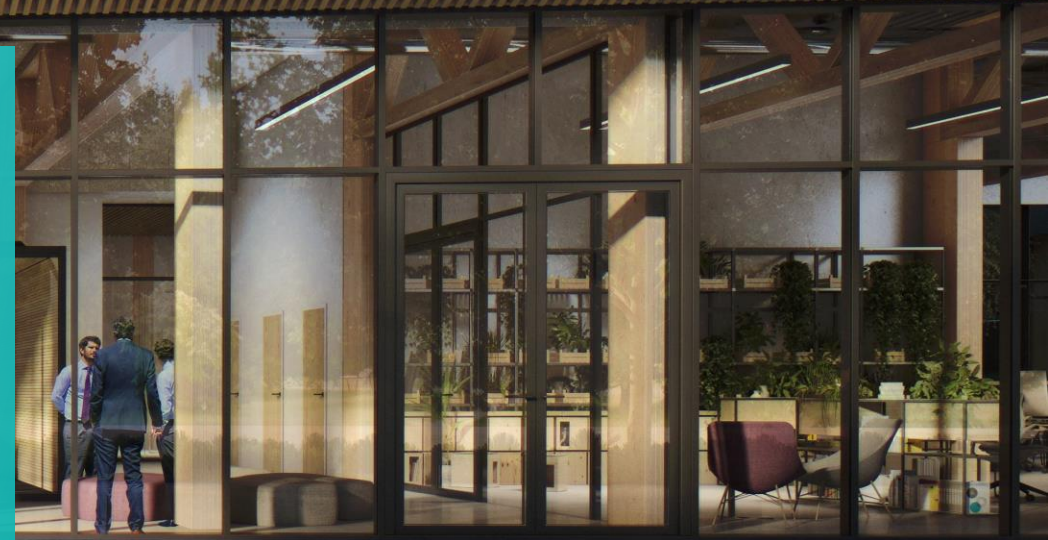


Florian Scheffler, Fraunhofer IST

Chancen und Grenzen der Energiespeichertechnologie.
Einblicke in die Batterie-, Brennstoffzellen- und
Wasserstofftechnologien

21.09.2023

Neue Energien - Produktsicherheit, Arbeits- und Umweltschutz



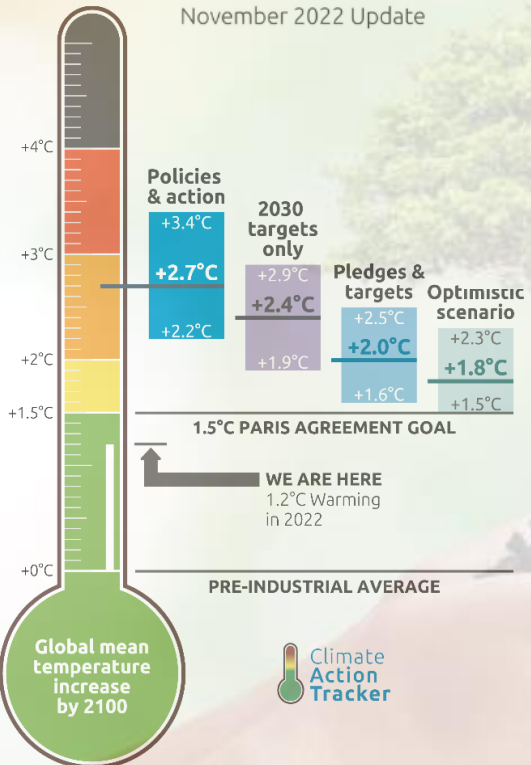
Klimaschutz & Dekarbonisierung als Menschheitsaufgabe des 21. Jahrhunderts

Prognosen zur Erderwärmung



CAT warming projections
Global temperature increase by 2100

November 2022 Update



Quelle: Climate Action Tracker (11.2022)

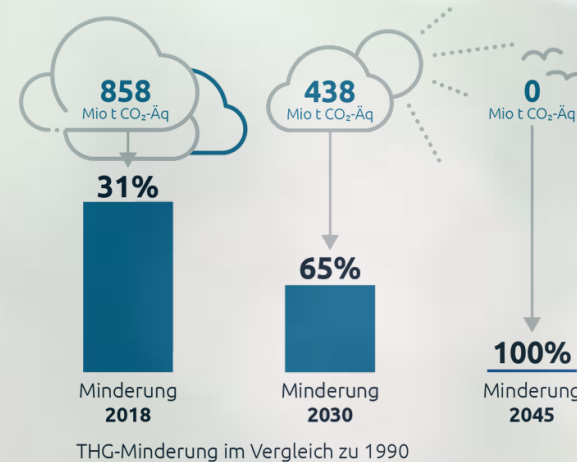
Internationale und nationale Klimaziele

European Green Deal



Quelle: VdL (06.2023)

Deutsches Klimaschutzgesetz



Quelle: Tagesspiegel (03.2022)

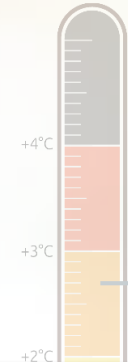
Prognosen zur E

Internatio

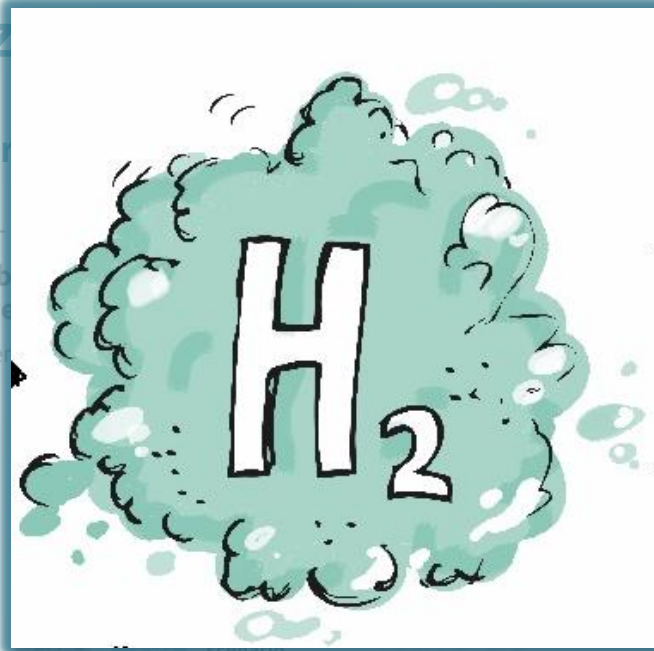
le



CAT
Glob
incr
Nove



Policies & action
+3.4°C
+2.7°C
+2.2°C



European Green Deal



Klimaschutz
Biodiversität

Nachhaltige Mobilität

Vom Holz auf den Tisch

Quelle: VdL (06.2023)

Klimaneutralität 2045 in allen Sektoren und Branchen weltweit erfordert neue Technologien

→ (grüner) Wasserstoff, Batterien und Brennstoffzellen sind ein Schlüssel zum Erfolg

increase by 2100

Tracker

Minderung 2018

Minderung 2030

100% Minderung 2045

THG-Minderung im Vergleich zu 1990

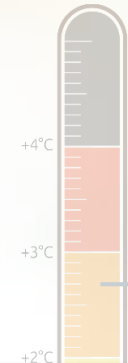
Quelle: Tagesspiegel (03.2022)

Quelle: Climate Action Tracker (11.2022)

Prognosen zur Er



CAT
Glob
incr
Nove



Policies & action
+3.4°C
+2.7°C
+2.2°C



European Green Deal

Internatio



Klimaschutz
Biodiversität

Nachhaltige Mobilität

Vom Hof auf den Tisch

Quelle: VdL (06.2023)

Welche Chancen und Herausforderungen bestehen beim Hochlauf der klimafreundlichen Wasserstoffwirtschaft?

Wo sollte Wasserstoff priorisiert eingesetzt werden?

increase by 2100

Tracker

Minderung 2018

Minderung 2030

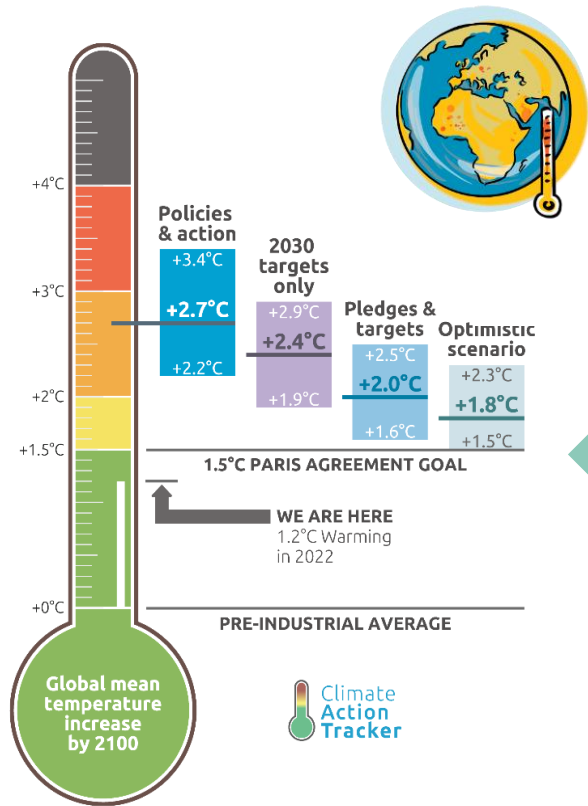
100% Minderung 2045

THG-Minderung im Vergleich zu 1990

Quelle: Tagesspiegel (03.2022)

Quelle: Climate Action Tracker (11.2022)

Wasserstoff als globaler Hoffnungsträger zur Erreichung der Klimaziele

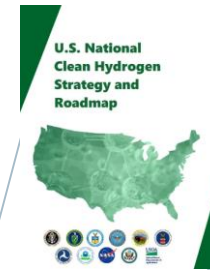


2017
Global nur eine
H₂-Strategie: Japan

Stand 2022
Global mehr als
30 H₂-Strategien



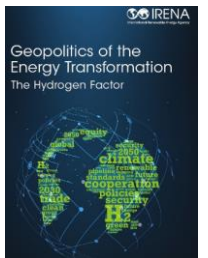
06/2023
U.S. National Clean
Hydrogen Strategy
and Roadmap



06/2020
H₂-Strategie
Deutschland



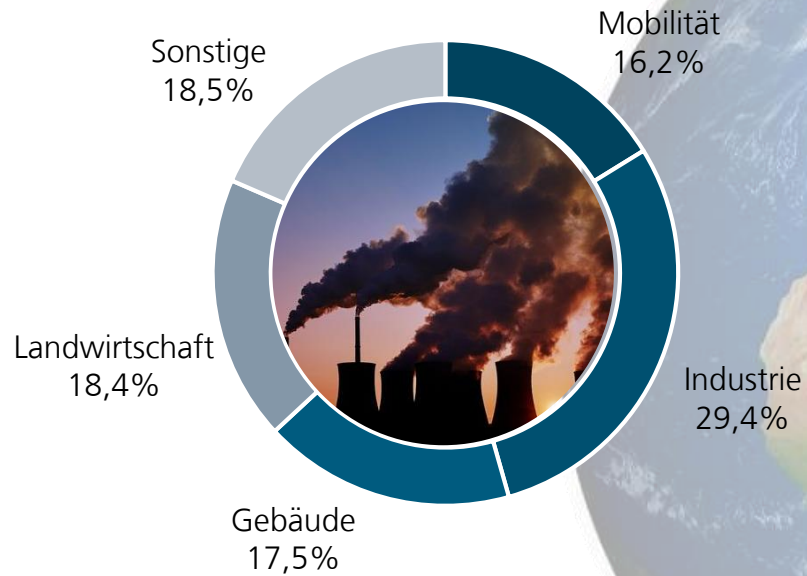
Source: Bloomberg (2021b) and WEC (2021). Map source: Natural Earth, 2021



“Hydrogen, until now the missing piece of the clean energy puzzle, is likely to further disrupt energy value chains in coming years” (IRENA 2022: Geopolitics of the Energy Transformation)

Die Bedeutung des Wasserstoff Hypes für den industriellen Sektor

Globale Treibhausgasemissionen nach Sektoren



“Hydrogen is the hottest buzzword in energy at the moment, after the European Commission pledged to devote significant part of its € 750 billion recovery fund to support clean hydrogen gas.”

-European Council for an Energy Efficient Economy

Wasserstoff

Explosives Gas als Energieträger der Zukunft

Wasserstoff hinterlässt beim Verbrennen praktisch keine Abgase. Das macht das Gas zum idealen Ersatz für Kohle, Öl und Erdgas in Industrie und Verkehr. Deutschland soll in der Wasserstoff-Technologie einen Spitzenplatz einnehmen.

Bayrischer Rundfunk

Pressemitteilung Salzgitter AG

Salzgitter AG erhält Bescheid für staatliche Förderung des SALCOS®-Programms zur CO₂-armen Stahlproduktion

18.04.2023 | Pressemeldung der Salzgitter AG

- Bundeswirtschaftsminister Dr. Robert Habeck und Stephan Weil, Ministerpräsident Niedersachsen, übergeben finalen Bescheid auf der Hannover Messe

Wasserstoff-Sicherheit

Allgemein:

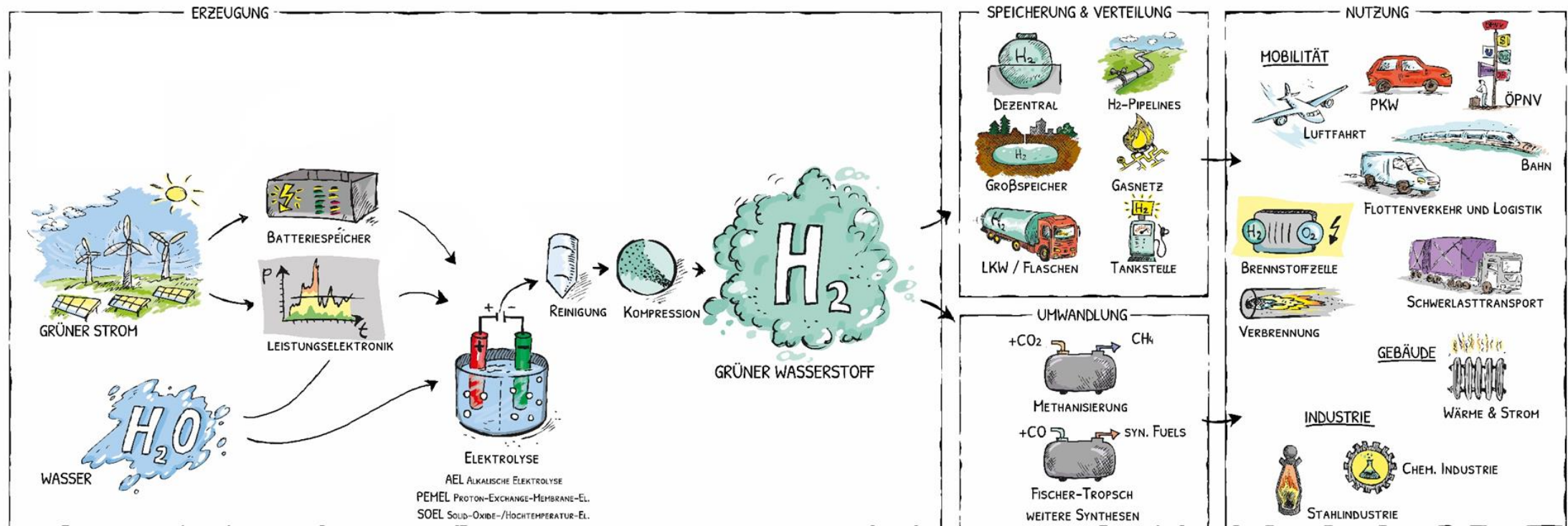
Wasserstoff ist geruchlos, farblos und geschmacklos, so dass er von den menschlichen Sinnen nicht wahrgenommen werden kann. Er kann aufgrund seiner hohen Flüchtigkeit, nicht mit Geruchsstoffen versetzt werden.¹



Anwendung Wasserstoff	Potentielle Risikofaktoren ¹	Maßnahme
Nutzung als Brennstoff	<ul style="list-style-type: none">Als Brennstoff ist Wasserstoff nicht gefährlicher als andere Brennstoffe. Aber dadurch, dass er nicht wahrzunehmen ist, können Wasserstofflecks unbemerkt bleiben, was in geschlossenen Räumen gefährlich sein kann.Wasserstoff brennt mit einer blassblauen Flamme, die bei Tageslicht fast unsichtbar ist.Wasserstoff hat einen weiten Entflammbarkeitsbereich von 4 bis 75%, so dass Lecks jeder Größenordnung ein Problem darstellen.	<ul style="list-style-type: none">Sensoren
Speicherung in Hochdrucktanks	<ul style="list-style-type: none">Wasserstoff hat unter atmosphärischem Druck eine geringe Dichte. Er kann unter Hochdruck gespeichert werden und ist daher potenziell gefährlich.	<ul style="list-style-type: none">Spezielle Lagerbehälter und Druckentlastungsvorrichtungen
Flüssigspeicherung	<ul style="list-style-type: none">Wasserstoff hat eine niedrige Verflüssigungstemperatur (-252,9°C), so dass kryogene Verbrennungen und Lungenschäden möglich sind.Wasserstoff unterliegt einem schnellen Phasenwechsel von flüssig zu gasförmig, so dass Druckexplosionen möglich sind.	<ul style="list-style-type: none">persönliche Schutzausrüstung und LeckageerkennungssystemeSystemdesign und Druckentlastungsvorrichtungen

Quelle: 1: [Text Version: Introduction to Hydrogen for Code Officials \(energy.gov\)](#)

Die Wasserstoff-Wertschöpfungskette birgt (noch) viele Herausforderungen



Wie kann grüner Wasserstoff erzeugt werden?

Wo leistet Wasserstoff den größten Beitrag zum Klimaschutz?

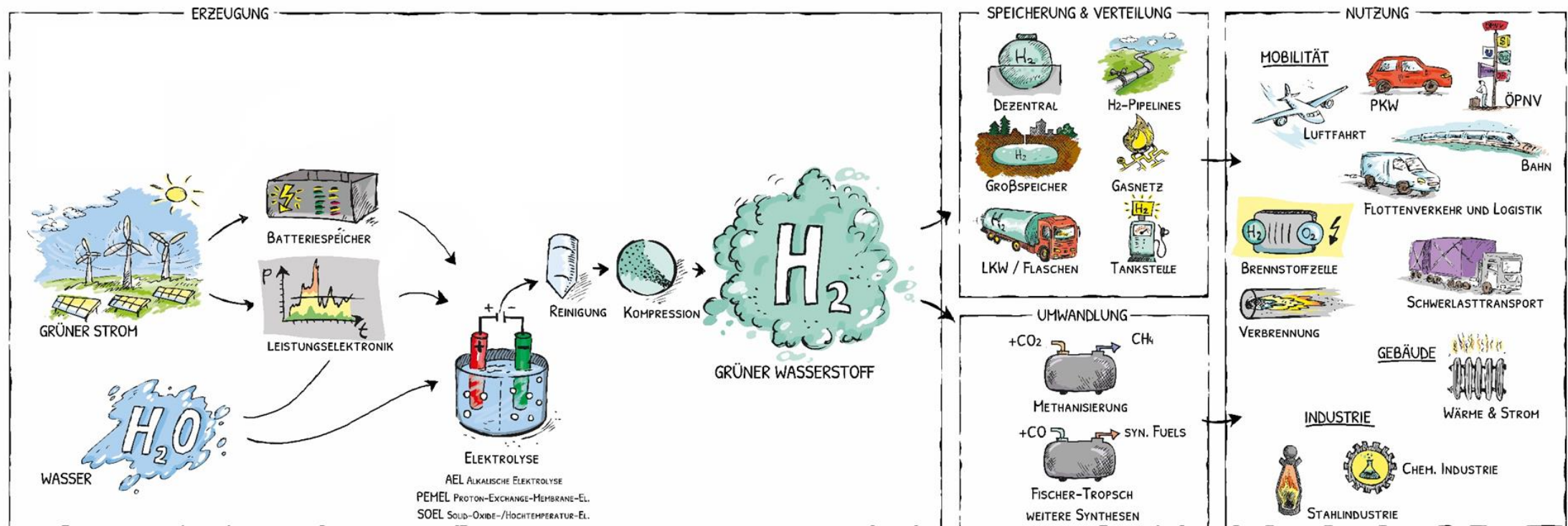
Wie entwickelt sich der Bedarf und kann dieser gedeckt werden?

Wie können die Kosten für grünen Wasserstoff reduziert werden?

Wie kommt der Wasserstoff vom Erzeuger zum Verbraucher?

Welche Chancen hat H₂ im Mobilitätssektor im Vgl. zu Batterielösungen?

Die Wasserstoff-Wertschöpfungskette birgt (noch) viele Herausforderungen



Wie kann grüner Wasserstoff erzeugt werden?

Wo leistet Wasserstoff den größten Beitrag zum Klimaschutz?

Wie entwickelt sich der Bedarf und kann dieser gedeckt werden?

Wie können die Kosten für grünen Wasserstoff reduziert werden?

Wie kommt der Wasserstoff vom Erzeuger zum Verbraucher?

Welche Chancen hat H_2 im Mobilitätssektor im Vgl. zu Batterielösungen?

Der Weg zur kohlenstoffarmen Wasserstoffwirtschaft

Farbenlehre beschreibt die Herstellungsrouten mit unterschiedlichen CO₂-Emissionsfaktoren

Grauer Wasserstoff

Gewinnung aus: **fossilen Kohlenwasserstoffen**
Verfahren: **Dampfreformierung (Erdgas), Kohlevergasung**

CO₂-Emissionsfaktor:
ca. 10 t_{CO2}/t_{H2} (aus Erdgas),
ca. 18 t_{CO2}/t_{H2} (aus Kohle)

Blauer Wasserstoff

Gewinnung aus: **fossilen Kohlenwasserstoffen**
Verfahren: **Dampfreformierung und CO₂-Abscheidung/-speicherung (CCS)**

CO₂-Emissionsfaktor: **< 1 t_{CO2}/t_{H2}**
bei **CO₂-Abscheidung von bis zu 90%**
(technisch heute möglich) ¹

Türkiser Wasserstoff

Gewinnung aus: **Methan**
Verfahren: **Methanpyrolyse**
(bisher nicht marktreif)

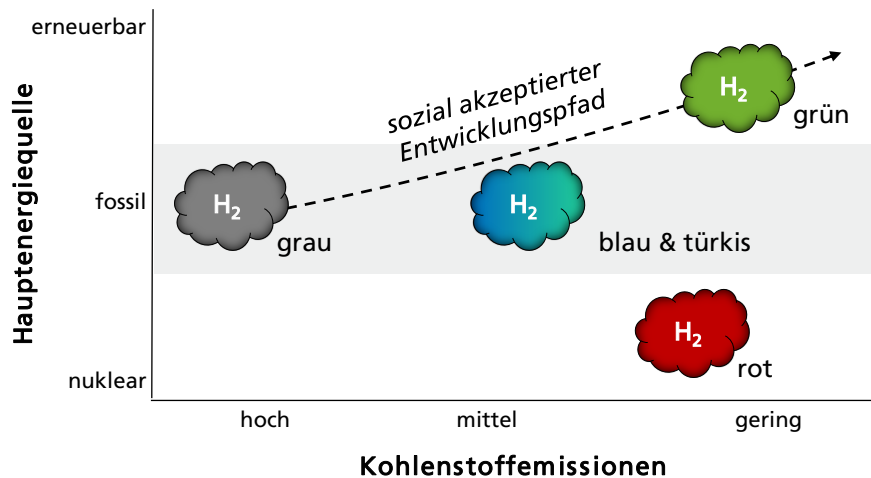
CO₂-Emissionsfaktor:
CO₂-Neutralität möglich

Grüner Wasserstoff

Gewinnung aus: **Wasser**
Verfahren: **Elektrolyse** unter Nutzung von 100 % erneuerbarer Energie

CO₂-Emissionsfaktor: **CO₂-frei**

Quellen: BMWi 2020, ¹IEA 2019



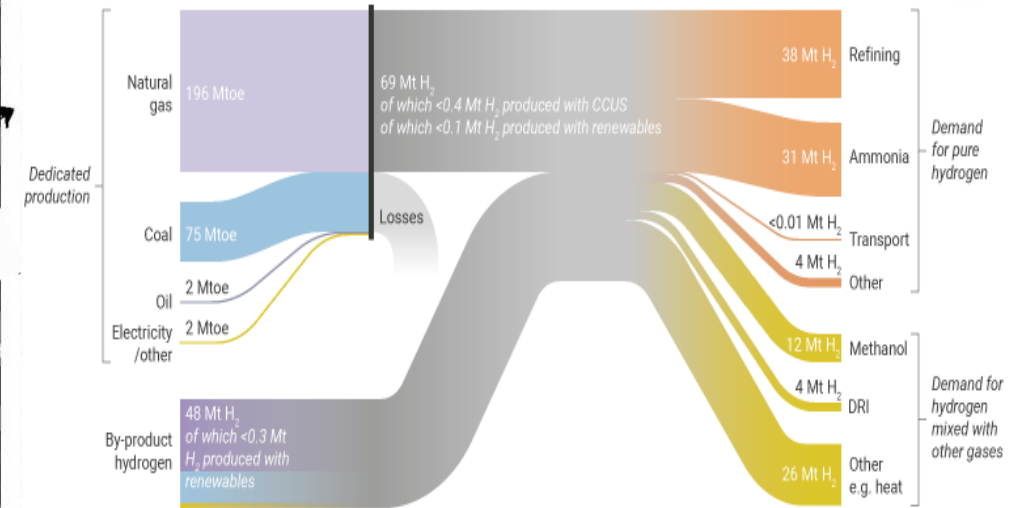
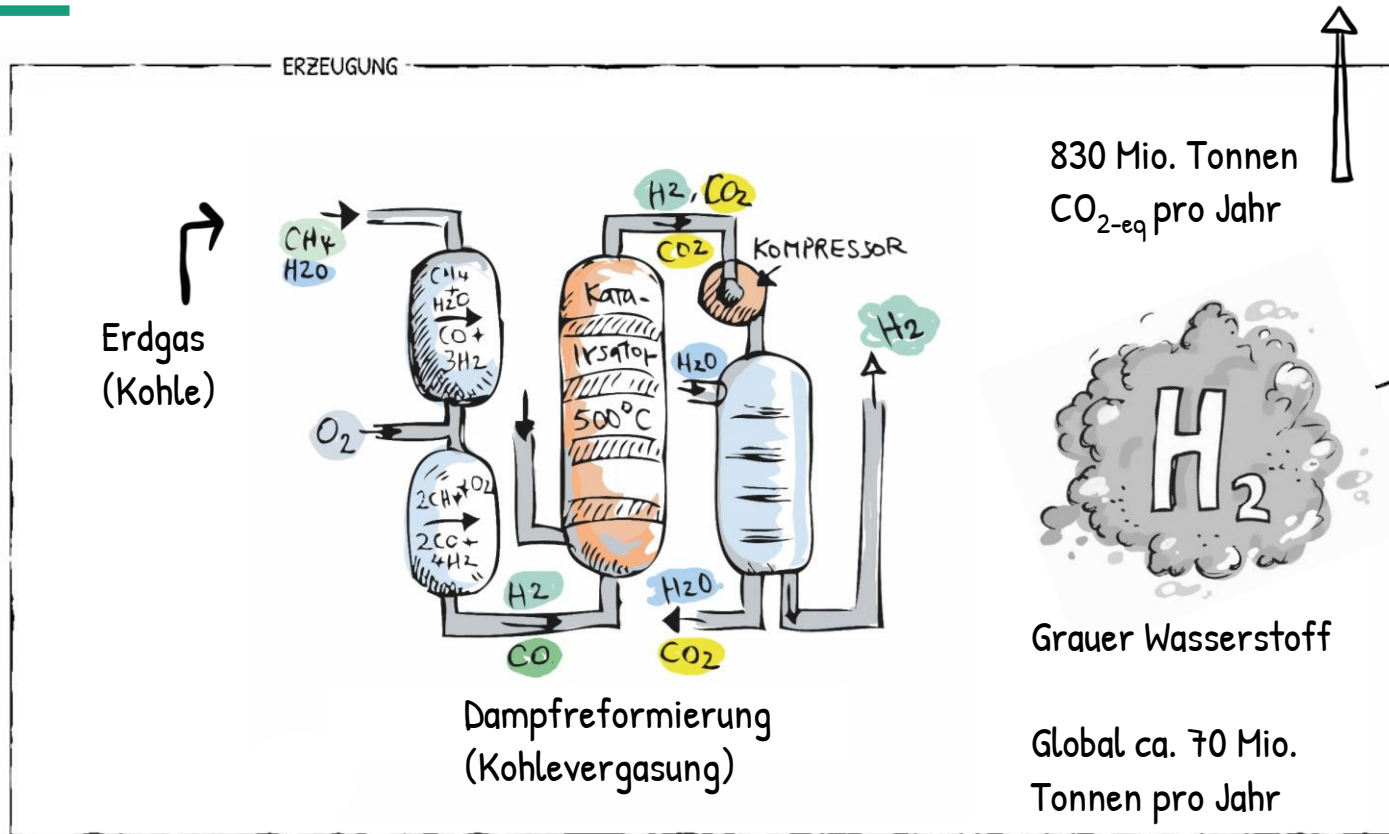
Handel und Einsatz von kohlenstoffarmem Wasserstoff erfordert **einheitliche Zertifizierung, Herkunftsnachweise und internationale Standards**

- *CertifHy Low-Carbon Hydrogen*: **max. 4,4 t_{CO2}/t_{H2}**
- *CertifHy Green Hydrogen*: **0 t_{CO2}/t_{H2}**

Quelle: www.certifhy.eu

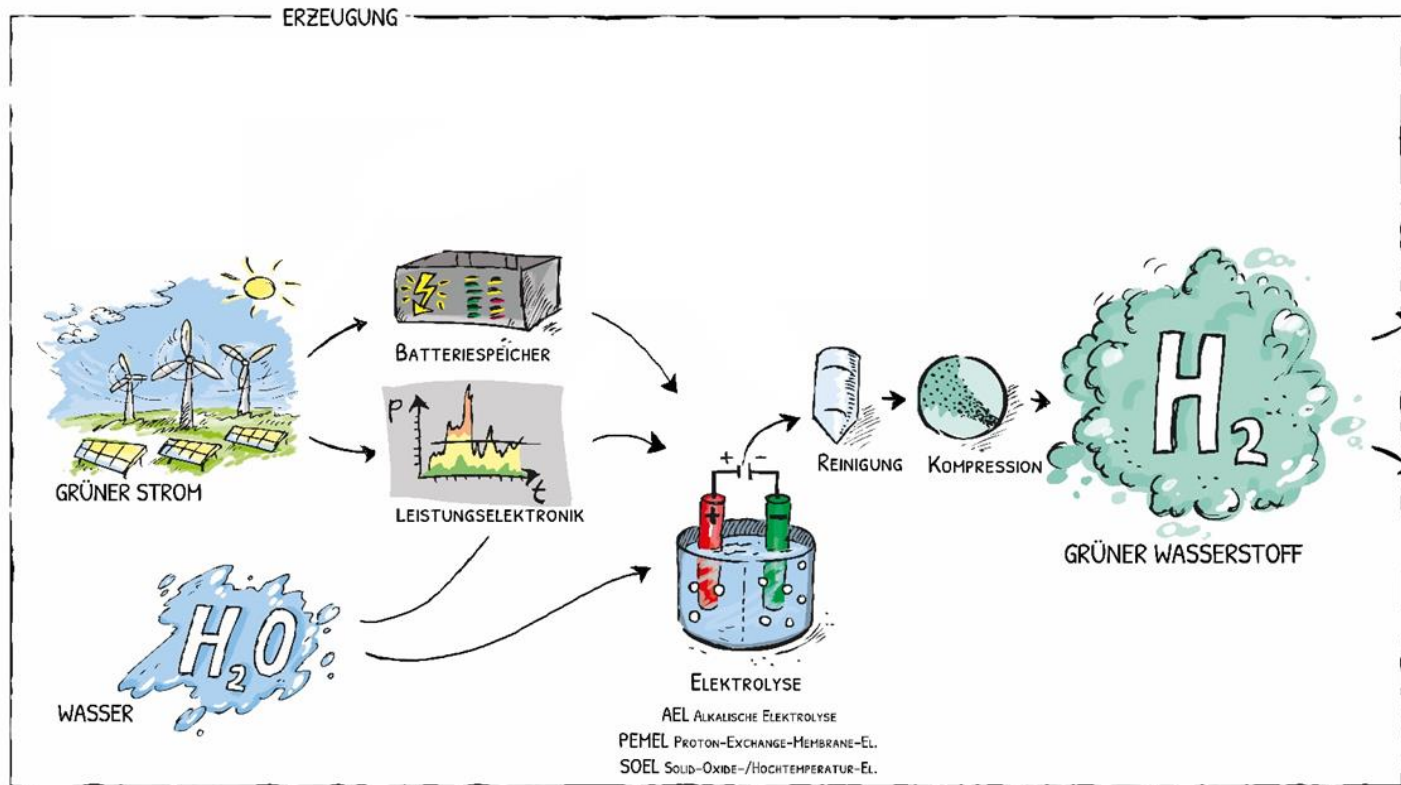
Quelle: Imdahl et al. 2021

Die heutige (graue) Wasserstoffwirtschaft basiert auf fossilen Energieträgern



Heutige H₂-Erzeugung emittiert ca. 830 Mio. t_{CO2-eq}/a

Grüner Wasserstoff als Hoffnungsträger der Energiewende



Grüner Wasserstoff wird durch das **Elektrolyse-Verfahren hergestellt**, indem **Wasser** mit Hilfe von **Strom** aus **ausschließlich erneuerbaren Energien** in seine Bestandteile Sauerstoff und **Wasserstoff** aufgespalten wird.

Die Produktion erfolgt somit **CO₂-frei**, da nur **Strom aus 100% erneuerbaren Quellen** eingesetzt wird.

Für **eine Tonne H₂** werden in modernen Elektrolyseuren ca. **51 MWh Strom** eingesetzt (elektr. Wirkungsgrad von 65%_{LHV})

Grüner Wasserstoff steht im Fokus der H₂-Strategien in EU & GER

Die Elektrolisetchnologien

Status & Vor- und Nachteile

Alkalische-Elektrolyse (AEL)

Protonen-Austauschmembran-Elektrolyse (PEMEL)

Schema einer PEM-Elektrolyse (Stack + Balance-of-Plant)⁷

Technologiereifegrad¹

Vorteile

Nachteile

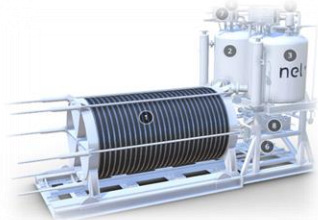
Status

Betriebstemperatur
Systemwirkungsgrad
(heute → Potenzial)²

CAPEX (heute)

- **TRL 9**
- Hohe Stack-Lebensdauer
- Kaliumhydroxid als Elektrolytlösung (Recycling), Platzbedarf
- Anlagen in Planung/Realisierung bis 30 MW_{el}
- 70 - 90 °C
- **64 % → > 74 %**
- **500 – 1.000 €/kW_{el}**⁶

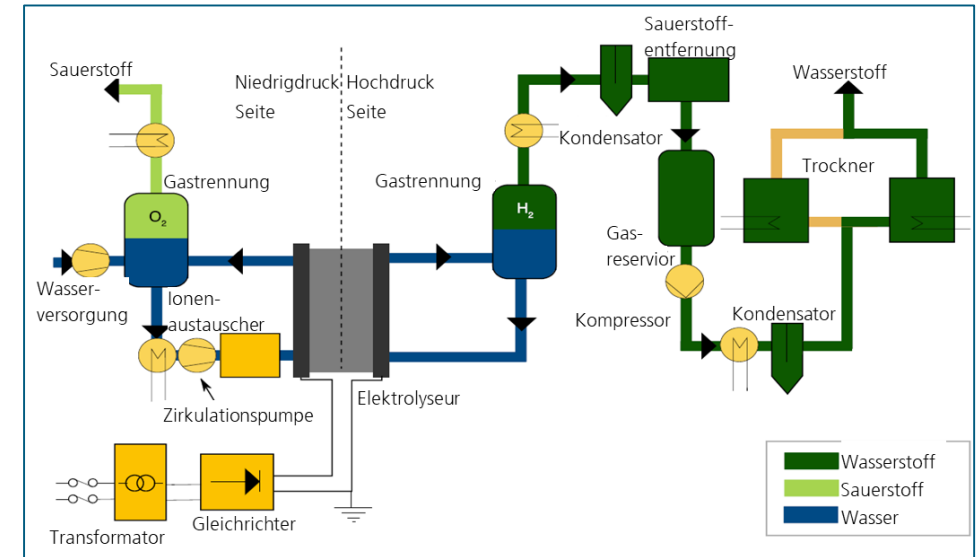
- **TRL 9**
- dynamischer Betrieb, weiter Lastbereich, hoher Ausgangsdruck, Wasser als Elektrolyt
- Membran- u. Elektrodenmaterial aus Platinmetallen
- Zunehmend dominierende Technologie, Anlagen in Realisierung bis 20 MW_{el}
- 50 - 80 °C
- **65% → > 74 %**
- **700 – 1.400 €/kW_{el}**⁶



AEL (2,2 MW_{el}) Nel Hydrogen⁴



PEMEL (10 MW_{el} - 4,6 t/Tag) H-TEC Systems⁵



Quellen: ¹ Fraunhofer ISI & ISE H₂-Roadmap 2019, ² IEA 2019, ⁴ www.nelhydrogen.com, ⁵ www.h-tec.com, ⁶ Chatenet et al. 2022 <https://doi.org/10.1039/D0CS01079K>, ⁷ Abb. Aus IRENA (2020)

Die Elektrolisetchnologien

Status & Vor- und Nachteile

Alkalische-Elektrolyse (AEL)

Protonen-Austauschmembran-Elektrolyse (PEMEL)

Hochtemperatur-Elektrolyse (HTEL) bzw. Feststoffoxid-Elektrolyse

Anion-Austauschmembran-Elektrolyse (AEM)

Technologiereifegrad¹

Vorteile

Nachteile

Status

Betriebstemperatur
Systemwirkungsgrad
(heute → Potenzial)²

CAPEX (heute)

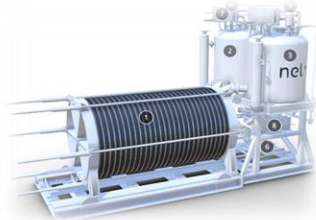
- **TRL 9**
- Hohe Stack-Lebensdauer

- Kaliumhydroxid als Elektrolytlösung (Recycling), Platzbedarf

- Anlagen in Planung/Realisierung bis 30 MW_{el}

- 70 - 90 °C
- **64 % → > 74 %**

- **500 – 1.000 €/kW_{el}**⁶



AEL (2,2 MW_{el}) Nel Hydrogen⁴

- **TRL 9**
- dynamischer Betrieb, weiter Lastbereich, hoher Ausgangsdruck, Wasser als Elektrolyt
- Membran- u. Elektrodenmaterial aus Platinmetallen
- Zunehmend dominierende Technologie, Anlagen in Realisierung bis 20 MW_{el}

- 50 - 80 °C
- **65% → > 74 %**

- **700 – 1.400 €/kW_{el}**⁶



PEMEL (10 MW_{el} - 4,6 t/Tag) H-TEC Systems⁵

- **TRL 7-8**
- Keramischer Elektrolyt und geringe Materialkosten, hohe Effizienz bei Integration von Abwärme
- (noch) niedrige Stack-Lebensdauer
- Weltweit größte Anlage (2,6 MW_{el}) „MultiPLHY“ bei Neste's Raffinerie in Rotterdam (2023)

- 700 - 850 °C
- **> 66 % → > 83 %**

- **2.800 – 5.600 €/kW_{el}**



HTEL 0,7 MW_{el} von Sunfire (Salzgitter AG)

- **TRL 7-8**
- Durch die alkalische Umgebung wird die Verwendung von unedlen Katalysatoren wie Nickel oder Eisen ermöglicht.
- (noch) niedrige Lebensdauer (Polymermembran) und Effizienz
- Weltweit größte Anlage 1 MW_{el} an der FH Münster (2023)

- 40 - 60 °C
- **58 % → > 74 %**

- **Wenige Referenzen**



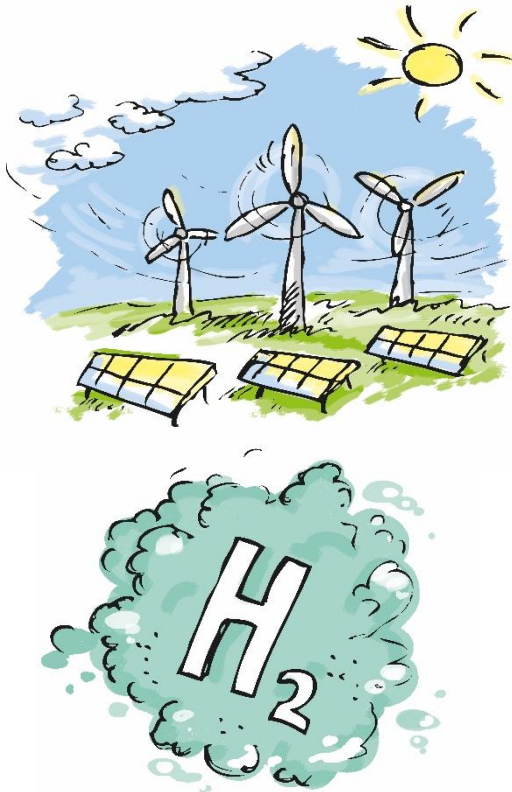
AEM Enapter 1 MW bei der FH Münster⁷

Quellen: ¹ Fraunhofer ISI & ISE H₂-Roadmap 2019, ² IEA 2019, ³ www.sunfire.de, ⁴ www.nelhydrogen.com, ⁵ www.h-tec.com, ⁶ Chatenet et al. 2022 <https://doi.org/10.1039/D0CS01079K>,

⁷ www.h2-news.eu

Strom- und Wasserbedarf für die Erzeugung von grünem Wasserstoff

Strombedarf: 51 - 56 kWh/kg_{H2}

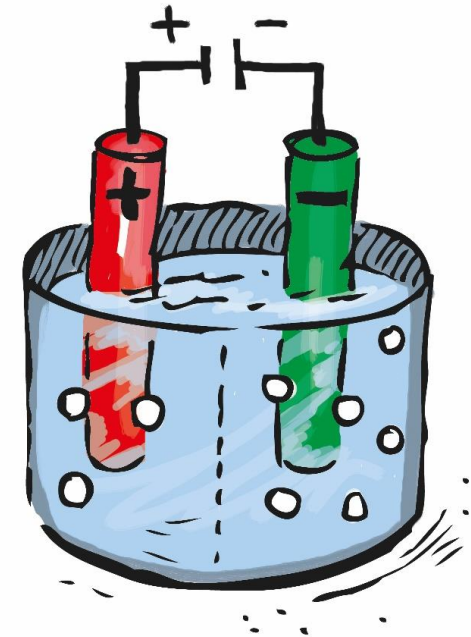


Heizwert: 33,33 kWh/kg_{H2}

$$\text{Strombedarf} = \frac{\text{Heizwert } H_2}{\text{Wirkungsgrad}}$$

Wasser-Elektrolyse

(ca. 10 kg VE-Wasser pro kg H₂)



- Elektr. Wirkungsgrad (System): ca. 60 - 65%¹ (Für PEM- und Alkalische Elektrolyse)
- Potenzial 2050: > 73%

¹ Für PEMEL, AEL (IEA 2019)

Beispiel: Strombedarf einer Elektrolyse-Anlage in Niedersachsen

Strombedarf: 51 - 56 kWh/kg_{H2}

- Erforderlich: 300.000 MWh_{el} grüner Strom mit Onshore-Windenergie in Niedersachsen
- Entspricht: 120 MW_{el} (Gesamtleistung)



Entspricht 35
Windenergieanlagen

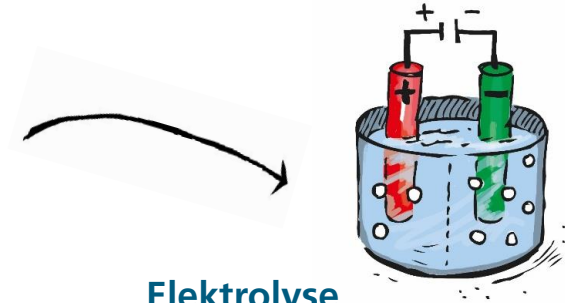
Zubau Onshore-Wind im Jahr 2022

Niedersachsen

- 99 Windenergieanlagen
- Netto-Zubauleistung = 425 MW_{el} (inkl. Rückbau)



Onshore-Wind



Elektrolyse
Mit 3.000 Betriebsstunden (Volllast)

Zukünftige, industrielle Elektrolyse-Anlage

- Elektrische Nennleistung: 100 MW_{el}

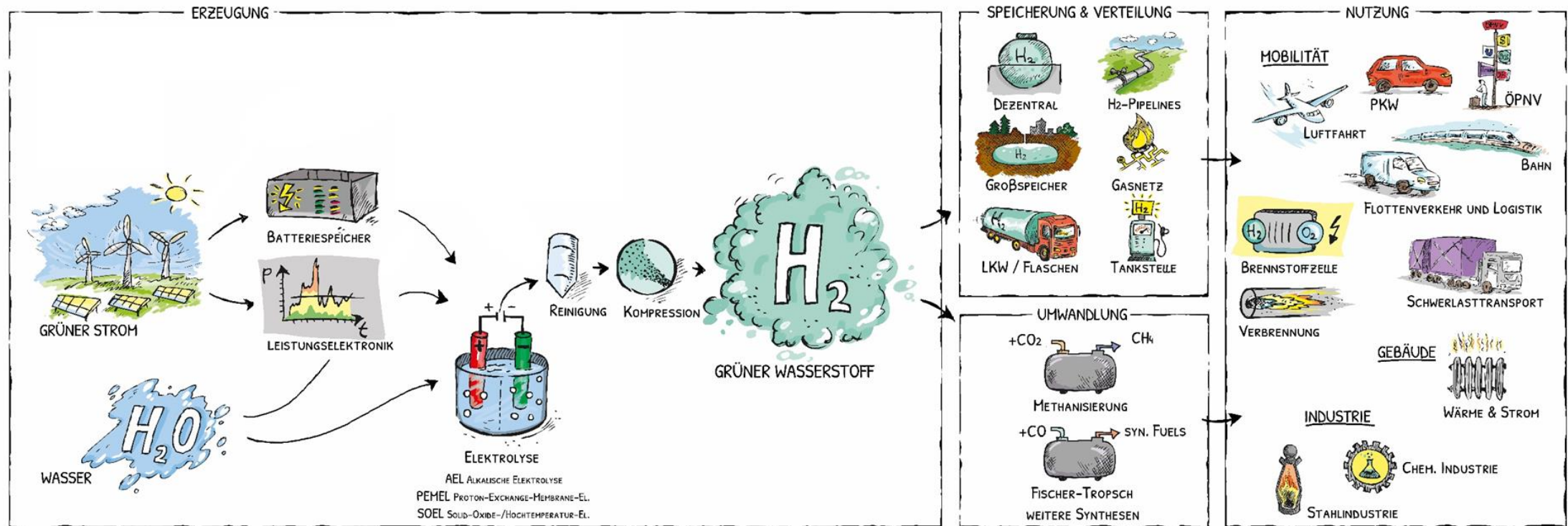


H₂-Erzeugung pro Jahr: ca. 5.400 t_{H2} (180.000 MWh_{H2})

Annahme Elektrolyse: 3.000 Nennlast-Betriebsstunden pro Jahr, Wirkungsgrad 60%; Annahme Wind-Onshore Niedersachsen: 2.500 Volllaststunden pro Jahr; Durchschnittliche Anlagenleistung 3,4 MW_{el}

Quelle: Status des Windenergieausbaus an Land in Deutschland – Jahr 2022, Deutsche WindGuard

Die Wasserstoff-Wertschöpfungskette birgt (noch) viele Herausforderungen



Wie kann grüner Wasserstoff erzeugt werden?

Wo leistet Wasserstoff den größten Beitrag zum Klimaschutz?

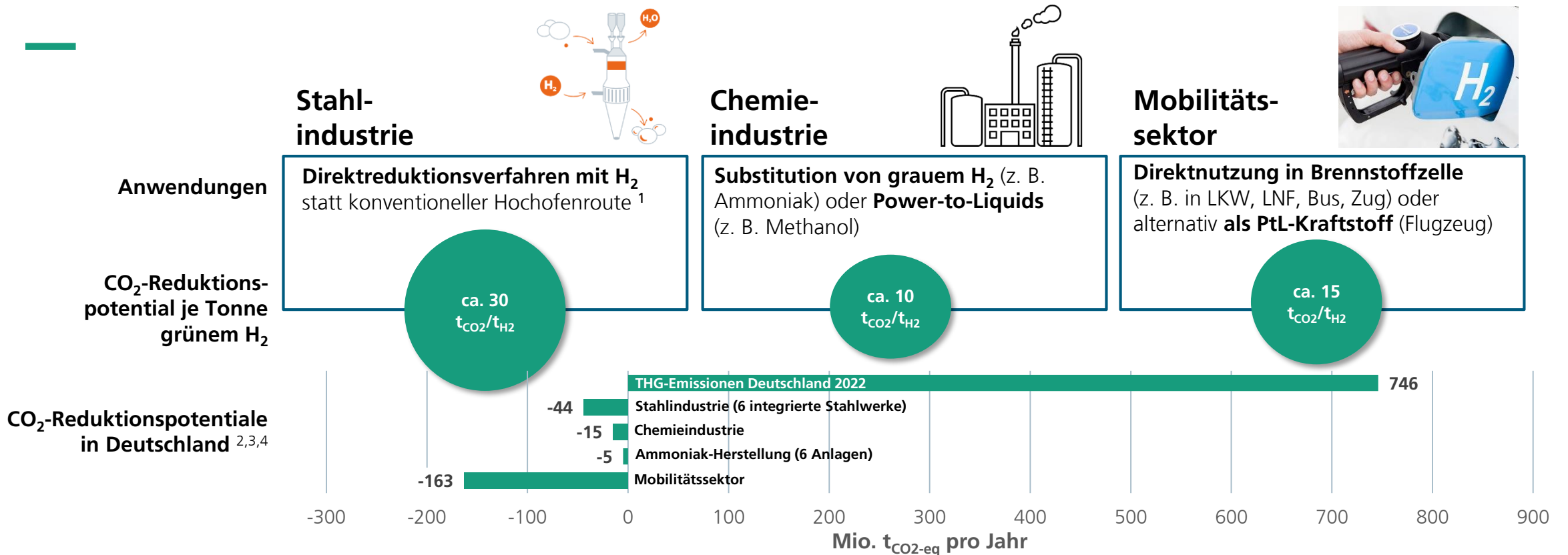
Wie entwickelt sich der Bedarf und kann dieser gedeckt werden?

Wie können die Kosten für grünen Wasserstoff reduziert werden?

Wie kommt der Wasserstoff vom Erzeuger zum Verbraucher?

Welche Chancen hat H_2 im Mobilitätssektor im Vgl. zu Batterielösungen?

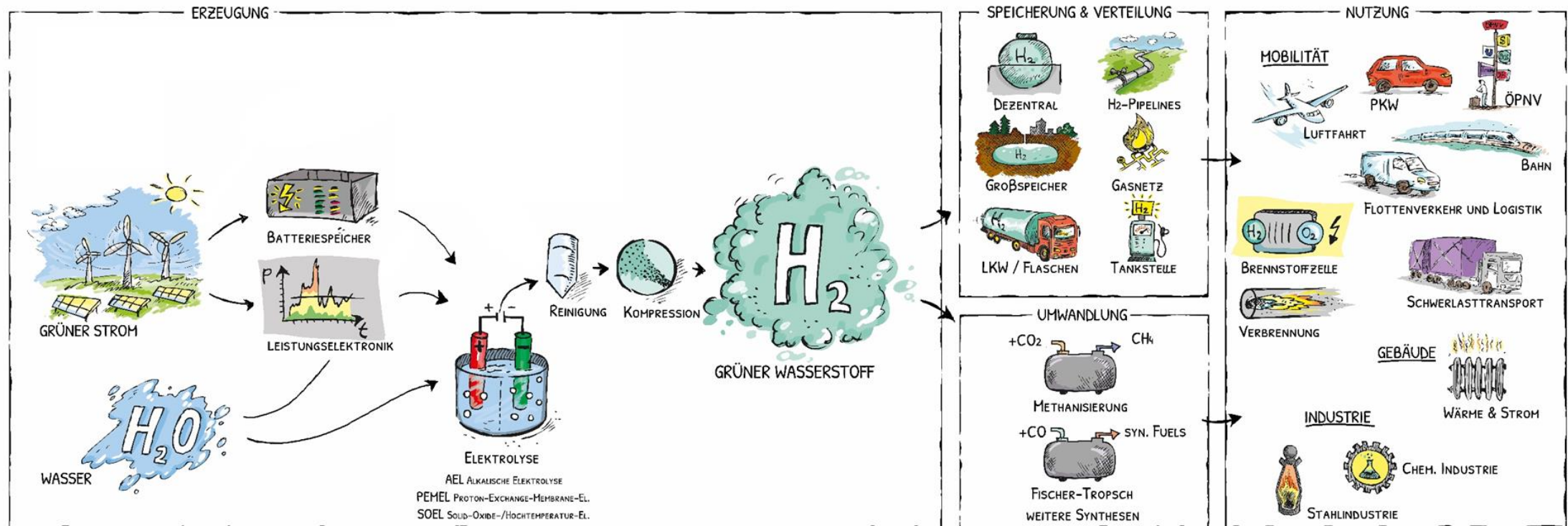
Priorisierung der industriellen H₂-Anwendung erscheint derzeit sinnvoll



- **Effektivster Einsatz zur Dekarbonisierung im Stahlsektor, aber hohe Anlageninvestitionen**
- **Kurzfristiger Einsatz in der Chemieindustrie sinnvoll, da direkte Substitution von grauem H₂**
- **Hohes Potential für begrenzt elektrifizierbare Mobilitätsanwendungen (Schwerlast, Bahn, Flugzeug)**

Quellen: ¹Agora Energiewende 2019, ²Fraunhofer ISE H₂-Roadmap 2019, ³www.umweltbundesamt.de, ⁴WWF 2023 The Dirty Thirty, Bild: www.salcos.salzgitter-ag.com

Die Wasserstoff-Wertschöpfungskette birgt (noch) viele Herausforderungen



Wie kann grüner Wasserstoff erzeugt werden?

Wo leistet Wasserstoff den größten Beitrag zum Klimaschutz?

Wie entwickelt sich der Bedarf und kann dieser gedeckt werden?

Wie können die Kosten für grünen Wasserstoff reduziert werden?

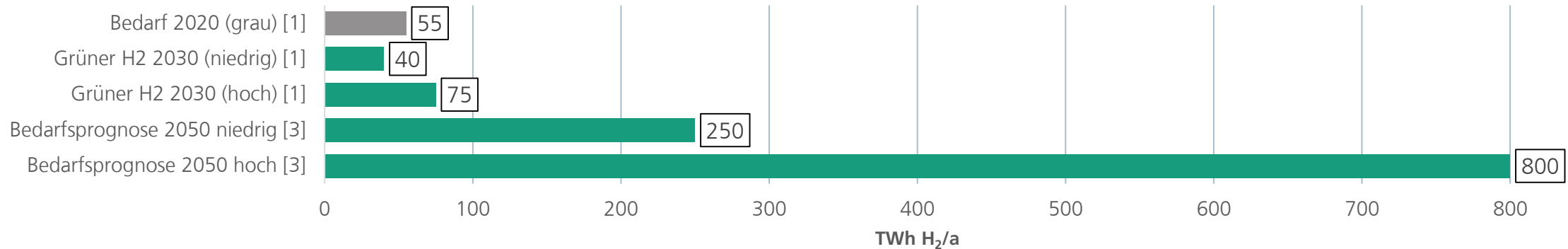
Wie kommt der Wasserstoff vom Erzeuger zum Verbraucher?

Welche Chancen hat H_2 im Mobilitätssektor im Vgl. zu Batterielösungen?

Aktueller Wasserstoffbedarf in Deutschland und Prognosen bis 2050

Deutscher Wasserstoffbedarf (2020)¹

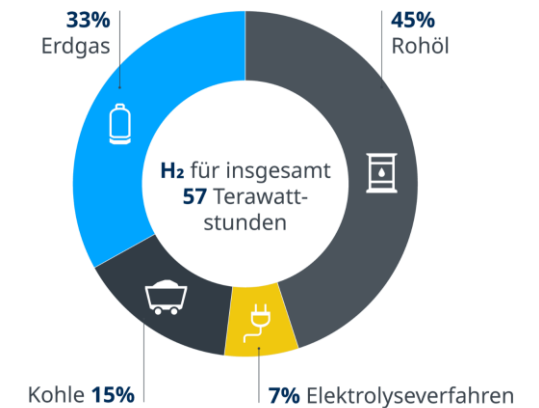
- Jährlich ca. **1,6 Mio. t_{H2}** bzw. **55 TWh_{H2}** (ca. 2% des globalen Bedarfs)



- Einsatz hpts. Petrochemie (Herstellung konventioneller Kraftstoffe) und Grundstoffchemie (Herstellung von Ammoniak, Methanol etc.)
- Deckung fast ausschließlich durch grauen Wasserstoff

- **Verdoppelung der H₂-Nachfrage bis 2030** erwartet
- **Entwicklung bis 2050 mit großer Unsicherheit je nach Studiendesign**

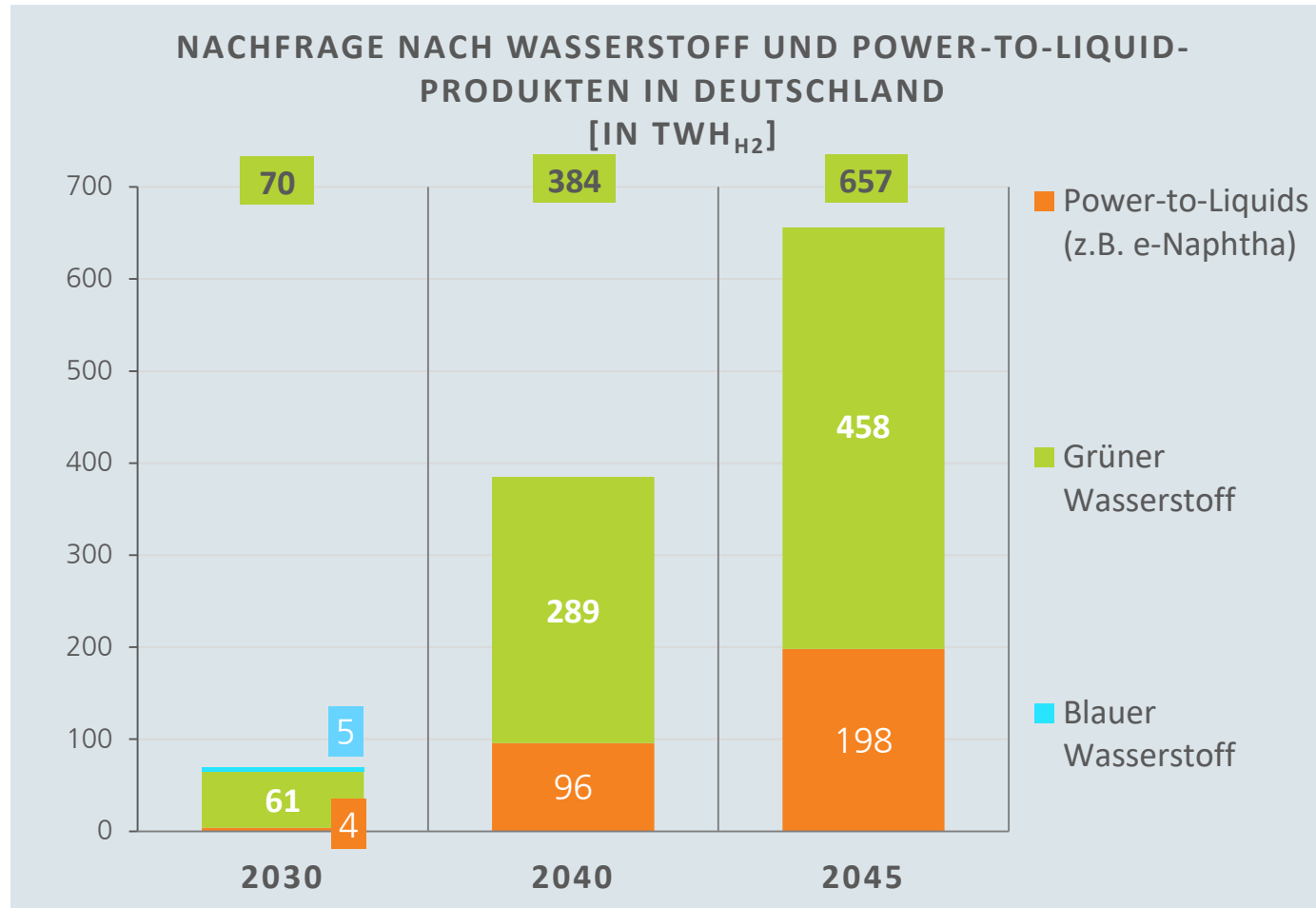
Grauer H₂-Bedarf in Deutschland (2015)²



Quelle: 1 BMWK (2023) Fortschreibung Nationale H₂-Strategie, 2 Dena (2015), 3 Fraunhofer ISI & ISE (2019) „Eine Wasserstoff-Roadmap für Deutschland

EWI-Studie: Bedarf H₂ im Klimaneutralitätsszenario 2045 für Deutschland

Bereits 2030 müssen 70 TWh klimafreundlicher H₂ verfügbar sein



**Klimaneutralität 2045 wird mit
Grünen H₂ erreicht**

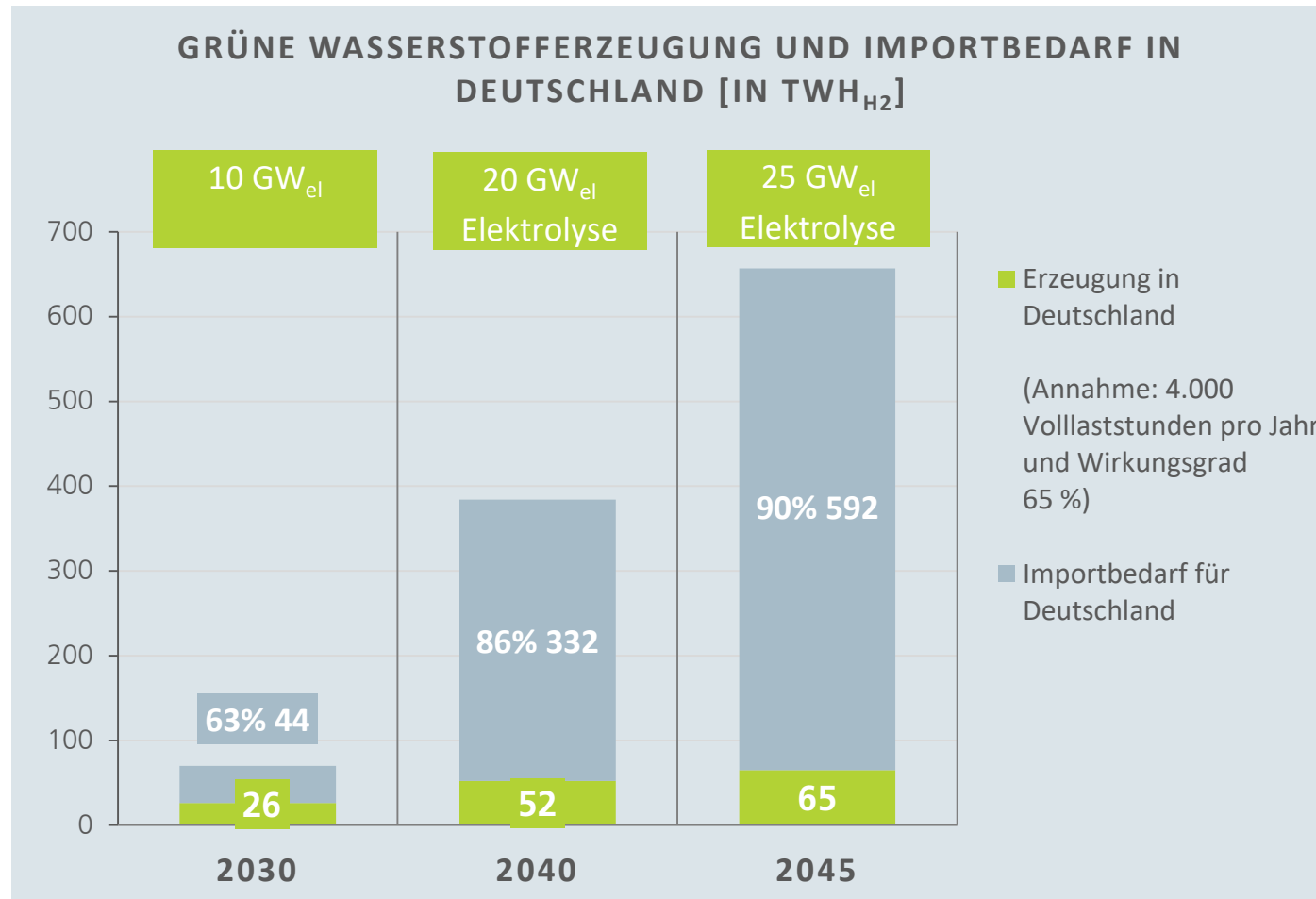
—

**2045 entsteht ein H₂-Bedarf von
ca. 14 Mio. Tonnen (458 TWh_{H₂})
+ 6 Mio. Tonnen als
Power-to-Liquids**

Quelle: EWI (2021) dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität

EWI-Studie: Bedarf H₂ im Klimaneutralitätsszenario 2045 für Deutschland

Mit dem 10 Gigawatt Elektrolyse-Ziel 2030 kann nur etwa 1/3 des Bedarfs gedeckt werden



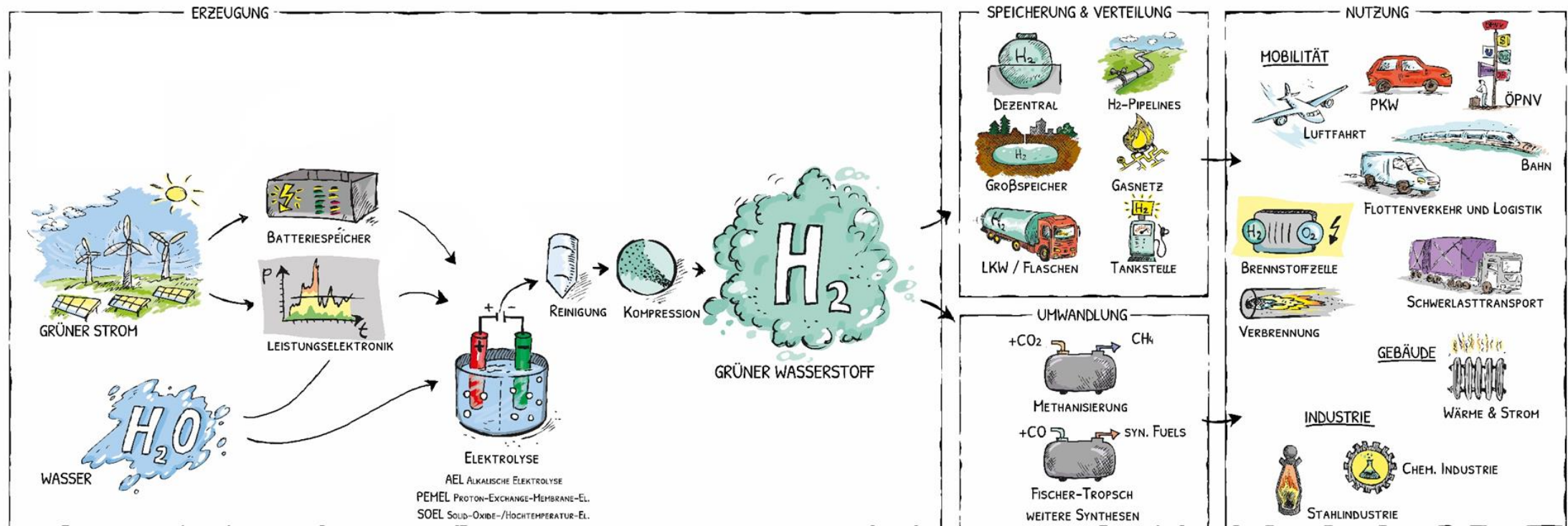
- Mit einer **Gesamtleistung von 10 GW Elektrolyse in Deutschland 2030** könnten **ca. 26 TWh_{H₂}** erzeugt werden – wenn hierfür **40 TWh Strom aus erneuerbaren Energien** zur Verfügung stehen
- Koalitionsvertrag: **80% Anteil Erneuerbare 2030 am Bruttostromverbrauch - 600 TWh** von 750 TWh

2030 entsteht ein H₂-Importbedarf von 2/3 der Bedarfsprognose für DE

Der Aufbau internationaler H₂-Lieferketten ist im Fokus der H₂-Strategie der EU

Quelle: Eigene Berechnung, Bedarf nach EWI (2021) dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität, 10 GW Elektrolyse-Ziel nach BMWK (2023) NWS

Die Wasserstoff-Wertschöpfungskette birgt (noch) viele Herausforderungen



Wie kann grüner Wasserstoff erzeugt werden?

Wo leistet Wasserstoff den größten Beitrag zum Klimaschutz?

Wie entwickelt sich der Bedarf und kann dieser gedeckt werden?

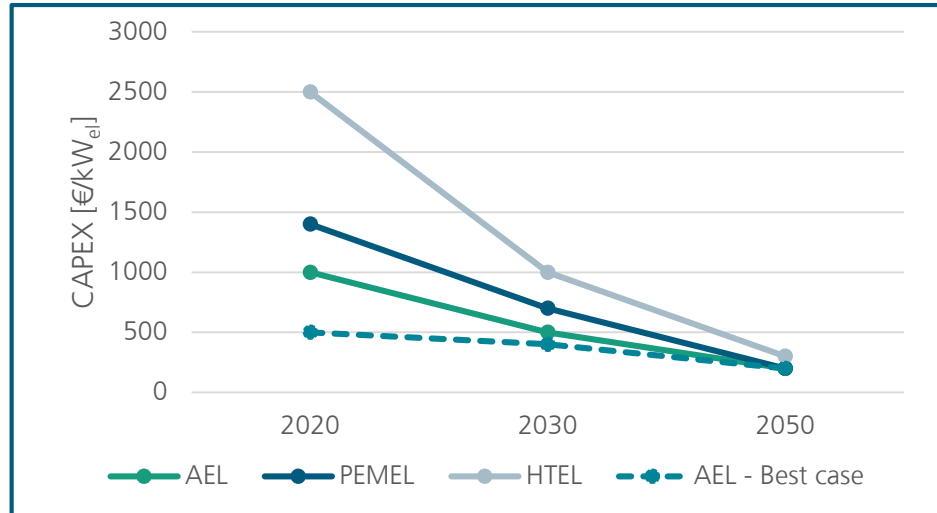
Wie können die Kosten für grünen Wasserstoff reduziert werden?

Wie kommt der Wasserstoff vom Erzeuger zum Verbraucher?

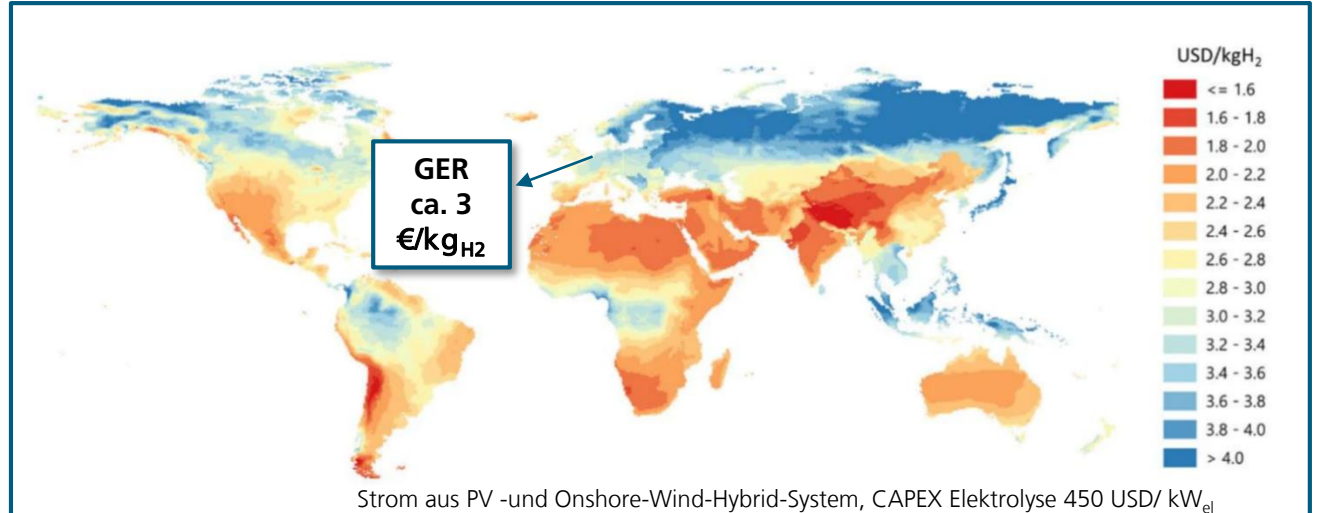
Welche Chancen hat H₂ im Mobilitätssektor im Vgl. zu Batterielösungen?

Kostenreduktionspotenziale: Technologiereife, Strompreise, Betriebszeiten

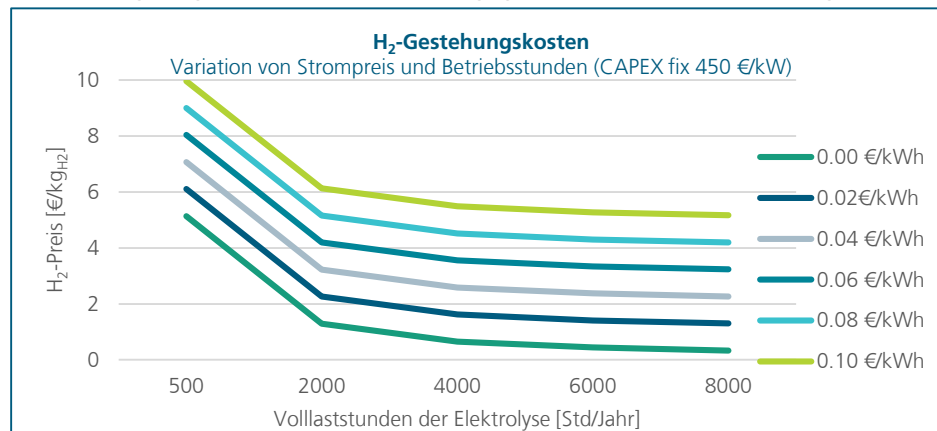
1. Investitionskosten für Elektrolyseure bis 2050



2. Prognose zukünftiger globaler H₂-Erzeugungskosten mit Strom aus PV und Wind ¹



3. Erzeugungskosten in Abhängigkeit von Stromverfügbarkeit

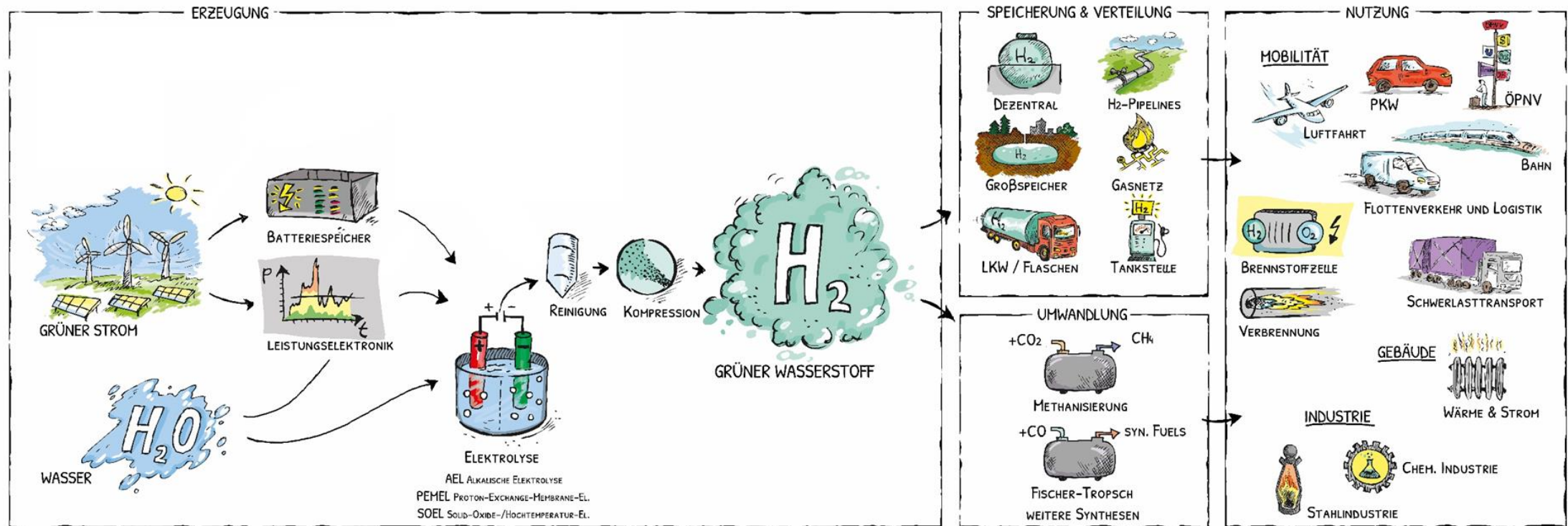


Kostenreduktion durch

1. Sinkende Investitionen für Elektrolyseure (Economies of Scale mit Gigafactories + R&D)
2. Ausbau erneuerbarer Energien und Etablierung globaler H₂-Lieferketten (Zielkosten für Länder mit hohem Erzeugungspotenzial < 2,0 €/kg_{H2} ab 2030)
3. Hohe Betriebsstunden (> 2000 h/a) und günstiger Strombezug

Quelle: ¹ IEA 2019 The Future of Hydrogen, IRENA 2020

Die Wasserstoff-Wertschöpfungskette birgt (noch) viele Herausforderungen



Wie kann grüner Wasserstoff erzeugt werden?

Wo leistet Wasserstoff den größten Beitrag zum Klimaschutz?

Wie entwickelt sich der Bedarf und kann dieser gedeckt werden?

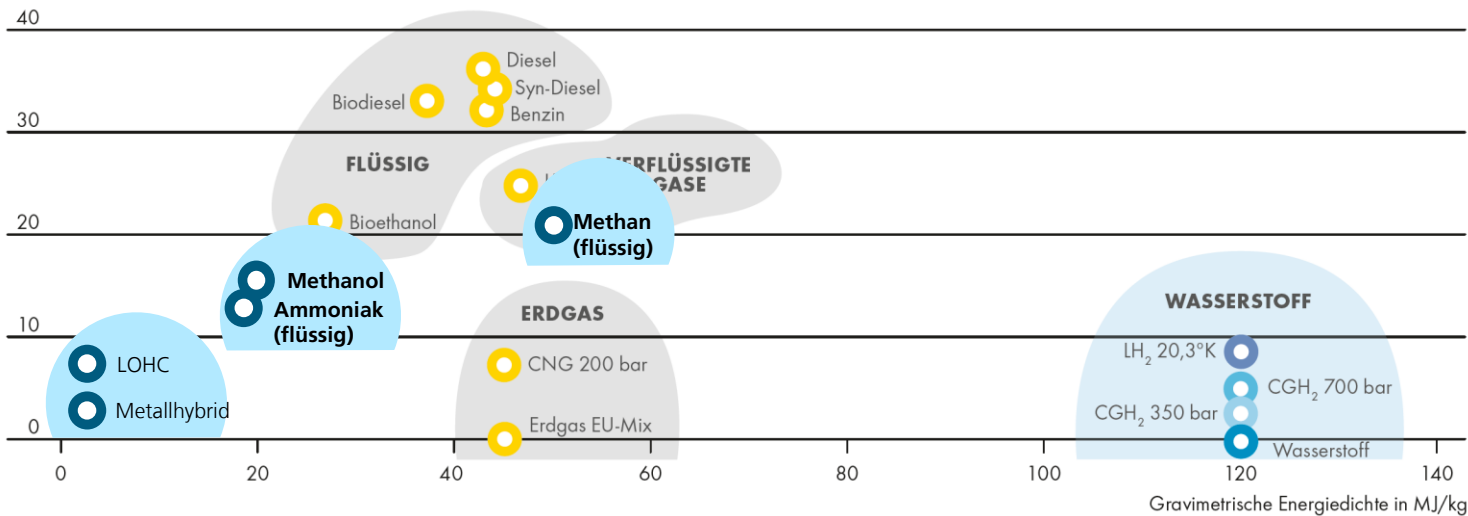
Wie können die Kosten für grünen Wasserstoff reduziert werden?

Wie kommt der Wasserstoff vom Erzeuger zum Verbraucher?

Welche Chancen hat H₂ im Mobilitätssektor im Vgl. zu Batterielösungen?

Speicher- und Transportmöglichkeiten für H₂ und H₂-Syntheseprodukte

50 Volumetrische Energiedichte in MJ/l



- H₂ besitzt eine **sehr hohe gravimetrische Energiedichte** von ~120 MJ/kg (~ Faktor 3 im Vergleich zu flüssigen Kraftstoffen)
- Unter Umgebungsbedingungen weist H₂ eine vergleichsweise **niedrige volumetrische Energiedichte** auf
- **Anwendung erfordert entsprechende Speicherung** bei gleichzeitiger Erhöhung der volumetrischen Energiedichte



Umwandlung in Ammoniak, Methan oder Methanol für Schiffstransporte

Druckspeicherung (Compressed Gaseous Hydrogen, CGH₂):

- Erfordert Hochdruckspeicher, Herausforderung Wasserstoffversprödung bei hochfesten Stählen, daher heute zumeist aus Verbundmaterial
- Anwendung: 350/700 bar für LKW (ca. 50-60 kg), Bus 350 bar (bis 40 kg), Zug 350 bar (bis 250 kg)
- Pipeline (30 bis 80 bar)

Flüssige Speicherung (Liquid Hydrogen, LH₂)

- Aufwand für Verflüssigung (-253 °C), Speicher sind meist doppelwandig und mit Dämmung (Reduktion der Verluste durch Verdampfen)

Metallhydridspeicher

- relativ schwer, Spezialanwendungen: z.B. Kleinstspeicher, U-Boote

Chemische Speicher

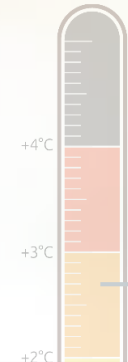
(Liquid Organic Hydrogen Carrier, LOHC)

- Nur ca. 6%-gew. Speicherdichte, einfaches Handling wie Mineralöl

Prognosen zur Er



CAT
Glob
incr
Nov



Policies & action

- +3.4°C
- +2.7°C
- +2.2°C



European Green Deal

Internatio



Klimaschutz

Biodiversität

Nachhaltige Mobilität

Vom Hof auf den Tisch

Quelle: VdL (06.2023)

Welche Chancen hat H₂ im Mobilitätssektor im Vgl. zu Batterielösungen
→ (grüner) Wasserstoff, Batterien und Brennstoffzellen sind ein Schlüssel zum Erfolg



Quelle: Climate Action Tracker (11.2022)



Quelle: Tagesspiegel (03.2022)

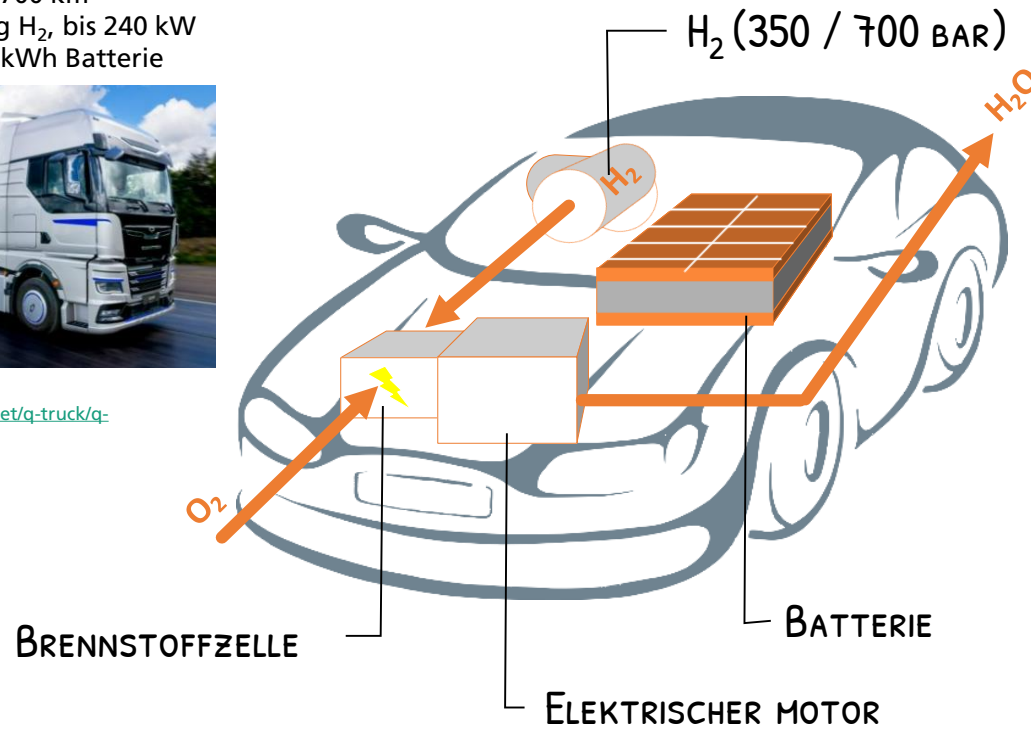
Elektrische Energieeffizienz – Brennstoffzellenfahrzeug (FCEV) vs. batterieelektrisches Fahrzeug (BEV)

Brennstoffzelle (H₂)

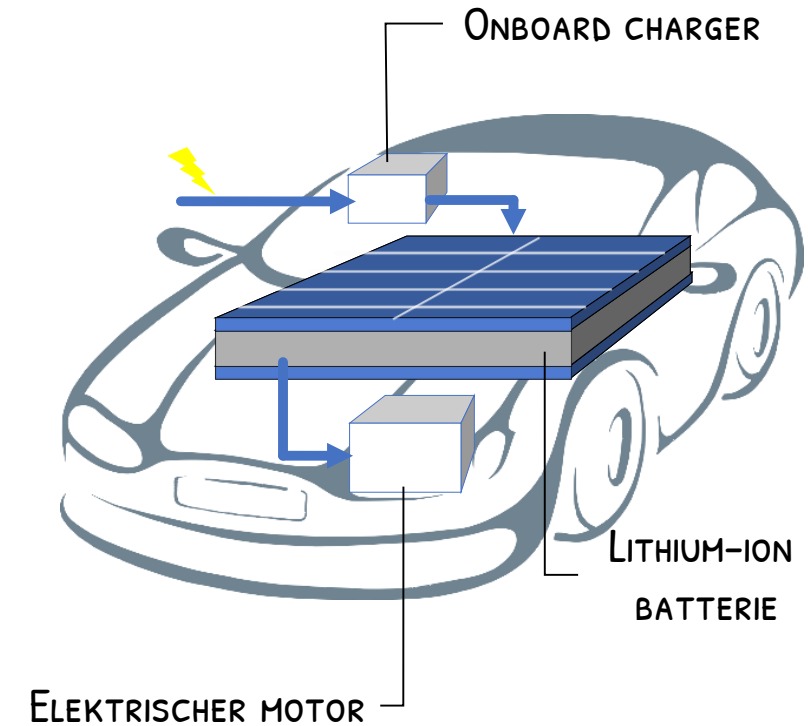
Bsp. QHM FCEV, 700 km Reichweite, 54 kg H₂, bis 240 kW FC Leistung, 124 kWh Batterie



Bild: Quantron AG
<https://www.quantron.net/q-truck/q-heavy/qhm-fcev/>

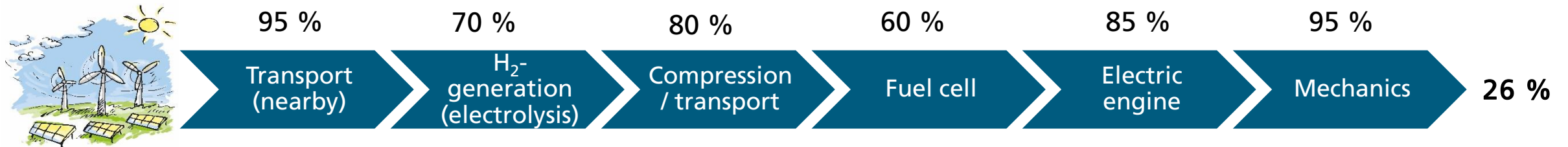


Li-ion-Batterie

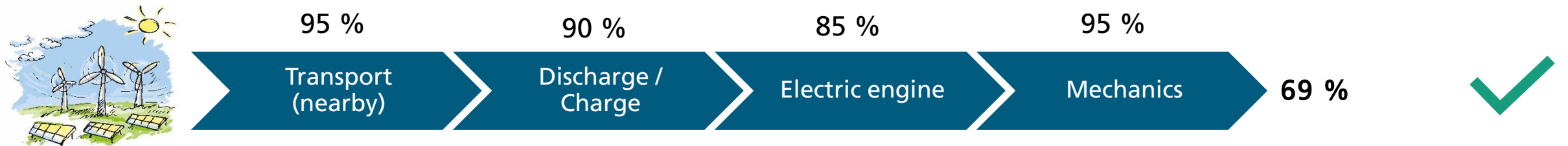


Elektrische Energieeffizienz – Brennstoffzellenfahrzeug (FCEV) vs. batterieelektrisches Fahrzeug (BEV)

Brennstoffzellenfahrzeug (Fuel Cell Electric Vehicle)



Batterieelektrisches Fahrzeug (Battery electric vehicle)



Fokus der Brennstoffzelle im Heavy-Duty Bereich – Reichweite, Infrastruktur, Betankungszeit, TCO

Aufbau von PEM-Brennstoffzellen, Stackaufbau und -fertigung

Für mobile Anwendungen

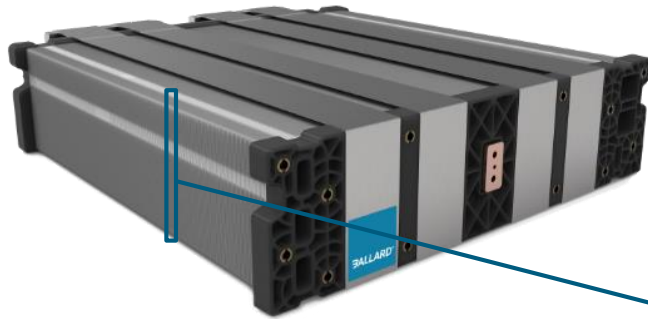
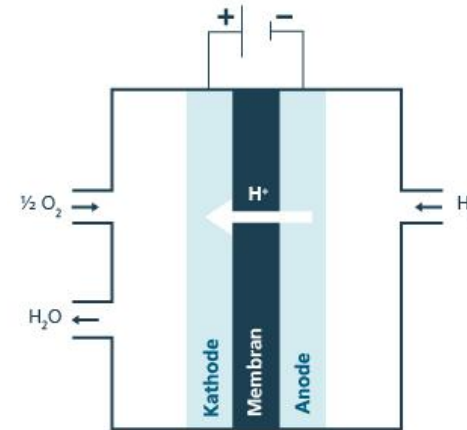


Bild: Ballard <https://www.energy.gov/sites/default/files/2021-12/923-9-mission-innovation-ballard.pdf>



MEA

BPP

abwechselnd
Stapeln
und Vormontieren

Komprimieren und
Verspannen

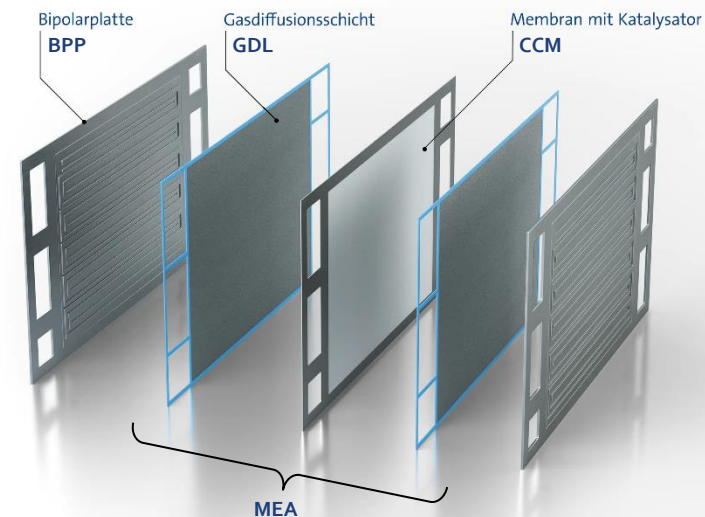
Dichtheit prüfen

Finalisieren,
Einfahren und
prüfen

Stack

Komponenten einer Zelle (ca. 300 - 450 Zellen pro Stack, LKW-Bereich):

- **MEA (Membrane Electrode Assembly):** Membran mit Elektroden (CCM) und Gasdiffusionsschicht (GDL)
- **BPP (Bipolarplatte):** Fluid-Grobverteilung (Edukte, Produkte, Kühlmedium), elektrischer Kontakt

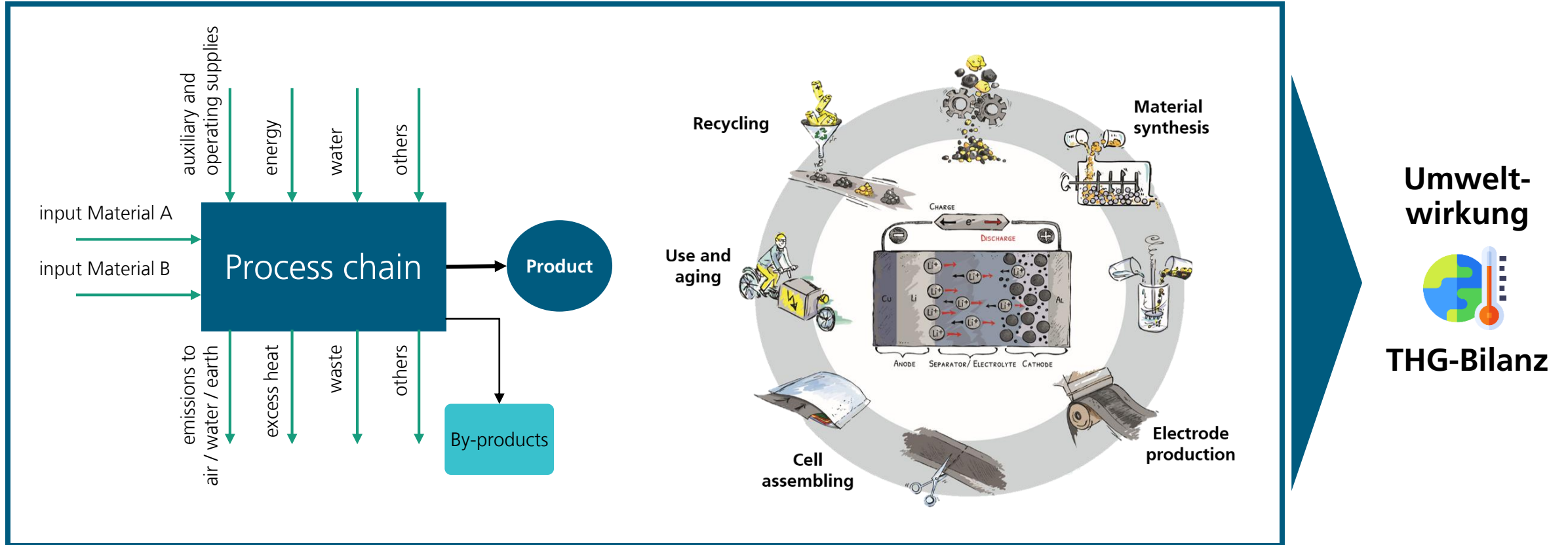


Grafik: Freudenberg Sealing Technologies
<https://www.fst.com/de/corporate/newsroom/pressemitteilungen/2018/freudenberg-gdl-presse/>

Einführung in Lebenszyklusanalyse (LCA)

Erfassung, Quantifizierung & Bewertung der Umweltauswirkungen über den Lebenszyklus

Definition der Systemgrenzen



Life Cycle Thinking

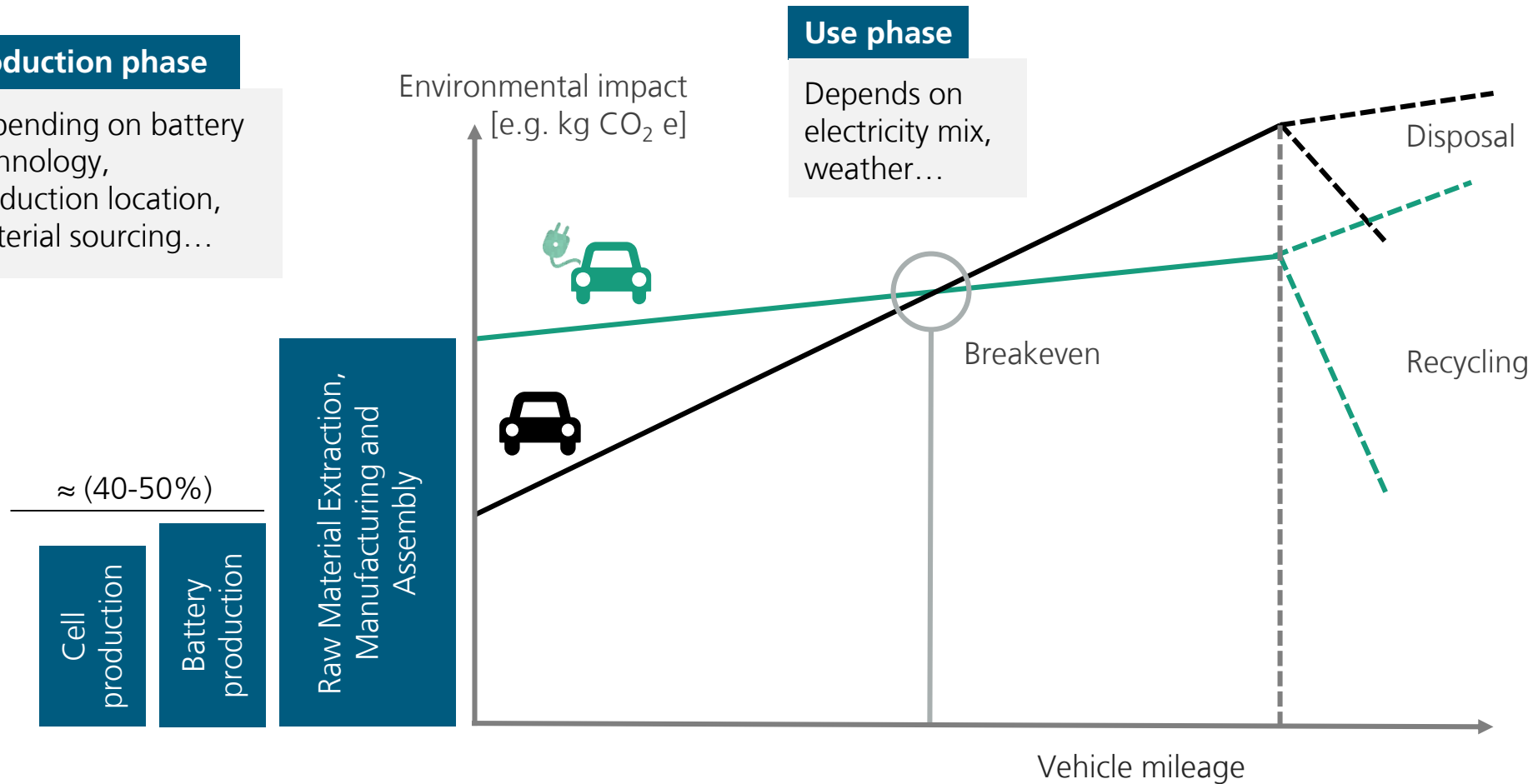
Umweltbilanz von batterieelektrischen Fahrzeugen (LCA)

Production phase

Depending on battery technology, production location, material sourcing...

Use phase

Depends on electricity mix, weather...



End-of-life phase

Avoiding disposal reduces environmental impacts

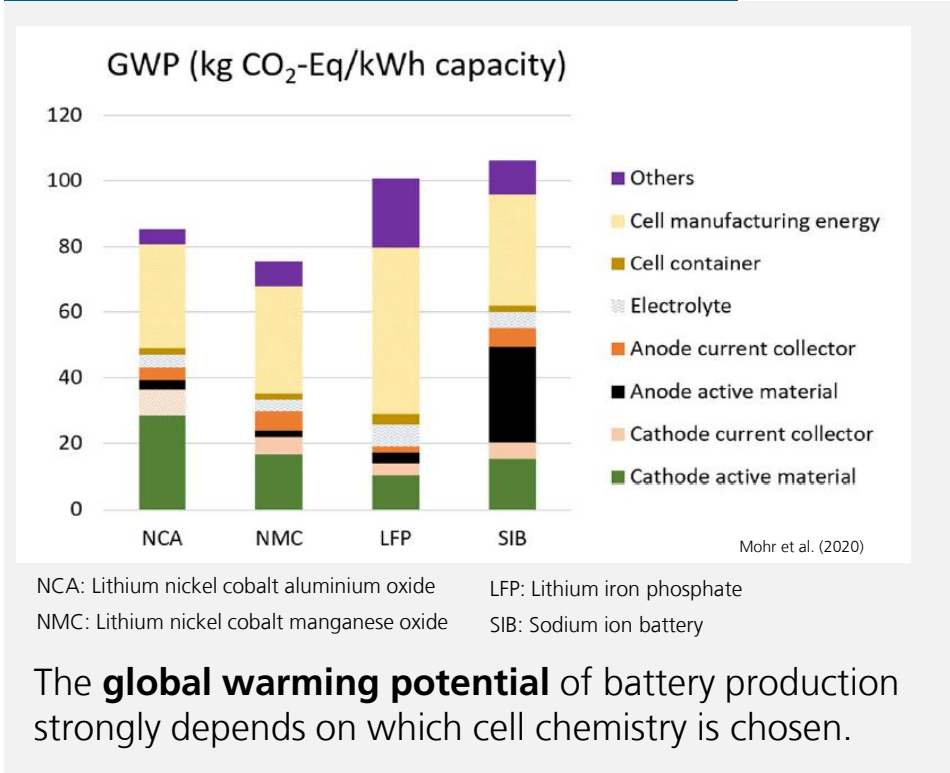
Recycled material can replace future primary material

Life Cycle Thinking

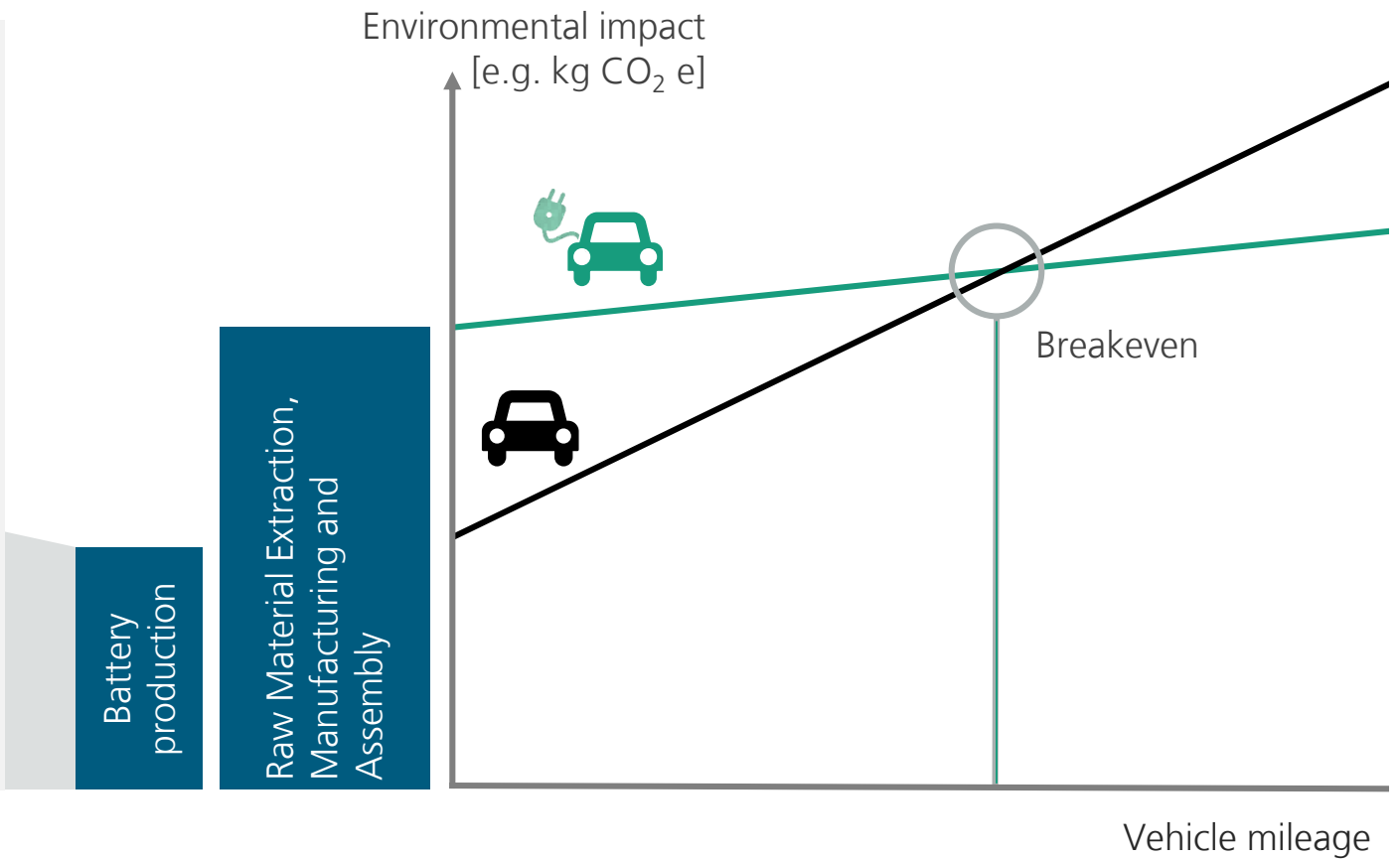
Umweltbilanz von batterieelektrischen Fahrzeugen (LCA)

Identifying hot-spots:
Main levers for optimization

Material Composition



The **global warming potential** of battery production strongly depends on which cell chemistry is chosen.



[Mohr, M., Peters, J. F., Baumann, M., & Weil, M. (2020) 24(6): DOI:10.1111/jiec.13021]

Energiewende praktisch – Fachwissen für Ihren Umstieg auf Wasserstoff



Geprüfte
Qualifikation
Gültigkeit:
3 Jahre



www.tuv.com
ID 0000083571

Die nächsten Termine

Nächster Online-Zertifikatskurs (englisch)
ab 20.11.2023

Themen der Weiterbildung

- Warum ist Wasserstoff ein Schlüsselement für eine klimaneutrale Wirtschaft?
- Welche Faktoren sollten bei der Umstellung auf **grünen Wasserstoff** bedacht werden?
- Was bedeutet das für die teilnehmenden Unternehmen?

Aufbau der Weiterbildung

- Grundlagenmodul bietet abwechslungsreiche E-Learnings und zwei kurze Live-online-Treffen
- Modul B kann mit der Personenzertifizierung »Fachkundige*r Wasserstoff mit TÜV Rheinland geprüfter Qualifikation« abgeschlossen werden
- Mehr Informationen unter:
[Fachwissen Wasserstoff \(fraunhofer.de\)](https://www.fraunhofer.de/fachwissen-wasserstoff)



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Florian Scheffler
Verfahrens- und Fertigungstechnik für nachhaltige Energiespeicher

florian.scheffler@ist.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST
Riedenkamp 2 | 38108 Braunschweig

www.ist.fraunhofer.de

www.wasserstoff-campus-salzgitter.de/