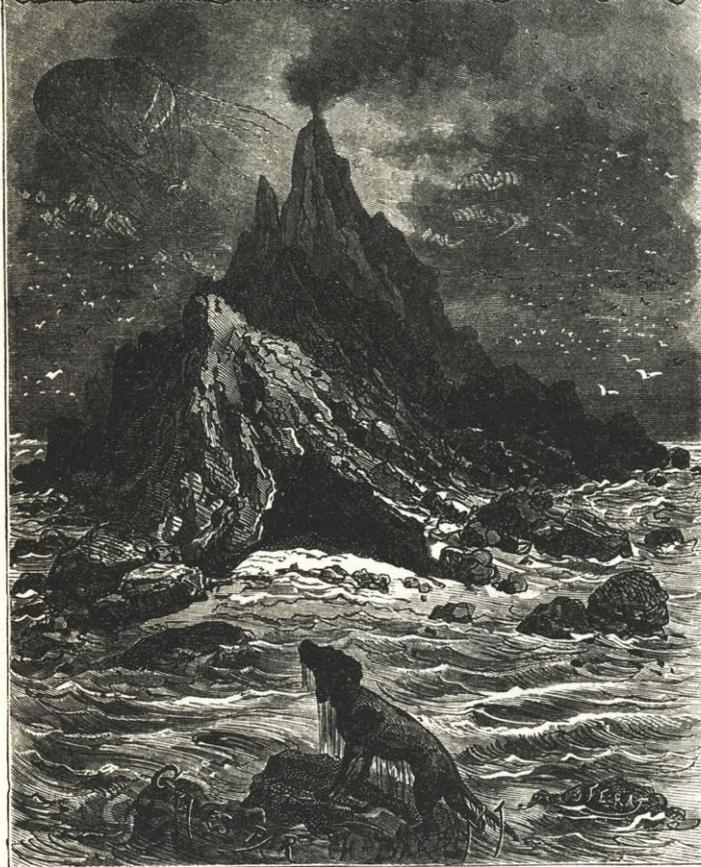


— LES VOYAGES EXTRAORDINAIRES —

L'ILE MYSTERIEUSE
PAR Jules VERNE
154 Dessins par J. YERAF



COLLECTION HETZEL



„Ich bin davon überzeugt, dass Wasser einmal als Brennstoff Verwendung finden wird, dass seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff zur unerschöpflichen und ganz ungeahnten Quelle von Wärme und Licht werden“

Die Figur „Cyrus Smith“
in
„Die geheimnisvolle Insel“

von Jules Verne (1875)

Wasserstoff als Energieträger Keine Energiequelle aber Top-Sektorenkoppler

**MaHynzExperts
Abschlussworkshop**

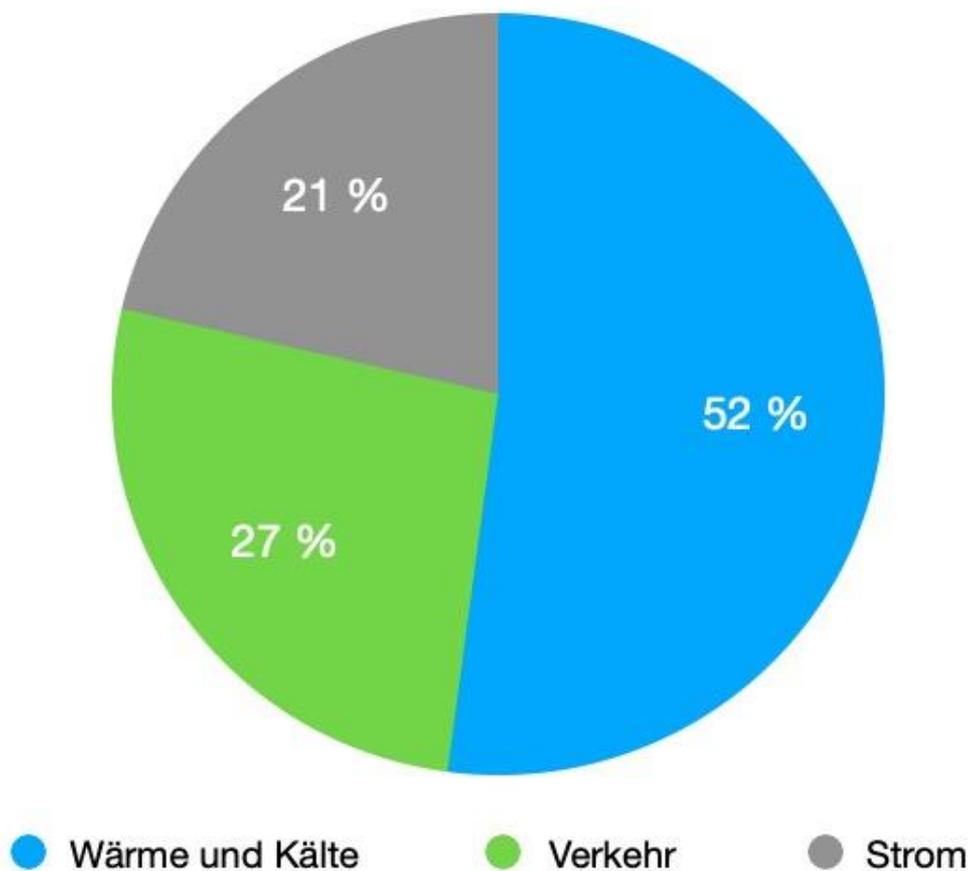
Mainz, 31. Mai 2023

Prof. Dr. Oliver Türk
Transferstelle Bingen



Endenergieverbrauch nach Sektoren

Endenergieverbrauch Deutschland
2020

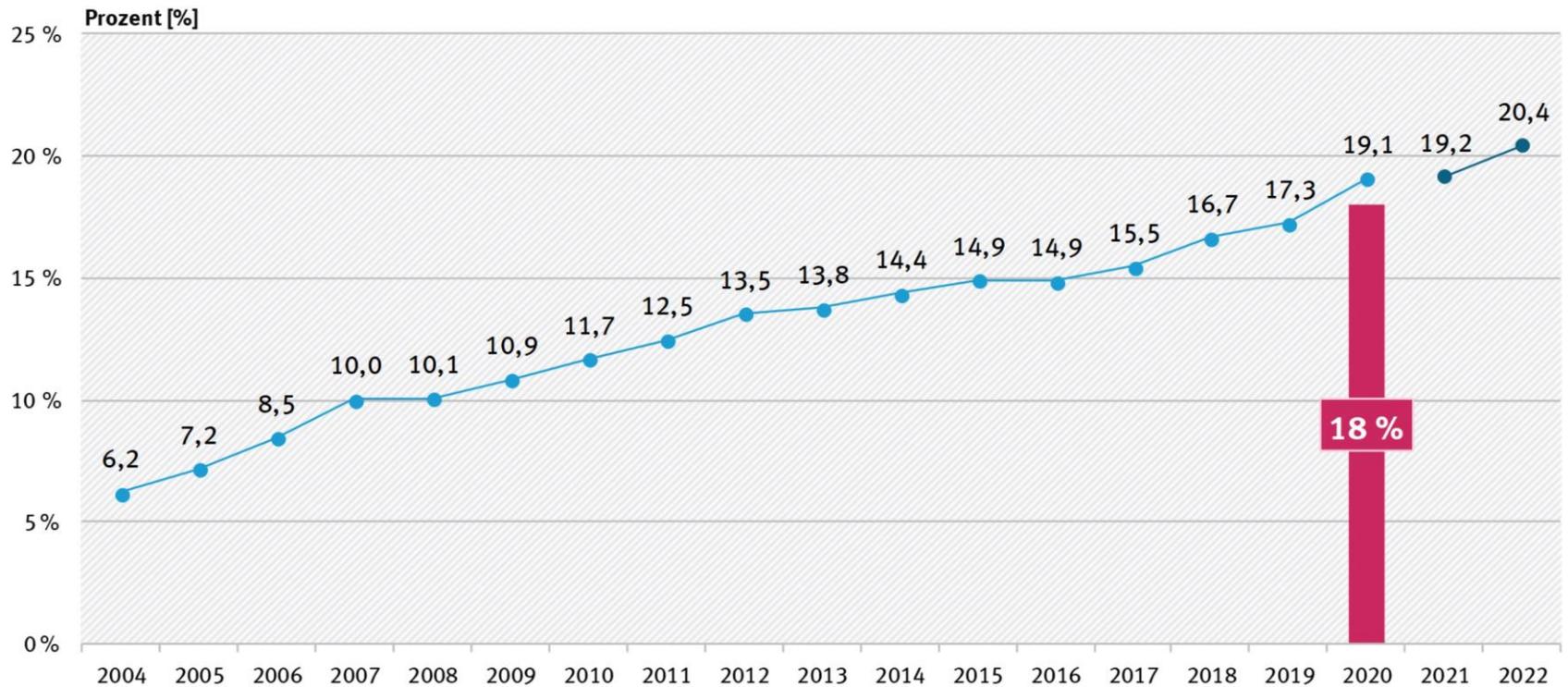


Daten:
AGEB, AGEE

Anteil erneuerbarer Energien steigt ...

Anteil erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch¹

Entwicklung der erneuerbaren Energien (nach EU-Richtlinie 2009/28/EG und 2018/2001)



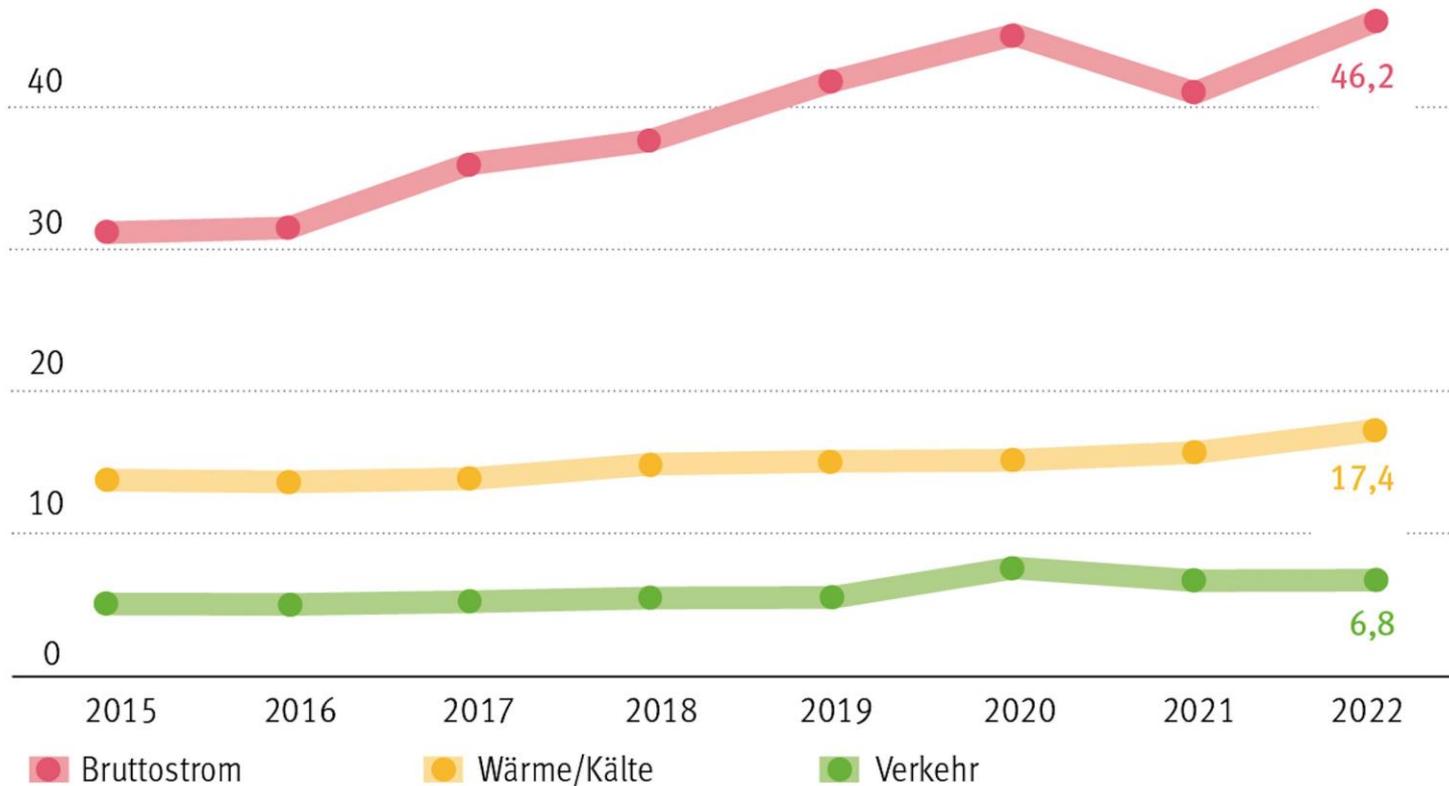
■ Ziel nach EU-RL 2009/28/EG

● Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttoendenergieverbrauch¹

...aber kaum bei Wärme und Verkehr!

Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch

Anteil in %



Strom als alleinige Lösung?

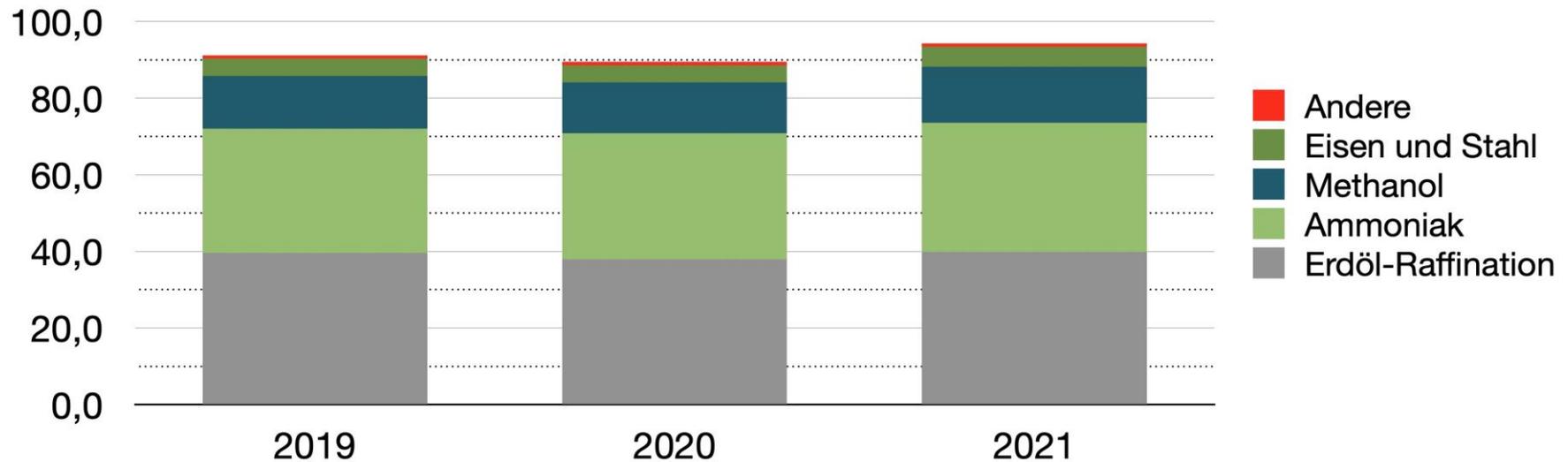
Bedarf an WEA für Wärmepumpen und batterieelektrisches Fahren								
O. Türk, TSB, 17.05.2023								
Stromverbrauch D. 2022	482	TWh	WEA Deutschland	29.731	Stück	durchschn. inst. Leistung	1,95	MW
			Installierte Leistung	58.106	MW	zugebaute Leistung 2022	2.403	MW
			Zubau Anlagen 2022	551	Stück	zugebaute Leistung 2022 pro WEA	4,36	MW
PKW-Mobilität								
PKW	45.000.000	Stück	Wärmepumpen EFH			Wärmepumpen Wohnungen		
Fahrleistung	13.000	Km/a	Wärmebedarf	15.000	kWh/a	Wärmebedarf	7.500	kWh/a
Fahrleistung gesamt	585.000.000.000	Km/a	COP	3		COP	3	
Verbrauch	15	KWh/100 km	Strombedarf	5.000	kWh/a	Strombedarf	2.500	kWh/a
	87.750.000.000	KWh/a	Anzahl Gebäude	18.900.000		Anzahl Wohnungen	40.600.000	
	88	TWh/a		94.500.000.000	kWh/a		101.500.000.000	kWh/a
				95	TWh/a		102	TWh/a
WEA onshore	4,36	MW	WEA onshore	4,36	MW	WEA onshore	4,36	MW
Vollbenutzungsstunden	2.250	h	Vollbenutzungsstunden	2.250	h	Vollbenutzungsstunden	2.250	h
Elektrische Arbeit	9.813	MWh/a	Elektrische Arbeit	9.813	MWh/a	Elektrische Arbeit	9.813	MWh/a
	0,0098	TWh/a		0,0098	TWh/a		0,0098	TWh/a
Windräder für PKW-Mobilität	8.943	Stück	Windräder für EFH-Wärmepumpen	9.630	Stück	Windräder für EFH-Wärmepumpen	10.344	Stück
						WEA Zusatzbedarf	28.917	Stück
						Dauer bei akt. Zubau	52	Jahre

Wasserstoff in der Industrie

- stoffliche und energetische Nutzung -

H₂ - Bedarf nach Sektoren

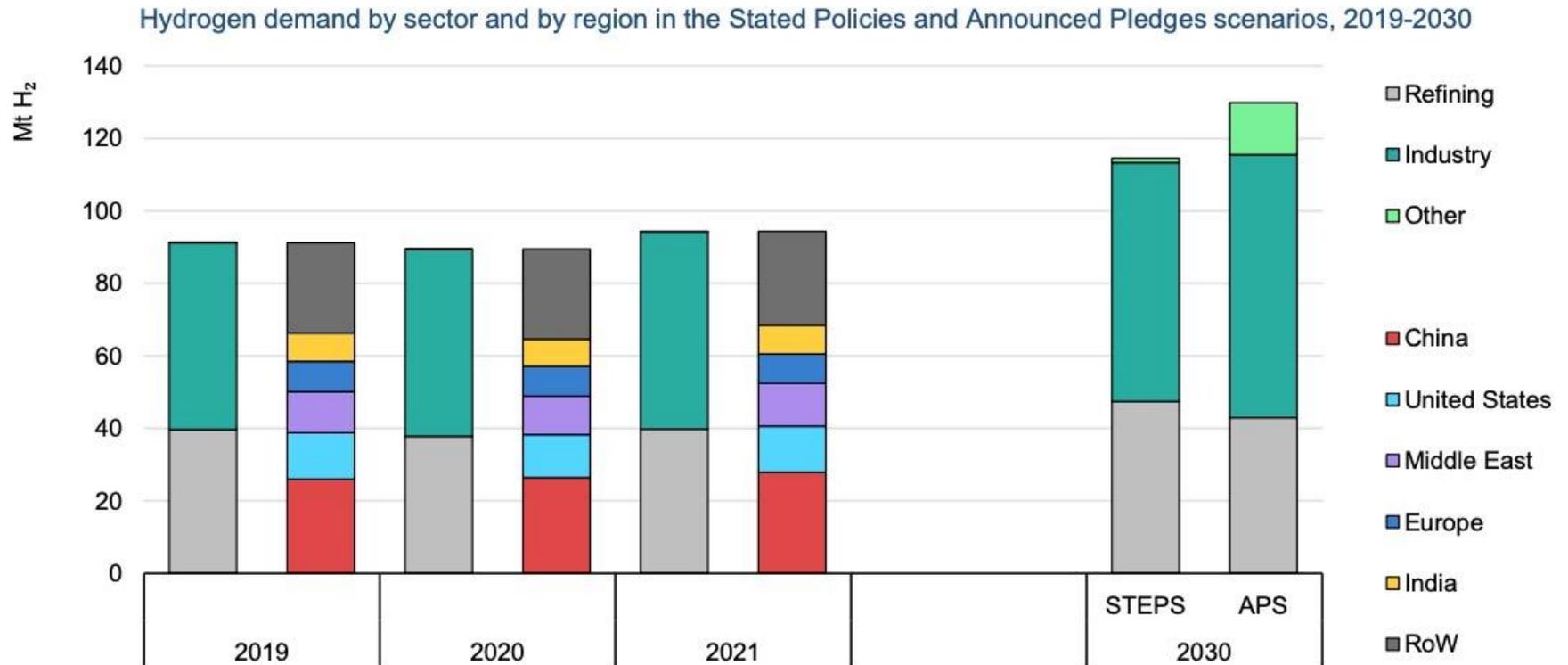
Globaler Wasserstoff-Bedarf nach Sektoren / Mt/a (IEA 09 2022)



Globaler Wasserstoff-Bedarf nach Sektoren / Mt/a (IEA 09 2022)

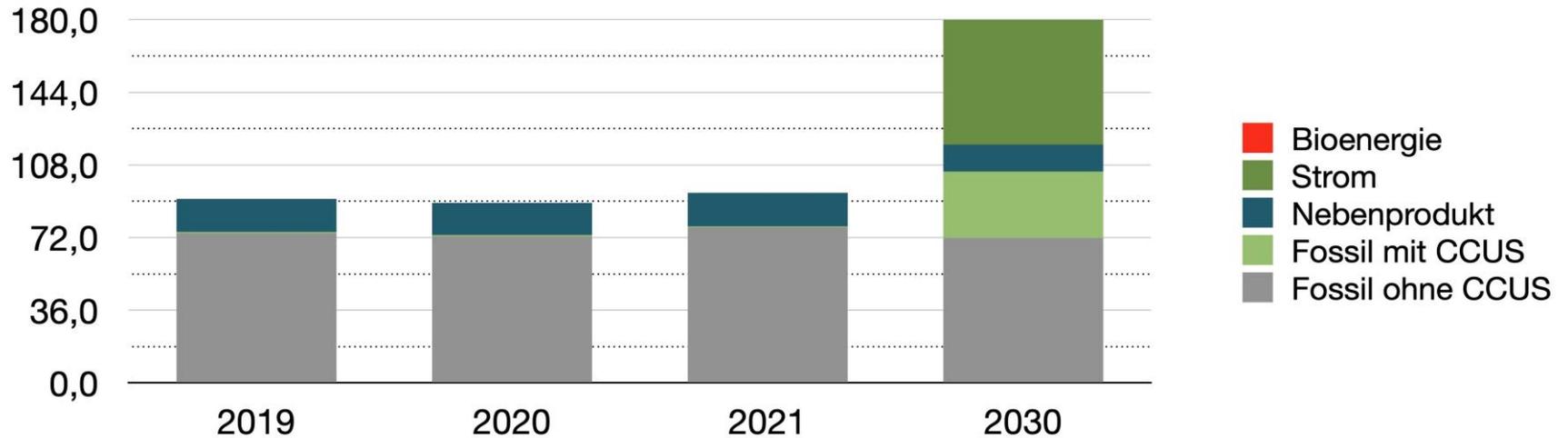
	Erdöl-Raffination	Ammoniak	Methanol	Eisen und Stahl	Andere
2019	39,6	32,4	13,8	4,5	0,9
2020	37,9	32,9	13,3	4,5	0,9
2021	39,8	33,8	14,6	5,2	0,9

H₂ - Bedarf nach Sektoren



H₂-Erzeugung nach Technologie

Globale Wasserstoff-Erzeugung nach Technologie / Mt/a (IEA 09 2022)

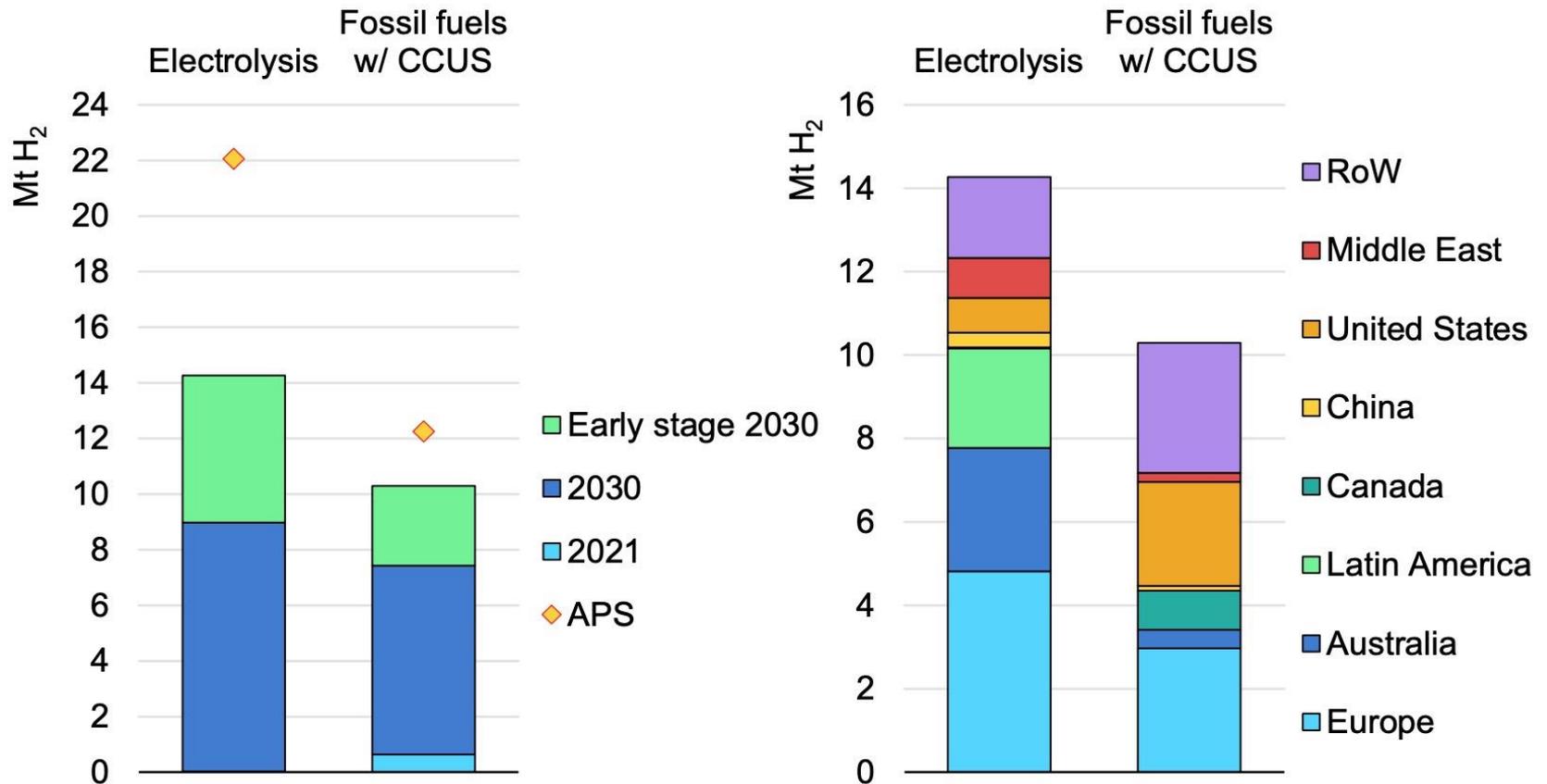


Globale Wasserstoff-Erzeugung nach Technologie / Mt/a (IEA 09 2022)

	Fossil ohne CCUS	Fossil mit CCUS	Nebenprodukt	Strom	Bioenergie
2019	74,2	0,6	16,4	0,0	0,0
2020	72,7	0,6	16,0	0,0	0,0
2021	77,1	0,6	16,5	0,0	0,0
2030	71,7	33,0	13,4	61,7	0,0

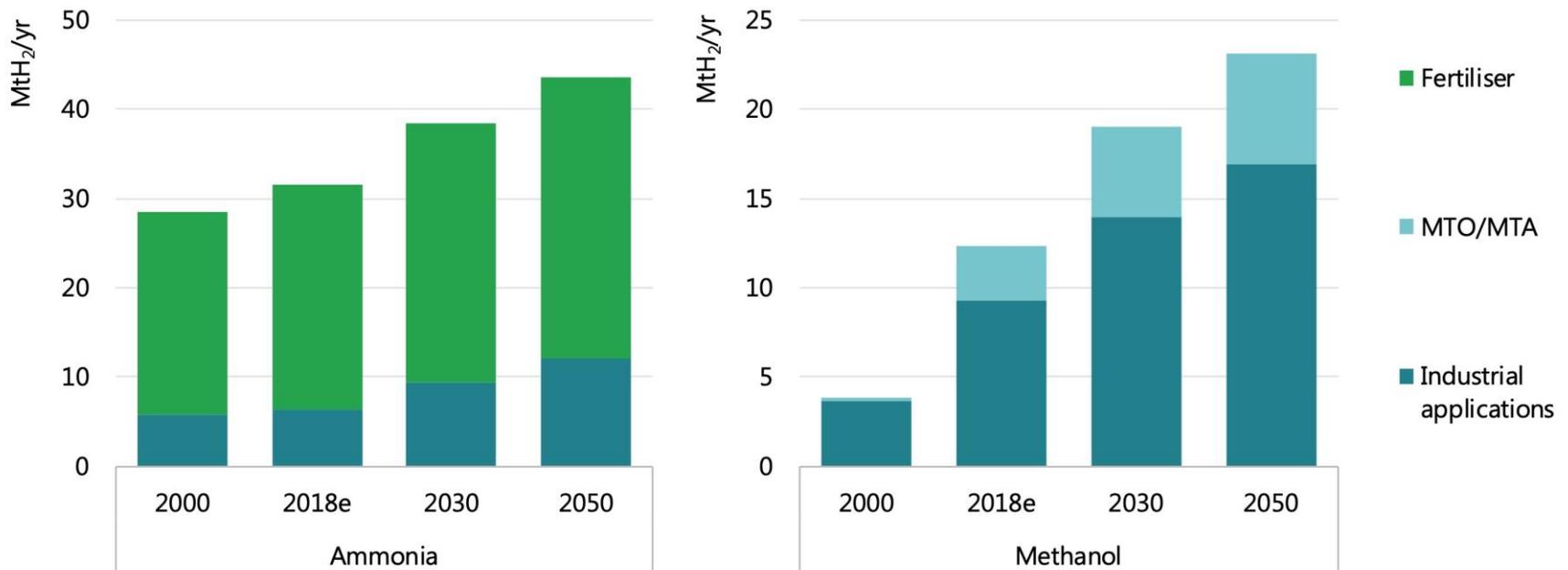
H₂-Erzeugung nach Technologie

Low-emission hydrogen production, 2020 and 2030



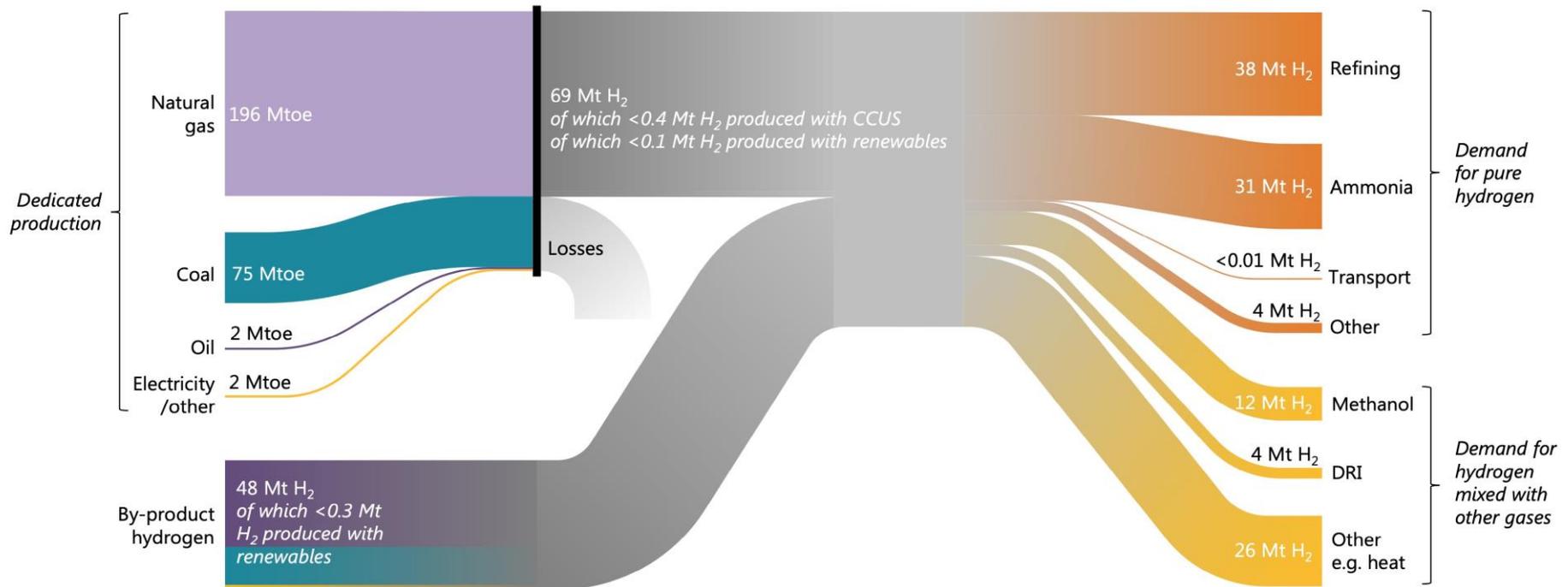
H₂ – Ammoniak und Methanol

Figure 39. Hydrogen demand for primary chemical production for existing applications under current trends



MTO = Methanol to Olefins
MTA = Methanol to Aromatics

H₂ – Quellen und Senken meist räumlich stark benachbart



Wasserstoff in der Mobilität

Brennstoffzellen oder Batterie?

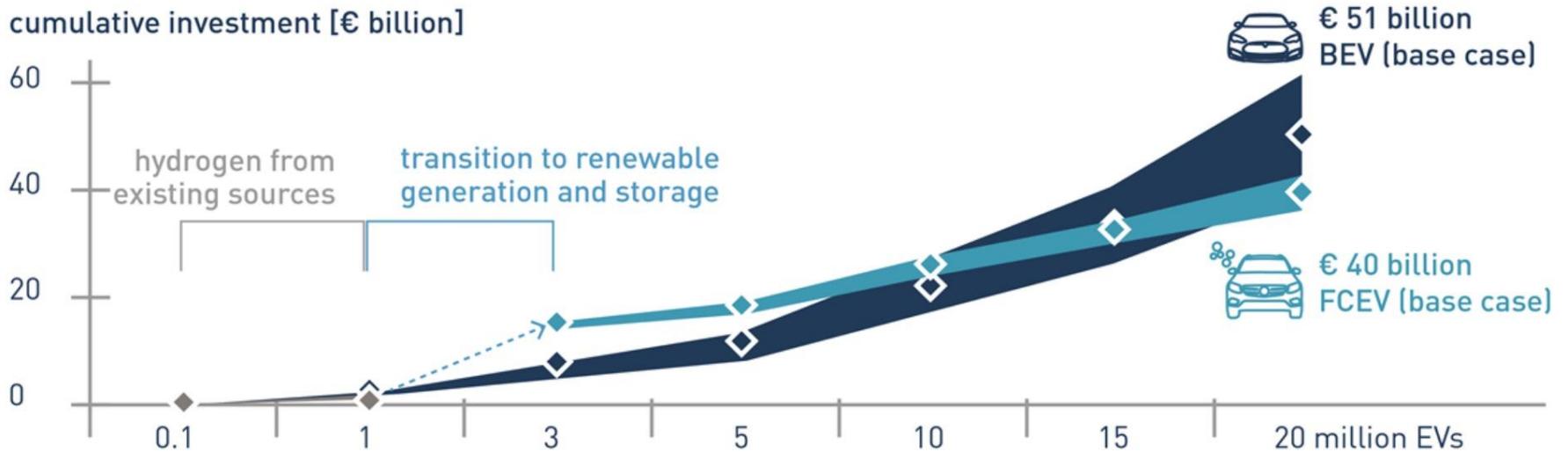


Figure 0-2: Comparison of the cumulative investment of supply infrastructures.

Fehlallokation von Ressourcen



1.000 kWh Batterie?

Alleine das Lithium wiegt 3,75 - 5 Tonnen! (150 g/kWh – 200 g/kWh)

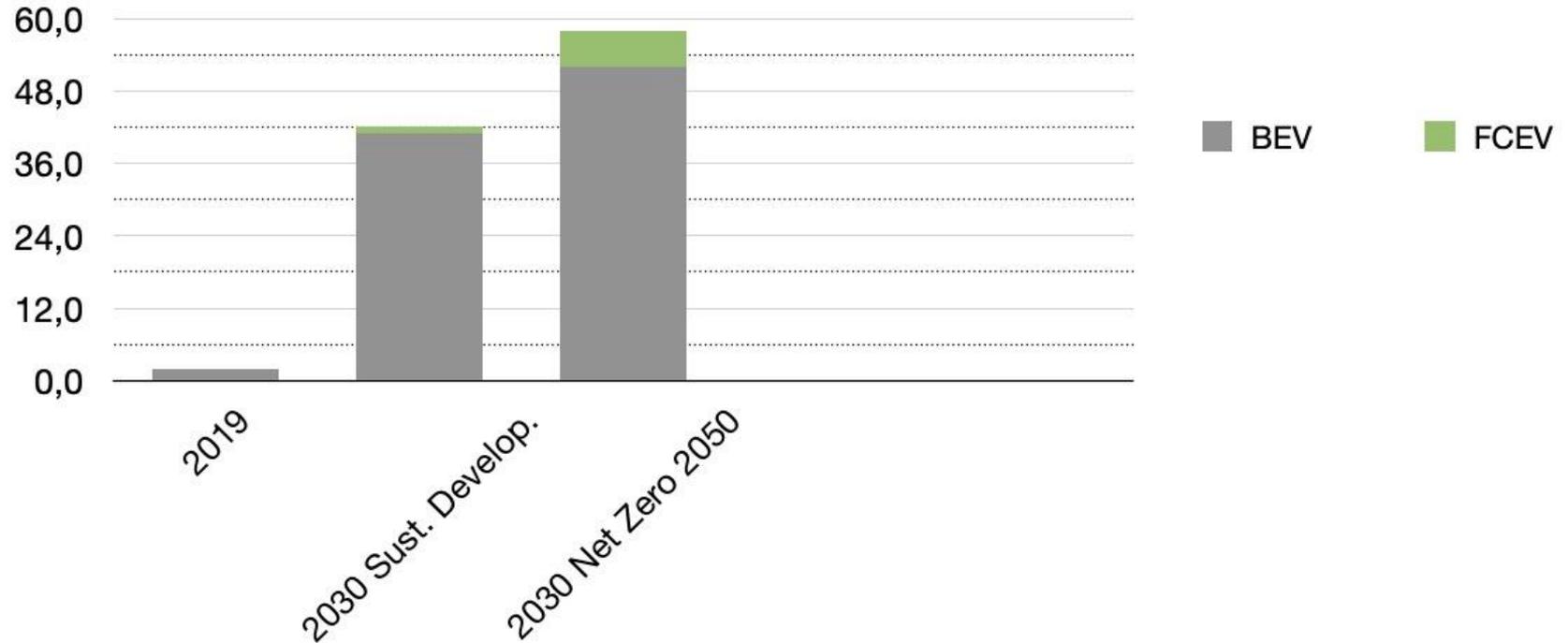
Toyota / Kenworth Brennstoffzellen-LKW



Nach L.A. nun San Pedro (größter Frachthafen der USA)
10 Brennstoffzellen-LKW
Kenworth: 70.000 LKW in 2030 und 180.000 LKW in 2040

Entwicklung Brennstoffzellenfahrzeuge

Anteil von BEV und FCEV bei PKW und leichten
Nutzfahrzeugen / %

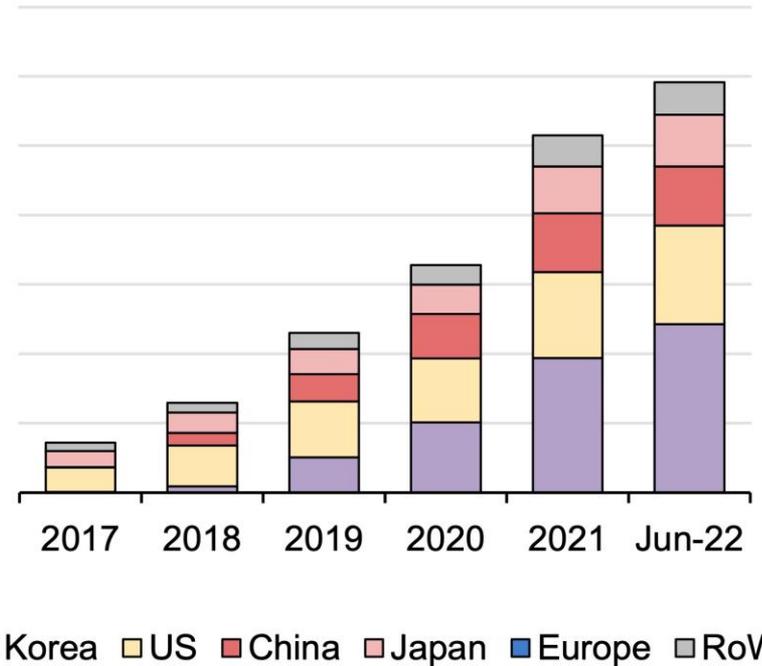
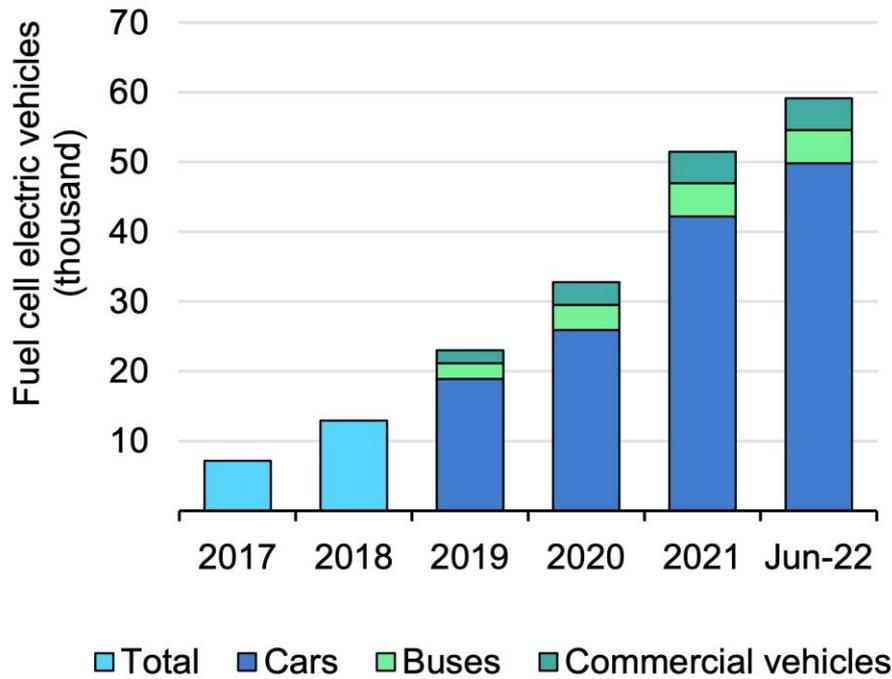


Anteil von BEV und FCEV bei PKW und leichten Nutzfahrzeugen

	BEV	FCEV
2019	2,0	0,0
2030 Sust. Develop.	41,0	1,0
2030 Net Zero 2050	52,0	6,0

Entwicklung Brennstoffzellenfahrzeuge

Fuel cell electric vehicle stock by segment and region, 2017-June 2022

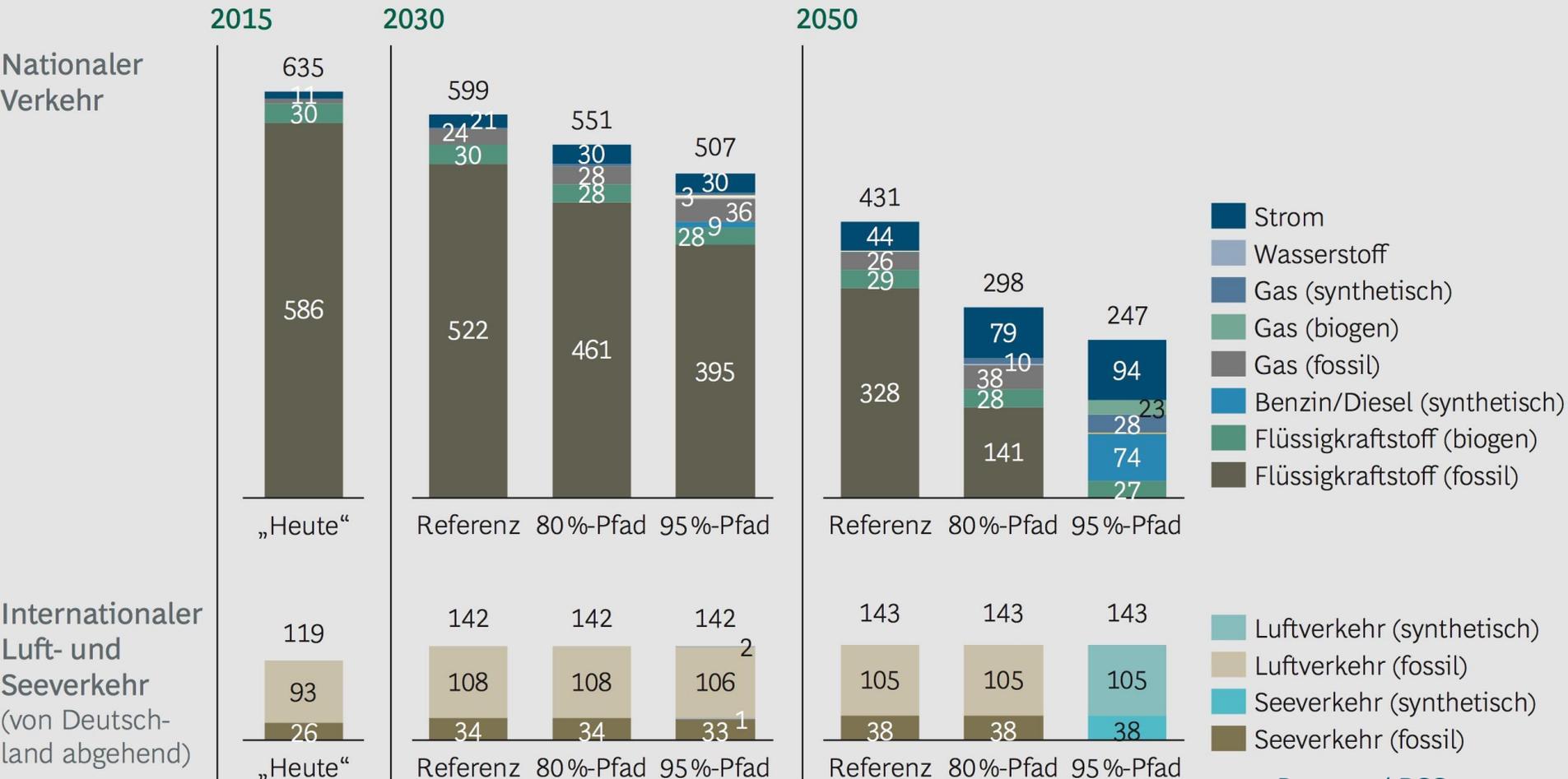


Power-to-X für 95 %-Ziel

ENERGIEVERBRÄUCHE IM NATIONALEN VERKEHR SINKEN DEUTLICH

ABBILDUNG 50 | Endenergieverbrauch nach Energieträgern im Verkehr

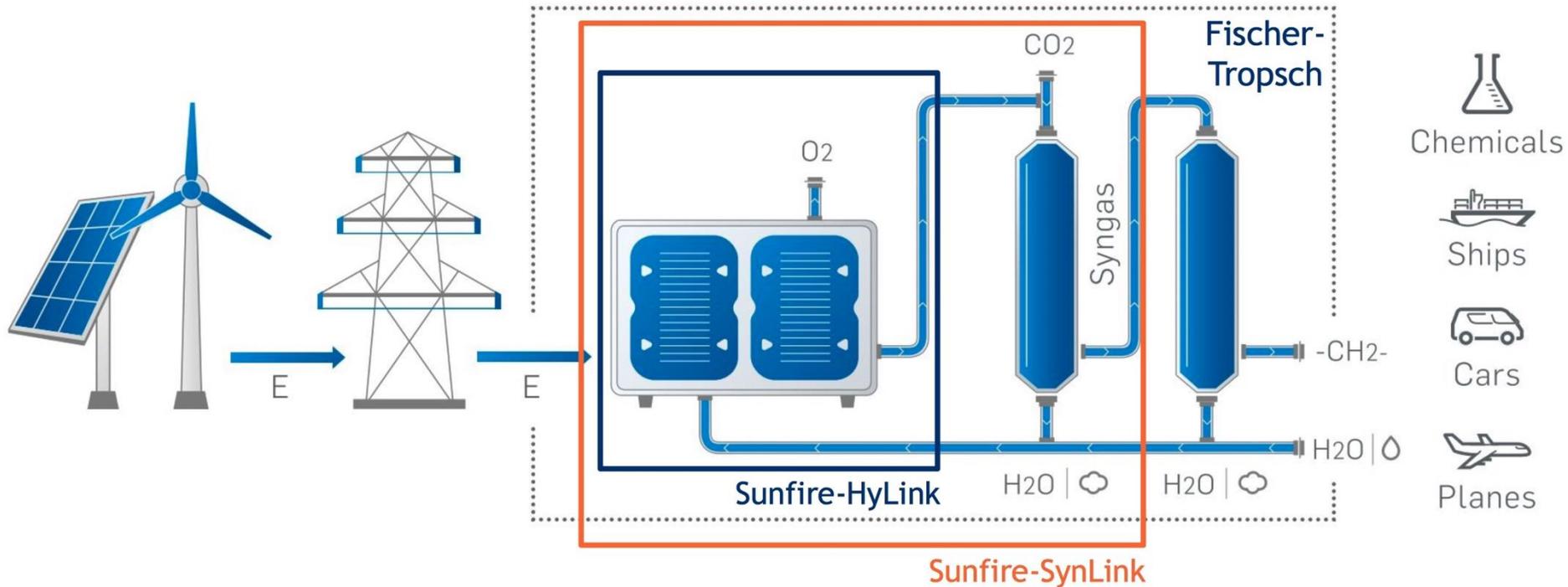
(TWh)



Prognos / BCC

Quelle: Prognos; BCG

Power-to-Liquid Sunfire – Blue Crude



Gesamtwirkungsgrad: 55 – 61 %

BOP: 88 %

Co-Elektrolyse: 85 %

Fischer-Tropsch: 81 %

Innovationspolitik hat Potential! Ptl - „e-crude“ läuft im Litermaßstab in Sachsen.

NACHHALTIGKEIT AUS DRESDEN - SUNFIRE GMBH
LIEFERT DIESEL AUS CO2 FÜR DIE
BUNDESFORSCHUNGSMINISTERIN JOHANNA
WANKA

Dienstwagen-Premiere in Berlin: Am Dienstag, 21.04.2015 wurde der Audi A8 der Bundesforschungsministerin Wanka mit künstlichem Diesel betankt.



Innovationspolitik hat Potential!

Ptl - „e-crude“ ...

... läuft in Millionen Litern in Südnorwegen.

Plan:
25 Mio. | 2026
100 Mio. | 2029



Wasserstoff im Gebäudesektor

Brennstoffzellen-BHKW



Das Brennstoffzellen-BHKW inhouse5000+

Zwei Hauptkomponenten sorgen für viel Leistung auf geringer Stellfläche

Energiezentrale und Wasserstoff-Langzeitspeicher (erweiterbar)

Energiezentrale

- Batterie
- Solarladeregler
- Lüftungsgerät
- Brennstoffzelle
- Elektrolyseur
- Wechselrichter
- Energiemanagement



- Höhe: 1,85 m
- Breite: 1,50 m
- Tiefe: 1,00 m
- Gewicht: ca. 2,2 t

Wasserstoff-Langzeitspeicher

Wasserstoffspeicher XL
(300 kWh)

Integrierter Verdichter



Optionale Erweiterungen

Wasserstoff-Speicher L:
225 kWh elektrisch

Wasserstoff-Speicher XL:
300 kWh elektrisch

- H x B x T: 2,00 x 0,75 x 1,0 m
- Gewicht: ca. 1,3 t
- H x B x T: 2,00 x 1,0 x 1,0 m
- Gewicht: ca. 1,8 t

Wasserstoff Distribution

Pipeline-Ausbau EU-weit ...

- ✓ ▲ City
- ✓ Storages
- Salt Cavern
- Aquifer
- Depleted field
- Rock Cavern
- ✓ Offshore (wind) hydrogen production 2030
- ✓ Offshore (wind) hydrogen production 2040
- ✓ Gas-Import Terminals
- ✓ EHB 2030
- Repurposed
- New
- Import / Export
- Subsea
- UK
- ✓ EHB 2040
- Repurposed
- New
- Import / Export
- Subsea
- ✓ Countries European Hydrogen Backbone
- Countries within scope
- Countries that act as external stakeholder
- Countries out of scope

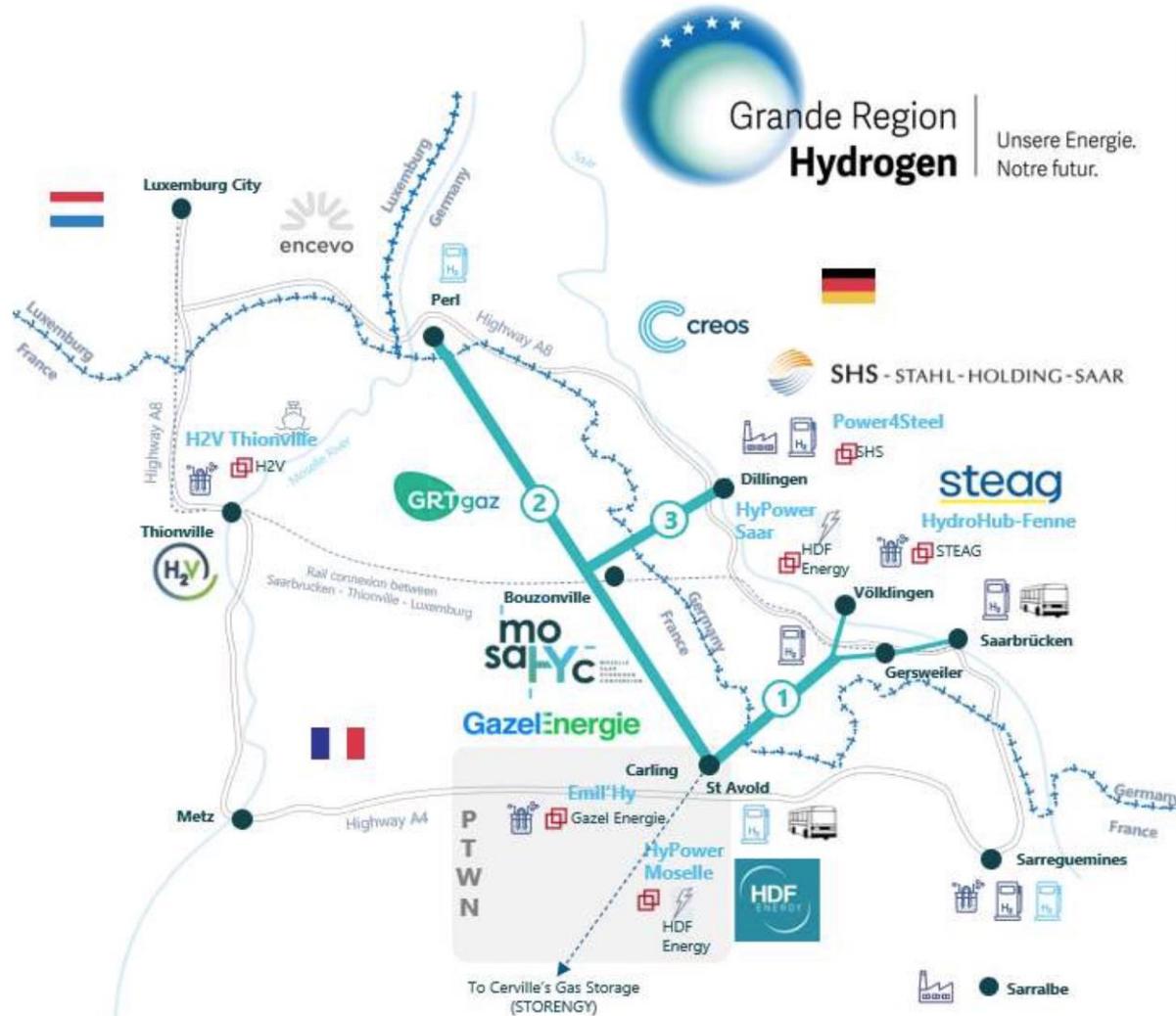


European Hydrogen Backbone

Geplanter Leitungsverlauf

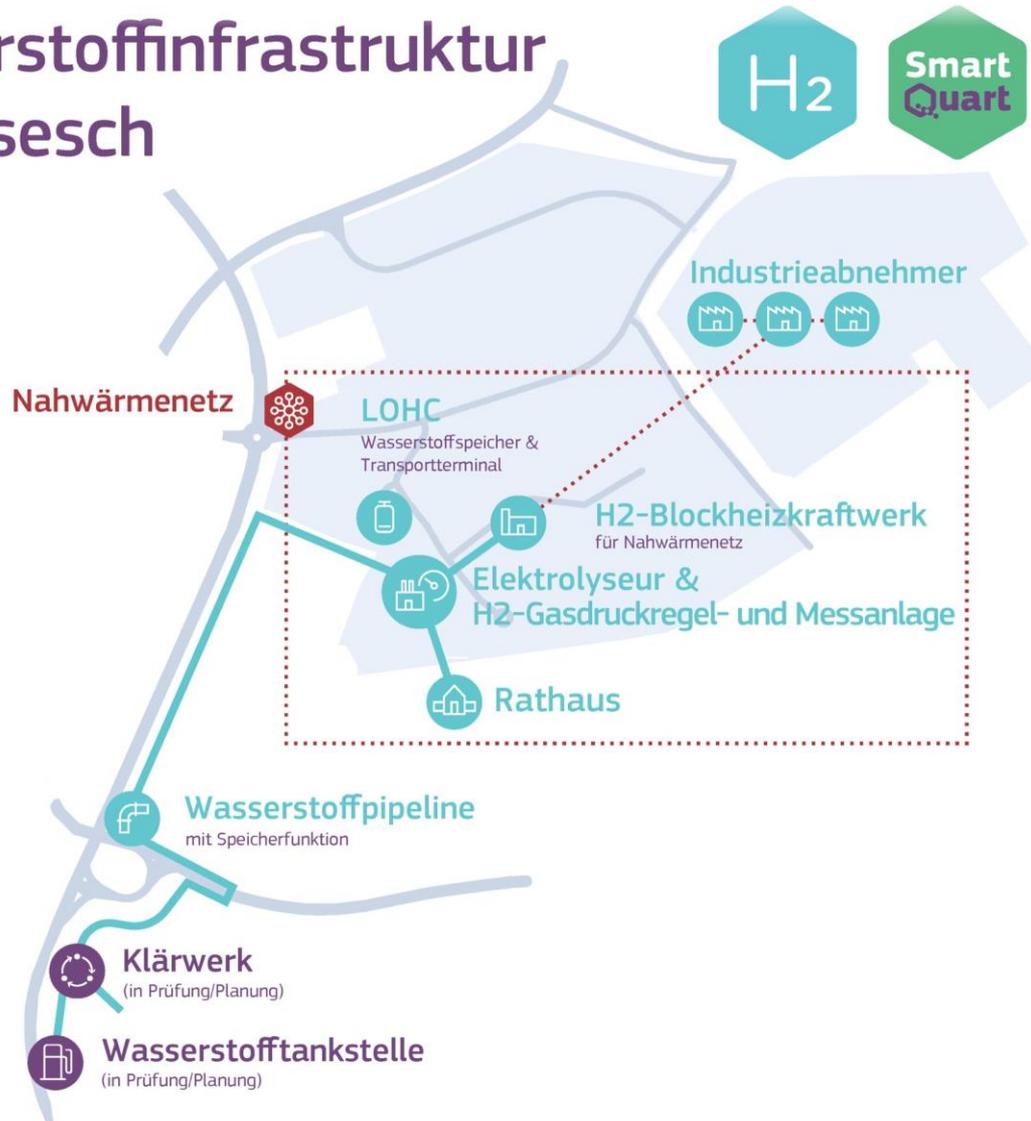


... regional ...

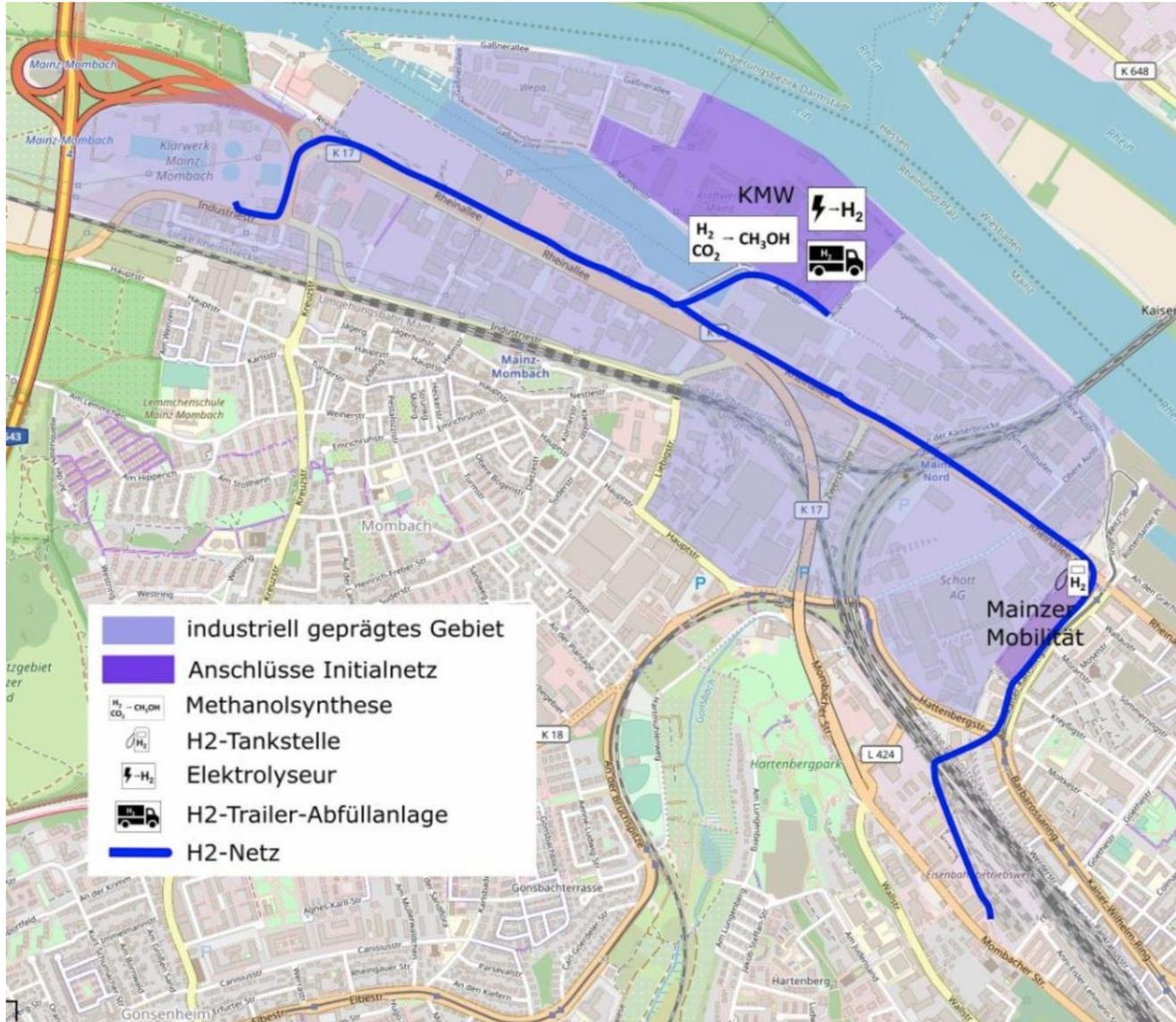


... und lokal.

Wasserstoffinfrastruktur Kaisersesch

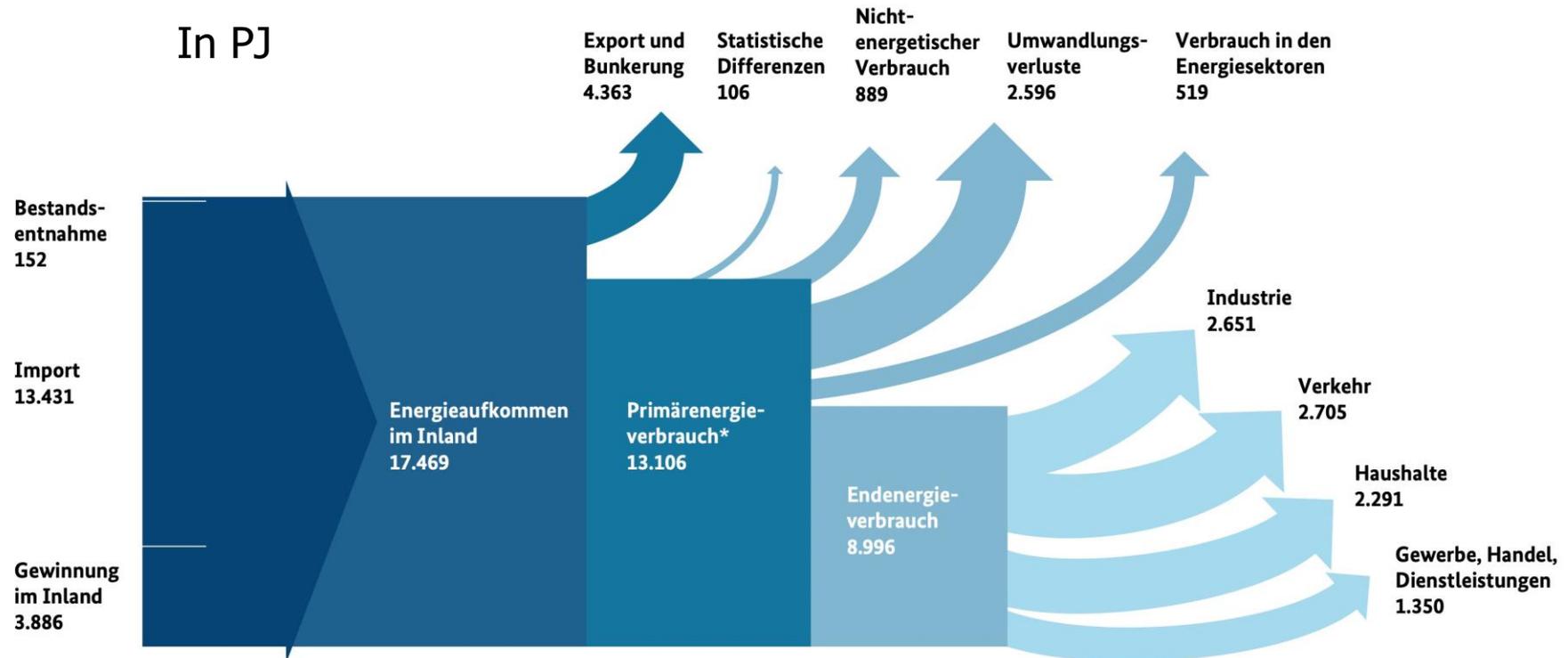


... und lokal.



Grundsätzliches / Ausblick

Wirkungsgrad Energiewelt Deutschland 2018



Wirkungsgrad Primär-/Endenergie: 68,7 %
"Verluste": 31,3 %

Wirkungsgrade Energiewelt

Kernkraftwerk:	35 %
Braunkohlekraftwerk:	39 %
Steinkohlekraftwerk:	44 %
Gaskraftwerk:	49 %
Gas und Dampfkraftwerk:	60 %
Ottomotor (Lehrbuchwert):	25 %
Dieselmotor (Lehrbuchwert):	38 %
Verbrennungsmotor PKW praktisch:	15 – 20 %
Dieselektrisch:	50 %
Standardkessel:	70 %
Niedertemperaturkessel:	85 %
Gas-/Öl-Brennwertkessel:	94 %
Pellet-/Hackschnitzelkessel:	93 %
Windenergieanlage:	59 % (Betz'sches Gesetz)
PV, monokristallin:	22 %
PV, polykristallin:	20 %
Wärmepumpe (ϵ , JAZ):	4

Wirkungsgradsketten

Pfad	Wirkungsgrad			
	Literatur	Projekte	Randinfos	Quelle
Strom zu Gas				
Strom → Wasserstoff Alkalische Elektrolyse	61 – 83 % Median: 74 %	62 – 83 % Median: 68 %	Jeweils bezogen auf den oberen Heizwert	(Milanzi, 2018)
Strom → Wasserstoff PEM-Elektrolyse	61 – 81 % Median: 67 %	48 – 80 % Median: 70 %		
Strom → Wasserstoff Hochtemperaturelektrolyse	65 – 89 % Median: 83 %	81 – 83 % Median: 82 %		
Strom → Methan	75 – 85 % Median: 80 %	77 – 86 % Median: 78 %		
Strom zu Gas zu Strom				
Strom → Wasserstoff → Strom	Ca. 43 %			(Blum, 2018)
Strom → Methan → Strom	36 – 38 %			
Strom zu Gas zu KWK				
Strom → Wasserstoff → KWK		>85 %		(2G Energy AG, kein Datum)
Strom → Methan → KWK	35 % th. 44 % el.		Biomethan	(Landwärme GmbH, 2018)

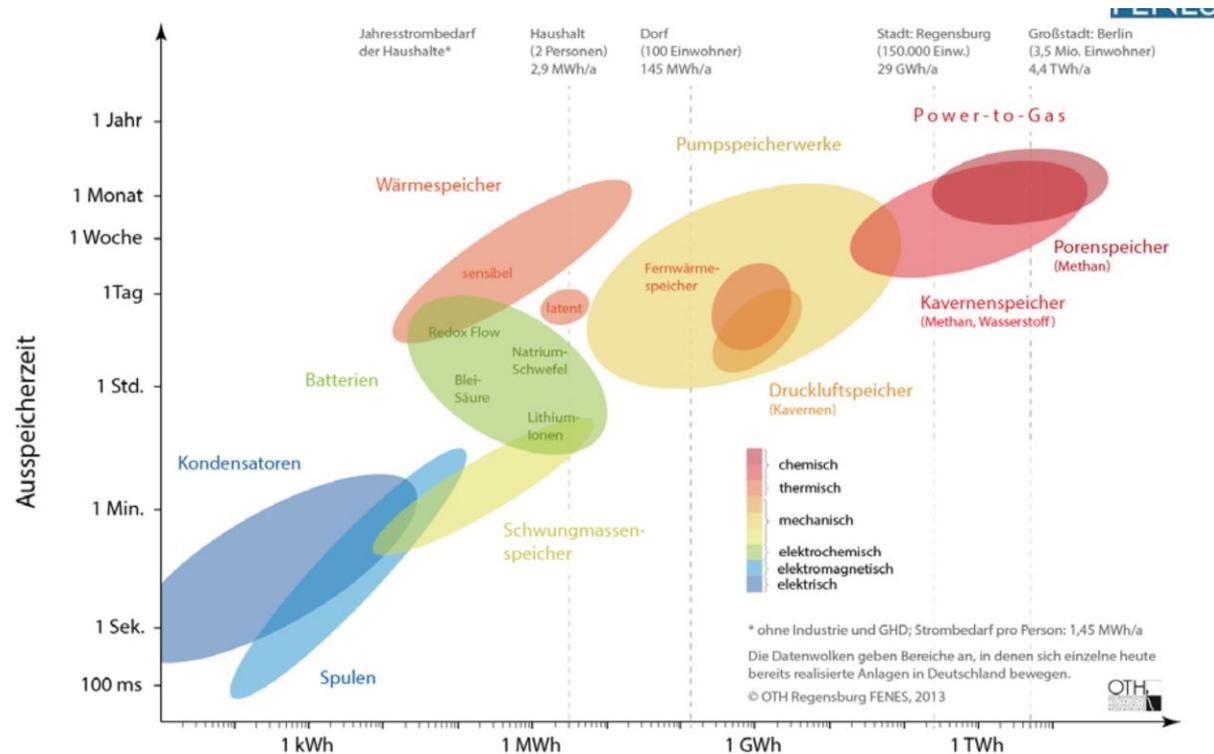
Die elektrische Arbeit aus dem Einspeisemanagement...

Jahr	Umfang in GWh	Kosten in Mio. Euro	Am häufigsten vom Einspeisemanagement betroffener Energieträger
2013	555	44	1) Windkraft (86,6 %) 2) Solar (11,8 %)
2014	1.581	83	1) Windkraft (77,3 %) 2) Solar (15,5 %)
2015	4.722	478	1) Windkraft an Land (87,3 %) 2) Biomasse (7,7 %)
2016	3.743	373	1) Windkraft an Land (94 %) 2) Solar (4,9 %)
2017	5.518	610	1) Windkraft an Land (81 %) 2) Wind auf See (15 %)
2018	5.403	635,4	1) Windkraft an Land (72 %) 2) Wind auf See (25 %)
2019	6.482	709,5	1) Windkraft an Land (78 %) 2) Wind auf See (18 %)
2020	6.146	761,2	1) Windkraft an Land (67,4 %) 2) Windkraft auf See (29,2 %)

...würde viele mobil machen.

Ausfallarbeit durch EinsMan-Maßnahmen	6.482,00	GWh	
Energieverbrauch Elektro-PKW	15	kWh/100 km	
Fahrleistung Privatperson Bundesrepublik	13.000	km/a	
Ausfallarbeit Äquivalent in batterieelektrischen km	43.213.333.333	km	
Anzahl Privatfahrer versorgt mit Ausfallarbeit	3.324.103		

Der größte Speicher ist schon da! Power-to-Gas



Erdgasspeicher Bundesrepublik: 220 TWh (DVGW, 2023)

Perspektivisch möglich: 400 TWh = 1.440 PJ

Primärenergieverbrauch Bundesrepublik: 11.769 PJ (2022)

Die Bundesrepublik läuft 25 (45) Tage weiter mit der Energie im Erdgasnetz.

Kapazität Stromspeicher: 0,04 TWh (30 Minuten)

H₂ – Wofür und für wen?

Stoffliche Nutzung – Industrie

Mobilität – Schwerlast/Langstrecke

Mobilität – ÖPNV

Mobilität – PKW/Kurzstrecke

Netzeinspeisung – Rückverstromung/Wärme

Netzeinspeisung – Wärme/Gebäude



„Ich bin davon überzeugt, dass Wasser einmal als Brennstoff Verwendung finden wird, dass seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff zur unerschöpflichen und ganz ungeahnten Quelle von Wärme und Licht werden“

Die Figur „Cyrus Smith“
in
„Die geheimnisvolle Insel“

von Jules Verne (1875)

**Die TSB:
Mit Energie und Effizienz
in mehr als 2.300 Projekten seit 1989!**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Prof. Dr. Oliver Türk
tuerk@tsb-energie.de