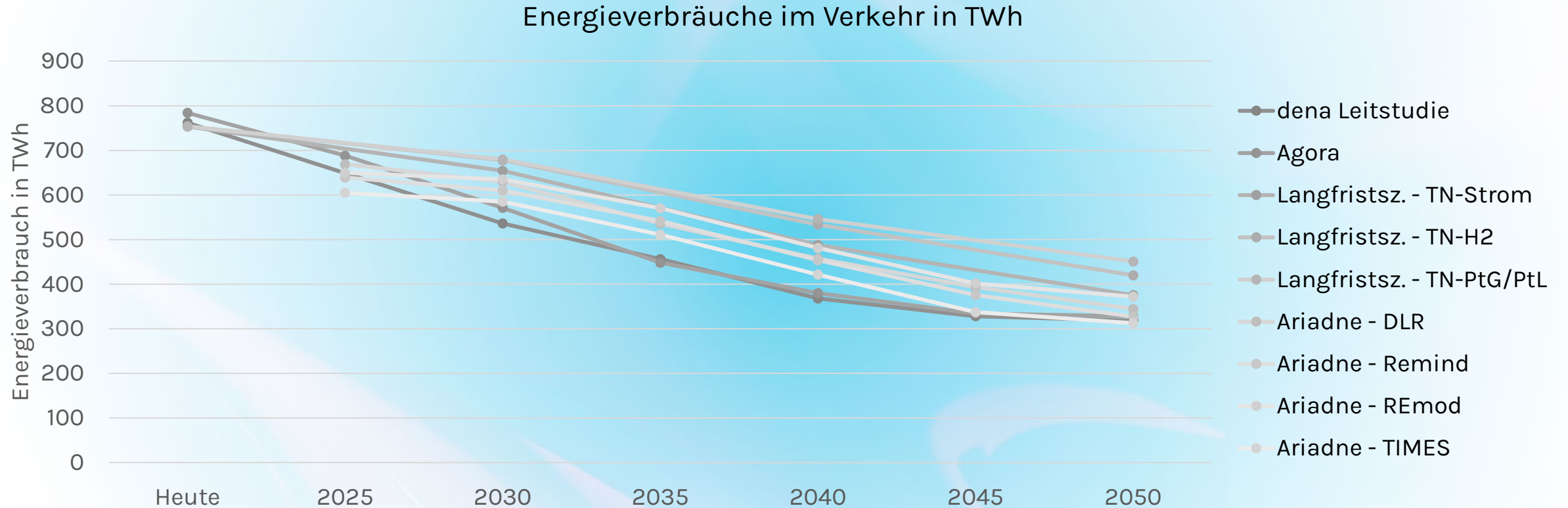
Anhang - Datenquellen

Anhang - Kernannahmen

Anhang - Sonstige

Übersicht

Endenergieverbrauch im Verkehr mit Quellenangabe



Weitere Informationen zu den Szenarien befinden sich im [Abschnitt Datenquellen im Anhang](#).

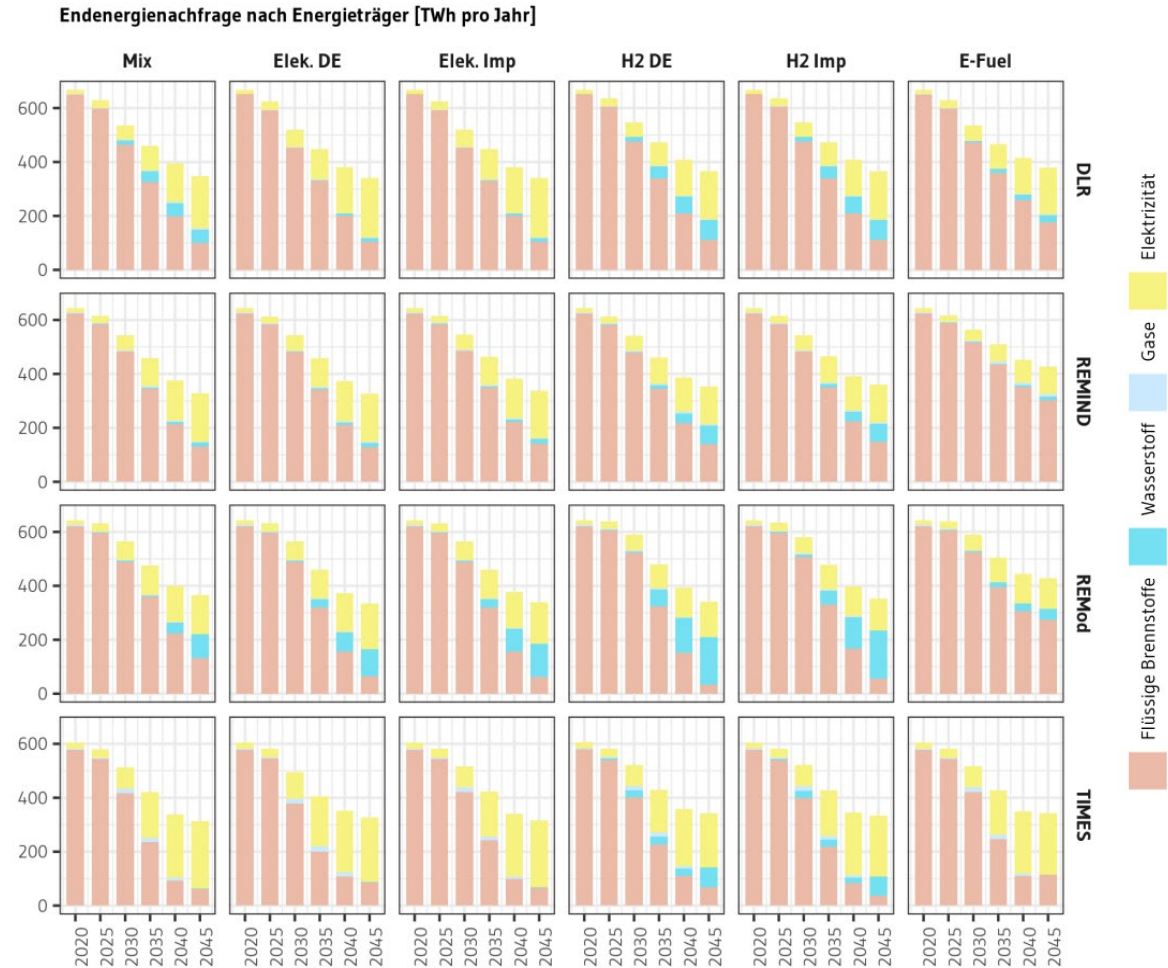
Zurück zum Endenergieverbrauch

Zurück zum Wasserstoffverbrauch

Zurück zum e-Fuelsverbrauch

Ariadne (2021) Szenarien

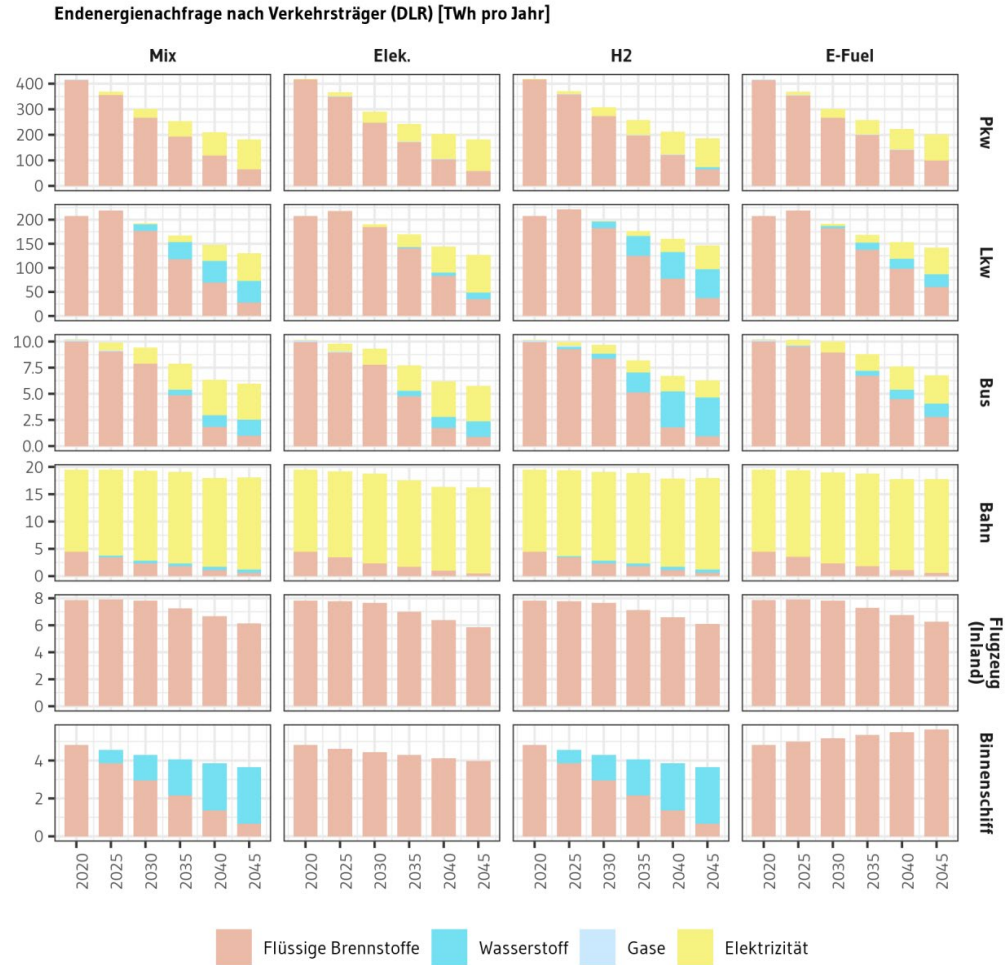
Endenergieverbrauch im Verkehr in TWh



Zurück zur Hauptfolie

Ariadne (2021) Szenarien

Endenergieverbrauch im Verkehr in TWh



Zurück zur Hauptfolie

Technologievergleich bei H₂

Vergleich des H₂-Verbrennungsmotors mit der Brennstoffzelle

Kategorie	Brennstoffzelle	H ₂ -Motor
Kosten (TCO)	Höhere Effizienz -> geringere laufende Kosten	Günstigere Investition, aber schlechtere Effizienz
Etablierte Technologie	Neue Technologie für LKW-Hersteller	Starke Synergien mit Dieselmotor
Zuverlässigkeit	Wenige Teile	Lösbare Probleme
Lebensdauer	Verbesserungen bei Betriebsstunden nötig und möglich	Vermutlich ähnlich zu heutigen Dieselmotoren
Emissionen (lokal)	Nur reines Wasser	NO _x und Lärm problematisch
Kühlung	Problem: Niedrige Betriebstemperatur ¹	Vergleichbar mit Dieselmotoren
Motorleistung	E-Motor sehr flexibel und leistungsstark	Etwas schlechter als Dieselmotor

- Sowohl Brennstoffzelle (BSZ) als auch H₂-Motor können im Fahrzeug eingesetzt werden.
- Für den H₂-Motor spricht der geringere Technologiesprung im Vergleich zum Dieselmotor und die einfachere Kühlung.
- Für die BSZ spricht die höhere Effizienz, der Wegfall lokaler Emissionen und die Leistungsfähigkeit des elektrischen Motors.
- Im Schwerlastverkehr scheint die BFZ im Vorteil. Der H₂-Motor kann in Nischen wie landwirtschaftlichen Verkehr, Minen, Kräne oder auf Baustellen punkten, v.a. aufgrund der einfacheren Kühlung.

Quelle: https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/e-mobilBW-Studie_H2-Systemvergleich.pdf ; 1: Die niedrige Betriebstemperatur von 80°C erfordert aufgrund des geringen Temperaturunterschieds zur Umgebungsluft, dass viel Luft am Wärmetauscher entlanggeführt wird. Bei einem Verbrennungsmotor sind 300°C möglich und ein Großteil der Wärme wird über Abgase abgeführt.

Im Vorteil

Im Nachteil

Impressum

- „Wasserstoff im Mobilitätssektor“
- Herausgeber: acatech, Berlin, und DECHEMA, Frankfurt am Main, 2022 V.i.S.d.P.: Christoph Uhlhaas
- Geschäftsführendes Gremium des Präsidiums: Prof. Dr. Ann-Kristin Achleitner, Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier, Dr. Stefan Oschmann, Dr.-Ing. Reinhard Ploss, Manfred Rauhmeier, Prof. Dr. Christoph M. Schmidt, Prof. Dr.-Ing. Thomas Weber, Prof. Dr.-Ing. Johann-Dietrich Wörner
- Vorstand i.S.v. § 26 BGB: Dr.-Ing. Reinhard Ploss, Prof. Dr.-Ing. Johann-Dietrich Wörner, Manfred Rauhmeier
- Redaktion: Christopher Hecht/acatech, Thomas Hild/DECHEMA, Damien Rolland/DECHEMA, Michaela Löffler/acatech, Dr. Andrea Lübcke/acatech, Layout-Konzeption: Lars Ole Reimer
- Empfohlene Zitierweise: acatech, DECHEMA (Hrsg.): Wasserstoff im Mobilitätssektor, Berlin 2022.
<https://www.wasserstoff-kompass.de/news-media/dokumente/mobilitaet>

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages