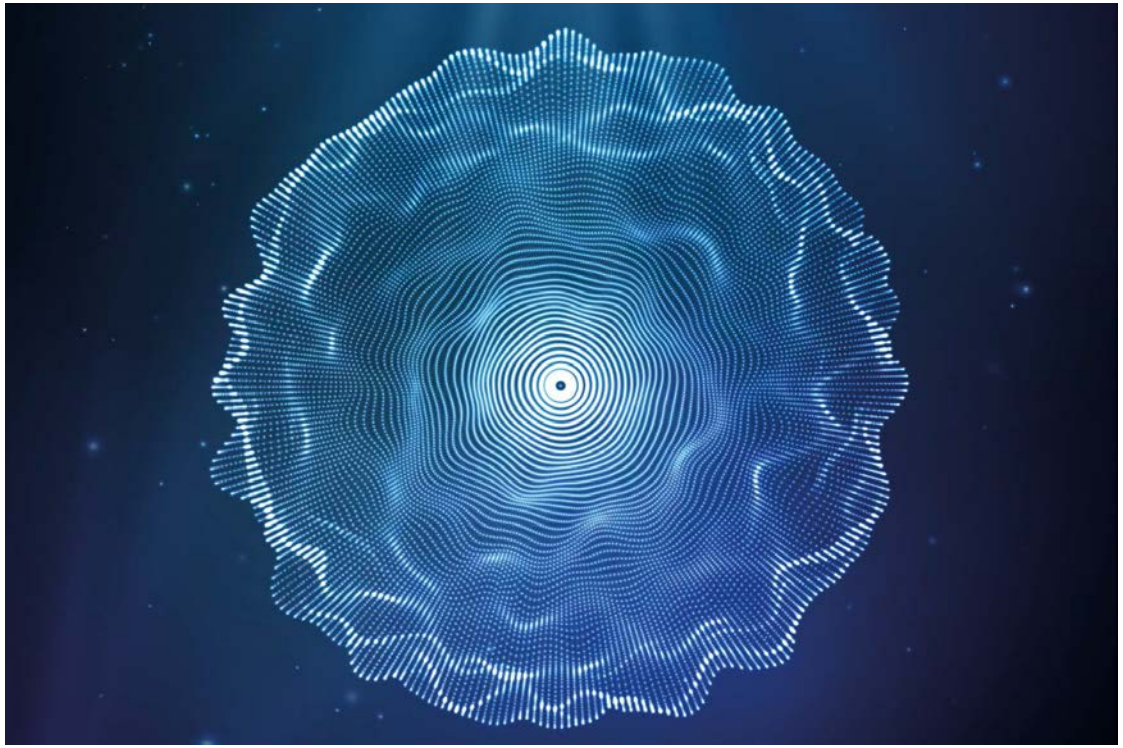
WASSERSTOFF UND SEINE DERIVATE FÜR EINE NACHHALTIGE MOBILITÄT

Deutscher Bundestag

Parlamentarischer Beirat
f. nachhaltige Entwicklung

Ausschussdrucksache
19(26)118

40 YEARS
FRAUNHOFER ISE
#CreatingTheEnergyFuture



Prof. Christopher Hebling

- Bereichsleiter Wasserstofftechnologien
- Sprecher des Wasserstoff-Netzwerks der Fraunhofer-Gesellschaft
- Mitglied im Expertenausschuss zum Zukunftsfonds Automobilindustrie

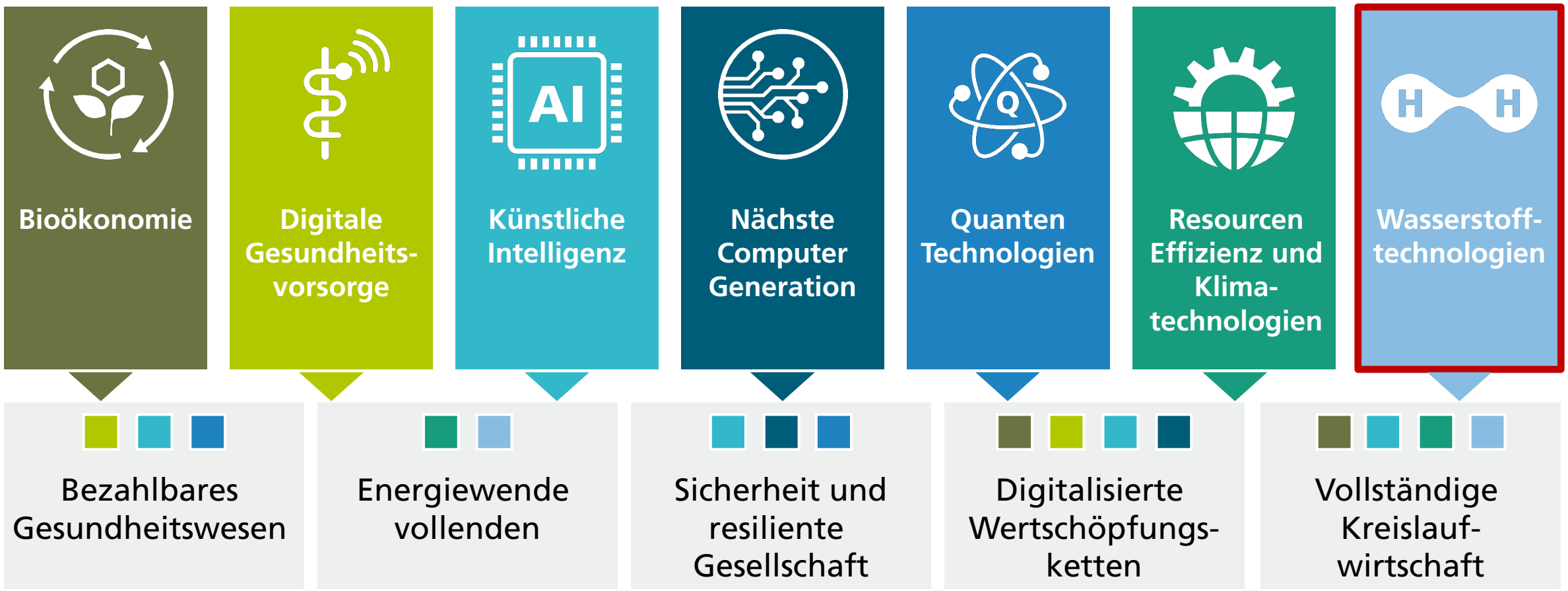
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, ISE

80. Sitzung des Parlamentarischen Beirates für nachhaltige Entwicklung, Berlin, 19. May 2021

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL

Fraunhofer ISE

Fraunhofer Strategische Forschungsfelder



© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-Internal
Fraunhofer ISE

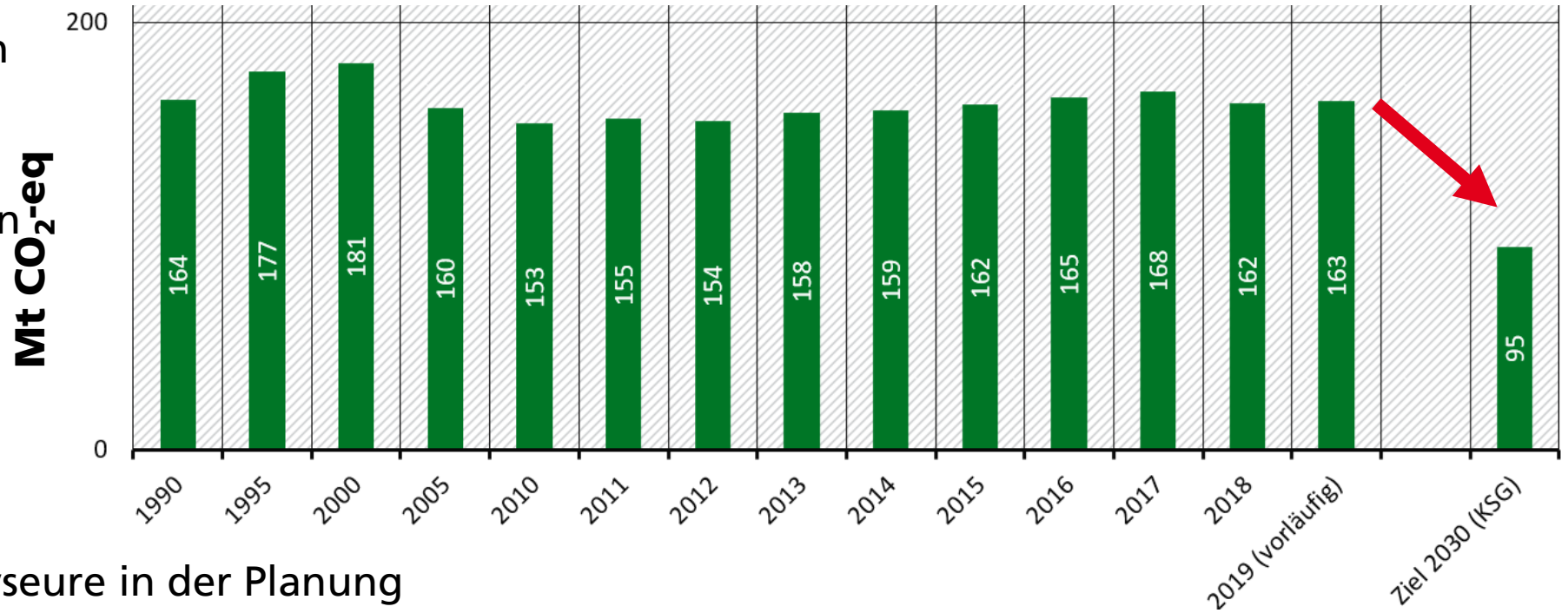
Ausgangslage

Treibhausgasemissionen im Mobilitätssektor in Deutschland seit 1990

- Das Bundesverfassungsgerichtsurteil zum Bundes-Klimaschutzgesetz führt zu massiver Verschärfung der benötigten Klimaschutzmaßnahmen inklusive dem Zeitpunkt deren Implementierung
- Zusätzlich: Verschärfung der Lokalemissionen durch Euro 7 (2025) bzw. CARB/EPA (2024)

Weiterhin:

- 189 Staaten ratifizierten das Pariser Abkommen
- > 75 Staaten streben Klimaneutralität 2050 an
- > 30 Staaten haben nationale H_2-Strategien
- $ 300 Mrd. für H_2-Prod., Transport, Nutzung in Entwicklung bis 2030
- Aktuell 17 GW Elektrolyseure in der Planung



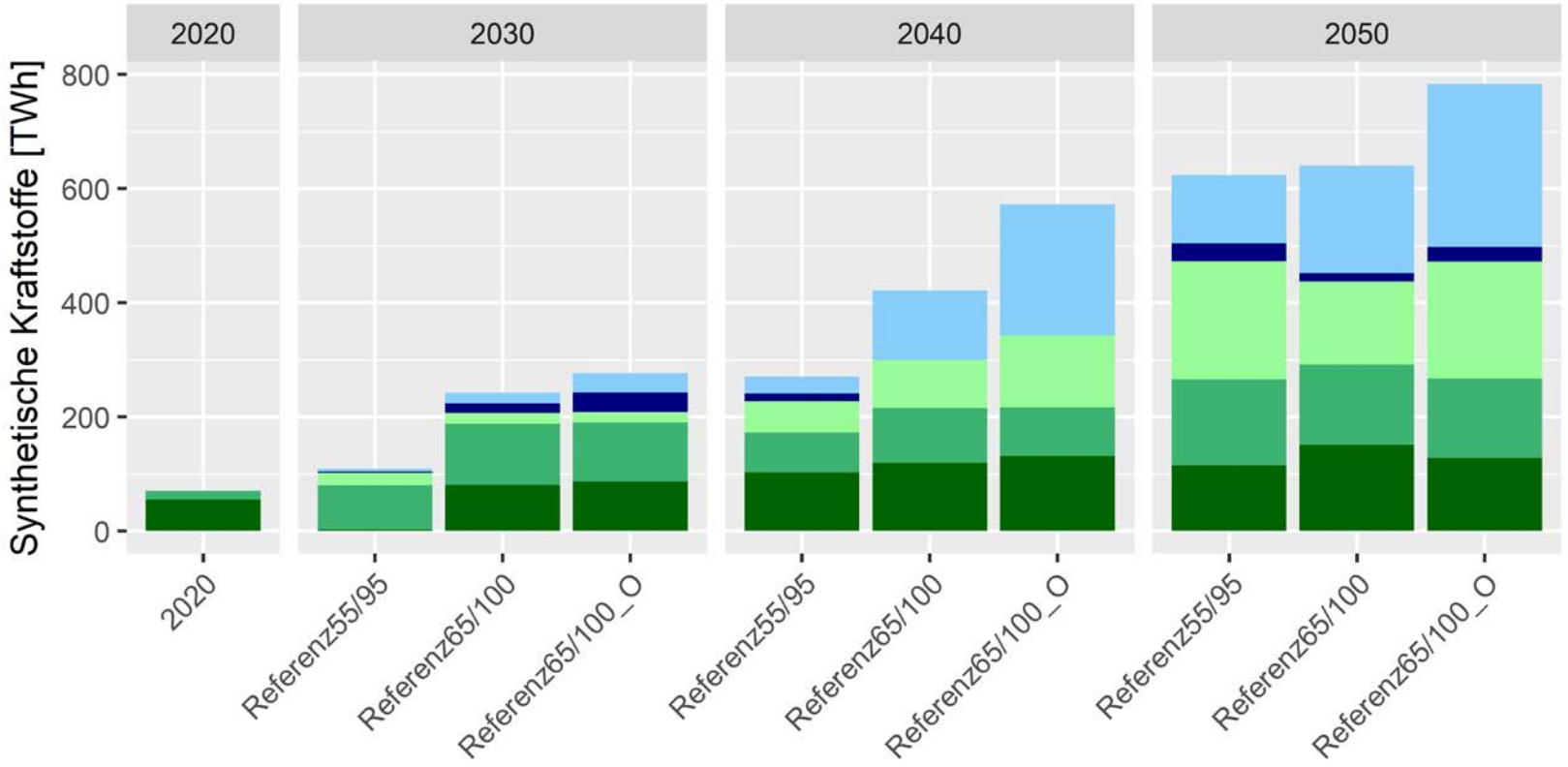
Source: UBA 2020

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-Internal

Szenarien für die nationale und internationale Produktion von PtX-Produkten

REMOD-Energiesystemsimulationen des Fraunhofer ISE

- Ambitioniertere Klimaziele erhöhen ganz erheblich den Bedarf an PtX-Produkten, um die Ziele zu erfüllen
- Bedarf an GW-Erzeugung in Deutschland (windgekoppelt) und in der Welt



© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-Internal

Fraunhofer ISE

Meta-Studie Wasserstoff für den Nationalen Wasserstoffrat

Überblick über EU-Studien

Level	Abbreviation	Study
EU	EC 2020	COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT - IMPACT ASSESSMENT
	JRC 2020	Towards net-zero emissions in the EU energy system by 2050
	EC 2019	Industrial Innovation – Pathways to deep decarbonisation of industry Part 2
	EC 2018	A Clean Planet for all

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-Internal

Meta-Studie Wasserstoff für den nationalen Wasserstoffrat

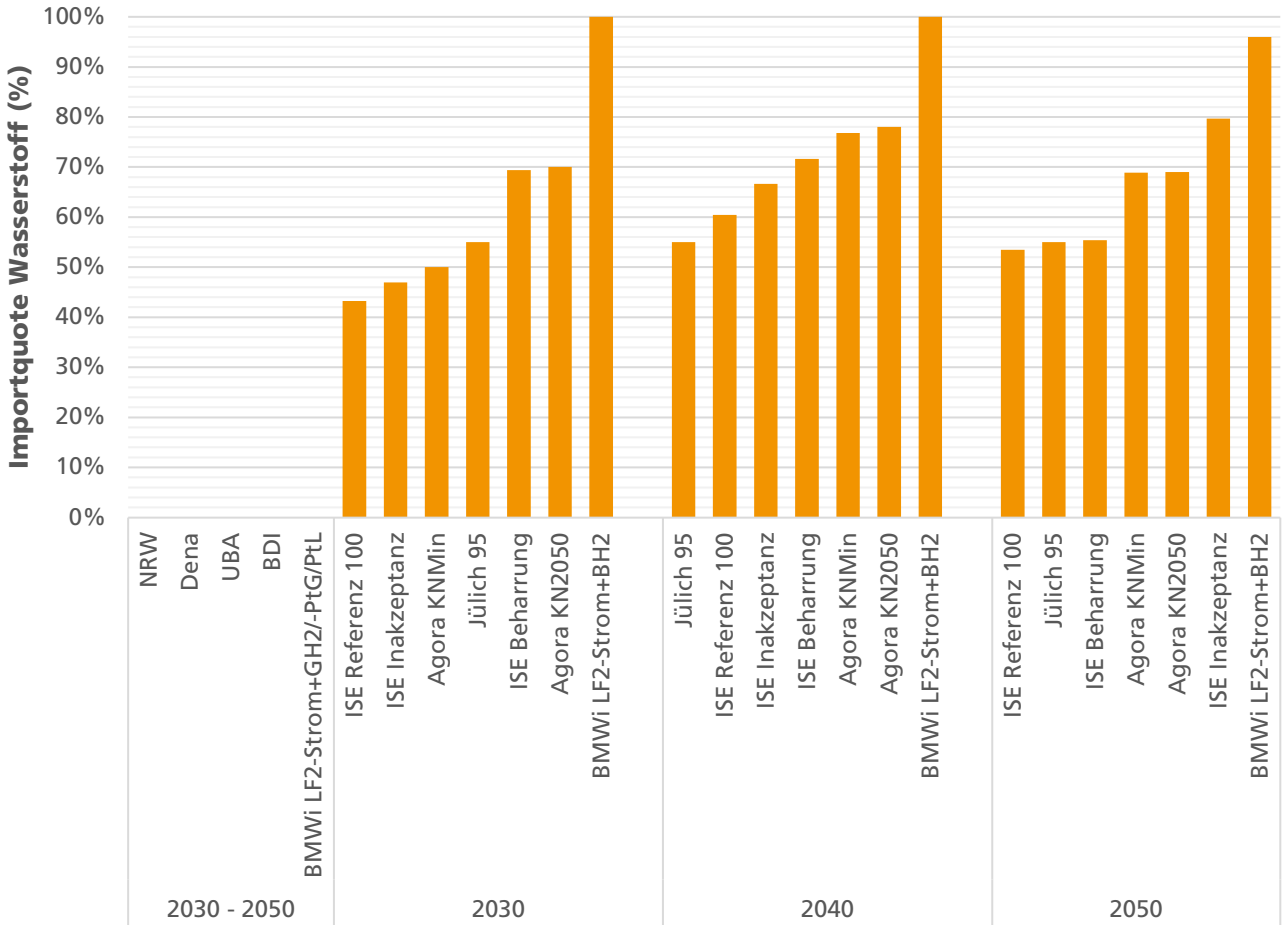
Überblick über betrachtete nationalen Studien, nicht älter als 2018

Level	Abbreviation	Study
National	BDI 2018	Klimapfade für Deutschland
	dena 2018	Dena Leitstudie – Integrierte Energiewende
	Agora 2020	Klimaneutrales Deutschland
	UBA 2019	Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität
	BMWi 2021	Leitstudie – Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der Erneuerbaren
	ISE 2020	Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem – Die Deutsche Energiewende im Kontext gesellschaftlicher Verhaltensweisen
	Jülich 2019	WEGE FÜR DIE ENERGIEWENDE – Kosteneffiziente und klimagerechte Transformationsstrategie
	NRW 2019	Wasserstoff Nordrhein-Westfalen

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-Internal

Importquoten Wasserstoff

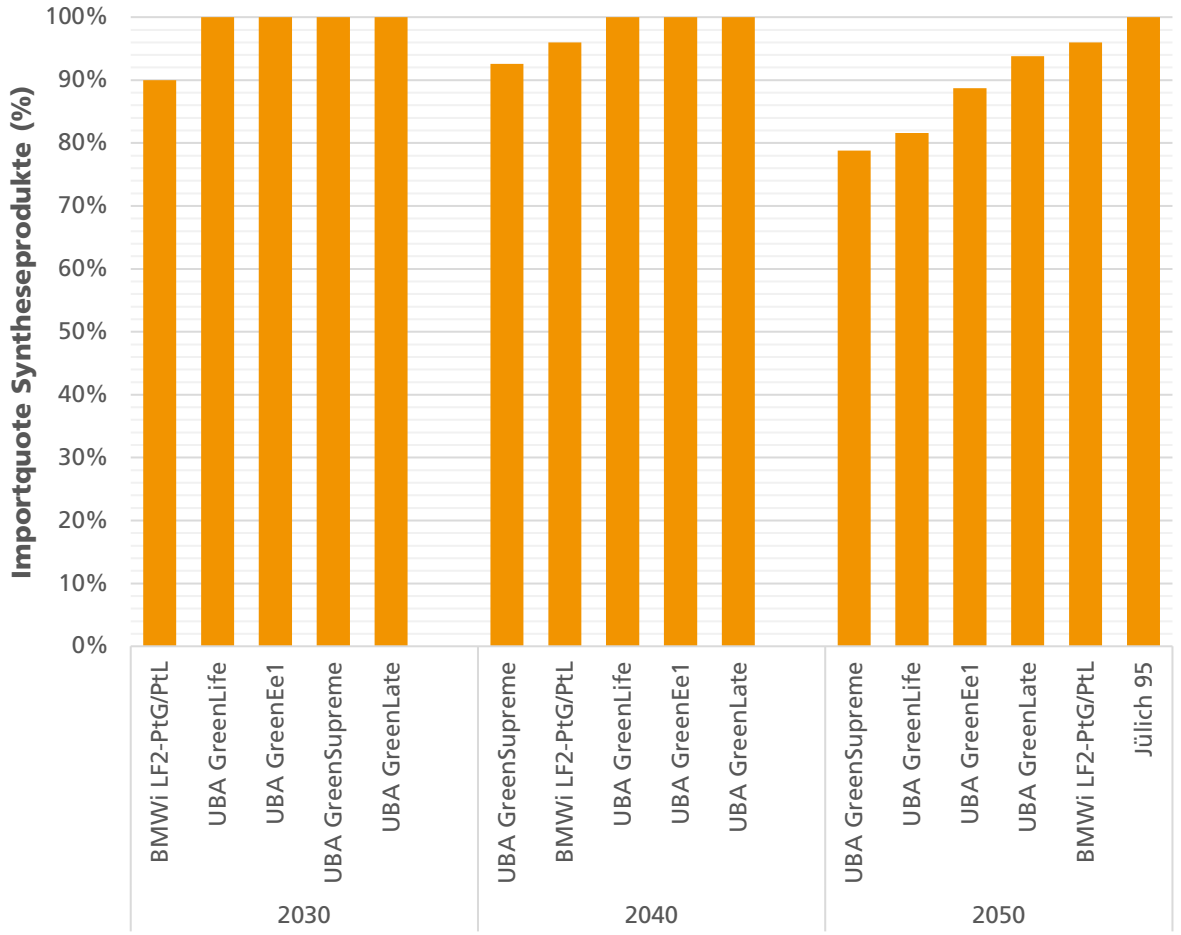
- Importquoten Wasserstoff
  - Bandbreite 2030: 43 bis 70 %
  - Bandbreite 2040: 55 bis 78 %
  - Bandbreite 2050: 53 bis 80 %
  - Trend: Höhepunkt der Importquote in 2040, danach wieder leichter Rückgang
- UBA, Dena, BDI und BMWi LF2-PtG/PtL gehen von einer Importquote von (fast) 0% aus
  - Größere Bedeutung von Syntheseprodukten
- BMWi LF2-Strom teilt sich in zwei Angebotsszenarien, in denen Wasserstoff nicht (GH2) bzw. fast ausschließlich (BH2) importiert wird
- NRW betrachtet Importe nur in der Sensitivitätsanalyse



© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-Internal

Importquoten Syntheseprodukte

- Importquoten Syntheseprodukte
  - Bandbreite 2030: 90 bis 100 %
  - Bandbreite 2040: 93 bis 100 %
  - Bandbreite 2050: 79 bis 100 %
  - Trend: generell sehr hohe Importquoten für Syntheseprodukte, ab 2050 erschließt sich in den UBA-Szenarien z.T. auch ein Heimmarkt
- Dena: Importquote Wasserstoff- und Syntheseprodukte:
  - 2040: 22 % - 23 %
  - 2050: 74 % (EL95) – 82 % (TM95)
- BDI: Importquote Wasserstoff- und Syntheseprodukte
  - 2050: 89%
- Setzung Agora 2020: Importquote Syntheseprodukte = 100 % (2030-2050)

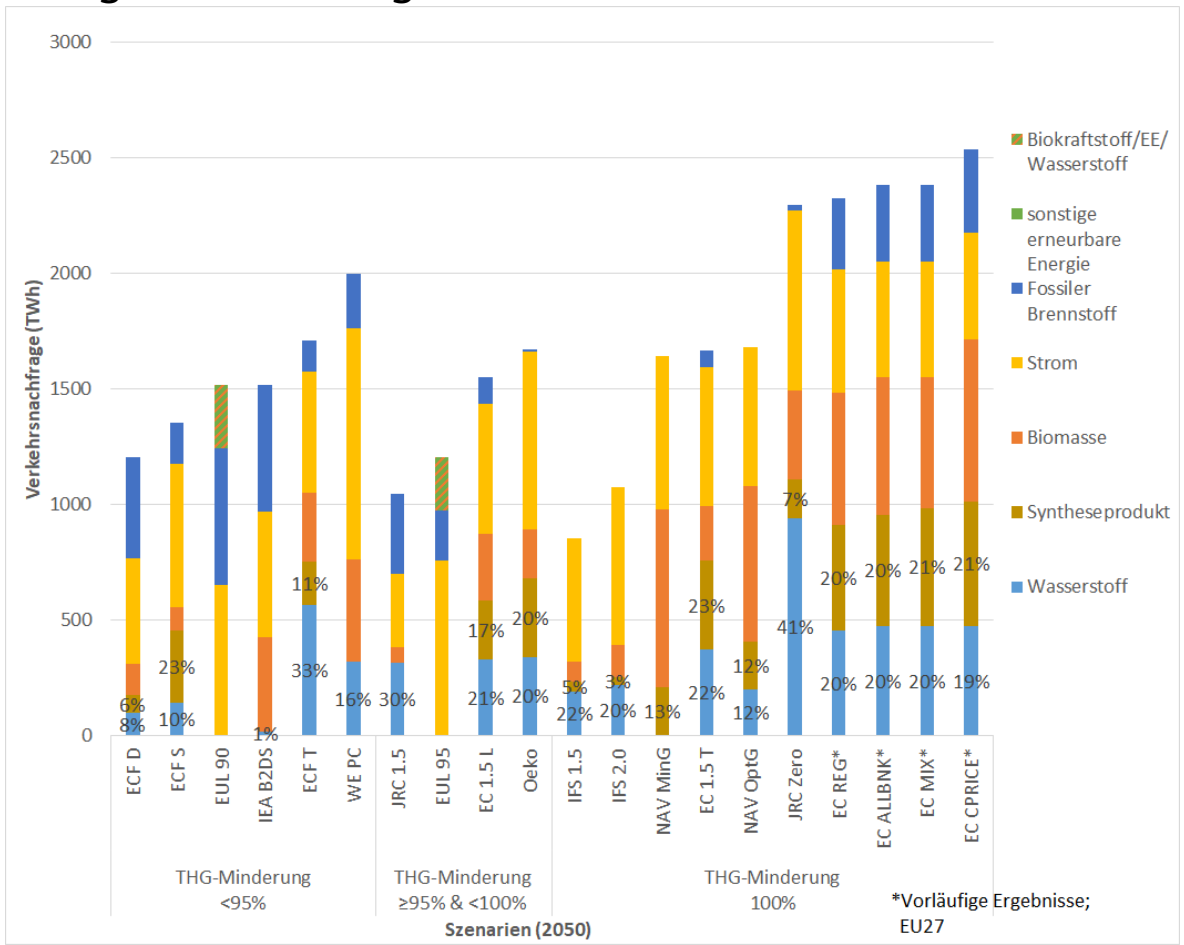


© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-Internal
Fraunhofer ISI
Fraunhofer IEG
Fraunhofer ISE

2050: Verkehr – Wasserstoff und Syntheseprodukt spielen in der Verkehrsnachfrage eine große Rolle

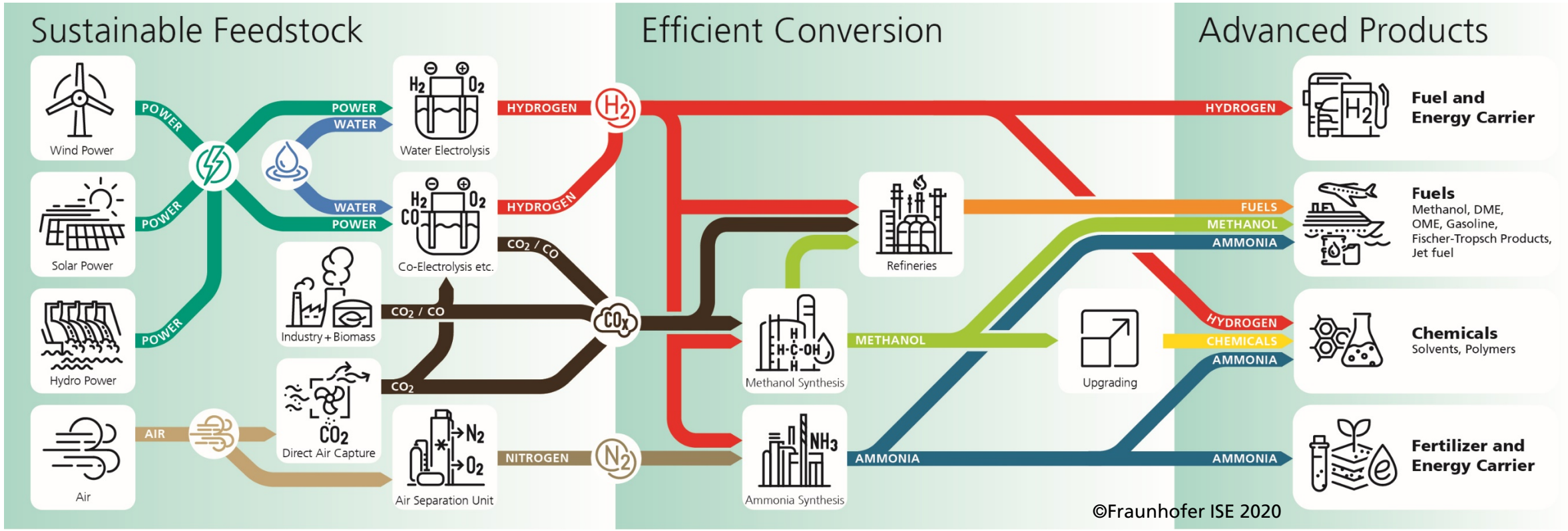
- Gesamte Verkehrsnachfrage zeigt große Abweichungen
  - Überwiegender Teil von den Szenarien enthält nur 60 % der Sektornachfrage (bzw. exkl. internationale Flüge und Schiffe)
- Bei 100 % THG-Minderung:
  - Reine Wasserstoffnachfrage eher bei ca. 20 %
  - Syntheseproduktnachfrage eher um 20 % (bei Einbezug int. Flug- und Schifffahrt)

Endenergienachfrage im Verkehrssektor EU 2050



© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-Internal
Fraunhofer ISI
Fraunhofer IEG
Fraunhofer ISE

PtX-Produkte für die Mobilität, den Energiesektor und die Industrie



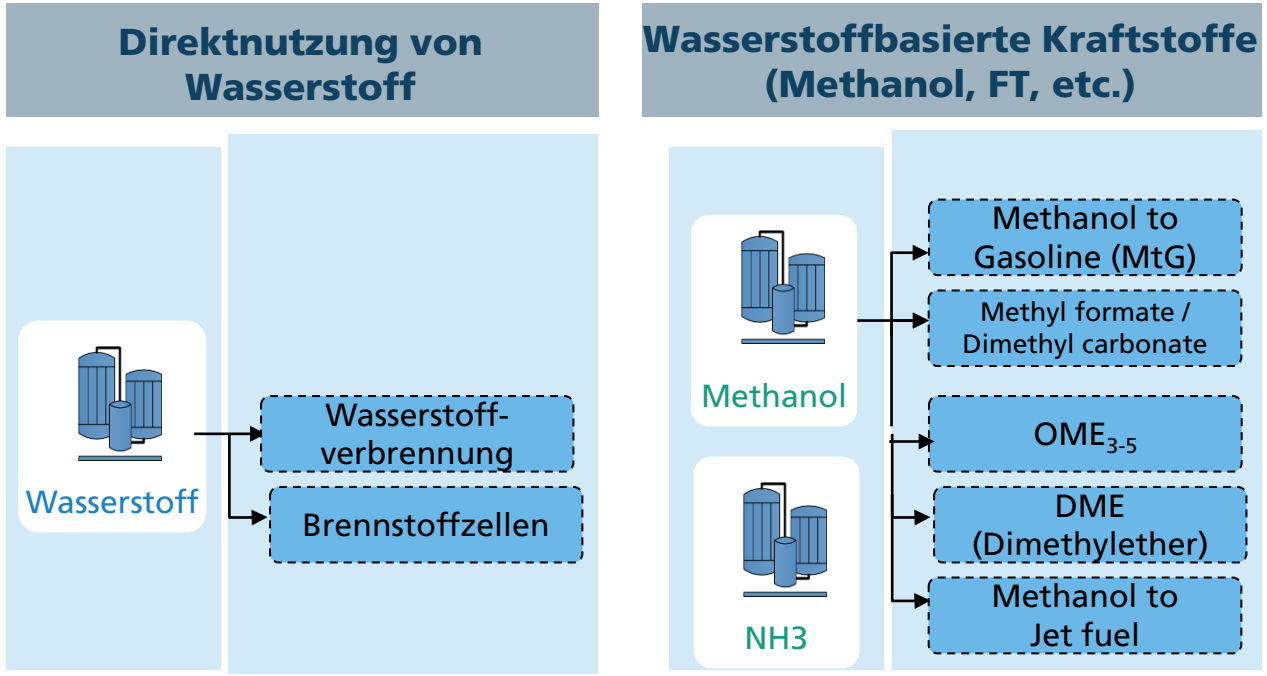
© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-Internal

Erneuerbare Kraftstoffe

Wasserstoff und wasserstoffbasierte Derivate (MeOH, NH_3)

Kriterien*

- CO_2 “quasi”-Neutralität über gesamten Lebensdauerzyklus
- Nachhaltigkeit in Bezug auf unbegrenzte Verfügbarkeit
- Minimaler ökologischer Fußabdruck
- Ökonomische Effizienz
- Bestmögliche Integration in bestehende Technologien und Infrastrukturen (drop-in)



- Evolutionäre und revolutionäre Technologien benötigt
- Lebenszyklusanalysen verschiedener Antriebstechnologien
- Globale Perspektive ist von entscheidender Wichtigkeit

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-Internal

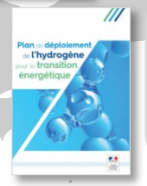
• Gaukel, K. et al. (2016) 37. Internationales Wiener Motorensymposium, Conference Proceedings, 193-223.

Mehr als 30 nationale Wasserstoff-Roadmaps

Antreiber für Wasserstoff

-Environment
(Paris Agreement)
-Economy, Industry, Export
-Flexible Energy System
-Air Quality

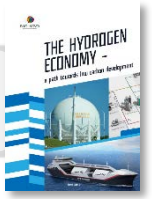
-Economy, Industry
-Import-Independence
-Air Quality
-Environment



-Industriepolitik
-CO2-Neutralität
-THG-Reduzierung
-Flexibles Energiesystem

-Environment (RED II)
-Industry
-Export
-Economy and Industry
-H2-Production
-Environment

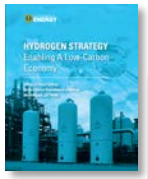
-Economy and Industry

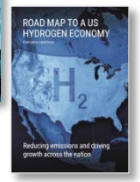


-Environment
-Economic Growth

-Economy and Industry
-Self Sufficiency
-GHG-Reduction
-Air Quality

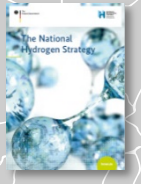
-Prosperity, Growth
-Industry
-Air Quality
-CO2-Reduction
-Supply Security
-Export





-Economic Growth
-Export
-Independence / Self Sufficiency
-Environment
-Supply Security in isolated areas

-Environment
-Economy and Industry
-Efficiency
-Import



-Economic Growth
-Import (North Africa)
-European Green Deal (GHG-Reduction, Climate Neutrality)
-Supply Security

-Air Quality
-Supply Security
-GHG-Reduction
-Industry

-Industry
-Export
-Green Mining

MENA
-Economic Growth
-Export (Europe)
-Social Stability

-Industry
-PGM-Processing

-Economic Growth
-Export
-Import-Independence
-Health
-CO2-Reduction
-Supply Security

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-Internal

https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:BlankMap-World_gray.svg

Effizienz von Batteriefahrzeugen und Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor

- **Aktuelle Effizienzdebatte häufig verkürzt:**
  - Batteriefahrzeug (BEV) vs. Fahrzeug mit Verbrennungsmotor (ICEV)
  - Hybridfahrzeug (HEV) wird zumeist nicht betrachtet
  - Nur Nutzungsphase wird berücksichtigt, ohne Herstellung und Recycling

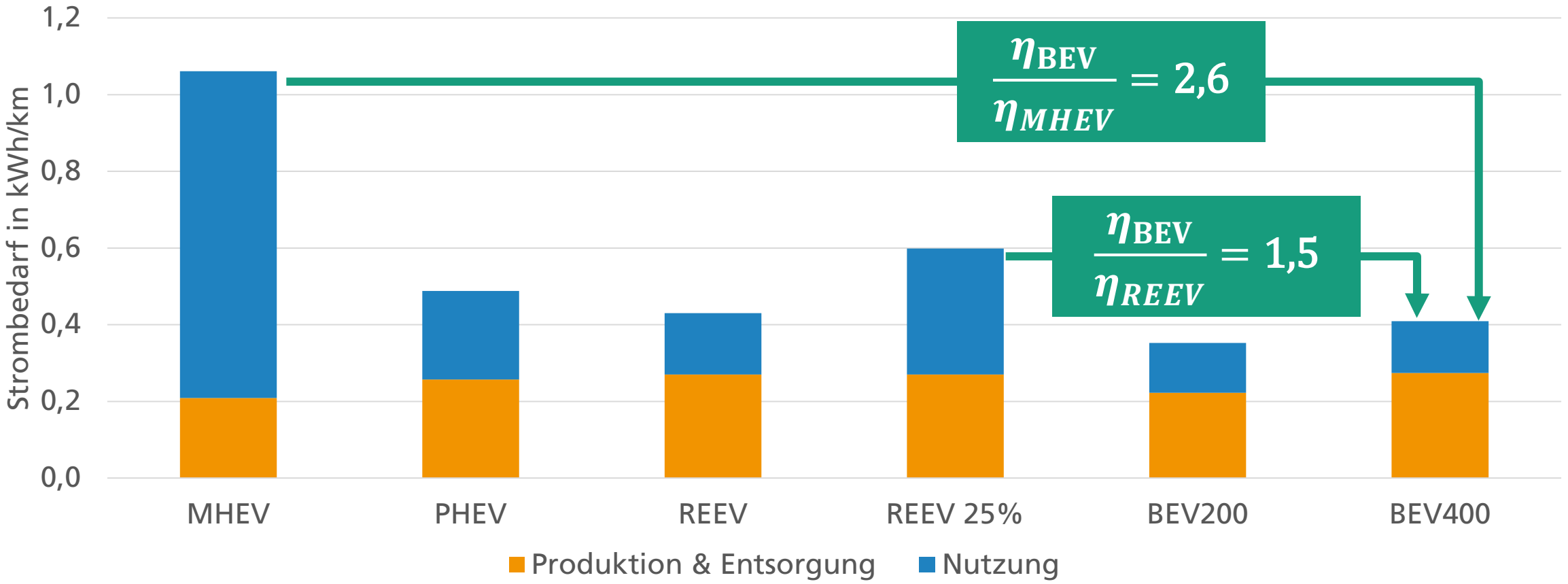
$$\frac{\eta_{\mathrm{BEV}}}{\eta_{\mathrm{ICEV}}} = 5\text{–}6$$

- **Unser Ansatz:**
  - Strombedarf über gesamten Lebenszyklus (Herstellung, Nutzung und Entsorgung)
    - Herstellung: Materialien basieren auf grünem Strom (z.B. H_2-basierter Stahl)
    - Nutzung: Kraftstoffe aus Grünstrom (e-fuel)
  - Vergleich für BEV und HEV: C-segment in 2025+ (Daten aus [1])
    - Mild hybrid electric vehicle (MHEV)
    - Plug-in hybrid electric vehicle (PHEV)
    - Range extender electric vehicle (REEV)
    - Battery electric vehicle (BEV)

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-Internal

[1] Huss et al., JEC Tank-to-Wheel report v5: Passenger cars **2020**, http://dx.doi.org/10.2760/557004

Strombedarf für die Herstellung, Nutzung und Entsorgung der Fahrzeuge



Kraftstoff:	e-fuel	e-fuel + Strom	e-fuel + Strom	e-fuel + Strom	Strom	Strom

PHEV und REEV: e-fuel-Bedarf nach WLTP

REEV 25%: e-fuel wird für 25% der Fahrstrecke genutzt

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-Internal

Laufleistung: 200.000 km
Infrastruktur nicht berücksichtigt
Kein Second-Life berücksichtigt

MHEV: Mild hybrid electric vehicle
PHEV: Plug-in hybrid electric vehicle
REEV: Range extender electric vehicle

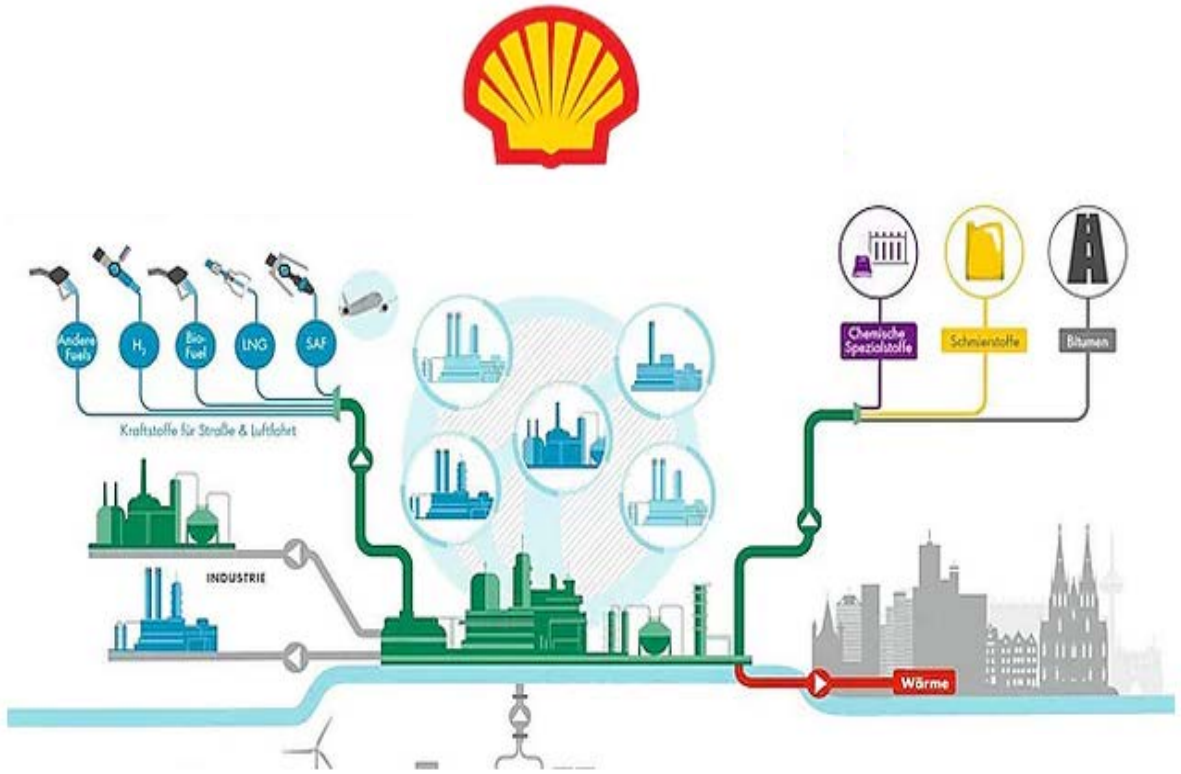
BEVXXX: Battery electric vehicle mit Reichweite in km

Fraunhofer ISE

Shell: Synthetisches Kerosin – Jet Fuels

Quote bei Flugkraftstoffen: 0,5% PtL-Kerosin bis 2026, 2% bis 2030

- Herstellung nachhaltiger Flugkraftstoffe geplant
  - Bio-PtL-Anlage
  - PEM-Wasserstoff-Elektrolyse-Anlage
    - Aktuell 10 Megawatt
    - Zusätzlich 100 Megawatt
    - Kapazität 2025 zunächst 100.000 t Kerosin pro Jahr



© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-Internal

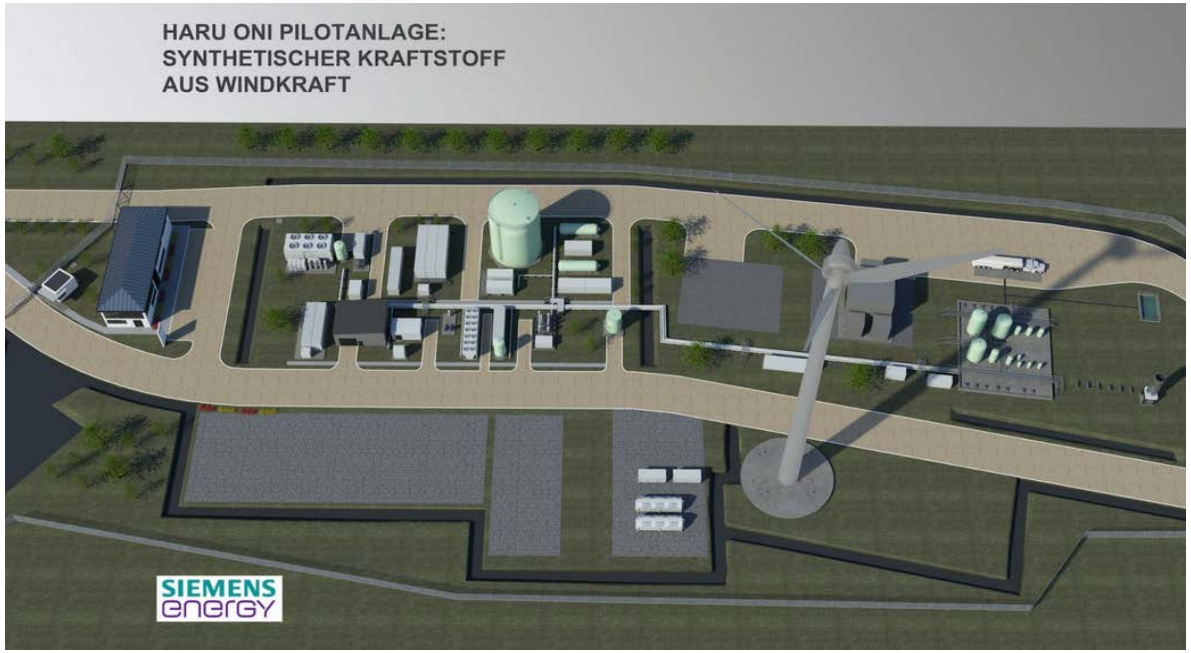
https://www.shell.de/ueber-uns/die-marke-shell.html

https://www.shell.de/ueber-uns/projects-and-sites/shell-rheinland-refinery/aktuelles/shell-will-synthetisches-kerosin-in-rheinland-raffinerie-produzieren.html

Porsche und Siemens Energy

E-Fuels in Chile

- Weltweit erste integrierte Großanlage zur Herstellung synthetischer, klimaneutraler Kraftstoffe
  - 2022: 130.000 Liter E-Fuels
  - 2024: 55 Millionen Liter E-Fuels
  - 2026: 550 Millionen Liter E-Fuels basierend auf Methanol und Methanol-to-Gasoline



- Individualverkehr in Deutschland (Quelle: KBA)
  - Durchschnittliches PKW-Alter in Deutschland: 2019: 9,3 Jahre (Europa 15-17 Jahre)
  - PKW-Bestand in Deutschland: 2021: 48,3 Millionen
  - Neuzulassungen von Elektro-PkW (BEV) in Deutschland: 2020: 194.200

PORSCHE

SIEMENS energy

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-Internal

https://newsroom.porsche.com/de/2020/unternehmen/porsche-siemens-energy-pilotprojekt-chile-forschung-entwicklung-synthetische-kraftstoffe-efuels-23020.html

Maersk: „Methanol und Ammoniak werden eine bedeutende Rolle spielen“

Maersk Nachhaltigkeitsbericht 2020

- Verfügbarkeit von ‚net-zero‘-Technologien
- Keine Verwendung von ‚Übergangskraftstoffen‘ (wie LNG), sondern direkter Übergang zu vollständigen ‚net-zero‘-Kraftstoffen
- Klimaneutrales Schiff 2023 betrieben mit CO_2-neutralem Methanol
- Entwicklung eines Dual-Fuel Motors für Ammoniak

„Continued research on priority future fuels (biodiesel, methanol, lignin fuels and ammonia) confirming that net-zero technologies are available

MAERSK

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-Internal

https://www.maersk.com/news/articles/2021/02/23/maersk-backs-plan-to-build-europe-largest-green-ammonia-facility

Der globale Handel von Erneuerbaren-Energien-Produkten basierend auf Wasserstoff beginnt jetzt

- Wir werden die Energiewende im Sinne der Klimaneutralität nur dann erfolgreich umsetzen, wenn wir den **grundlegend neuen Charakter des neuen Energiesystems** verstehen
- **Fossile Energie** inkl. deren inhärenten Eigenschaft der Speicherung **muss in allen Sektoren vollständig ersetzt werden**
- **Wasserstoff und wasserstoffbasierte Kraftstoffe** ermöglichen neben batterieelektrischen Antrieben eine **nachhaltige Mobilität** in Brennstoffzellensystemen sowie in verbrennungsmotorischen Antrieben
- **Nationale Politik muss klare Pfade und Ziele für Klimaneutralität** vorgeben und dabei Well-to-Wheel-Betrachtungen zugrunde legen (Unterquoten für nachhaltige Energieträger in allen Sektoren)
- Die Bedeutung von **grünen Elektronen und grünen Molekülen** steigt gleichermaßen
- **Die Transformation ist kosteneffizient** sobald CO_2-Emissionen entsprechend verteuert werden
- **Internationale Betrachtung der Transformation** ist Voraussetzung für eine schnelle Umsetzun für **langfristige Handelsbeziehungen und sichere Investitionsumgebungen**

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-Internal

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Foto © Fraunhofer ISE

Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, www.ise.fraunhofer.de

Prof. Christopher Hebling, christopher.hebling@ise.fraunhofer.de

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-Internal

Fraunhofer ISE