

Wasserstoff – Warum ein Molekül Karriere macht?

Richard Hanke-Rauschenbach^{1,2,3}

¹Institut für Elektrische Energiesysteme (IfES)
Fachgebiet Elektrische Energiespeichersysteme

²Leibniz Forschungszentrum Energie 2050 (LiFE 2050)

³Energieforschungszentrum Niedersachsen (EFZN)

Vision

- Verfügbarkeit von bezahlbarer und sauberer Energie (SDG 7)
- Handeln für den Klimaschutz (SDG 13)

Fokusbereiche

- Windenergieforschung
- Solarenergieforschung
- Elektrische Energietechnik
- Thermische und elektrochemische Energietechnik
- Nachhaltige Antriebe
- Gesamtsystem- und Transformationsforschung

Mission

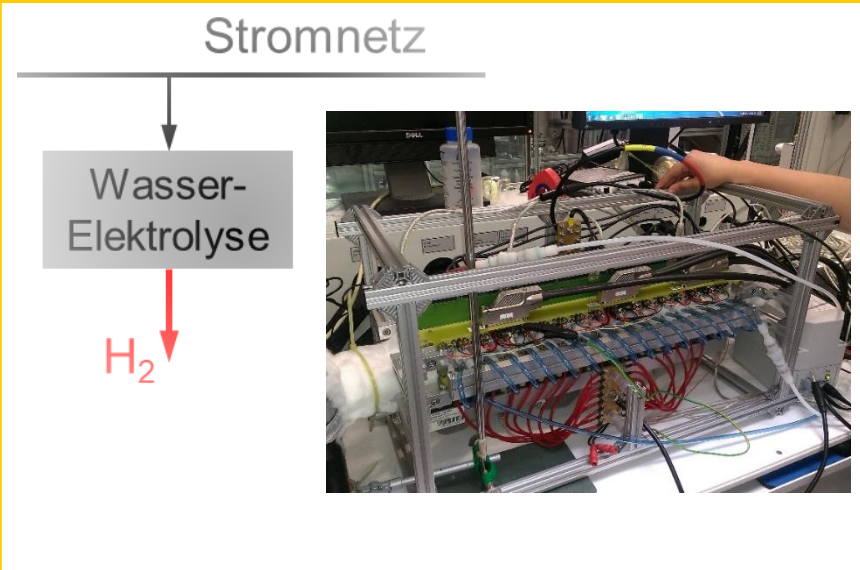
Umgestaltung ermöglichen ...

- von Energiesystemen,
 - Mobilität
 - und stofflichen Wertschöpfungsketten hin zur Nutzung erneuerbarer Energien,
- durch ...
- Schaffung diesbezüglichen Wissens und Methoden
 - zur Wirkung bringen diesbezügliches Wissens
 - Vermittlung diesbezüglicher Erkenntnisse und Wissen an Öffentlichkeit und Fachleute

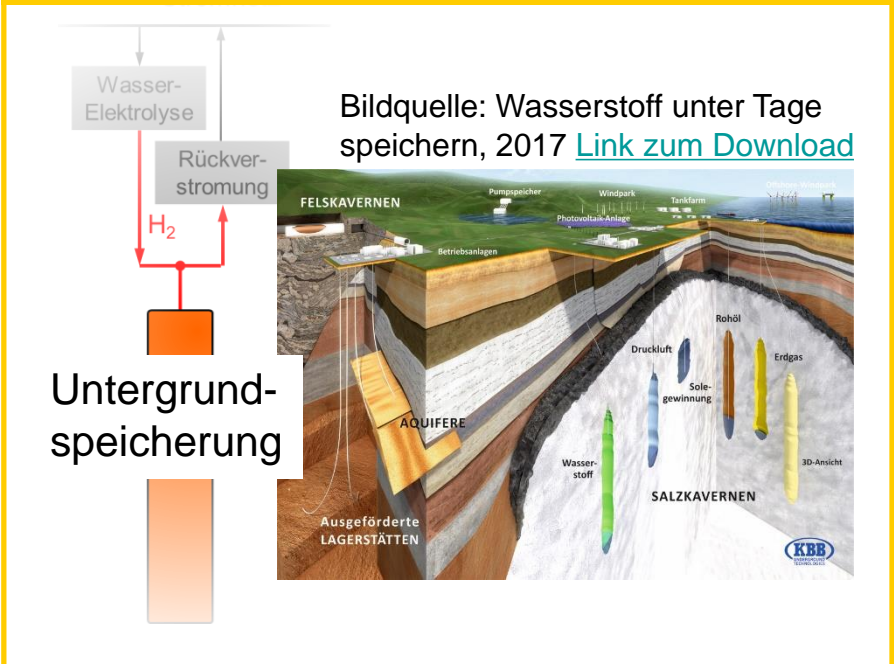
H2-Forschung in Niedersachsen: EFZN-Forschungsverbund Wasserstoff

<https://www.efzn.de/de/projekte/efzn-forschungsverbund-wasserstoff-niedersachsen/>

I. Wasserstoffbereitstellung mittels Wasserelektrolyse



II. Speicherung von Wasserstoff im Untergrund und Infrastruktur



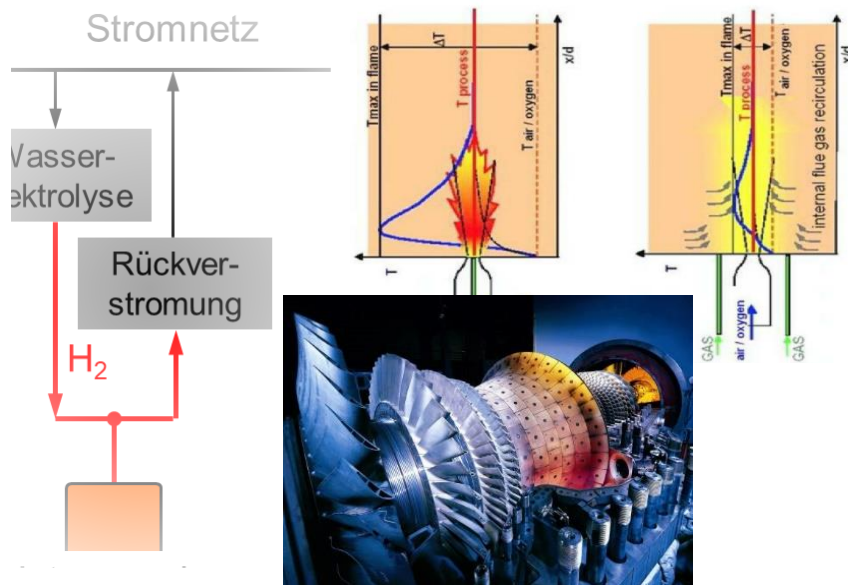
Leibniz Universität Hannover
 TU Clausthal
 Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut
 CUTEC
 Technische Universität Braunschweig
 Fraunhofer IST
 DLR Institut für Vernetzte Energiesysteme

TU Clausthal
 Leibniz Universität Hannover
 DLR Institut für Vernetzte Energiesysteme

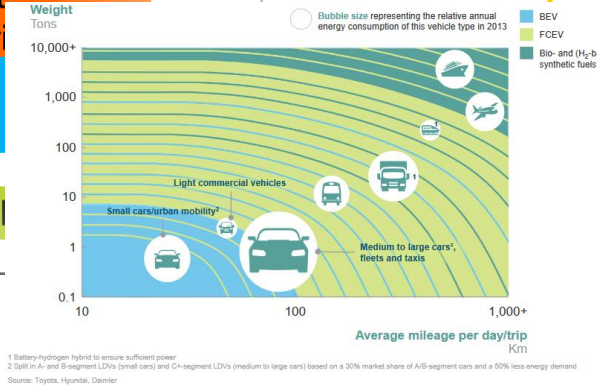
H2-Forschung in Niedersachsen: EFZN-Forschungsverbund Wasserstoff

<https://www.efzn.de/de/projekte/efzn-forschungsverbund-wasserstoff-niedersachsen/>

III. Zukünftige Wasserstoffverbrennungskonzepte



IV. Konversion von Wasserstoff in andere Energieträger



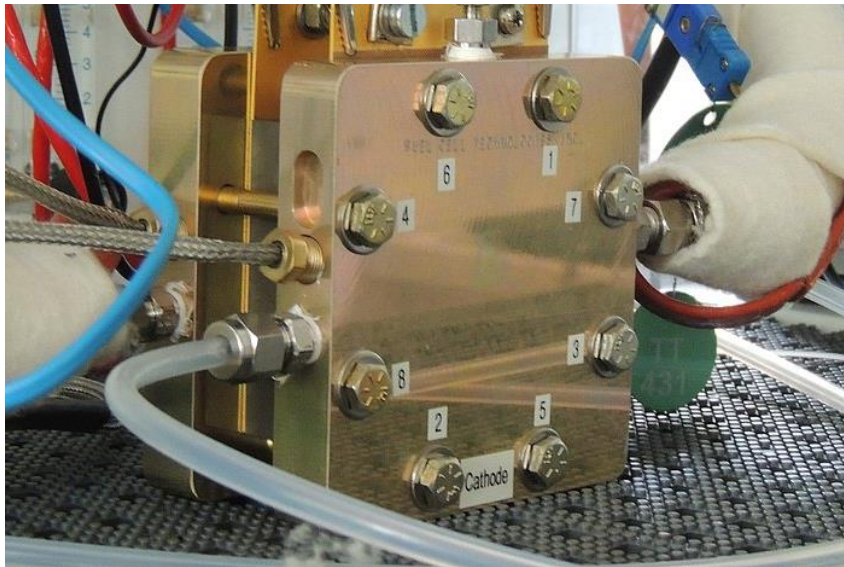
H2-Forschung in Niedersachsen: EFZN-Forschungsverbund Wasserstoff

<https://www.efzn.de/de/projekte/efzn-forschungsverbund-wasserstoff-niedersachsen/>

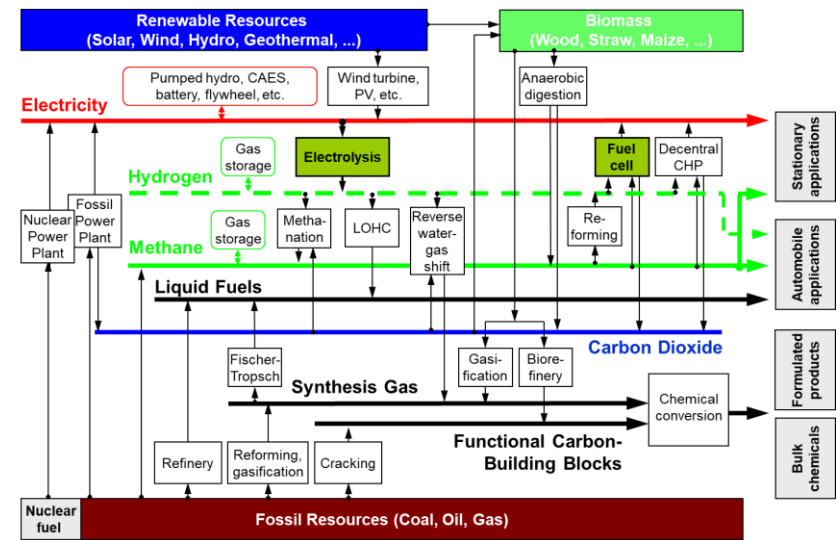
efzn

Energie-Forschungszentrum
Niedersachsen

V. H2-Anwendungen in Brennstoffzellen



VI. Energiesystemanalyse mit besonderem Schwerpunkt auf H2



Wasserstoff – Warum ein Molekül Karriere macht?

Richard Hanke-Rauschenbach^{1,2,3}

¹Institut für Elektrische Energiesysteme (IfES)
Fachgebiet Elektrische Energiespeichersysteme

²Leibniz Forschungszentrum Energie 2050 (LiFE 2050)

³Energieforschungszentrum Niedersachsen (EFZN)

Wasserstoff – Warum ein Molekül Karriere macht?

- ➔ Stakeholderkonferenz „Wasserstoff und Energiewende“ am 5. November 2019 in Berlin, gemeinsam ausgerichtet von BMWi, BMVI, BMBF und BMZ
- ➔ Auftakt zur Erarbeitung der **Nationale Strategie Wasserstoff (NSW)**, die bereits im Dezember 2019 im Kabinett verabschiedet werden soll

“ **Wasserstoff: ein wichtiges Element für die Energiewende** ”



ERNEUERBARE GASE – WO FLOPPT'S, WO FLIEGT'S?
CHRISTOPH JUGEL @ 12. NIEDERSÄCHSISCHE ENERGIETAGE, HANNOVER, 6. NOVEMBER 2019

Wasserstoff – Warum ein Molekül Karriere macht?



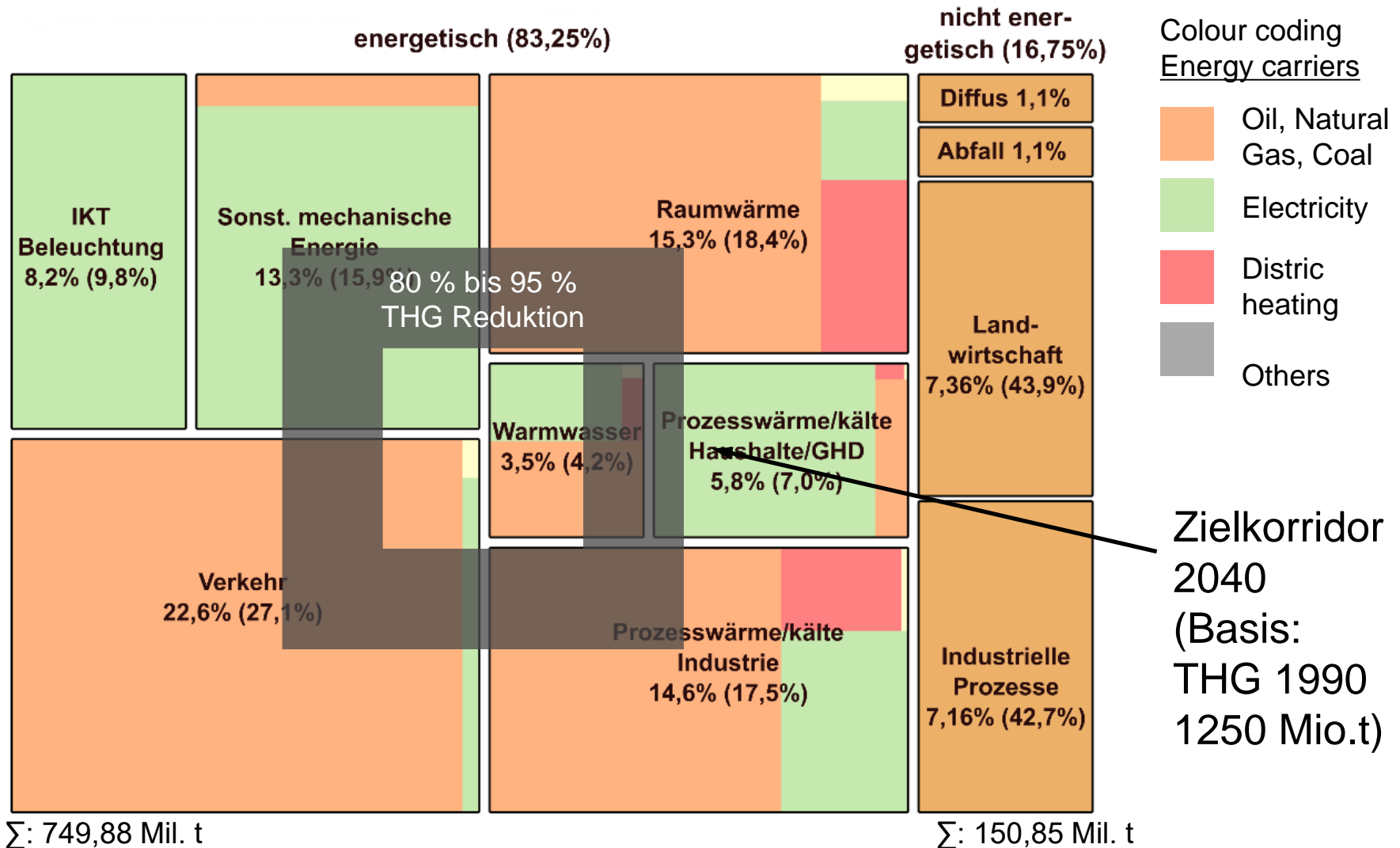
Wasserstoff – Warum ein Molekül Karriere macht?

Strategie	Budget	Ziele	Zeitraumen
Norddeutsch	k. A.	<ul style="list-style-type: none"> • Vollständige Versorgung aller an grünem Wasserstoff interessierten Abnehmer ermöglichen • 1. Phase (2020 – 2025): 500 MW Elektrolyseleistung • 2. Phase (2026 – 2030): 5 GW Elektrolyseleistung 	2020 - 2035
DE (national)	9 Mrd. €	<ul style="list-style-type: none"> • Treibhausgasneutralität bis 2050 • Heimatmarkt für H₂ aufbauen (Mobilität, Industrie, Wärme) • Transport-/ Verteilinfrastruktur + rechtlichen Rahmen weiterentwickeln • Export der H₂-Technologie und Import von H₂ vorbereiten • 1. Phase (2020 – 2023): Markthochlauf starten • 2. Phase (2024 – 2030): 5 GW Elektrolyseleistung, Markt stärken • „3. Phase“ (2031 – 2035): 10 GW Elektrolyseleistung 	2020 - 2035
EU	180 – 470 Mrd. €	<ul style="list-style-type: none"> • Treibhausgasemissionen bis 2030 um 55% senken • Erreichung der Ziele des Pariser Klima-Abkommens • 1. Phase (2020 – 2024): 6 GW Elektrolyseleistung • 2. Phase (2025 – 2030): 40 GW Elektrolyseleistung • 3. Phase (2030 – 2050): H₂-Technologien ausgereift • Ein Viertel des erneuerbaren Stroms wird für die Erzeugung von grünem H₂ verwendet 	2020 - 2050

1. Die Wandlung von erneuerbarem Strom in Wasserstoff stellt ein Lösungselement für die Defossilisierung folgender Bereiche dar
 - * Mobilität
 - * Grundstoff/Schwerindustrie
 - * Wärmesektor
2. Wasserstoff ist ein Hilfsmittel/Enabler zum Ausgleich von zeitlichen und örtlichen Unterschieden zwischen Energieverbrauch und Energiedargebot

Wasserstoff wird dabei dauerhaft in Konkurrenz zu alternativen Technologien stehen, die weniger Flexibilität aber höheren Wirkungsgrad bieten

CO₂-Emissionen nach Sektoren (Basisjahr: 2017)



1. Die Wandlung von erneuerbarem Strom in Wasserstoff stellt ein Lösungselement für die Defossilisierung folgender Bereiche dar

* **Mobilität**

* Grundstoff/Schwerindustrie

* Wärmesektor

2. Wasserstoff ist ein Hilfsmittel/Enabler zum Ausgleich von zeitlichen und örtlichen Unterschieden zwischen Energieverbrauch und Energiedargebot

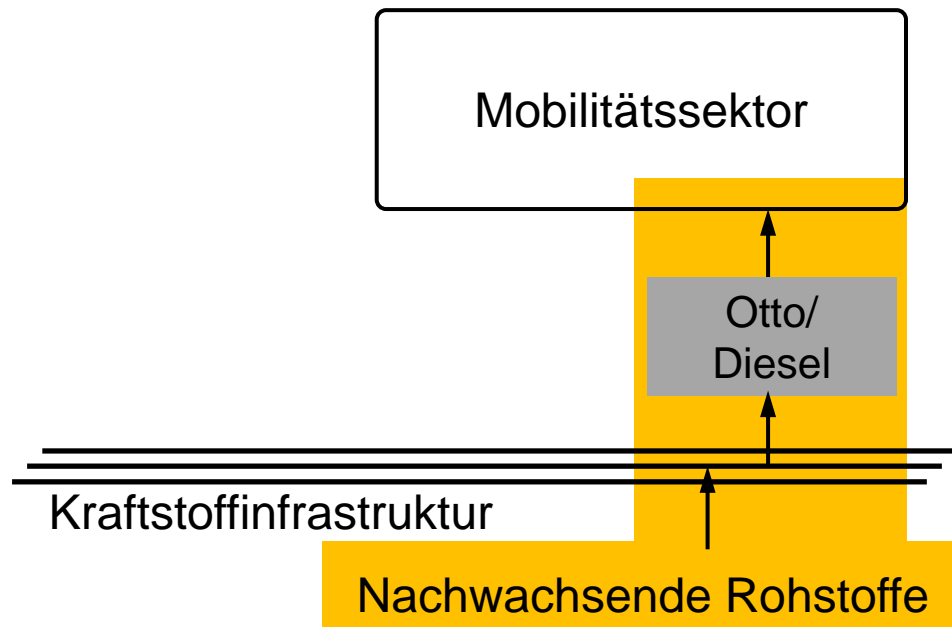
Wasserstoff wird dabei dauerhaft in Konkurrenz zu alternativen Technologien stehen, die weniger Flexibilität aber höheren Wirkungsgrad bieten

Stromnetz

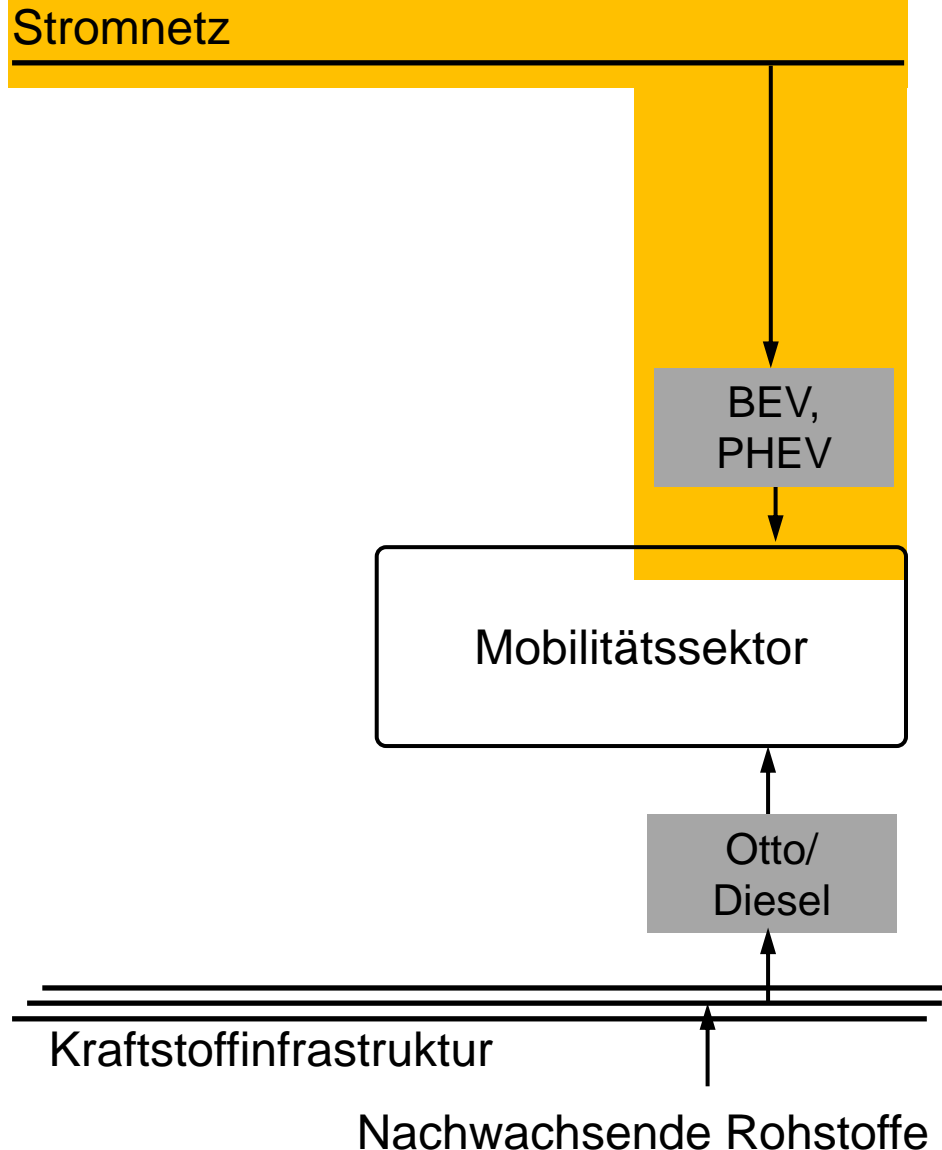
jährl. Substitutionspotential/bedarf*:
203 Mio t_{CO₂} (23% d. CO₂-Emiss.)
726 TWh (28% d. Endenergiebed.)

Defossilisierungs-Optionen

- Substitution fossiler Brennstoffe durch nachwachsende Rohstoffe
- + Nutzung bestehender Infrastr.
- + liefern aktuell 35 TWh (entspricht 99% des EE-Anteils)
- insg. begrenztes Potential
- niedrige Kettenwirkungsgrade, hoher Flächenbedarf



*Bezugsjahr: 2017

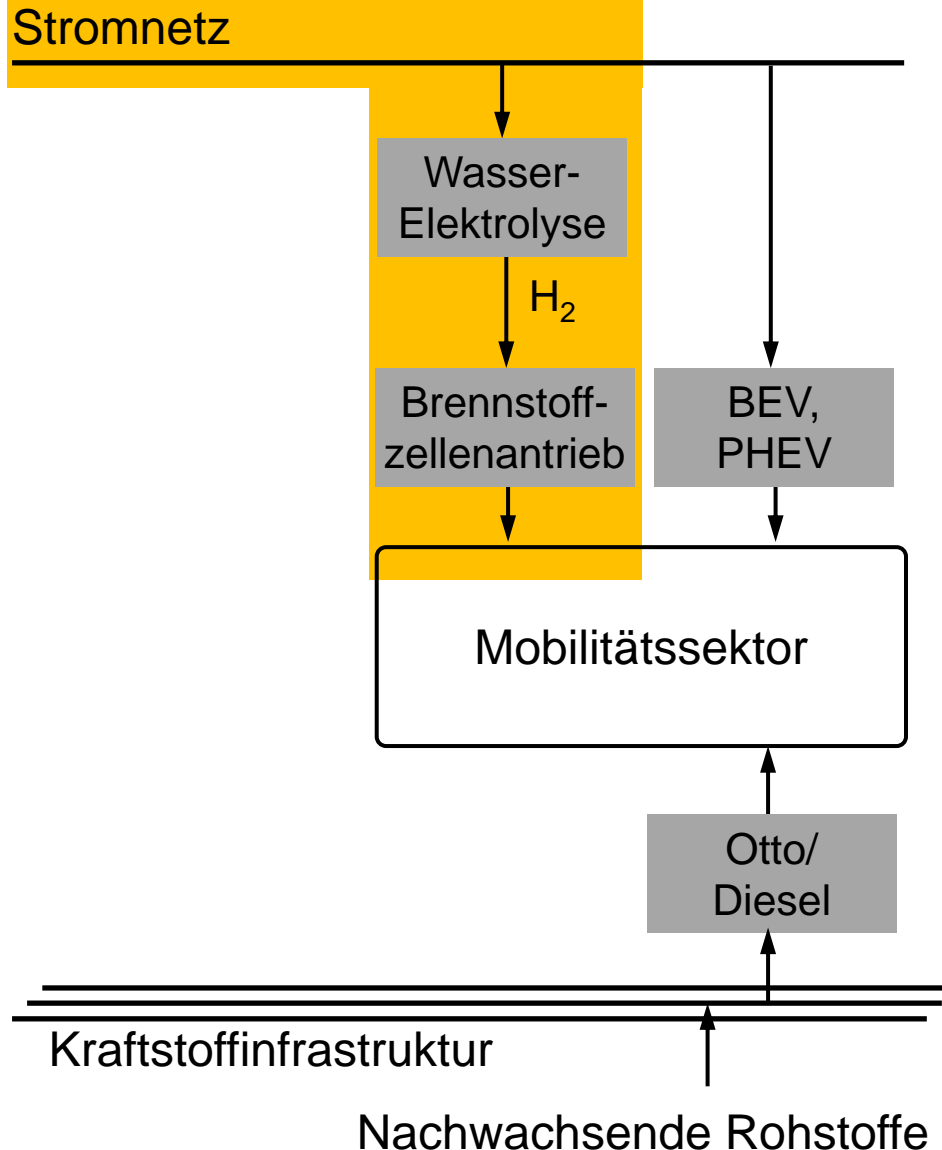


jährl. Substitutionspotential/bedarf*:
203 Mio t_{CO₂} (23% d. CO₂-Emiss.)
726 TWh (28% d. Endenergiebed.)

Defossilisierungs-Optionen

- Substitution fossiler Brennstoffe durch nachwachsende Rohstoffe
- Batterieelektrische Mobilität (Power-to-Mobility)
 - + sehr guter Kettenwirkungsgrad
 - gegenwärtig häufig mit Komforteinschränkungen verbunden
 - eingeschränkte Option für Nutzfahrzeuge und große Reichweiten

*Bezugsjahr: 2017



jährl. Substitutionspotential/bedarf*:
203 Mio t_{CO₂} (23% d. CO₂-Emiss.)
726 TWh (28% d. Endenergiebed.)

Defossilisierungs-Optionen

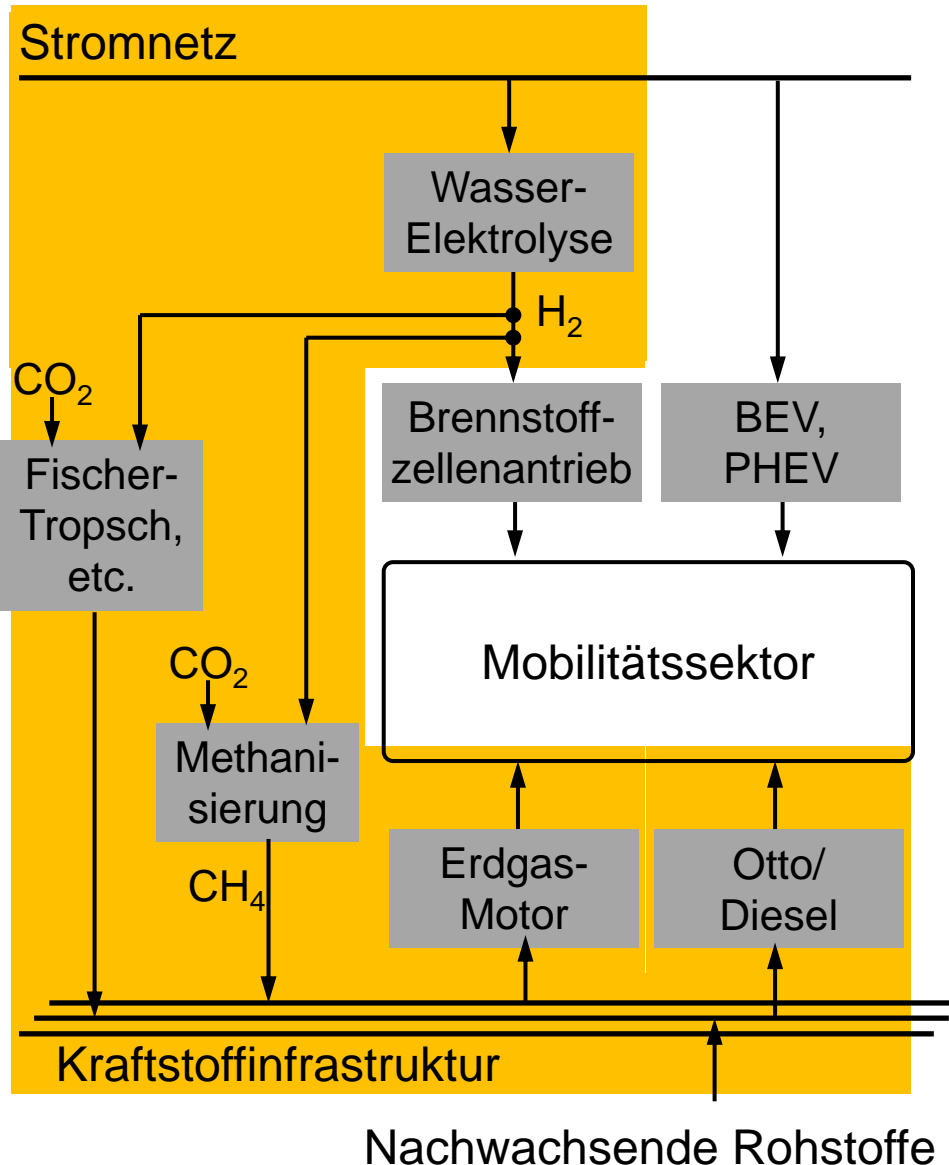
- Substitution fossiler Brennstoffe durch nachwachsende Rohstoffe
- Batterieelektrische Mobilität

– Wasserstoff-Mobilität
(Power-to-Gas-to-Mobility)

* weniger starke Komfort-einschränkungen

* mäßiger Kettenwirkungsgrad

*Bezugsjahr: 2017



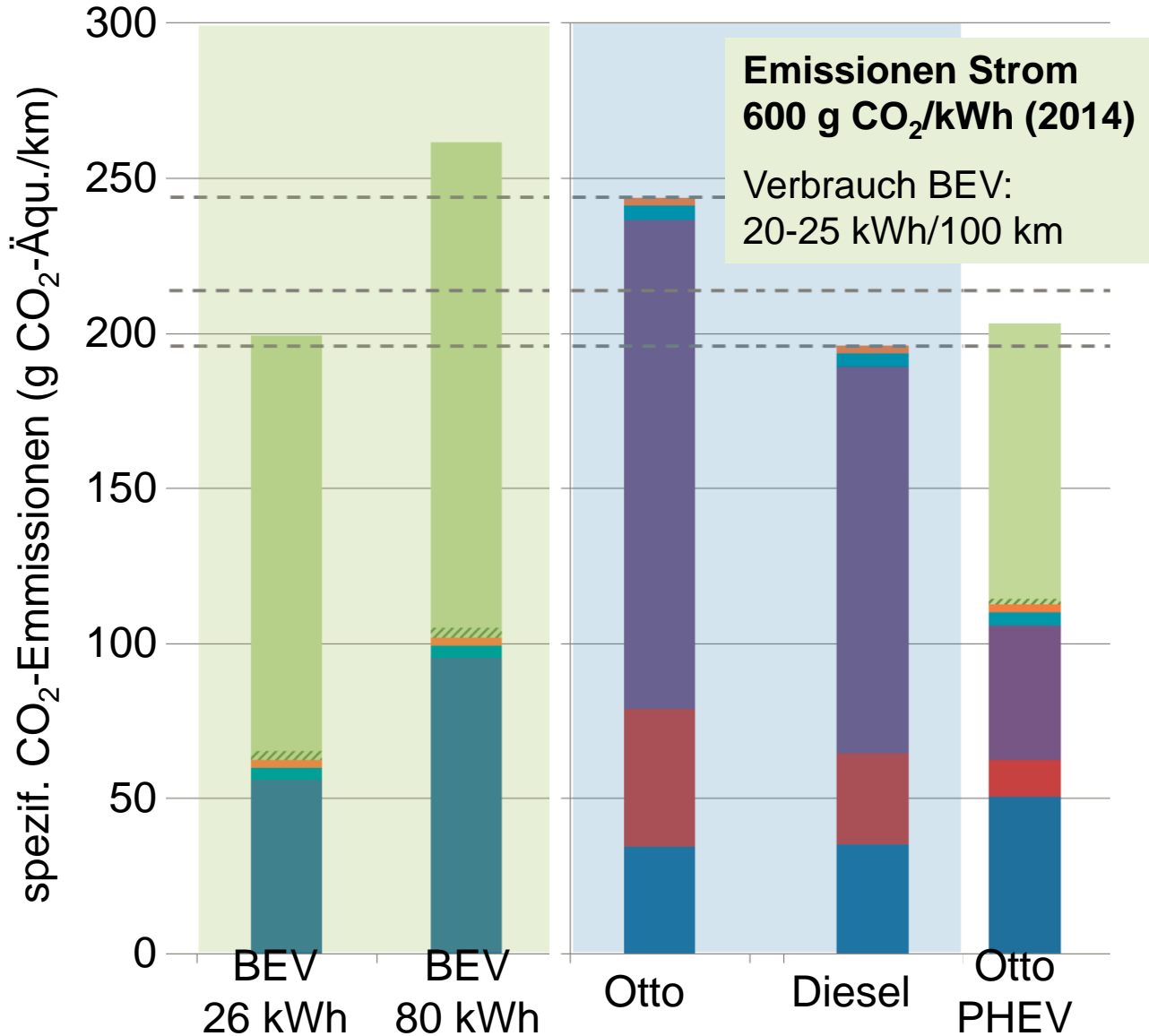
jährl. Substitutionspotential/bedarf*:
203 Mio t_{CO_2} (23% d. CO_2 -Emiss.)
726 TWh (28% d. Endenergiebed.)

Defossilisierungs-Optionen

- Substitution fossiler Brennstoffe durch nachwachsende Rohstoffe
- Batterieelektrische Mobilität
- Wasserstoff-Mobilität
- Synthetische Kraftstoffe (Power-to-Gas-to-Mobility bzw. Power-to-Fuels-to-Mobility)
- + keine Komforteinschränkungen
- + Ausnutzung bestehender Infrastruktur
- geringer Kettenwirkungsgrad

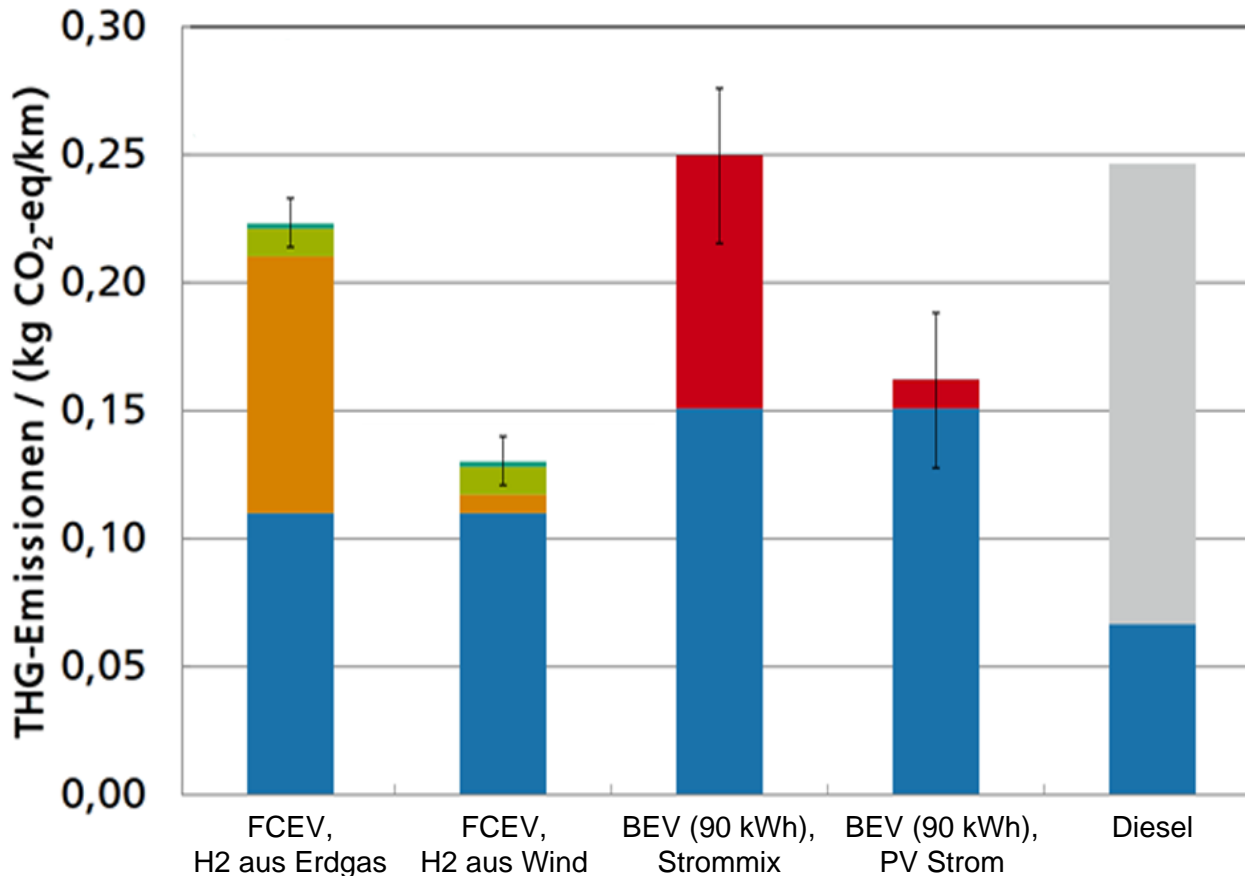
*Bezugsjahr: 2017

Defossilisierung der Mobilität



Quelle: IFEU, Weiterentwicklung und vertiefte Analyse der Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen, 2016

- Strombereitstellung Mix
- Strombereitstellung EE
- Fahrzeugentsorgung
- Wartung
- direkte Emissionen
- Kraftstoffbereitstellung
- Fahrzeugherstellung



Entnommen aus Faunhofer ISE, Treibhausgas-Emissionen für Batterie- und Brennstoffzellenfahrzeuge mit Reichweiten über 300 km, 2019

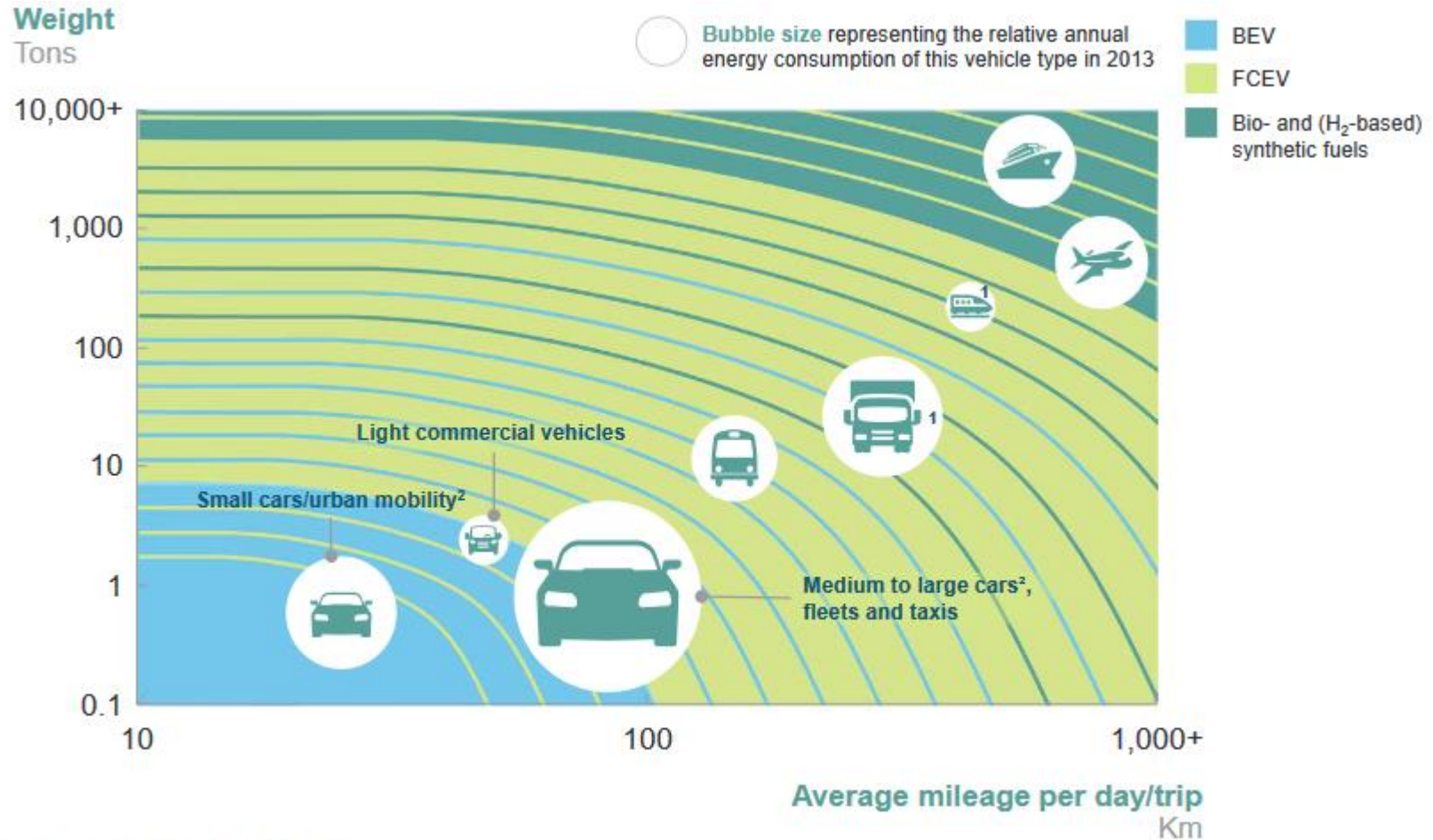
[Link zum Download](#)



Emissionen Strommix 421 g CO₂-eq/kWh (2019)

Verbrauch FCEV: 0,95 kg H₂/100 km BEV: 20 kWh/100 km

Defossilisierung der Mobilität



1 Battery-hydrogen hybrid to ensure sufficient power

2 Split in A- and B-segment LDVs (small cars) and C+-segment LDVs (medium to large cars) based on a 30% market share of A/B-segment cars and a 50% less energy demand

Source: Toyota, Hyundai, Daimler

Aus Hydrogen Council, How hydrogen empowers the energy transition, Abbildung 5, 2017
[Link zum Download](#)

1. Die Wandlung von erneuerbarem Strom in Wasserstoff stellt ein Lösungselement für die Defossilisierung folgender Bereiche dar

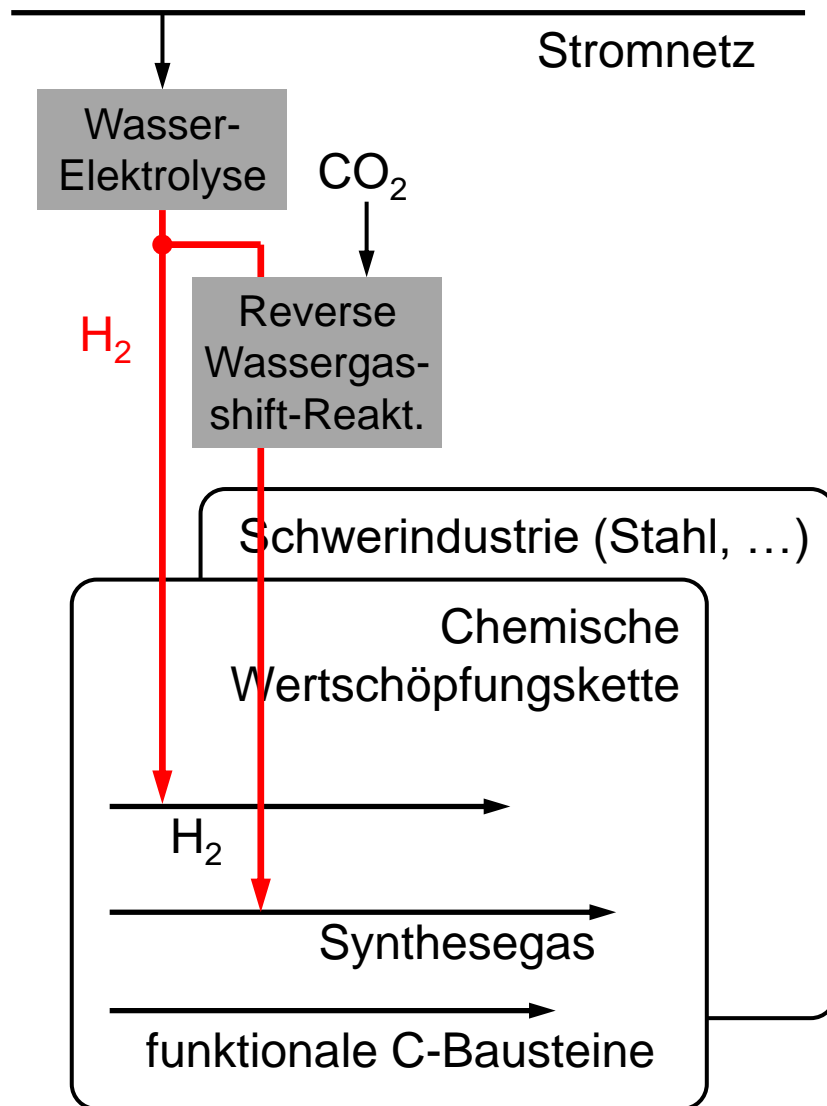
* Mobilität

* Grundstoff/Schwerindustrie

* Wärmesektor

2. Wasserstoff ist ein Hilfsmittel/Enabler zum Ausgleich von zeitlichen und örtlichen Unterschieden zwischen Energieverbrauch und Energiedargebot

Wasserstoff wird dabei dauerhaft in Konkurrenz zu alternativen Technologien stehen, die weniger Flexibilität aber höheren Wirkungsgrad bieten

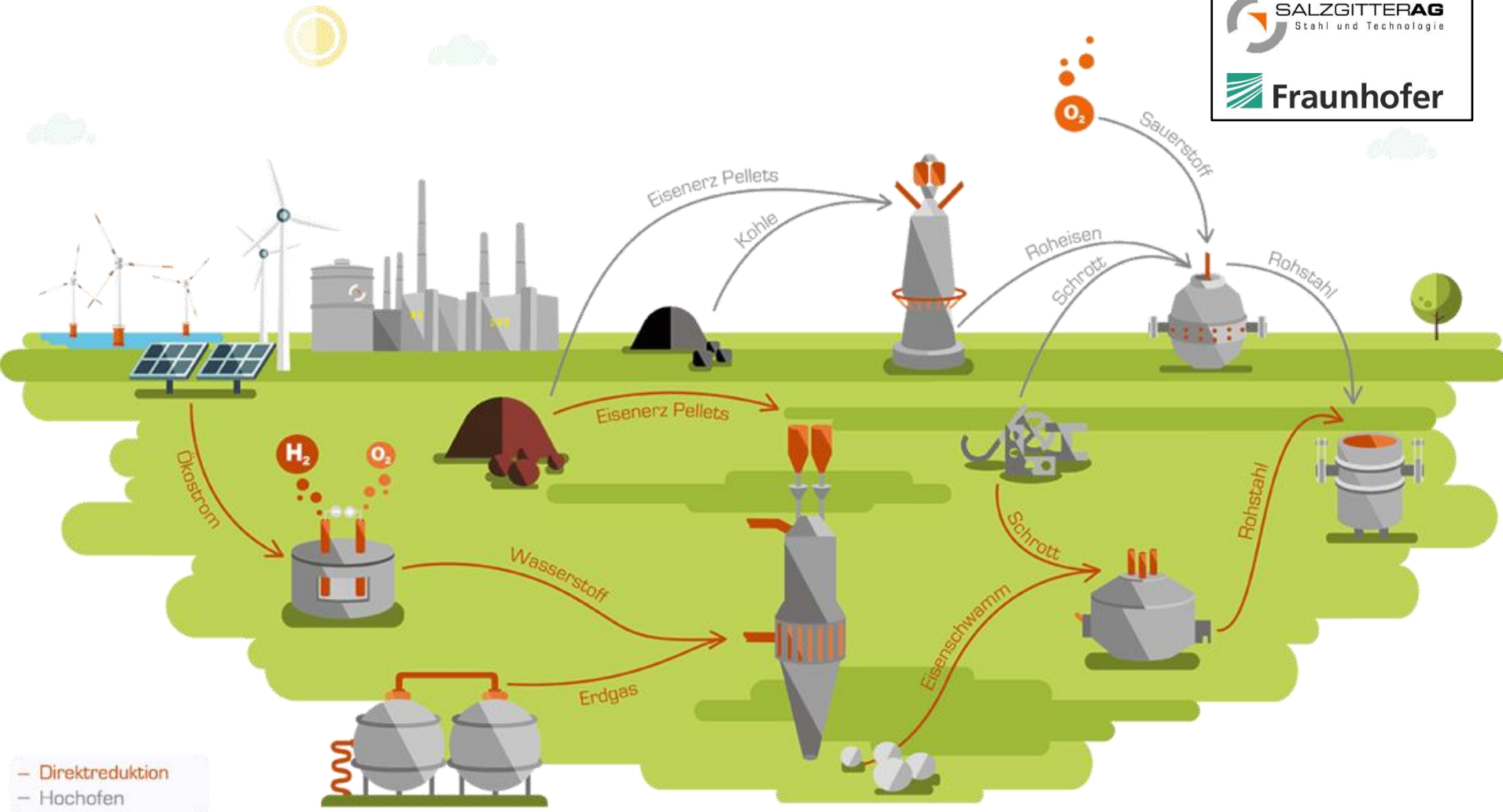


Substitution fossilstämmiger Rohstoffe in der chemischen Industrie/Schwerindustrie

- jährl. Substitutionspotential/-bedarf: 60 Mio t_{CO₂} (8% d. CO₂-Emiss.)
- Zwei Ansätze
 - * Deckung von bestehenden Wasserstoffbedarfen durch grünen/blauen Wasserstoff; Bsp. Raffinerien, Ammoniak-/Methanol-Synthese
 - * Änderung von bestehenden Prozessrouten unter Einbindung von grünem/blauen Wasserstoff; Bsp. Stahlherstl.

*Bezugsjahr: 2014

H2-Einsatz chem. Industrie/Schwerindustrie

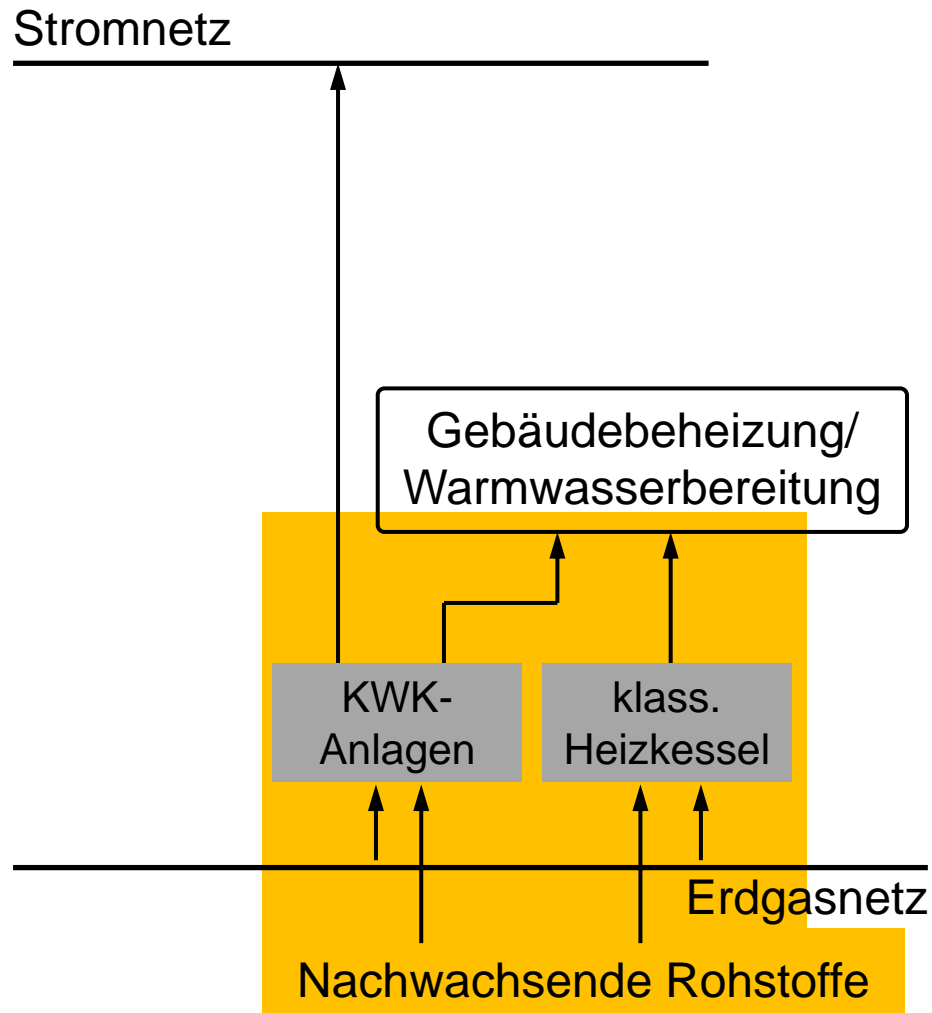


Aus <https://salcos.salzgitter-ag.com/>, abgerufen 17.11.2020

1. Die Wandlung von erneuerbarem Strom in Wasserstoff stellt ein Lösungselement für die Defossilisierung folgender Bereiche dar
 - * Mobilität
 - * Grundstoff/Schwerindustrie
 - * **Wärmesektor**
2. Wasserstoff ist ein Hilfsmittel/Enabler zum Ausgleich von zeitlichen und örtlichen Unterschieden zwischen Energieverbrauch und Energiedargebot

Wasserstoff wird dabei dauerhaft in Konkurrenz zu alternativen Technologien stehen, die weniger Flexibilität aber höheren Wirkungsgrad bieten

Defossilisierung der Wärmebereitstellung: Gebäude-Beheizung/Warmwasser



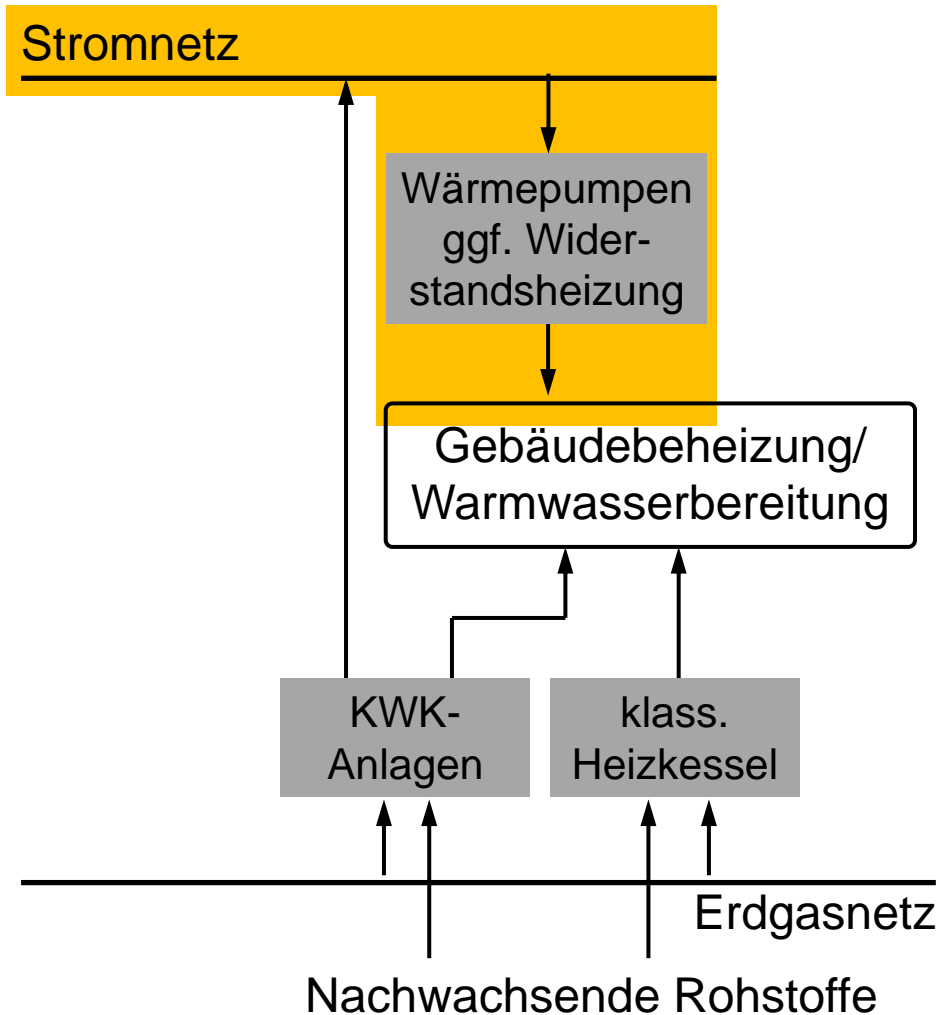
jährl. Substitutionspotential/bedarf*:
169 Mio t_{CO2} (23% d. CO₂-Emiss.)
566 TWh (22% d. Endenergiebed.)

Defossilisierungs-Optionen

- Substitution fossiler Brennstoffe durch nachwachsende Rohstoffe
 - + Nutzung bestehender Infrastr.
 - + liefern aktuell 105 TWh (entspricht 90% des EE-Anteils)
 - + Bedarfsgerechte Bereitstellung möglich
- insg. begrenztes Potential
- niedrige Kettenwirkungsgrade, hoher Flächenbedarf, deshalb Einhaltung Nutzungskaskade

*Bezugsjahr: 2017

Defossilisierung der Wärmebereitstellung Gebäude-Beheizung/Warmwasser



jährl. Substitutionspotential/bedarf*:
169 Mio t_{CO2} (23% d. CO₂-Emiss.)
566 TWh (22% d. Endenergiebed.)

Defossilisierungs-Optionen

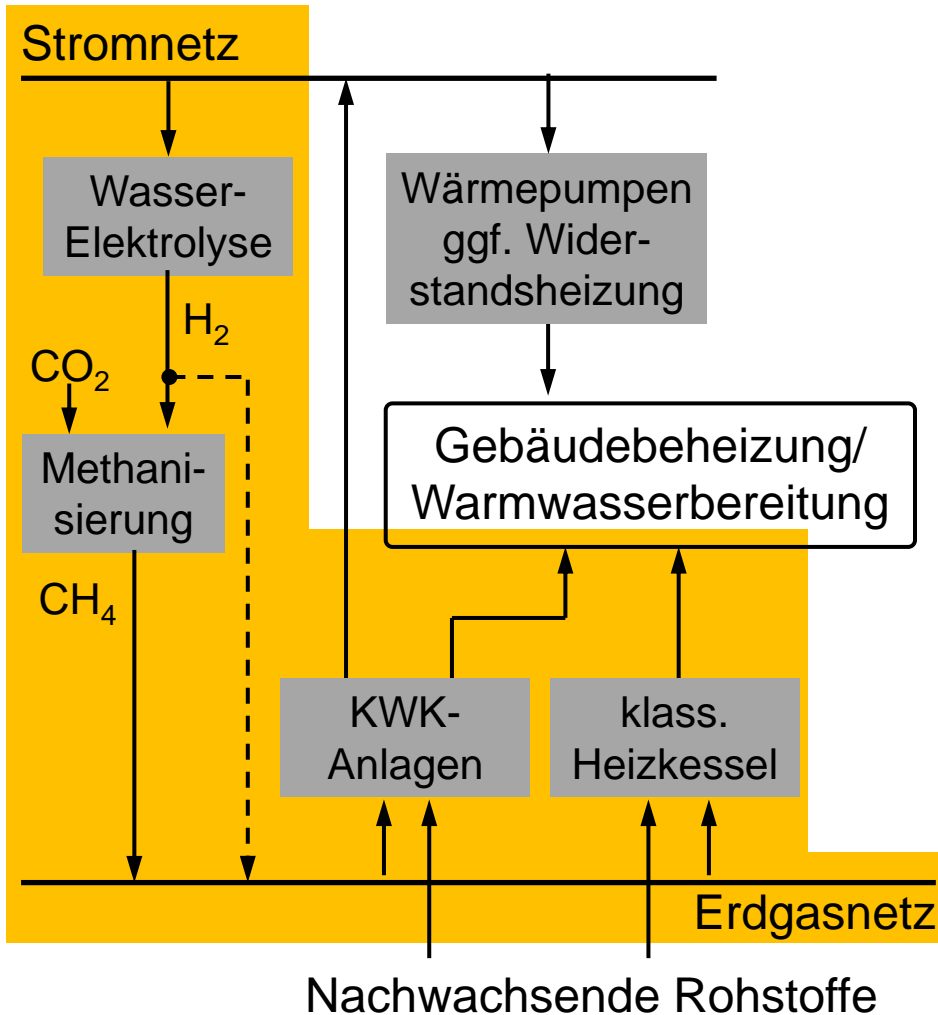
- Substitution fossiler Brennstoffe durch nachwachsende Rohstoffe
- Power-to-Heat

+ guter Kettenwirkungsgrad, insb. bei Wärmepumpenanlagen
1 kWh elekt. → >3 kWh therm.

- * Neubaustandard bzw. effizient gedämmter Altbau nötig
- * ggf. Kombination mit saisonalem Wärmespeicher nötig

*Bezugsjahr: 2017

Defossilisierung der Wärmebereitstellung Gebäude-Beheizung/Warmwasser



jährl. Substitutionspotential/bedarf*:
169 Mio t_{CO_2} (23% d. CO_2 -Emiss.)
566 TWh (22% d. Endenergiebed.)

Defossilisierungs-Optionen

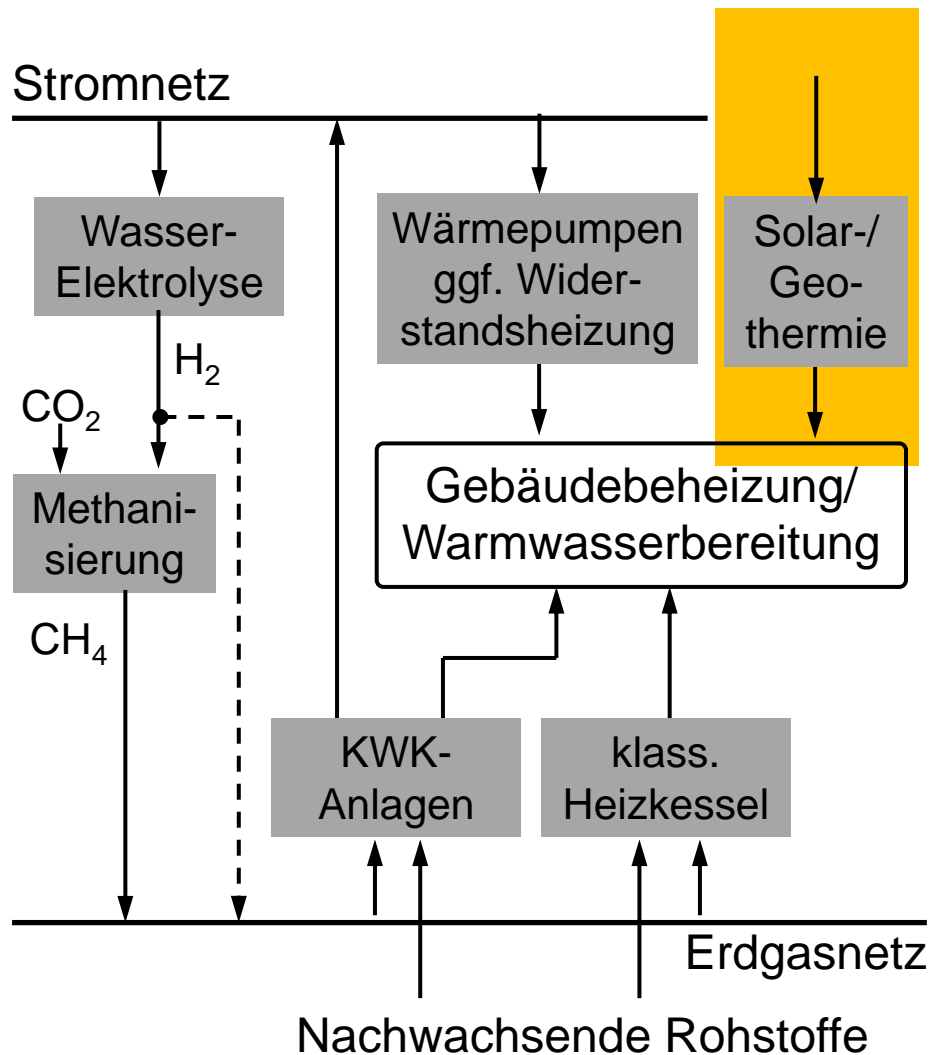
- Substitution fossiler Brennstoffe durch nachwachsende Rohstoffe
- Power-to-Heat
- Power-to-Gas-to-Heat

+ Ausnutzung bestehender Infrastruktur

- schlechter Kettenwirkungsgrad
1 kWh el. \rightarrow \approx 0,6 kWh therm.

*Bezugsjahr: 2017

Defossilisierung der Wärmebereitstellung Gebäude-Beheizung/Warmwasser



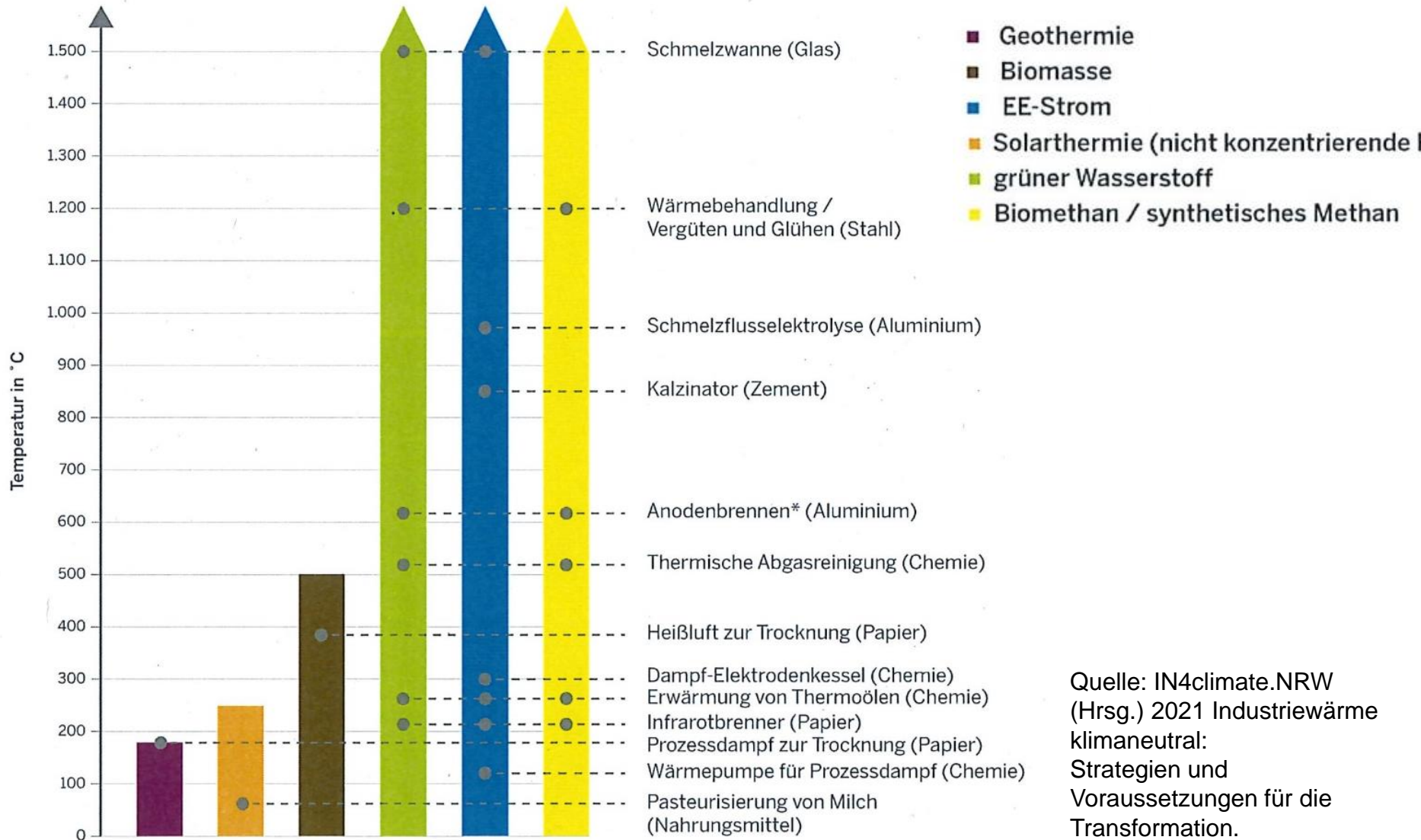
jährl. Substitutionspotential/bedarf*:
169 Mio t_{CO₂} (23% d. CO₂-Emiss.)
566 TWh (22% d. Endenergiebed.)

Defossilisierungs-Optionen

- Substitution fossiler Brennstoffe durch nachwachsende Rohstoffe
- Power-to-Heat
- Power-to-Gas-to-Heat
- Direkte Nutzung erneuerbarer Energie

*Bezugsjahr: 2017

Defossilisierung der Wärmebereitstellung Industrielle Wärmebedarfe



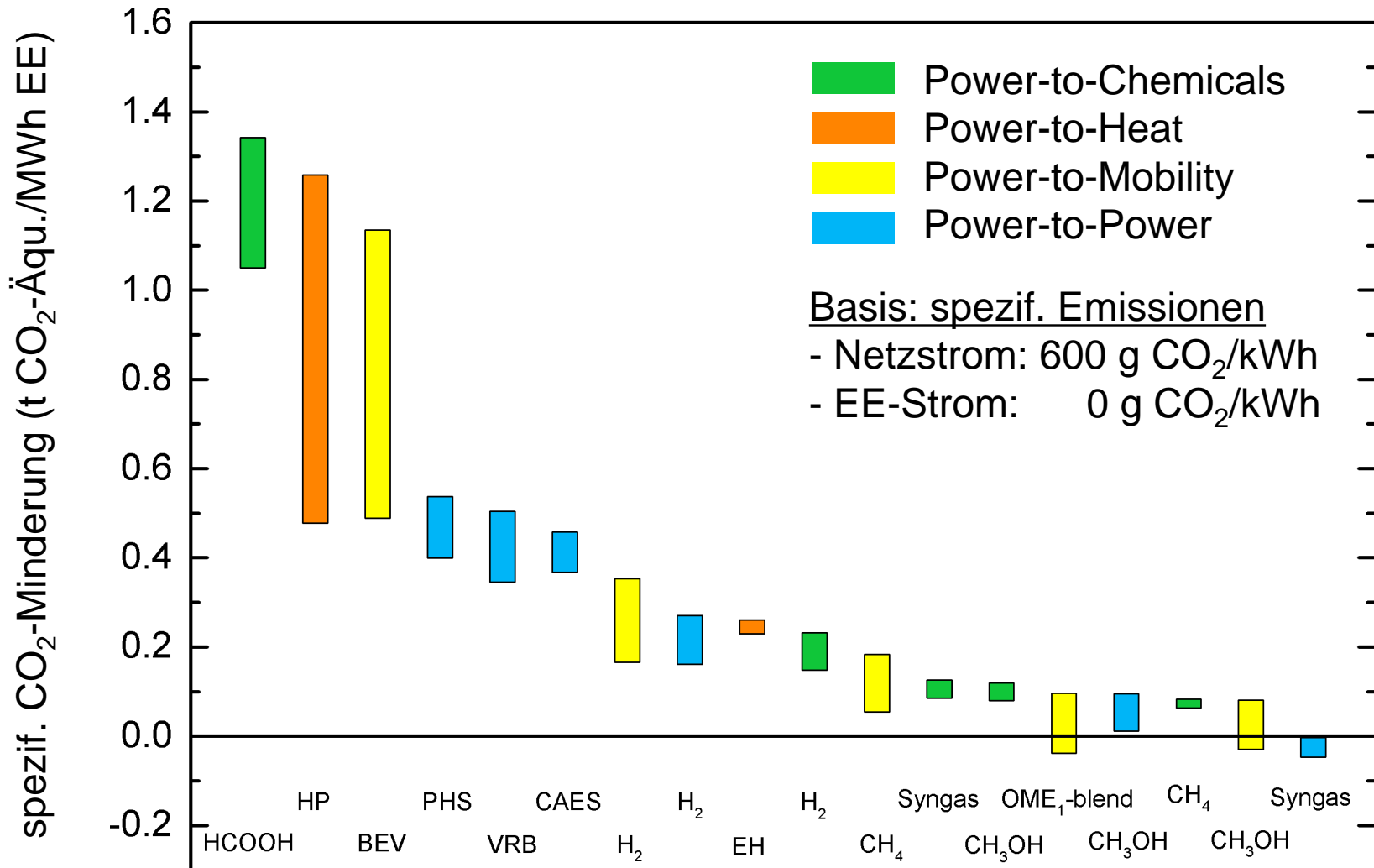
Quelle: IN4climate.NRW (Hrsg.) 2021 Industriewärme klimaneutral: Strategien und Voraussetzungen für die Transformation.

1. Die Wandlung von erneuerbarem Strom in Wasserstoff stellt ein Lösungselement für die Defossilisierung folgender Bereiche dar
 - * Mobilität
 - * Grundstoff/Schwerindustrie
 - * Wärmesektor
2. Wasserstoff ist ein Hilfsmittel/Enabler zum Ausgleich von zeitlichen und örtlichen Unterschieden zwischen Energieverbrauch und Energiedargebot

Wasserstoff wird dabei dauerhaft in Konkurrenz zu alternativen Technologien stehen, die weniger Flexibilität aber höheren Wirkungsgrad bieten

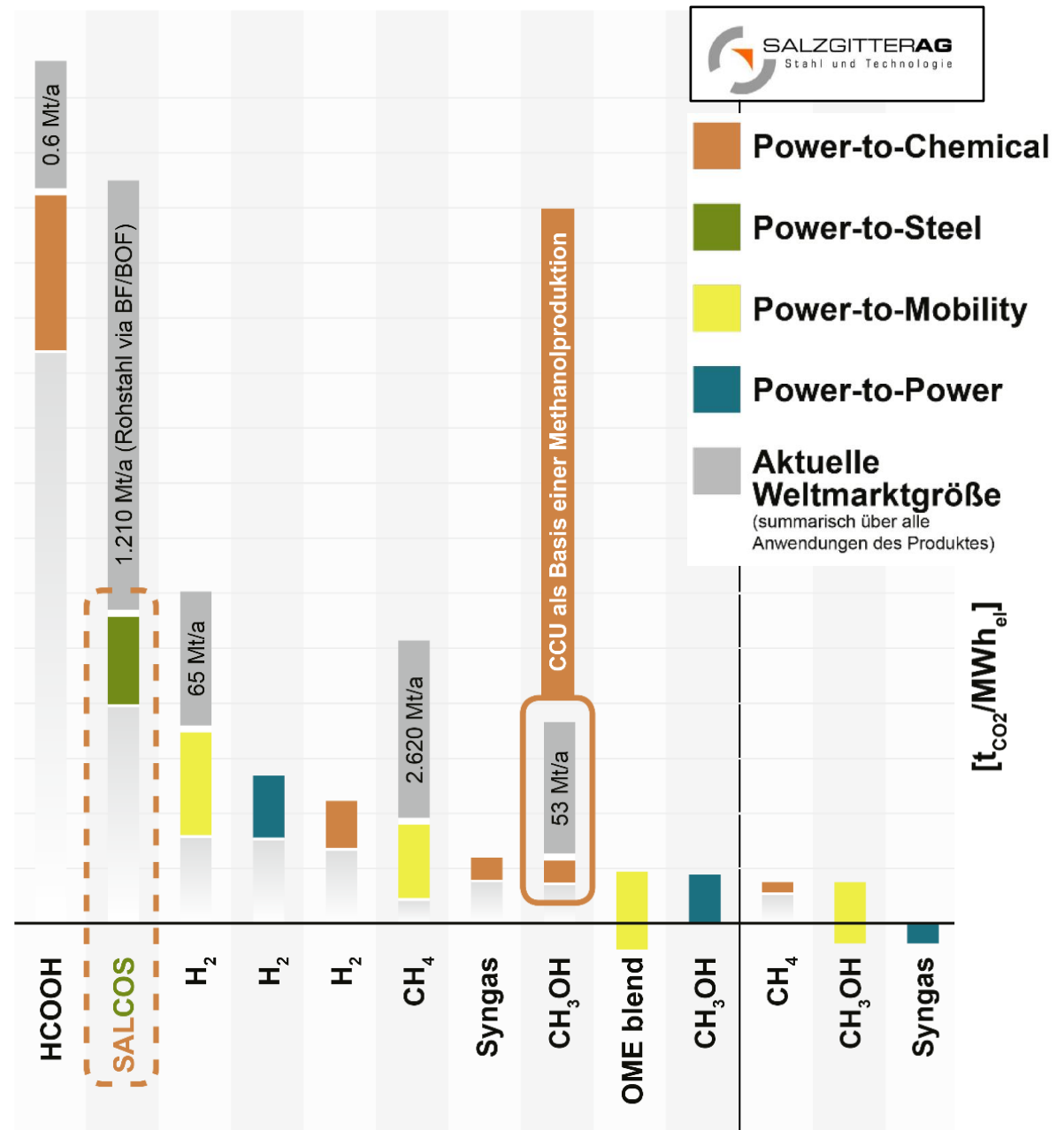
P2X-Merit Order

Aus Vortrag [Power to What?](#), Prof. Dr.-Ing. André Bardow, 10. Niedersächsische Energietage 2017
 Further reading Sternberg und Bardow: Power-to-What? – Environmental assessment of energy storage systems. Energy Environ. Sci. 8 (2015), 389, [Link zum Download](#)



P2X-Merit Order

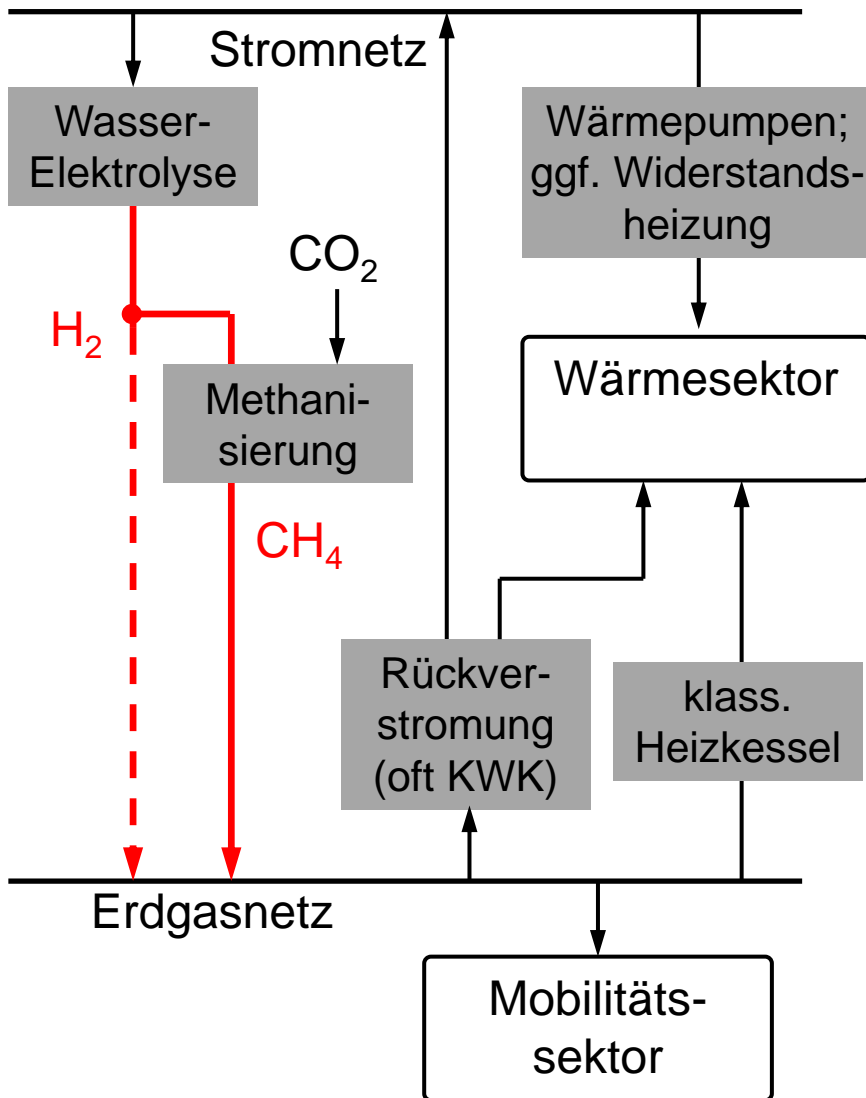
Aus Vortrag [SALCOS](#)
 Potenziale und Erfordernisse
 einer nachhaltigen
 Dekarbonisierung der
 Primärstahlerzeugung im
 industriellen Maßstab, Dr.
 Volker Hille, 12.
 Niedersächsische
 Energietage 2019



1. Die Wandlung von erneuerbarem Strom in Wasserstoff stellt ein Lösungselement für die Defossilisierung folgender Bereiche dar
 - * Mobilität
 - * Grundstoff/Schwerindustrie
 - * Wärmesektor
2. Wasserstoff ist ein Hilfsmittel/Enabler zum Ausgleich von zeitlichen und örtlichen Unterschieden zwischen Energieverbrauch und Energiedargebot

Wasserstoff wird dabei dauerhaft in Konkurrenz zu alternativen Technologien stehen, die weniger Flexibilität aber höheren Wirkungsgrad bieten

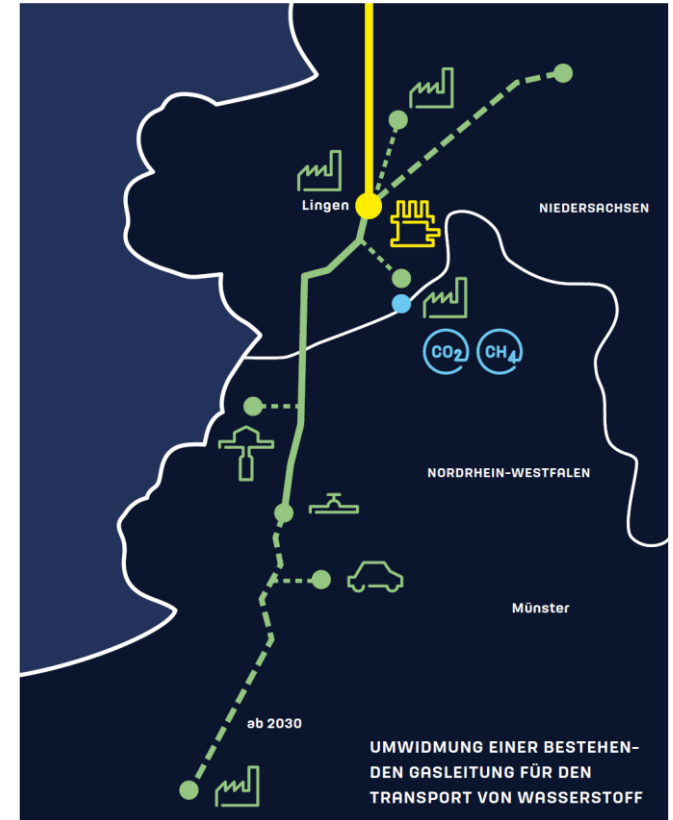
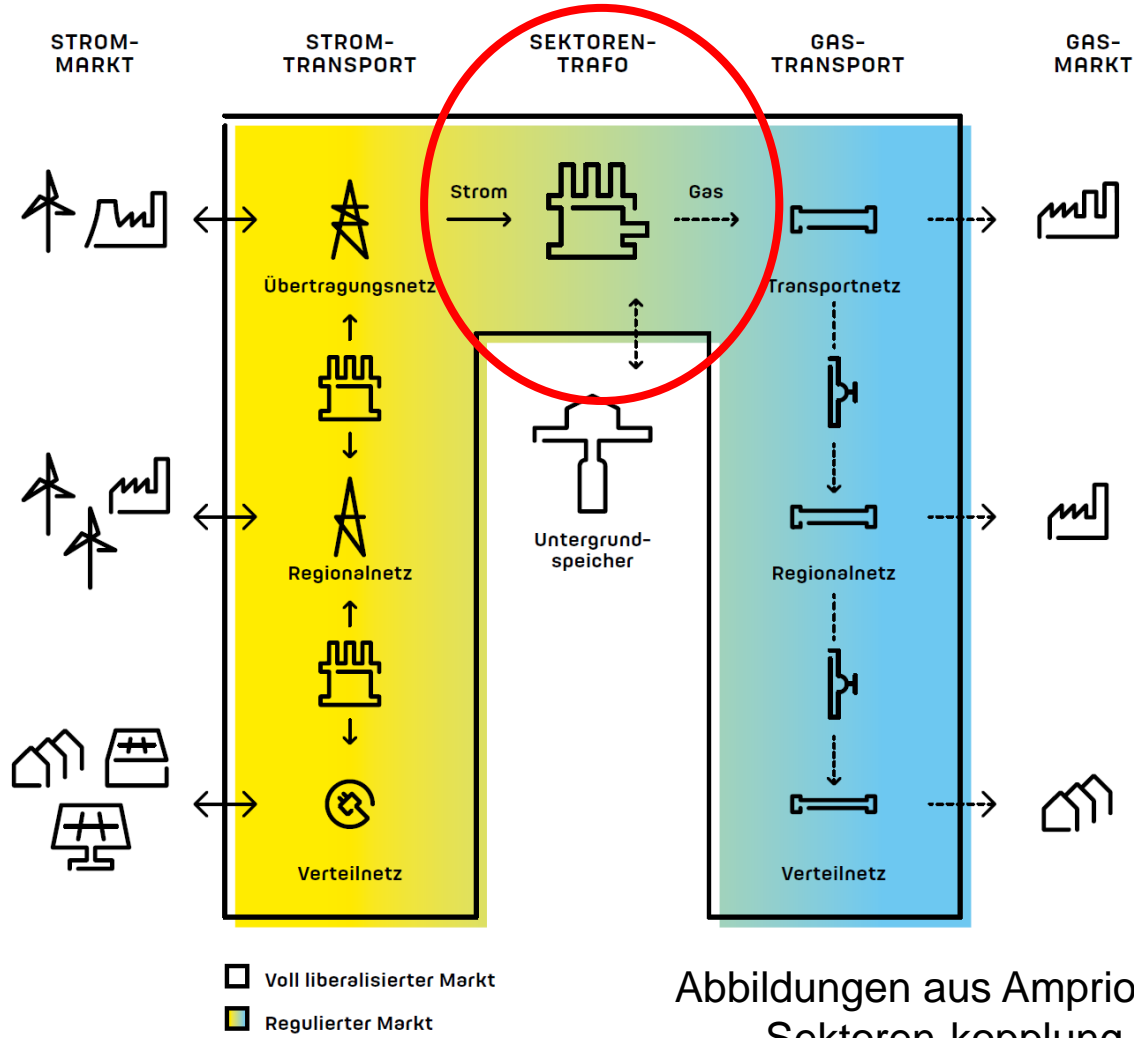
Ausgleich von örtlichen Unterschieden zwischen Verbrauch und Dargebot



Lösungselement zur volkswirtschaftlichen Optimierung des Stromnetzausbaus

- Wandlung von sog. nicht-integrierbarem EE-Strom in H_2 und Verteilung über H_2 -Infrastruktur (bzw. Wandlung in synth. Erdgas und Abgabe ins Erdgasnetz)
- anschließende Nutzung in verschied. Sektoren (insb. Wärmesektor)

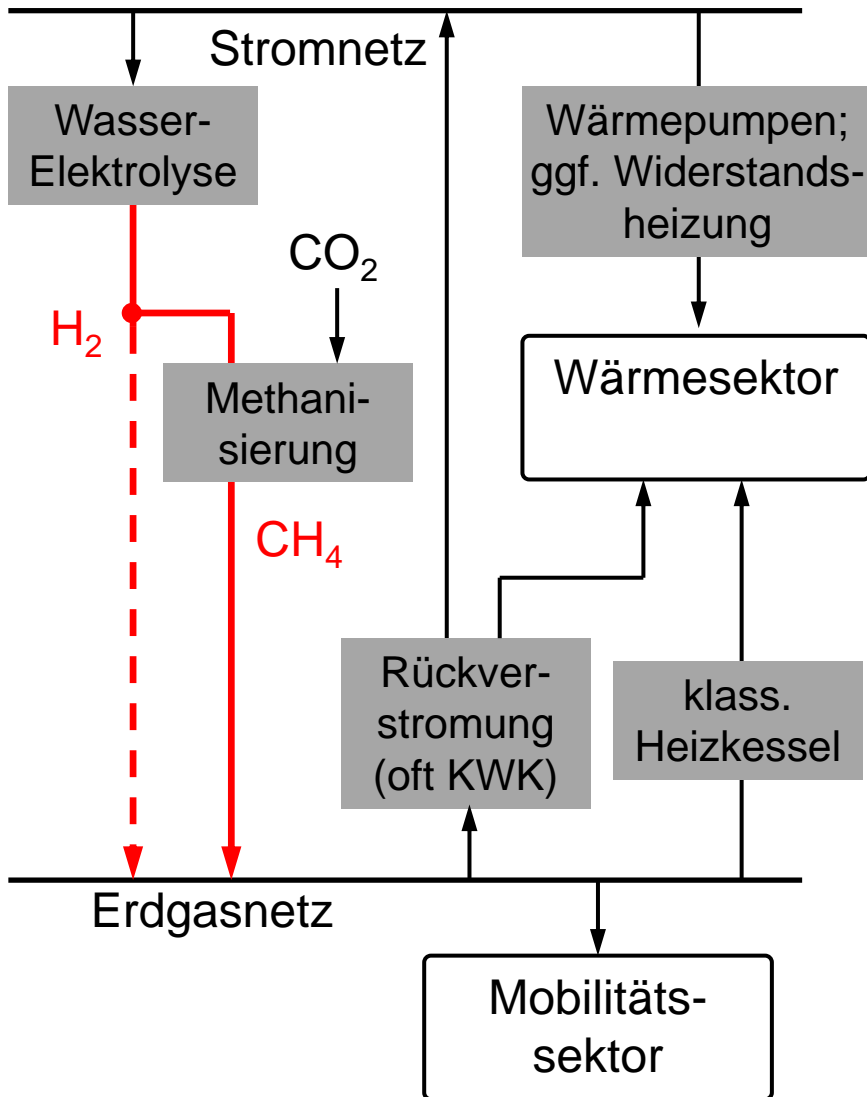
hybridge-Vorschlag – P2G als sog. „Sektoren-Trafo“ (Amprion/Open Grid Europe)



Abbildungen aus Amprion/Open Grid Europe, “Hybridge - Mit Sektoren-kopplung erfolgreich zur Energiewende”, 2019

[Link zum Download](#)

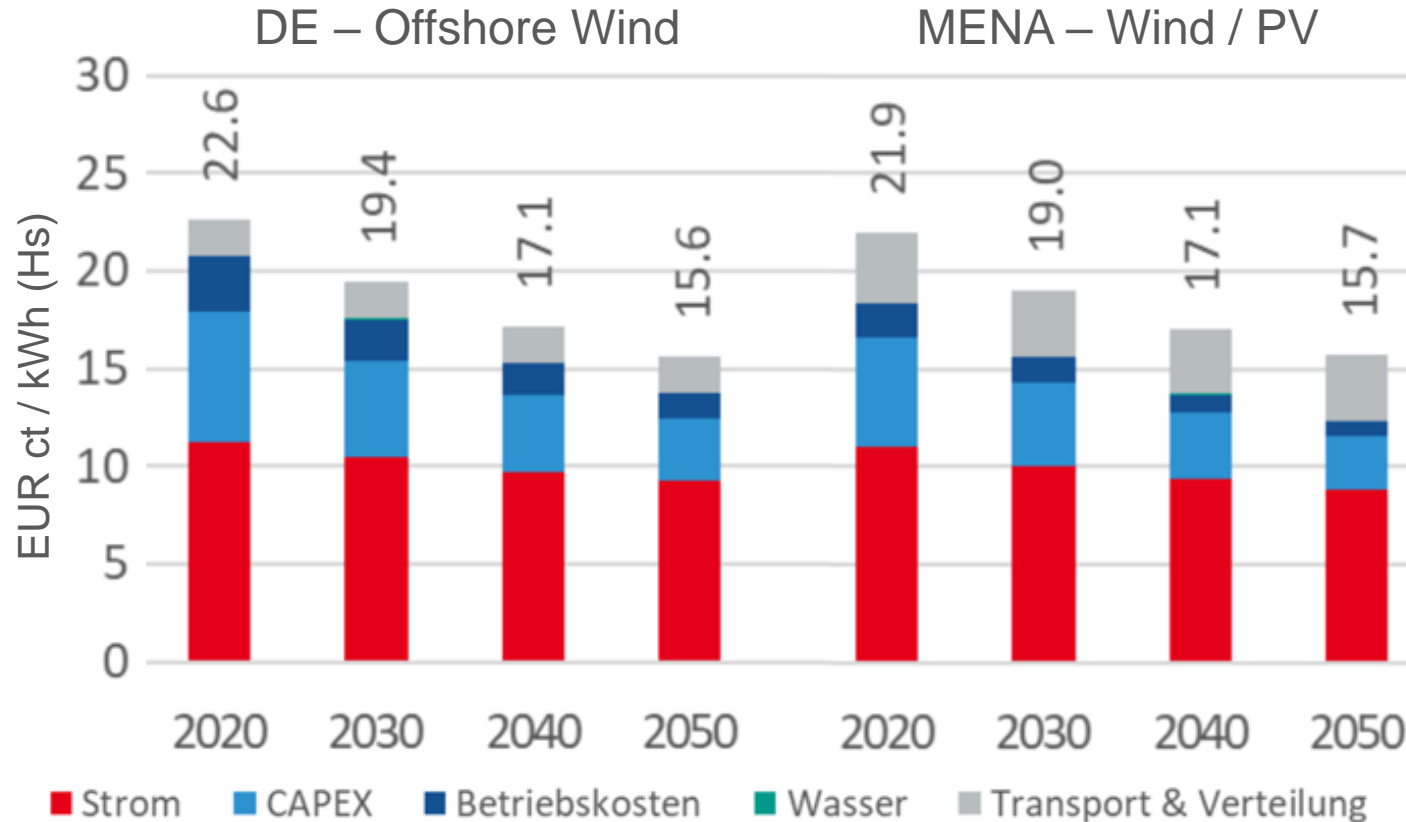
Ausgleich von örtlichen Unterschieden zwischen Verbrauch und Dargebot



Lösungselement zur volkswirtschaftlichen Optimierung des Stromnetzausbaus

- Wandlung von sog. nicht-integrierbarem EE-Strom in H₂ und Verteilung über H₂-Infrastruktur (bzw. Wandlung in synth. Erdgas und Abgabe ins Erdgasnetz)
- anschließende Nutzung in verschied. Sektoren (insb. Wärmesektor)
- Systemdienlicher Betrieb der Power-to-Gas-Anlage ist notwendig
- volkswirtschaftlich sorgfältig zu bewerten
- Weiterer Vorteil: Infrastruktur lässt sich auch für Import von grünem/blauen Wasserstoff nutzen

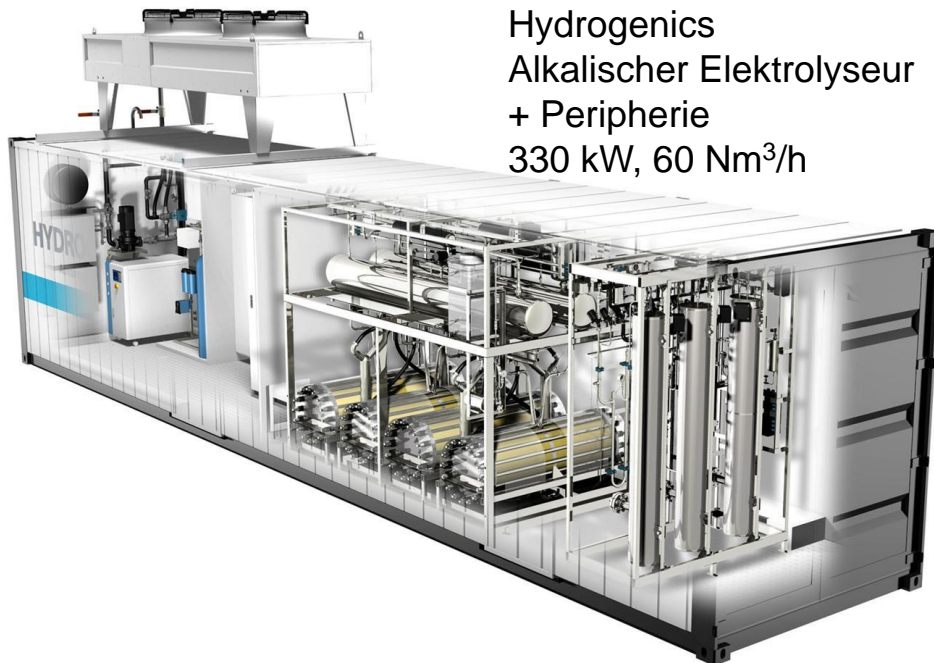
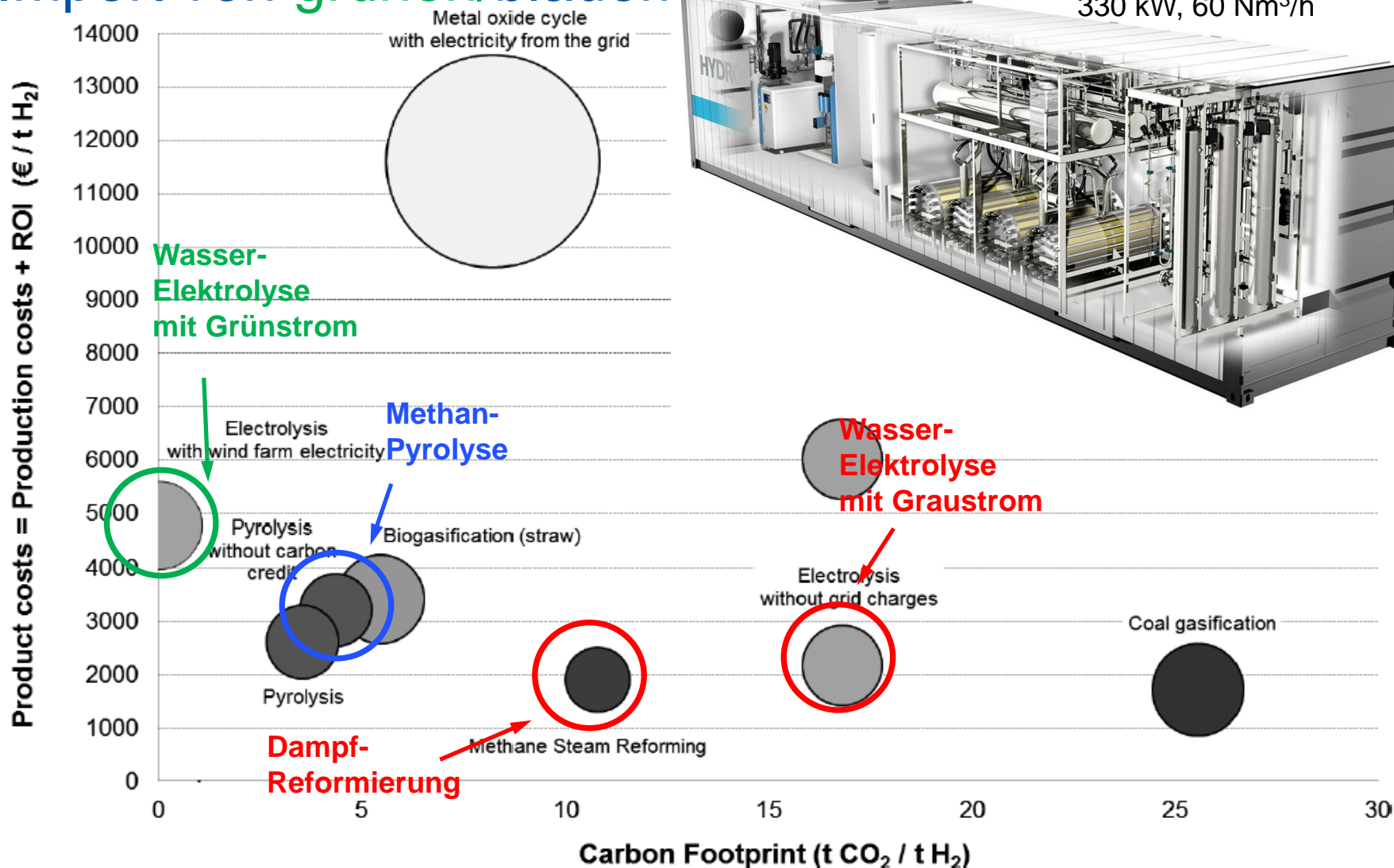
Nutzung der H2-Infrastruktur zum Import von grünem Wasserstoff



Aus Prognos AG, Kosten und Transformationspfade für strombasierte Energieträger, 2020. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, [Link zum Download](#)

Nutzung der H2-Infrastruktur Import von grünen/blauen

Hydrogenics
Alkalischer Elektrolyseur
+ Peripherie
330 kW, 60 Nm³/h

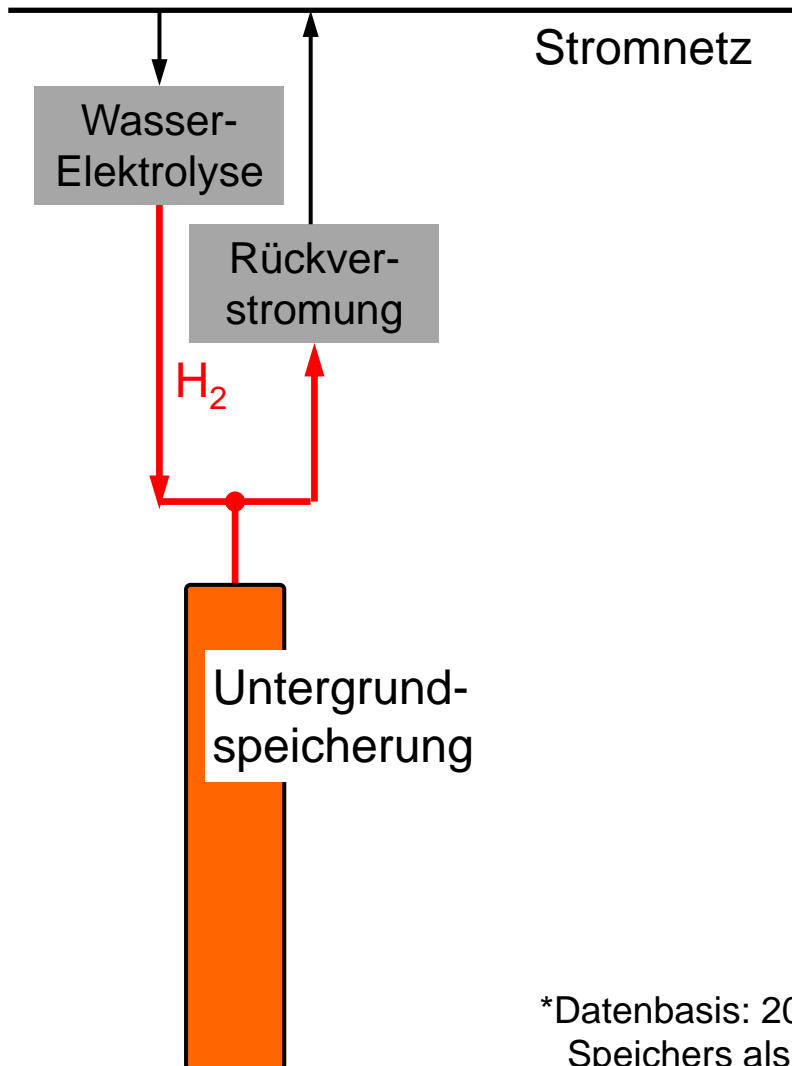


Aus Machhammer et al., Chem. Eng. Technol. 39, Abbildung 7, 1185, 2016. [Link zum Download](#)

1. Die Wandlung von erneuerbarem Strom in Wasserstoff stellt ein Lösungselement für die Defossilisierung folgender Bereiche dar
 - * Mobilität
 - * Grundstoff/Schwerindustrie
 - * Wärmesektor
2. Wasserstoff ist ein Hilfsmittel/Enabler zum Ausgleich von zeitlichen und örtlichen Unterschieden zwischen Energieverbrauch und Energiedargebot

Wasserstoff wird dabei dauerhaft in Konkurrenz zu alternativen Technologien stehen, die weniger Flexibilität aber höheren Wirkungsgrad bieten

Ausgleich von zeitlichen Unterschieden zwischen Verbrauch und Dargebot

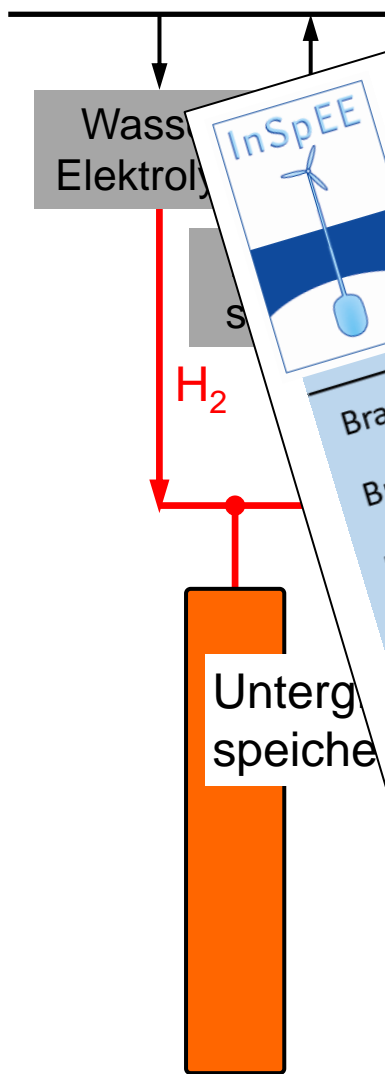


Lösungselement zur Langzeitspeicherung von erneuerbarer Energie

- Voraussetzung zur Erreichung hoher erneuerbarer Deckungsgrade; konkret: Überbrückung von sog. Dunkelflauten (10-20 Tage)
- benötigt werden hierfür Speicher mit hoher spez. Kapazität > 250 kWh/kW
- H₂-basierte Untergrundspeicherung stellt hierfür eine sinnvolle Lösung dar:
 - ökonomische Sicht*: < 5 EUR/kWh (Pumpspeicher: ≈ 50 EUR/kWh, Li-Ionen-Akku: ≈ 100 EUR/kWh)
 - Verfüg. Potential: ≈ 3.000 TWh (Pumpspeicher: ≈ 100 GWh)

*Datenbasis: 2050, berücksichtigt sind sowohl Kosten für Energieteil des Speichers als auch für den entsprechend dimensionierten Leistungsteil

Ausgleich von zeitlichen Unterschieden zwischen Verbrauch und Erzeugung



InSpEE

KBB
UNDERGROUND
TECHNOLOGIES

BGR

IGtH
Institut für Geotechnik

Potential [TWh]	CAES	Wasserstoff
Brandenburg	1,1	512
Bremen/Niedersachsen	2,1	955
Hamburg/Schleswig-Holstein	0,7	413
Mecklenburg-Vorpommern	0,6	218
Nordrhein-Westfalen	0	168
Sachsen-Anhalt	2	465
Thüringen	0,7	595
Total	7,2	3326

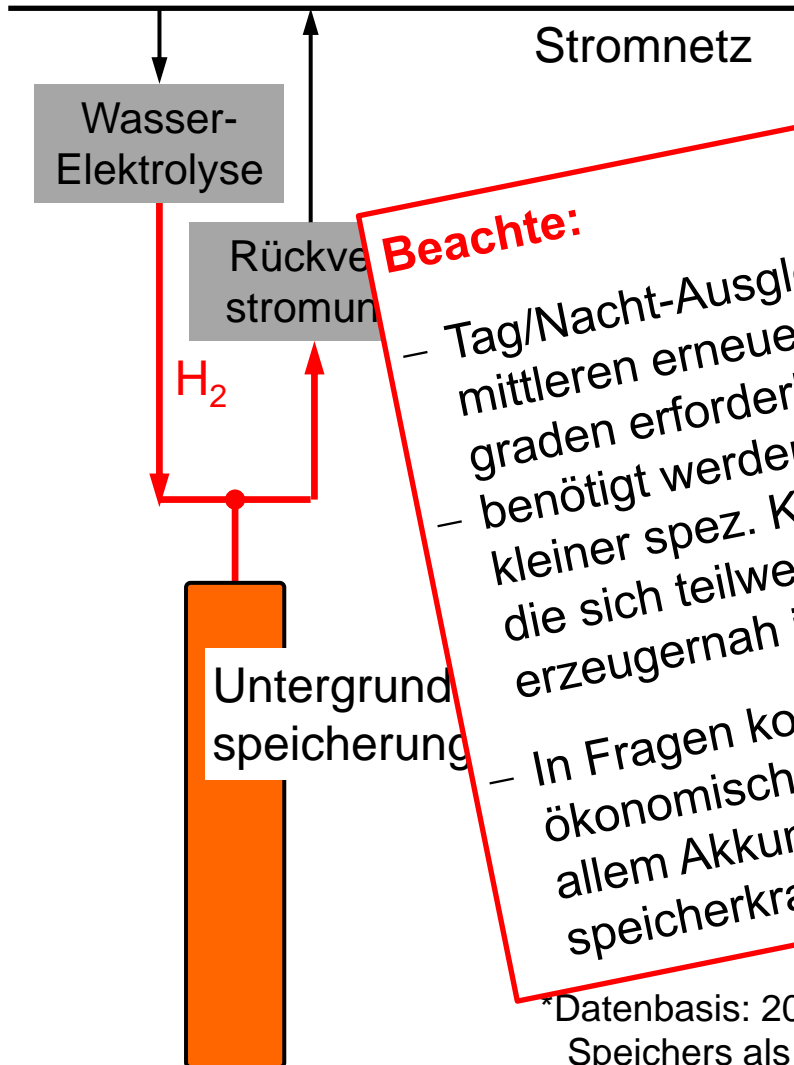
Aus InSpEE-DS - Teilprojekt Bewertungskriterien und Potenzialabschätzung (Sachbericht 03ET6062A), Tabelle 7-1, 2020 [Link zum Download](#)

Berücksichtigt sind sowohl Kosten für Energieteil des auch für den entsprechend dimensionierten Leistungsteil

zur Langzeit-erneuerbarer Energie

- Erreichung hoher Nutzungsgrade;
- Speicherung von sog. "Dunkelstunden" (mehrere Tage)
- Speicher mit hoher Kapazität (z.B. > 250 kWh/kW)
- Speicherung
- Die Lösung dar: z.B. 5 EUR/kWh
- z.B. 100 EUR/kWh
- z.B. 3326 TWh
- z.B. ≈ 100 GWh)

Ausgleich von zeitlichen Unterschieden zwischen Verbrauch und Dargebot



Lösungselement zur Langzeitspeicherung erneuerbarer Energie

Beachte:

- Tag/Nacht-Ausgleich ist bereits bei mittleren erneuerbaren Deckungsgraden erforderlich
- benötigt werden hierfür Speicher mit kleiner spez. Kapazität $\approx 10 \text{ kWh/kW}$, die sich teilweise auch anwender-/erzeugernah installieren lassen
- In Fragen kommen hierfür insb. aus ökonomischen Erwägungen* vor allem Akkumulatoren und Pumpspeicherkraftwerke

zur Erreichung hoher Deckungsgrade; Deckung von sog. (10-20 Tage) hierfür Speicher mit Kapazität $> 250 \text{ kWh/kW}$

Grundspeicherung
involle Lösung dar:
Kostent*: $< 5 \text{ EUR/kWh}$
 50 EUR/kWh ,
 100 EUR/kWh)

Potential: $\approx 1.600 \text{ TWh}$
(Pumpspeicher: $\approx 100 \text{ GWh}$)

*Datenbasis: 2050, berücksichtigt sind sowohl Kosten für Energieteil des Speichers als auch für den entsprechend dimensionierten Leistungsteil

1. Die Wandlung von erneuerbarem Strom in Wasserstoff stellt ein Lösungselement für die Defossilisierung folgender Bereiche dar
 - * Mobilität
 - * Grundstoff/Schwerindustrie
 - * Wärmesektor
2. Wasserstoff ist ein Hilfsmittel/Enabler zum Ausgleich von zeitlichen und örtlichen Unterschieden zwischen Energieverbrauch und Energiedargebot

Wasserstoff wird dabei dauerhaft in Konkurrenz zu alternativen Technologien stehen, die weniger Flexibilität aber höheren Wirkungsgrad bieten

Übersicht: Studien zur Transformation des Energiesystems mit Bezug zu H2

Auftraggeber	Jahr	Link
Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches	2013	Link
Agora Energiewende	2014	Link
Dechema	2016	Link
BASF	2016	Link
N-ERGIE	2016	Link
Leopoldina et al.	2017	Link
EnergieAgentur.NRW	2017	Link
Initiative Erdgasspeicher et al.	2017	Link
dena	2017	Link
Third Generation Environmentalism	2018	Link

Auftraggeber	Jahr	Link
dena	2018	Link
amprion	2018	Link
Bundesverband der Deutschen Industrie	2018	Link
Greenpeace	2019	Link
International Council on Clean Transportation	2019	Link
European Climate Foundation	2019	Link
Agora Energiewende	2019	Link
Forschungszentrum Jülich	2019	Link

Wasserstoff – Warum ein Molekül Kohlenstoff macht?

Richard Hanke-Rauschenbach^{1,2,3}

¹Institut für Elektrische Energiesysteme (IfES)
Fachgebiet Elektrische Energiespeichersysteme

²Leibniz Forschungszentrum Energie 2050 (LiFE 2050)

³Energieforschungszentrum Niedersachsen (EFZN)

Vielen Dank für Ihr Interesse!