

Zwischenergebnisse der Meta-Analyse

Kurt Wagemann und das Wasserstoff-Kompass Team

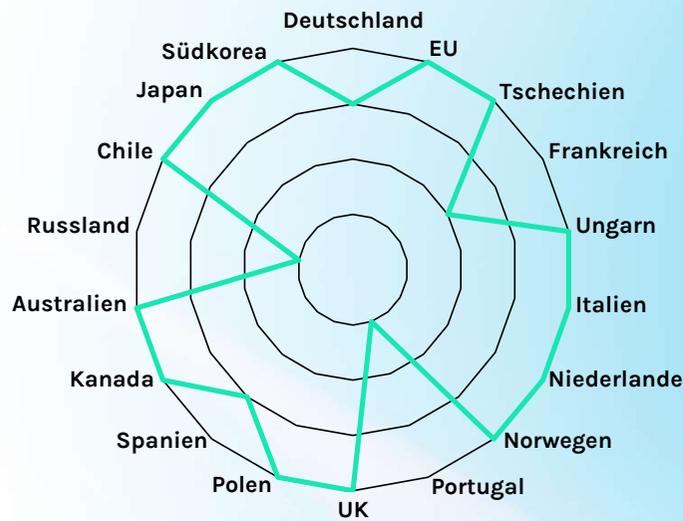
Meta-Analyse



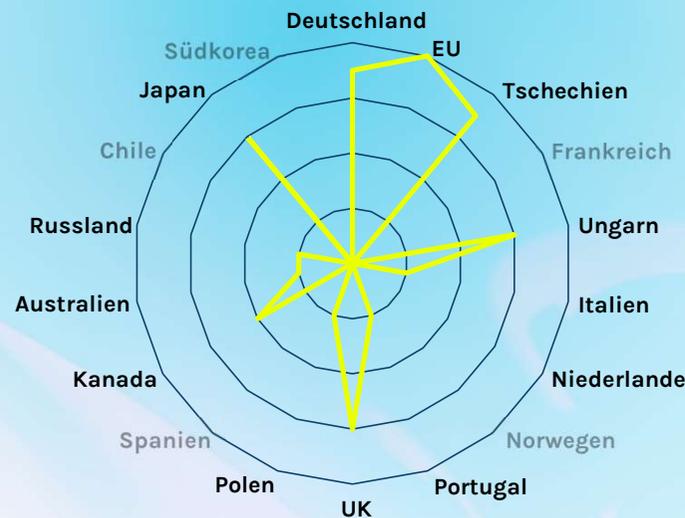
Länder-Analyse

Sektorspezifische Betrachtung

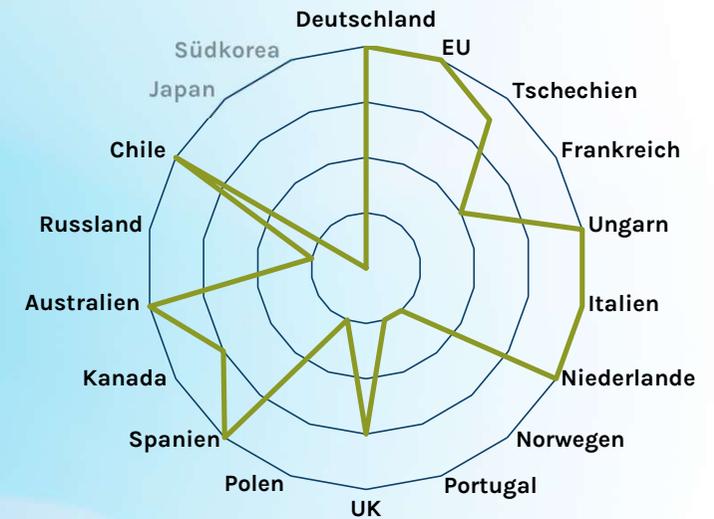
Mobilität - allgemein



Stahlindustrie



Chemische Industrie



Kurzfristige Anwendung

Mittelfristige Anwendung

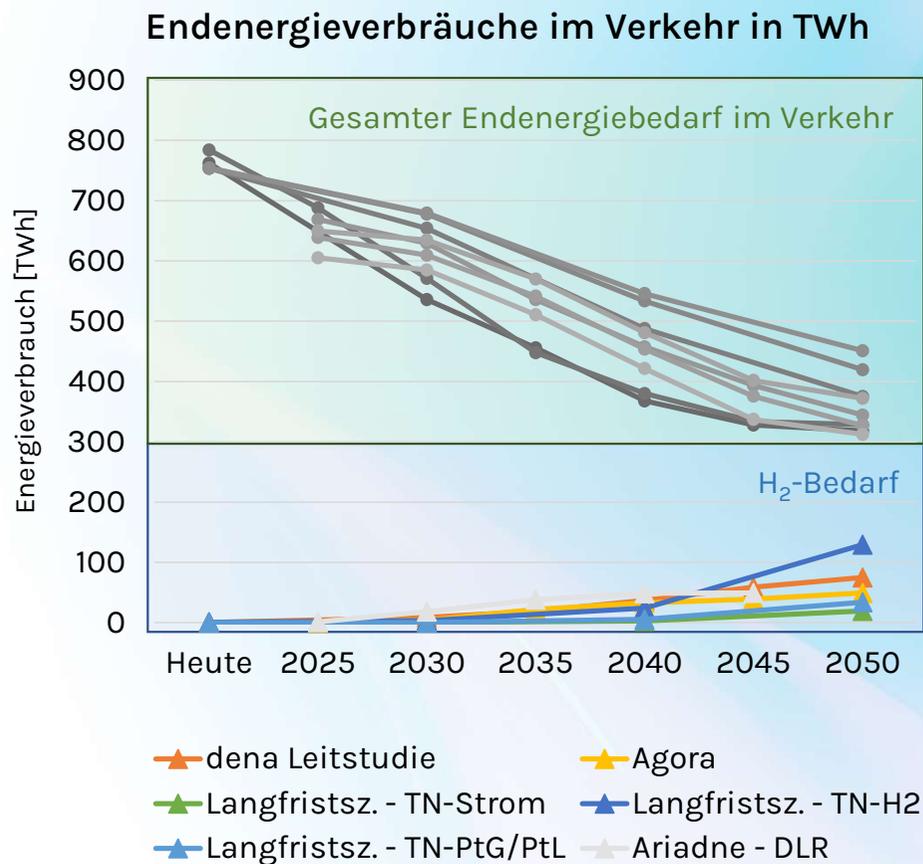
Langfristige Anwendung

Anwendung adressiert, ohne Zeitschiene

Anwendung nicht explizit adressiert

Mobilitätssektor (national)

H₂-Bedarf in Deutschland



- **Endenergiebedarf:** Senkung durch direkte Elektrifizierung
- **H₂-Bedarf in den einzelnen Bereichen:**
 - LKWs: Großteil des H₂-Bedarfs, v.a. im Schwerlastbereich
 - PKWs: Geringer H₂-Bedarf, da BEVs dominieren
 - Schiene, Schiff, Bus: geringer, absoluter H₂-Bedarf
- **H₂-Bedarfsdeckung im LKW-Bereich**
→ Ausbau des H₂-Tankstellennetzes notwendig

Deutsche OEMs

- Mehrheitlich abgewendet von FC-PKWs
- Fokus auf FC-LKWs

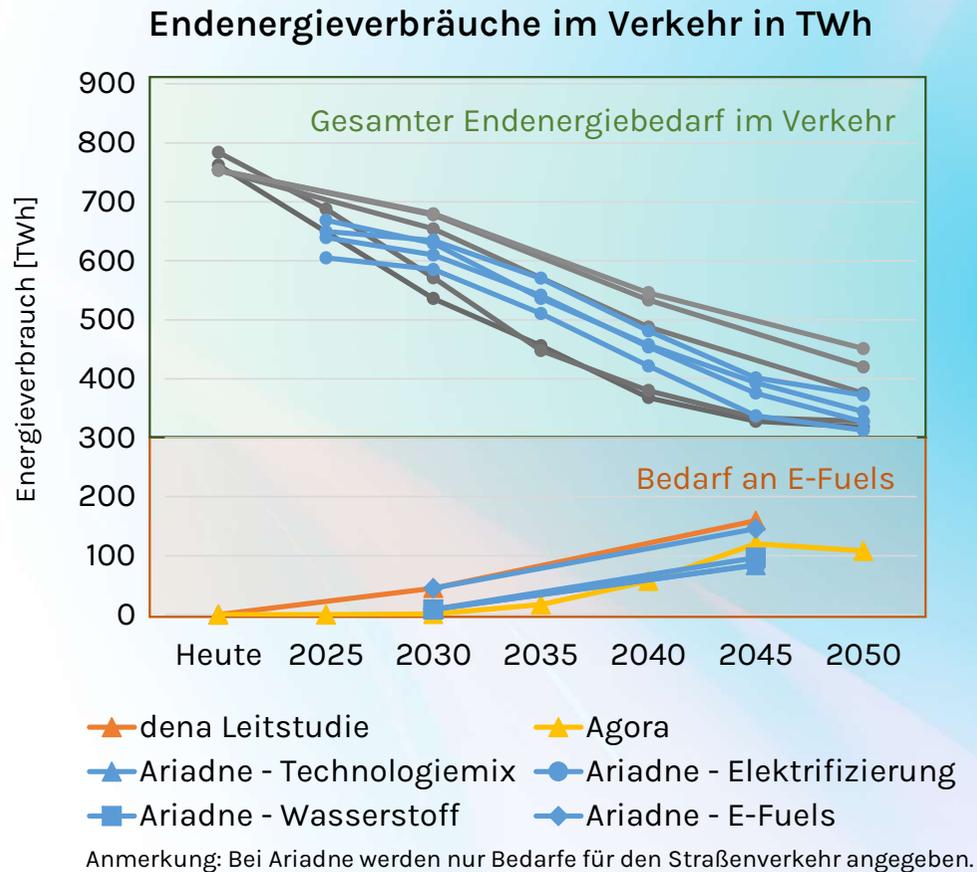


Globale OEMs

- v.a. Toyota und Hyundai
- Toyota erstmals mit Serienfertigung (30.000/a)

Mobilitätssektor (national)

E-Fuels Bedarf in Deutschland



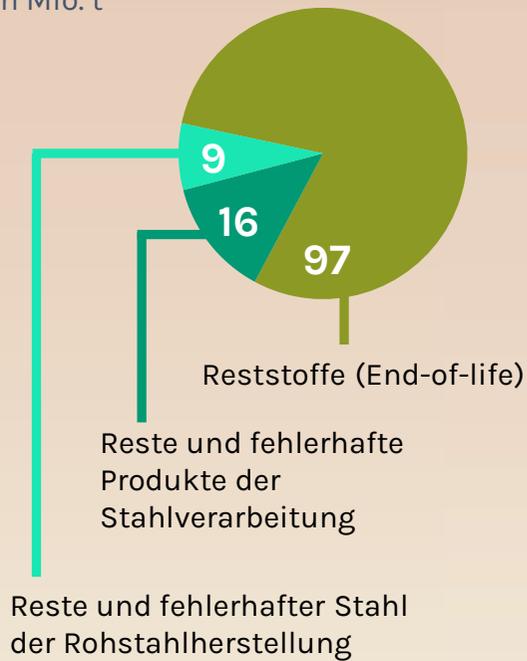
- **Anwendungen für E-Fuels, bei denen:**
 - Elektrifizierung schwer möglich ist
 - Nutzung von H₂ technisch nicht möglich ist
- **Prognosen für den Bedarf an E-Fuels:**
 - Luftverkehr benötigt ~70% der E-Fuels (Agora)
 - Hohe Bedarfe im Straßenverkehr, wenn Nutzung von E-Fuels vorgegeben wird (Ariadne - E-Fuels)
 - Berücksichtigung der Bestandsflotten

Stahlindustrie

Factsheet

Recycling-Stahl in EU28 (2030)

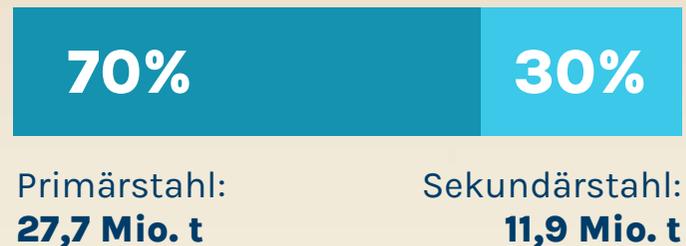
in Mio. t



Stahlproduktion in Deutschland

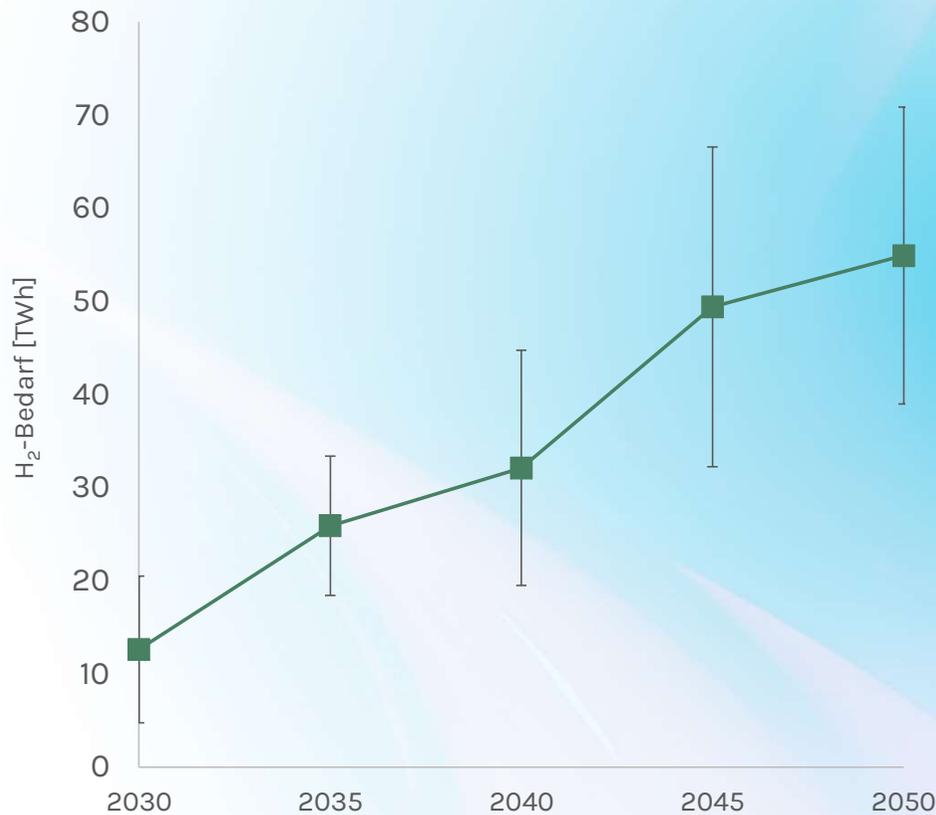


Stahlproduktion 2019: 39,6 Mio. t



Stahlindustrie

H₂-Bedarf in Deutschland



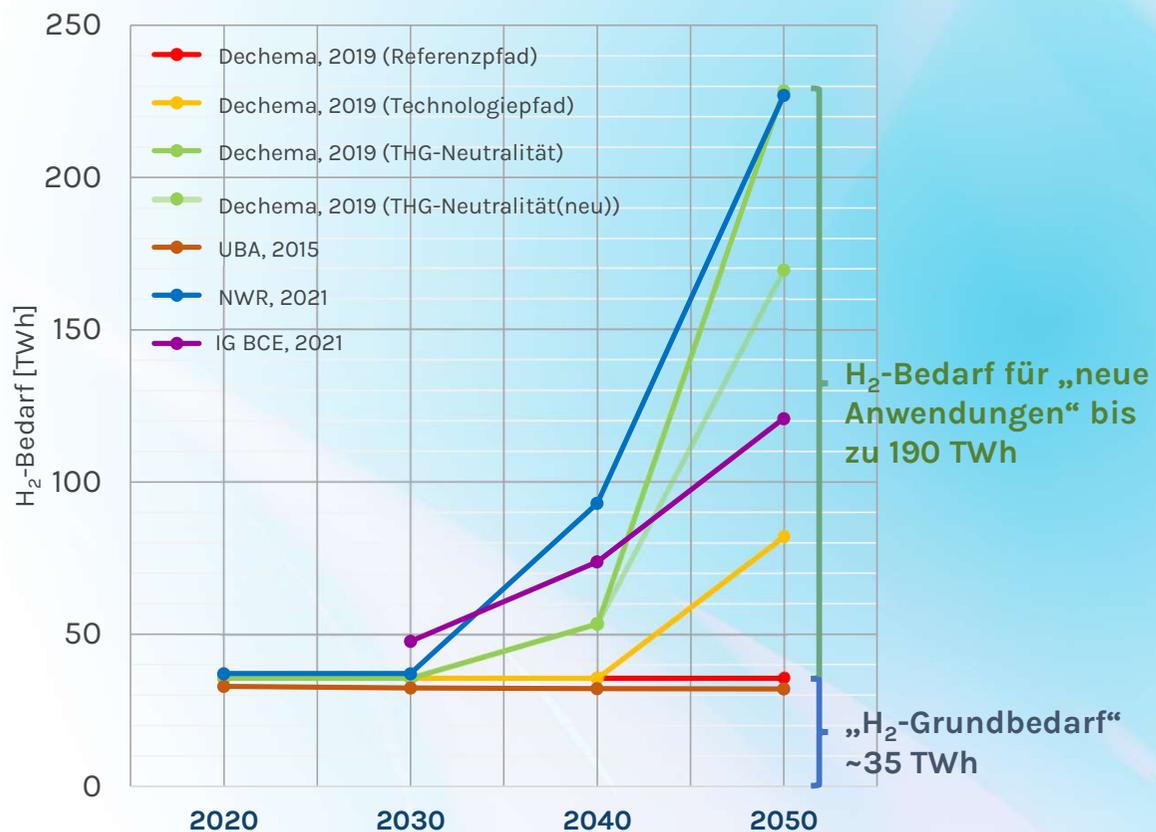
Voraussichtlich steigende H₂-Bedarfe:

- Primärstahlproduktion:
Umstellung von Hochofenroute auf Direktreduktion
- Energetische Nutzung von H₂
- H₂-Nutzung in Folgeprozessen (z. B. als Schutzgas)

| | Mittelwert [TWh] | Standardabweichung [TWh] | Anzahl Studien |
|------|------------------|--------------------------|----------------|
| 2030 | 13 | 7,9 | 18 |
| 2035 | 26 | 7,5 | 6 |
| 2040 | 32 | 12,6 | 12 |
| 2045 | 49 | 17,2 | 8 |
| 2050 | 55 | 15,9 | 18 |

Chemische Industrie

H₂-Bedarf in Deutschland



Anmerkung: Bei UBA 2015 wird nur der H₂-Bedarf für Ammoniak und Methanol abgeschätzt.

Mögliche H₂-Anwendungen:

- Substitution des „H₂-Grundbedarfs“
- Synthetische Kohlenwasserstoffe
- Methanol (MTO, MTA, MTG, MOGD)
- Energetische Nutzung
- Chemisches Recycling
- Ammoniak/Methanol als Kraftstoff oder Energieträger

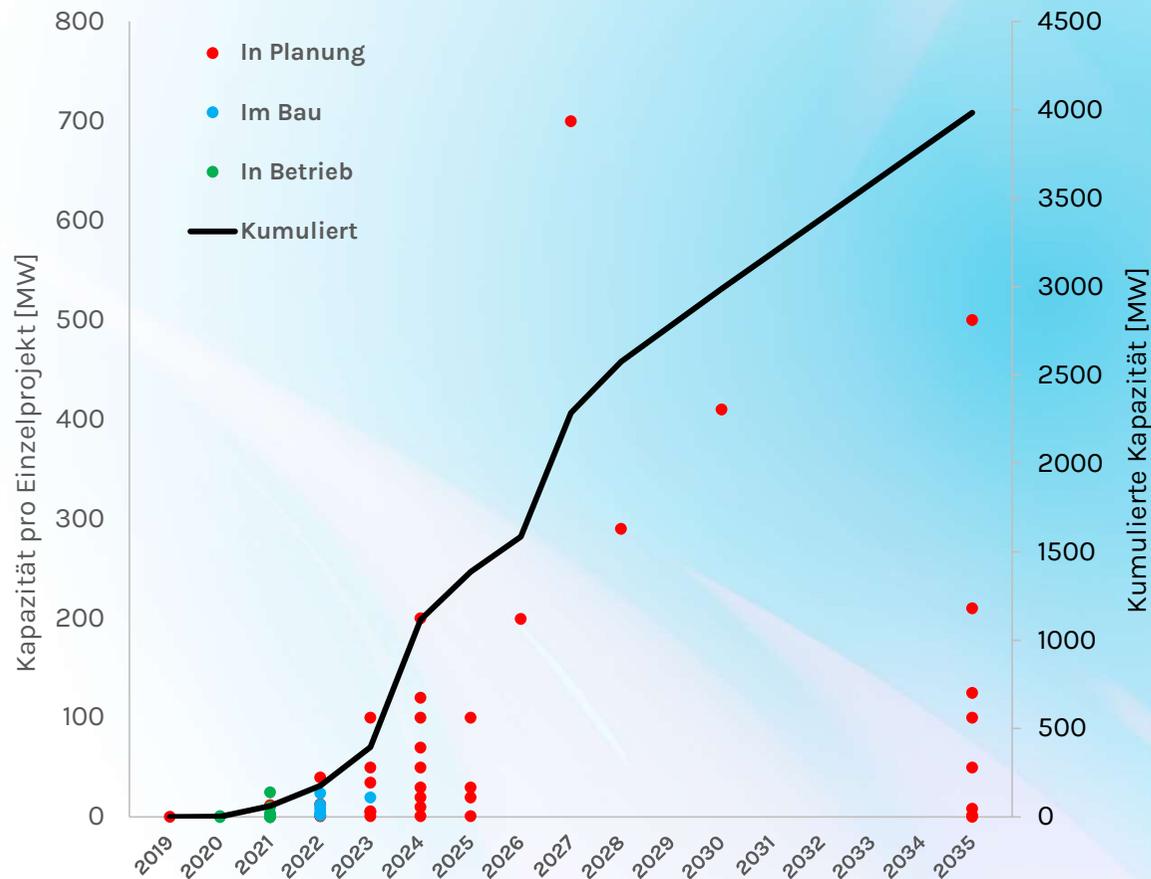
Herausforderungen:

- H₂-Erzeugungskapazitäten
- Kosten für emissionsarmen/grünen H₂
- Hohe Strombedarfe und Industriestrompreise
- H₂-Transport und Stromtransport
- CO₂-Bereitstellung aus nicht-fossilen Quellen

H₂-Produktion

Zeitlicher Verlauf deutscher Elektrolyseprojekte

n=67, 95% „grün“



Größenverteilung der Elektrolyseprojekte:

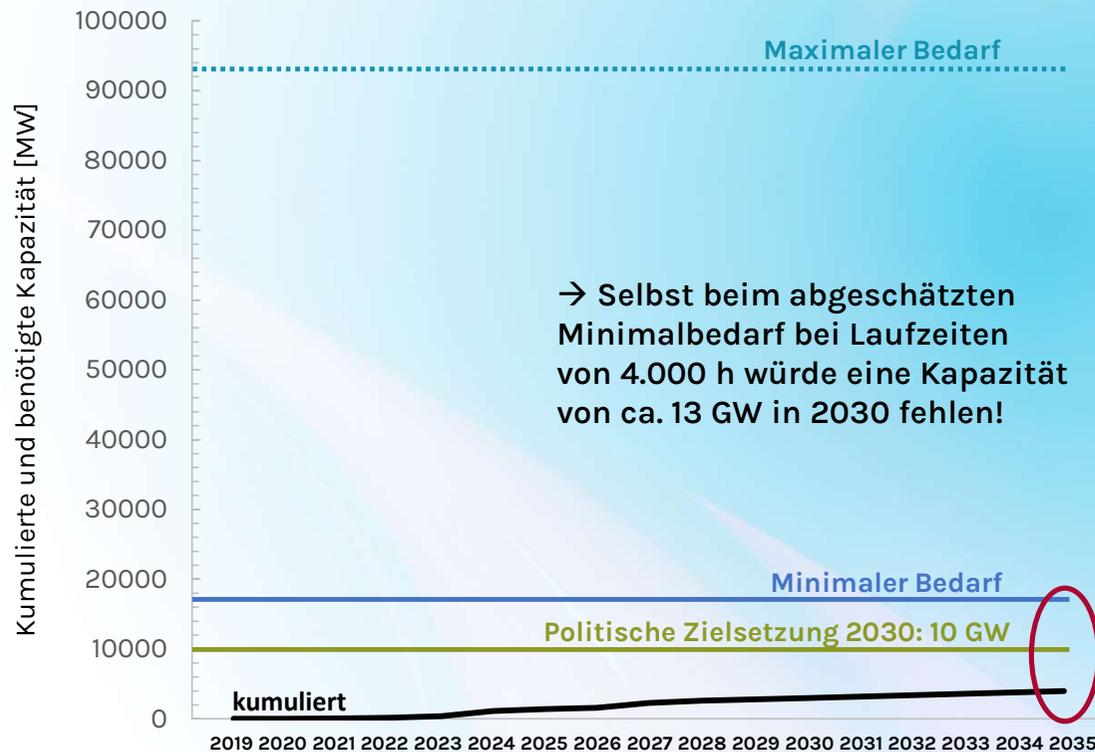
- Nach Status (in Planung, im Bau, in Betrieb)
- Nach Zeitangabe der Realisierung (falls keine Angabe verfügbar, Zeitpunkt auf 2035 gesetzt)
- Nach Kapazität (aber: **nicht bei allen Projekten konkrete Kapazitäten genannt!**)

→ Bei Umsetzung aller geplanten Projekte mit bekannter Kapazität würden bis 2035 nur 40% der laut Koalitionsvertrag geplanten Elektrolysekapazität (10 GW) erreicht werden

H₂-Produktion

Vergleich der Kapazitäten in 2030

(4.000 Volllaststunden)



Vorläufige Abschätzung für den H₂-Bedarf in Deutschland in 2030 laut Metaanalyse:

- Minimaler H₂-Bedarf: ~50 TWh
- Maximaler H₂-Bedarf: ~250 TWh

Annahmen für die Berechnung:

- Kumulierte Kapazität für 2030: ~4 GW (auf Basis der eigenen Projektdatenbank)
- Elektrolyse-Effizienz: 70%
- Berechnung für 4.000 Volllaststunden

Laststunden in Deutschland in 2020 zum Vergleich:

- PV: ~1.000 h
- Onshore Wind: ~1.900 h
- Offshore Wind: ~3.500 h

Meta-Analyse

Ausblick

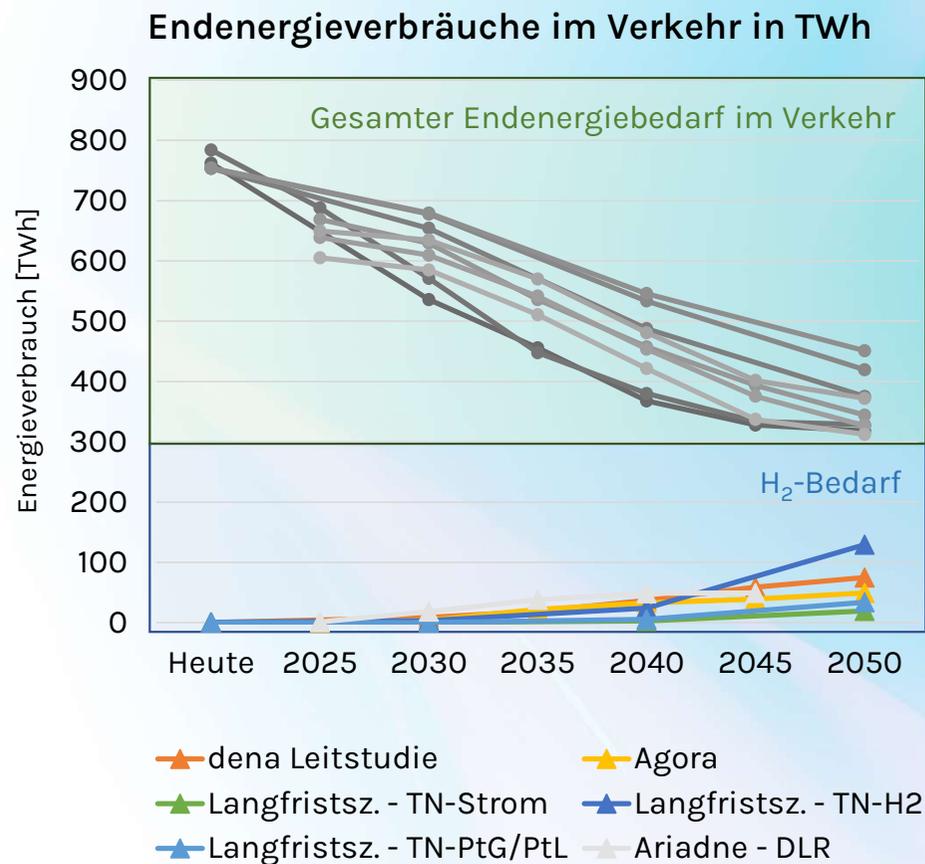


- **Weitere Themenfelder (zukünftig oder in Bearbeitung):**
 - Nationale Strategien (insbesondere H₂-Import/H₂-Export)
 - Raffinerien
 - Wärmemarkt
 - Energiesystem
 - Weitere Industriezweige (Zement, Glas, etc.)
 - Internationale Mobilität
- **Weiteres Vorgehen im Wasserstoff-Kompass:**
 - Fortlaufende Ergänzung unserer Projekt- und Studiendatenbank
 - Durchführung weiterer Expert*innen Gespräche
 - Organisation von runden Tischen

Backup

Mobilitätssektor (national)

H₂-Bedarf in Deutschland



- **Endenergiebedarf:**
Senkung durch direkte Elektrifizierung
- **H₂-Bedarf in den einzelnen Bereichen:**
 - LKWs:
Großteil des H₂-Bedarfs, v.a. im Schwerlastbereich
 - PKWs:
Geringer H₂-Bedarf, da BEVs dominieren
 - Schiene, Schiff, Bus:
geringer, absoluter H₂-Bedarf
- **H₂-Bedarfsdeckung im LKW-Bereich**
→ Ausbau des H₂-Tankstellennetzes notwendig

Mobilitätssektor (national)

H₂-Bedarf in Deutschland

Endenergieverbräuche im Verkehr in TWh



Deutsche OEMs

- Mehrheitlich abgewendet von FC-PKWs
- Fokus auf FC-LKWs



Globale OEMs

- v.a. Toyota und Hyundai
- Toyota erstmals mit Serienfertigung (30.000/a)

- Endenergiebedarf: Senkung durch direkte Elektrifizierung

Bereichen:

bedarfs, v.a. im

da BEVs dominieren

ger, absoluter H₂-Bedarf

Bereich

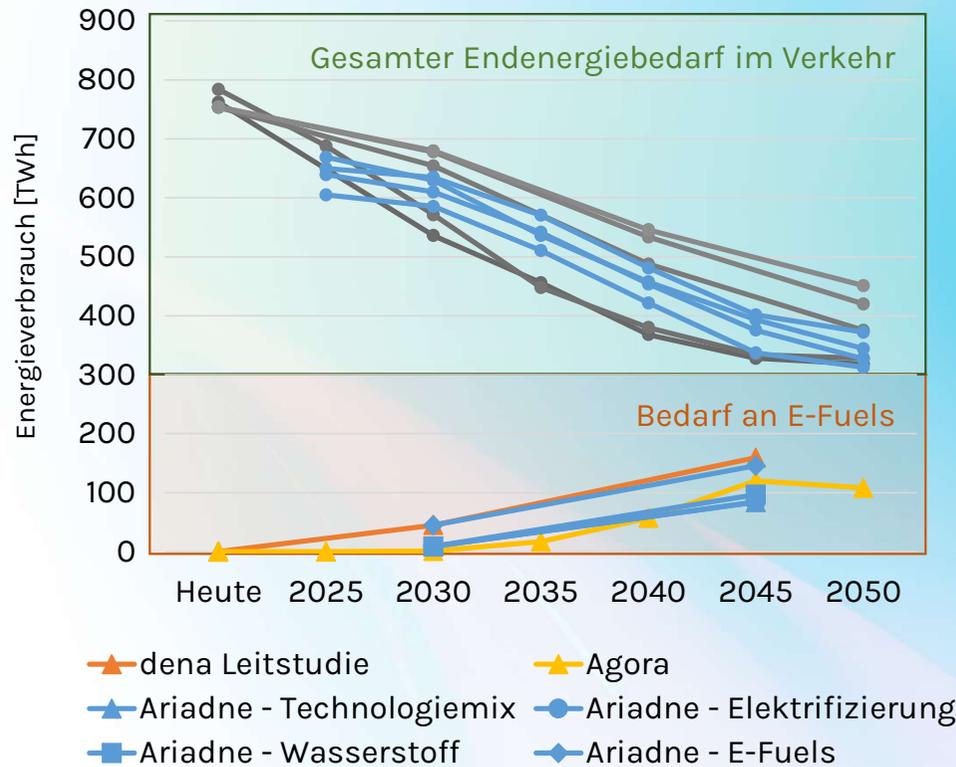
netzes notwendig

- dena Leitstudie
- Agora
- Langfristsz. - TN-Strom
- Langfristsz. - TN-H₂
- Langfristsz. - TN-PtG/PtL
- Ariadne - DLR

Mobilitätssektor (national)

E-Fuels Bedarf in Deutschland

Endenergieverbräuche im Verkehr in TWh



Anmerkung: Bei Ariadne werden nur Bedarfe für den Straßenverkehr angegeben.

- **Anwendungen für E-Fuels, bei denen:**
 - Elektrifizierung schwer möglich ist
 - Nutzung von H₂ technisch nicht möglich ist
- **Prognosen für den Bedarf an E-Fuels:**
 - Luftverkehr benötigt ~70% der E-Fuels (Agora)
 - Hohe Bedarfe im Straßenverkehr, wenn Nutzung von E-Fuels vorgegeben wird (Ariadne - E-Fuels)
 - Berücksichtigung der Bestandsflotten

Deutsche OEMs

- Mehrheitlich abgewendet von FC-PKWs
- Fokus auf FC-LKWs

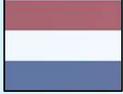


Globale OEMs

- v.a. Toyota und Hyundai
- Toyota erstmals mit Serienfertigung (30.000/a)

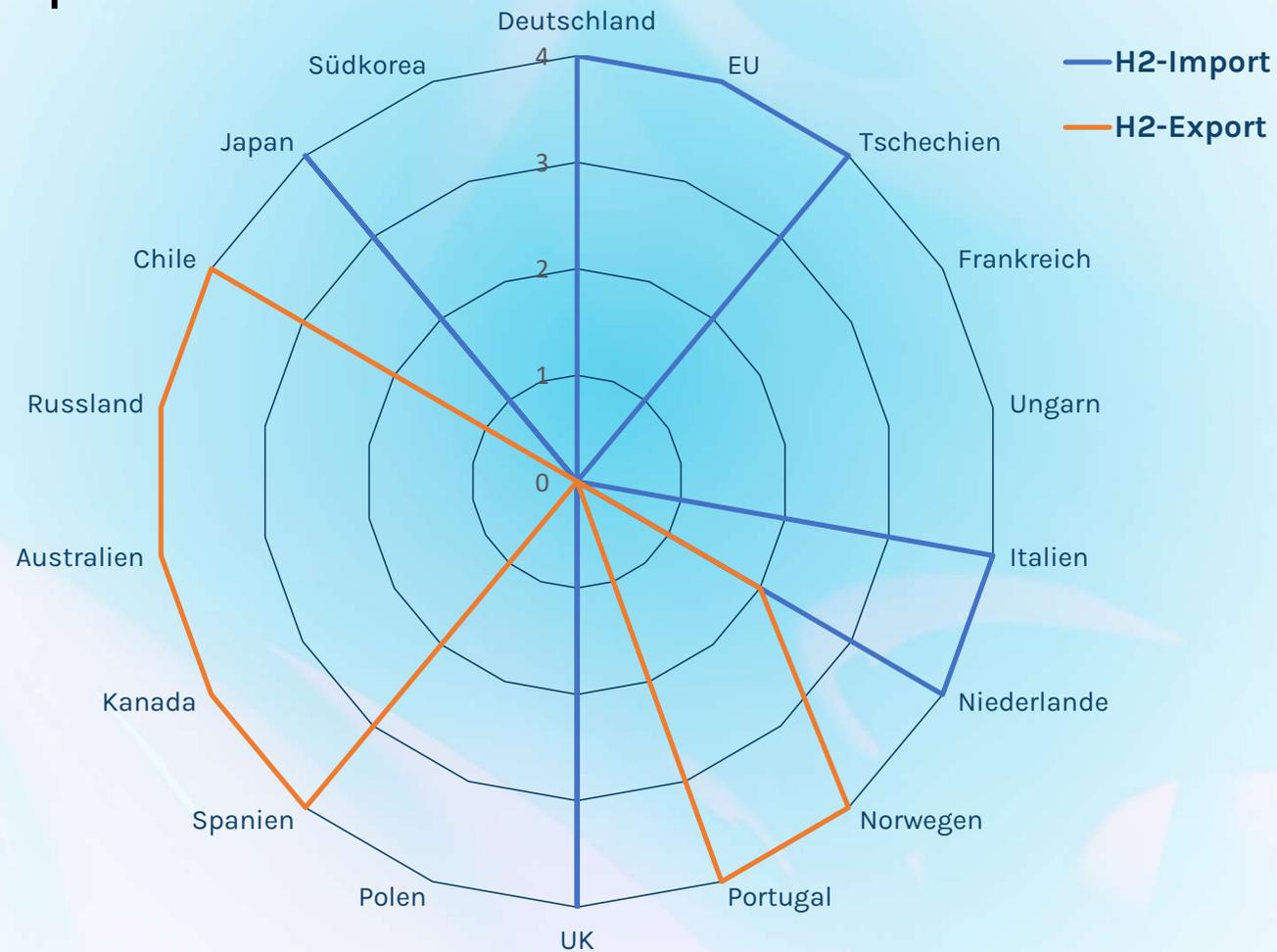
Länderstrategien

H₂-Import / H₂-Export

| H ₂ -Import | Nicht definiert | H ₂ -Export |
|---|---|---|
|   |  |   |
|   |  |   |
|   |  |   |
|  |  |   |

Länderstrategien

H₂-Import / H₂-Export



Mobilitätssektor

Einschätzung der OEMs

- Deutsche OEMs:
 - Mehrheit abgewendet vom PKW Brennstoffzellenantrieb
 - Fokus auf LKW Brennstoffzellenantrieb
- Global:
 - Vor allem Toyota und Hyundai
 - Toyota erstmals mit Serienfertigung (30.000/a)

Deutsche OEMs:

Audi

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

20. Oktober 2023, 16:15 Uhr Brennstoffzellen bei Audi

Der schwierige Streit um den Wasserstoff

Wasserstoff: Mein Bruder für Audi-Verantwortlicher Markus Duesmann ist die Sache klar. Er steht für die Brennstoffzellen im Individualverkehr bevor. „Wir können das für den Antriebsweg Wasserstoff in den nächsten Jahren nicht in ausreichender Menge (100) anfordern.“

BMW

BMW-Wasserstoffchef Güldner: Brennstoffzelle soll Ergänzung zum E-Auto sein – muss aber günstiger werden

20. Oktober 2023, 16:15 Uhr Brennstoffzellen bei Audi

Oliver Zipse, Vorstandsvorsitzender der BMW AG

Es gilt an, dass BMW nicht davon ausgeht, dass Wasserstoff-Motoren im PKW-Bereich, allerdings einen „signifikanten Anteil“ an der Gesamtflotte haben werden. Wasserstoff werde vor allem im Nutzfahrzeugbereich wichtig werden, sagt Güldner.

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. Dies 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. Größerer 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 nicht vorhanden.

BMW nutzt die in Kooperation mit Toyota entwickelten Stacks

Daimler

Allerdings war die Angebot von Anfang an auf einen kleinen Kreis von Kunden beschränkt. In Fokus von Mercedes sind dabei öffentliche Flotten wie Postämter oder Firmen als bedeutende Wirtschaftspartnern. Damit waren die Produktionszahlen von vornherein extrem beschränkt.

Die Karriere des Zukunft-Autos ist längst wieder zu Ende. Mercedes hat dem G.C.F.-Cell dem Steuer gezogen. Zur Begründung des Aus erklärte Daimler im April 2020 gegenüber dem ADAC: „Aktuell ist die Batterie der Brennstoffzelle bezüglich einer großvolumigen Markteinführung überlegen – nicht zuletzt angesichts der weltweit noch geringen Anzahl an Wasserstoff-Tankstellen und der verhältnismäßig hohen Technologiekosten. Auch in Sachen Energieeffizienz hat die Batterietechnologie große Sprünge gemacht und damit den Reichweitenverlust der Brennstoffzellentechnologie in Pkw verringert.“

Völlig konzentrierte man sich lieber darauf, die Brennstoffzellen-Technologie in Bussen und LKWs zu etablieren. Das sei der Zukunftsmarkt für die Brennstoffzelle. In Bezug auf den Pkw-Sektor sehe man das Geschäftsmodell nicht.

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

Oliver Zipse, Vorstandsvorsitzender der BMW AG

Mercedes Gen2 Truck darf auf die Straße

Mercedes-Benz hat den ersten Brennstoffzellen-LKW (Fuso FV500) auf der Straße getestet.

Das ist ein wichtiger Meilenstein für die Entwicklung der Brennstoffzelle. Der Brennstoffzellen-LKW hat eine Reichweite von bis zu 400 Kilometern und ist in der Lage, bis zu 100 Tonnen zu transportieren. Mercedes-Benz hat den ersten Brennstoffzellen-LKW (Fuso FV500) auf der Straße getestet.

Bosch

Die Zukunft der Brennstoffzelle im LKW

Die Brennstoffzelle ist die ideale Lösung für den LKW-Bereich. Sie ermöglicht eine Reichweite von bis zu 400 Kilometern und ist in der Lage, bis zu 100 Tonnen zu transportieren. Bosch hat die Brennstoffzelle im LKW-Bereich etabliert.

Globale 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 Fahrzeugen bestehen, während die Anzahl der Varianten mit klassischem Verbrennungsmotor unter zehn Prozent sinkt.

Hyundai

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

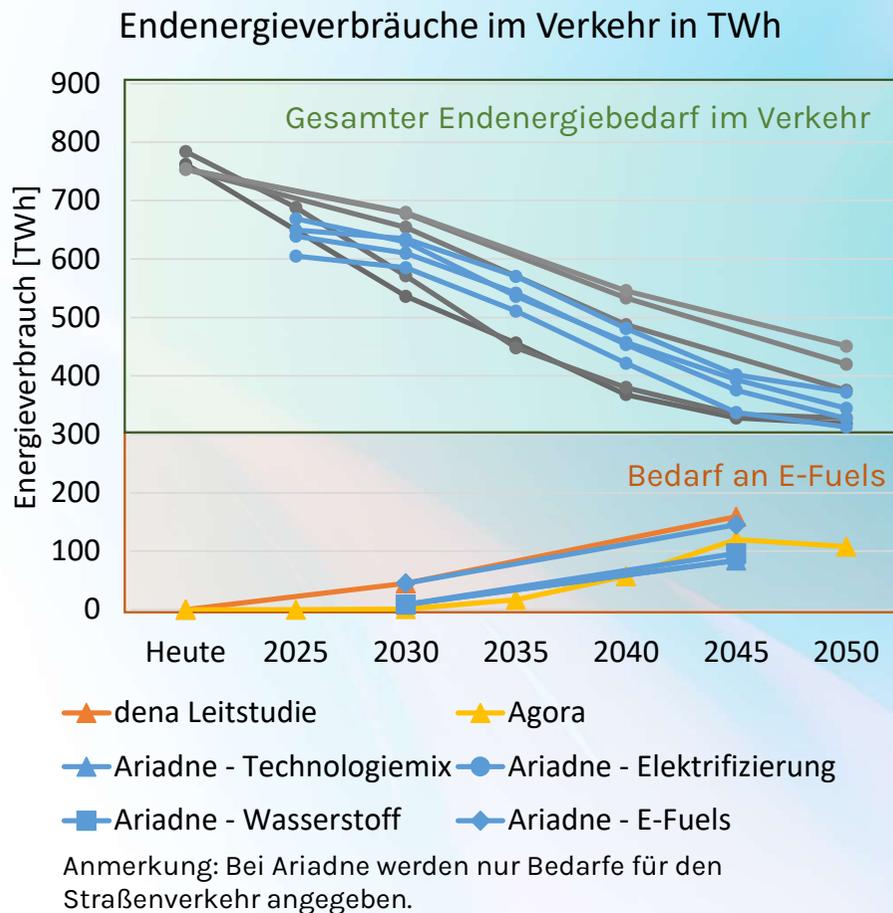
Die Koreaner setzen auf batteriebetriebene Elektroautos, wollen aber auch den Wasserstofftrieb in Europa etablieren. Geht es nach dem Pilotversuch in der Schweiz.

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

Die Absatzwartungen für den Nexo werden 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

Mobilitätssektor (national)

E-Fuels Bedarf in Deutschland



- Anwendungen für E-Fuels, bei denen:
 - Elektrifizierung schwer möglich ist
 - Nutzung von H₂ technisch nicht möglich ist
- Prognosen für den Bedarf an E-Fuels:
 - Luftverkehr benötigt ~70% der E-Fuels (Agora)
 - Hohe Bedarfe im Straßenverkehr, wenn Nutzung von E-Fuels vorgegeben wird (Ariadne - E-Fuels)
 - Berücksichtigung der Bestandsflotten
- Erhöhter Endenergieverbrauch durch geringeren Wirkungsgrad
 - Benzin-/Diesel-Verbrennung: 25-35%
 - BEV Wirkungsgrade: 70-90%

Deutsche OEMs

- Mehrheitlich abgewendet von FC-PKWs
- Fokus auf FC-LKWs

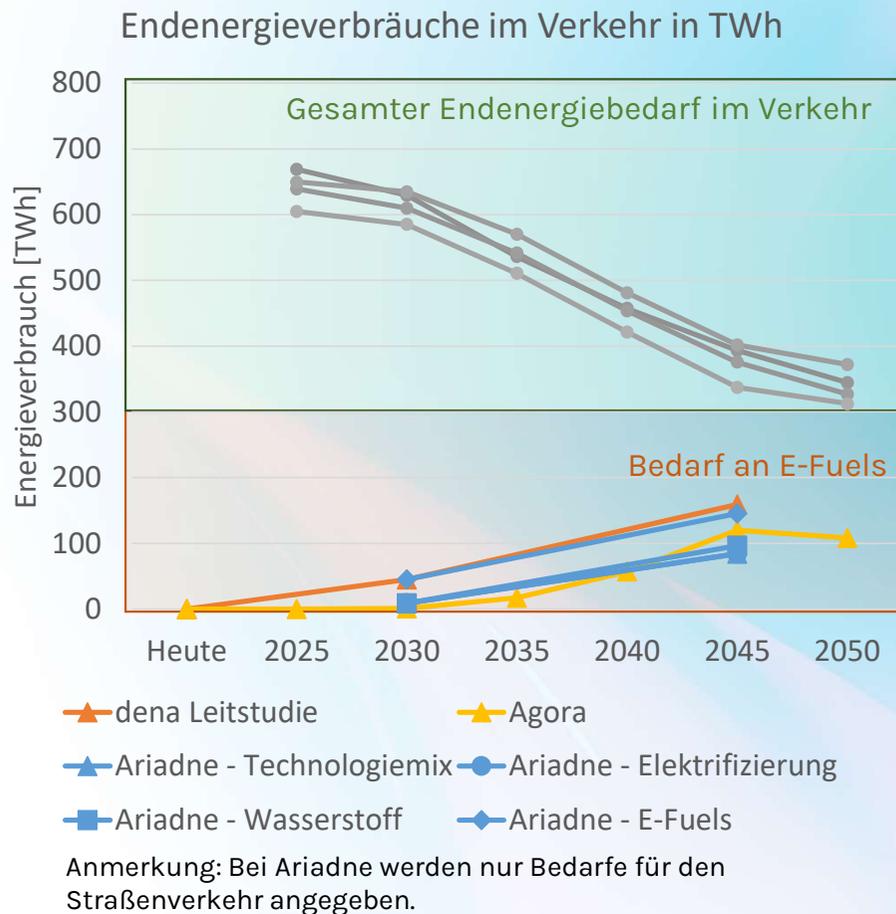


Globale OEMs

- v.a. Toyota und Hyundai
- Toyota erstmals mit Serienfertigung (30.000/a)

Mobilitätssektor (national)

E-Fuels Bedarf in Deutschland



- Anwendungen für E-Fuels, bei denen:
 - Elektrifizierung schwer möglich ist
 - Nutzung von H₂ technisch nicht möglich ist
- Prognosen für den Bedarf an E-Fuels:
 - Luftverkehr benötigt ~70% der E-Fuels (Agora)
 - Hohe Bedarfe im Straßenverkehr, wenn Nutzung von E-Fuels vorgegeben wird (Ariadne - E-Fuels)
 - Berücksichtigung der Bestandsflotten
- Erhöhter Endenergieverbrauch durch geringeren Wirkungsgrad
 - Benzin-/Diesel-Verbrennung: 25-35%
 - BEV Wirkungsgrade: 70-90%

Deutsche OEMs

- Mehrheitlich abgewendet von FC-PKWs
- Fokus auf FC-LKWs



Globale OEMs

- v.a. Toyota und Hyundai
- Toyota erstmals mit Serienfertigung (30.000/a)