



BFE

Ein Unternehmen der 

**Wasserstoff – nur Hype
oder auch für Ihr
Unternehmen relevant?**

Wasserstoff – nur Hype oder auch für Ihr Unternehmen relevant?

Webinar 10.5.2023

01

Kleines Molekül – große Energiewende

02

Tafelwasser oder Champagner? H₂ in der Energiewende

03

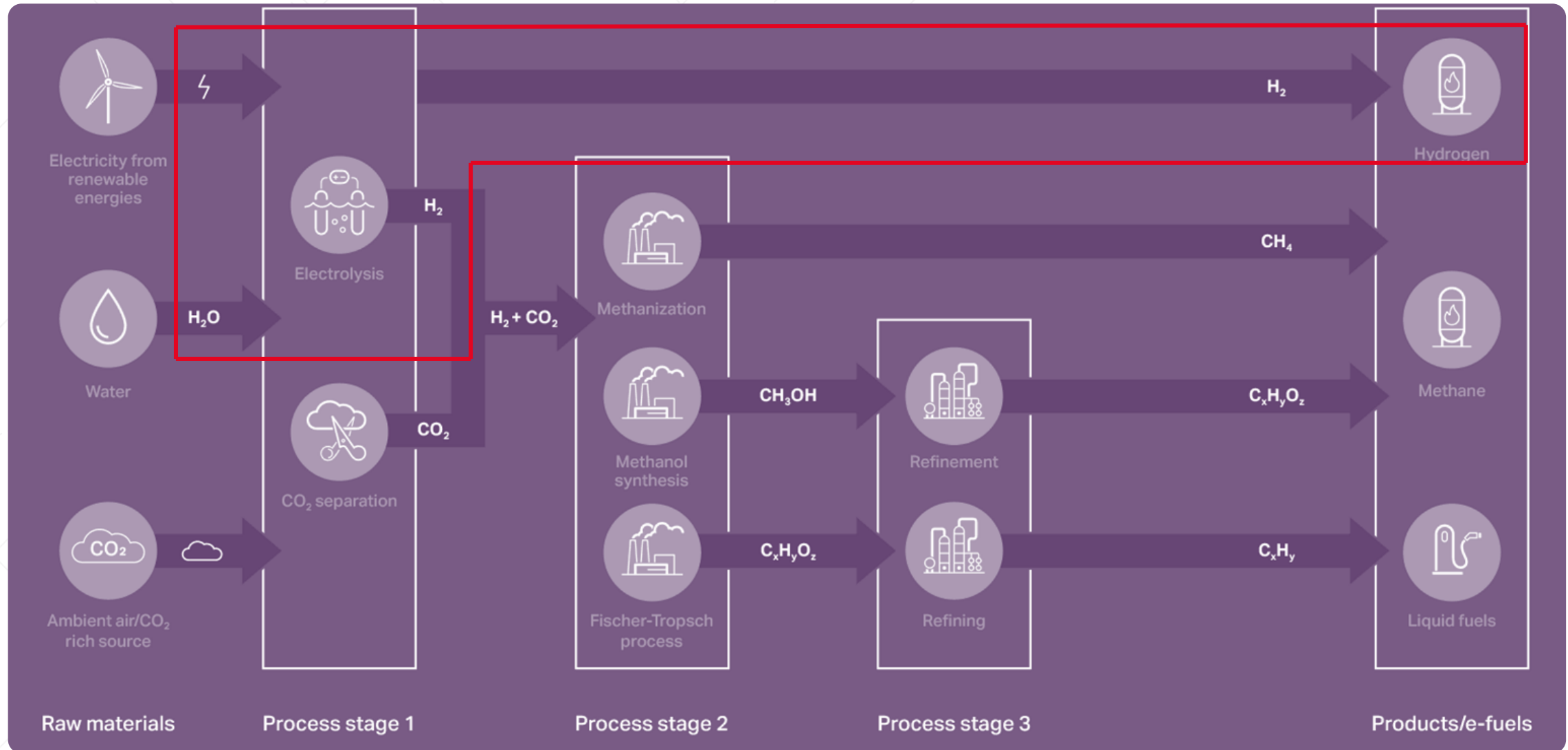
Machen wir es konkret – Anwendung in der Praxis

04

H₂ in Ihrer Unternehmensstrategie

Kleines Molekül – große Energiewende

Kontext Energiewende: Power-to-X



“Feasibility study for the production of e-fuels at IAV’s Berlin site”, Dino Pfeiffer, January 2020

Kleines Molekül – große Energiewende

Farbenlehre von Wasserstoff

Die Farbenlehre von Wasserstoff leitet sich vom Herstellungsprozess ab.

Erdgasbasiert

Grau: Erdgasdampfreforming

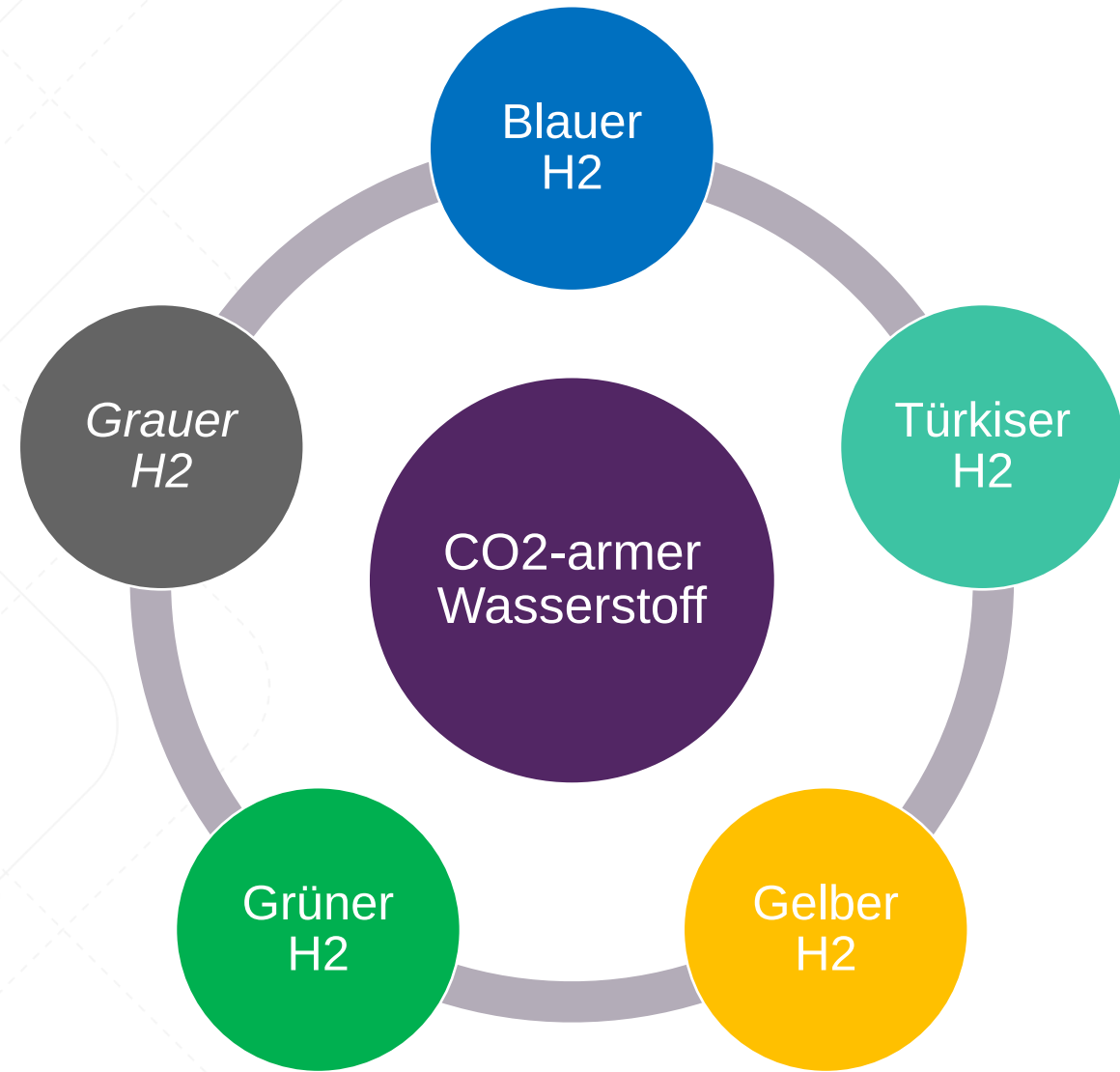
Blau: Erdgasdampfreforming + CCS

Türkis: Erdgaspyrolyse

Strombasiert

Gelb (rot): Elektrolyse mit nuklearem Strom

Grün: Elektrolyse mit EE-Strom



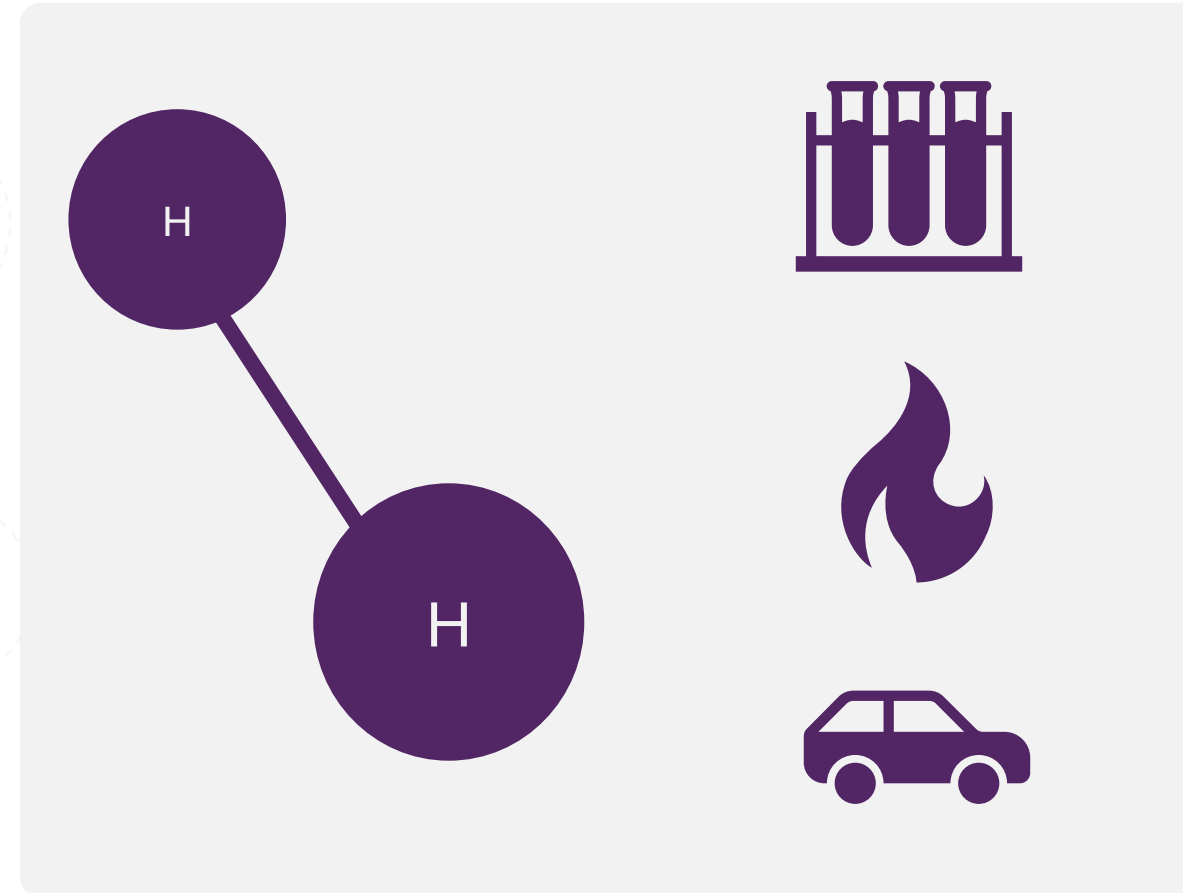
Kleines Molekül – große Energiewende

Steckbrief Wasserstoff

Hydrogenium „Wasserbildner“ (lat.)

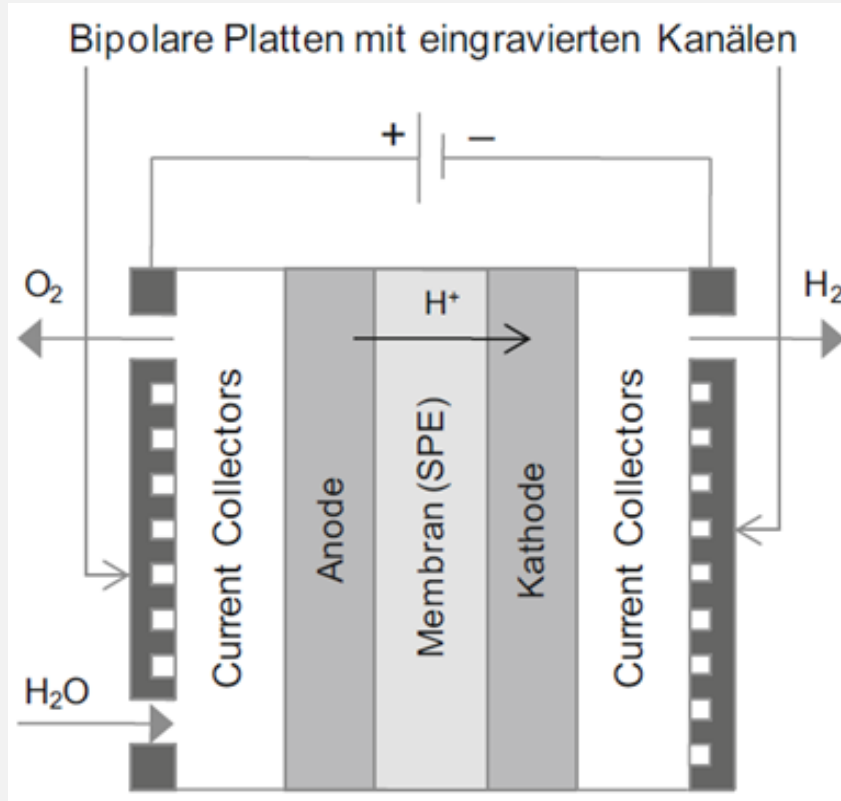
- Element mit geringster Atommasse, Ordnungszahl 1
- Extrem leicht! Extrem diffusionsfreudig – vor allem bei Druck, Achtung Werkstoffe!
- Farbloses Gas; verbrennt strahlungsarm, farblos und „normal heiß“ zu Wasserdampf
- Hoher Energieinhalt: 33,3 kWh/kg Heizwert (Erdgas 11 kWh/kg)
- Achtung: nur 0,089 kg/m³ → Kryo-Speicher (-252°C) 71 kg/m³, Hochdruckspeicher (700bar): 40 kg/m³
- Niedrige Zündgrenze und hohe Verbrennungsgeschwindigkeit! 0,02 mJ (Methan 0,3 mJ)

Im Umgang mit Wasserstoff ist Kompetenz gefragt!



Kleines Molekül – große Energiewende

Produktionsverfahren von grünem Wasserstoff



In der Elektrolyse wird durch Strom aus EE-Anlagen Wasser (H₂O) in H₂ und O₂ aufgespalten:



Es gibt 3 Elektrolyseverfahren, die sich durch die technische Komponente zur Wasserspaltung unterscheiden:

- **PEM-EL:** protonenleitende Membran
- **A-EL:** alkalische Lösung
- **HT-EL:** Festoxid (SOEC)

H₂ als chemischer Stromspeicher.

„Energiespeicher – Bedarf, Technologien, Integration“, Sterner, Stadler; Springer 2017

Kleines Molekül – große Energiewende

Produktionsverfahren von grünem Wasserstoff



In der Elektrolyse wird durch Strom aus EE-Anlagen Wasser (H_2O) in H_2 und O_2 aufgespalten:



Es gibt 3 Elektrolyseverfahren, die sich durch die technische Komponente zur Wasserspaltung unterscheiden:

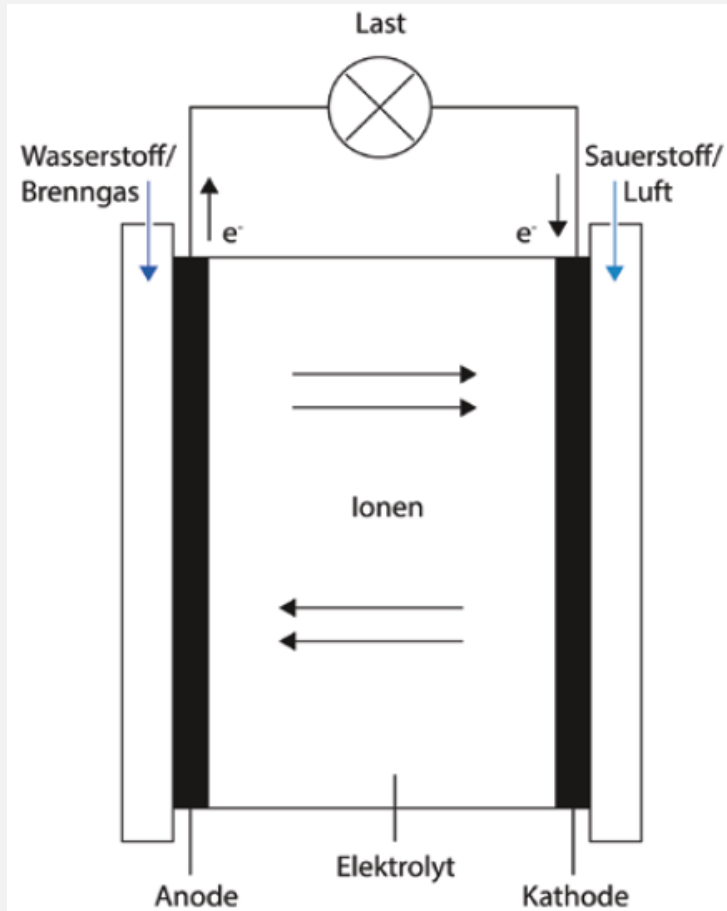
- **PEM-EL:** protonenleitende Membran
- **A-EL:** alkalische Lösung
- **HT-EL:** Festoxid (SOEC)

H₂ als chemischer Stromspeicher.

Sunfire SOEC-Elektrolyseur im Stahlwerk Salzgitter, Chemie.de

Kleines Molekül – große Energiewende

Produktionsverfahren von grünem Wasserstoff – und seine Rückverstromung



In der Elektrolyse wird durch Strom aus EE-Anlagen Wasser (H₂O) in H₂ und O₂ aufgespalten:



Die Umkehrung der Elektrolyse geschieht in der Brennstoffzelle. Hier wird der grüne H₂ zusammen mit Luft oder reinem O₂ wieder in EE-Strom umgewandelt. Rückverstromung!

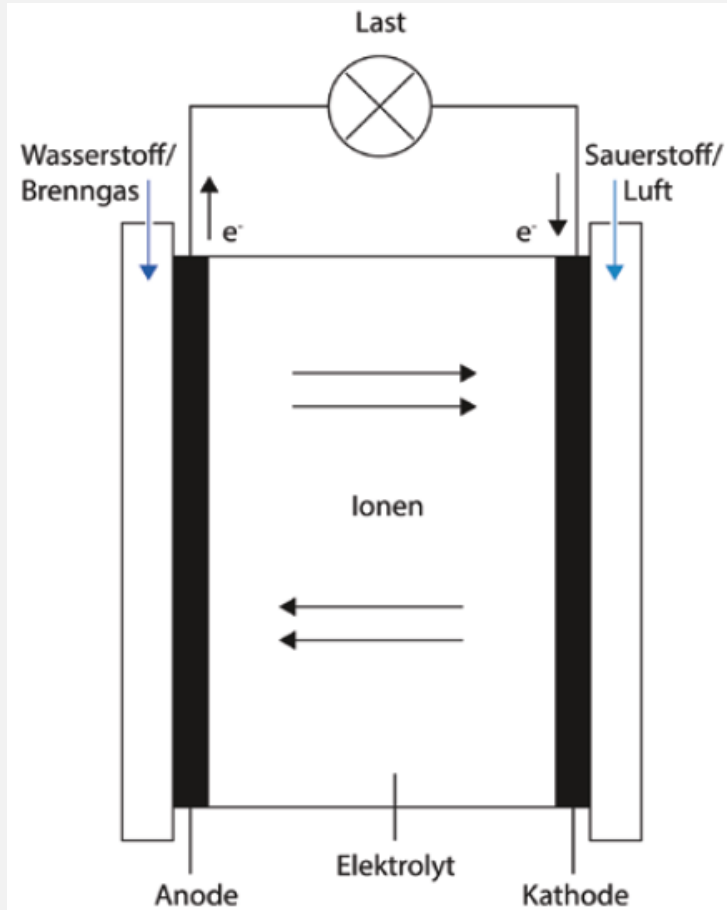
Kürzel	Name	Brennstoff	Oxidationsmittel	Elektrolyt	Temperaturbereich
AFC	Alkalische Brennstoffzelle	H ₂	O ₂	KOH	20-90°C
PEM-FC	Protonenaustauschmembran-Brennstoffzelle	H ₂ , H ₂ -haltiges Brenngas	O ₂ , Luft	Protonenaustausch-Membran	60-120°C
SO-FC	Festoxid-Brennstoffzelle	H ₂ , CH ₄ , H ₂ -haltiges Brenngas	O ₂ , Luft	Keramiken ZrO ₂ /Y ₂ O ₃	800-1000°C

H₂ als chemischer Stromspeicher.

„Energiespeicher – Bedarf, Technologien, Integration“, Sterner, Stadler; Springer 2017

Kleines Molekül – große Energiewende

Produktionsverfahren von grünem Wasserstoff – und seine Rückverstromung



Aber warum heißt es Brennstoffzelle?!

Bekanntermaßen reagiert **Wasserstoff mit Sauerstoff** unter Abgabe von Energie zu Wasser, was gemeinhin als „**Knallgasreaktion**“ bekannt ist. Eine Brennstoffzelle bietet den Vorteil, diese **exotherme Energieumwandlung** zu nutzen und **elektrische Energie anstatt thermischer Energie** zu erzeugen. Daher wird hierbei von „**kalter Verbrennung**“ gesprochen, da hier eine **Verbrennungsreaktion (Oxidationsreaktion)** ohne hohe Temperaturen statt findet.

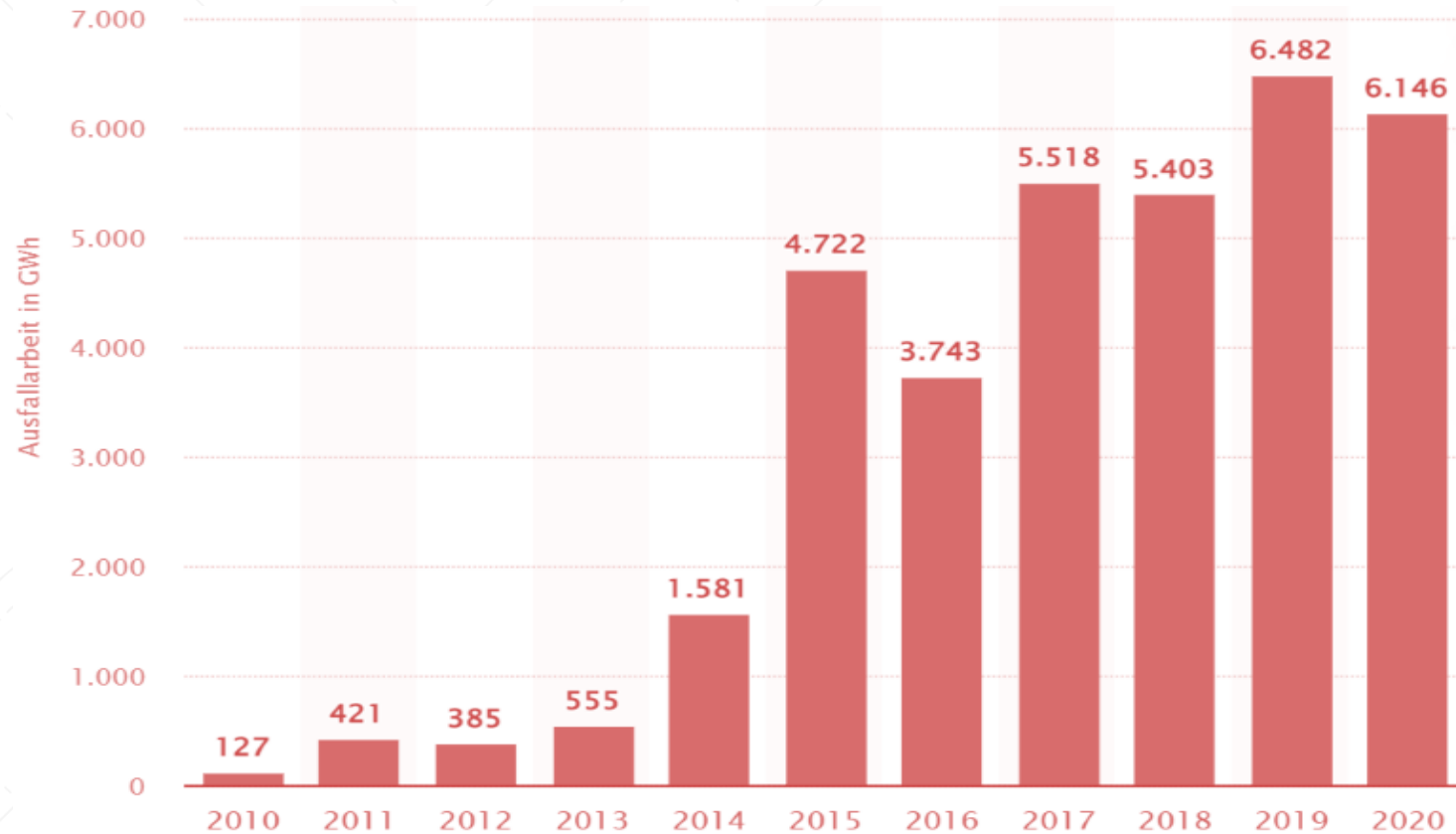
Im Detail sind deshalb **Brennstoffzellenautos auch E-Autos**, da die Welle durch einen Elektromotor angetrieben wird.

H2 als chemischer Stromspeicher.

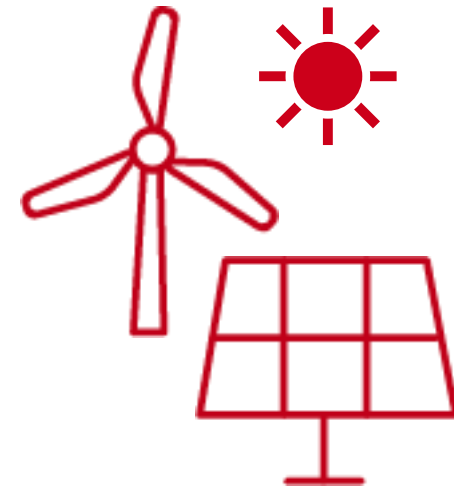
„Energiespeicher – Bedarf, Technologien, Integration“, Sterner, Stadler; Springer 2017

Kleines Molekül – große Energiewende

Potenzial als Stromspeicher



Entwicklung der Ausfallsarbeit in GWh (Quelle: Bundesnetzagentur, zitiert nach de.statista.com, 2021)



Tafelwasser oder Champagner? H₂ in der Energiewende

Erläuterung der Prämissen „Tafelwasser“ und „Champagner“

Angebot Wasserstoffherkunft

Ergänzung mit **blauem und türkisen** Wasserstoff

Wasserstoff als
„**Champagner**“



Ausschließlich
grüner Wasserstoff

Wasserstoff als
„**Tafelwasser**“



Fokussierter Einsatz
(nicht elektrifizierbare Anwendungen
z.B. in Industrie)

**Nachfrage
Einsatzbereiche**

Breiter Einsatz
(auch in PKW und
Gebäuden)

**Champagner: zu besonderen
Anlässen aufgetischt**

→ Hohe Anforderung an die
Wasserstoffherkunft (grün) und in
Ausnahmefällen eingesetzt

**Tafelwasser: gesundes
Grundnahrungsmittel**

→ Weniger hohe Anforderungen an
die Wasserstoffherkunft (auch blau,
türkis oder gelb erlaubt) und ein
alltäglicher Einsatz gewünscht

**Hier gibt es noch keine klare
Tendenz!**

Tafelwasser oder Champagner? H2 in der Energiewende

Was sagt die Nationale Wasserstoff-Strategie?

- **Ziel: 10 GW grüner H2 bis 2030 (Stand 2023)**
 - **7 Mrd. € für Technologie-Förderung**
 - **2 Mrd. € für internationale Kooperationen**
1. Erzeugung (Elektrolyse, EE-Anlagen)
 2. Verkehr (Fokus Schwerlast, Schiff, Luft)
 3. Industrie (Carbon Contracts for Difference)
 4. Wärme (BZH, Achtung Erdgas)
 5. Infrastruktur (Pipeline, Tankstellen)
 6. Forschung und Bildung
 7. EU-Ebene (Förderung und Standards)
 8. Internationaler Wasserstoffmarkt (Import, Export)



Tafelwasser oder Champagner? H2 in der Energiewende

Was sagt die Studienlage?

Metastudie Wasserstoff – Auswertung von Energiesystemstudien

Studie im Auftrag des Nationalen Wasserstoffrats

Kernaussagen:

- Prognosen für H2-Bedarf und Syntheseprodukte uA abhängig von **Treibhausgaszielen** (ab 80% Reduktion steigender Bedarf), Szenario für **Direktelektrifizierung**, Szenario für **CCS/CCU**, Szenario für **Biomassenutzung**
- DE: **Bandbreite insgesamt hoch** für 2030 bis 2050; **Importanteil H2 höher** als Eigenproduktion
- Hoher Bedarf für internationalen **Schiff- und Flugverkehr**, **Straßenverkehr sehr unterschiedlich** bewertet
- **Industriesektor hoher Bedarf** erwartet, teilweise schon **2030**, teilweise **weniger relevant** eingeschätzt
- **Gebäudewärme unterschiedlich** bewertet, **Energiemix** (H2, Synthese und Biomasse) erwartet, teilweise Kombination **Wärmepumpe und Energieeffizienzmaßnahme** vielversprechender
- Rolle von Raffinerien und **Chemiesektor** noch offene Fragen; Bedarf **Rückverstromung** direkt abhängig von **Szenario Direktelektrifizierung**

Tabelle 3: Potentielle Wasserstoff-, Syntheseprodukte- und Biomassepotentiale in den Nachfragesektoren in Deutschland 2030, 2040 und 2050

	2030	2040	2050
Wasserstoff, Syntheseprodukte und Biomasse	34 bis 232 TWh	119 bis 382 TWh	234 bis 740 TWh
Nur Wasserstoff	0 bis 47 TWh	15 bis 176 TWh	0 bis 316 TWh
Nur Syntheseprodukte	0 bis 40 TWh (bis 60 TWh mit Syntheseprodukten als Rohstoffe)	0 bis 158 TWh (bis 303 TWh mit Syntheseprodukten als Rohstoffe)	0 bis 653 TWh (davon Rohstoffe bis 260 TWh)

Metastudie Wasserstoff; Fraunhofer ISI, ISE, IEG; 2021

Tafelwasser oder Champagner? H2 in der Energiewende

Was sagt die Studienlage?

Metastudie Wasserstoff – Auswertung von Energiesystemstudien

Studie im Auftrag des Nationalen Wasserstoffrats

Kernaussagen:

„In allen Szenarien liegen **die Bedarfe an Wasserstoff und Syntheseprodukten deutlich unter den heutigen Bedarfen an fossilen Brenn- und Kraftstoffen**. Hieraus lässt sich ableiten, dass Wasserstoff und Syntheseprodukte notwendig für die Energiewende sind, aber gleichzeitig **wertvolle Energieträger**. **Energieeffizienz wird deshalb zunehmend an Bedeutung gewinnen.**“

Metastudie Wasserstoff; Fraunhofer ISI, ISE, IEG; 2021

Es kommt darauf an, wen man fragt. Gewiss ist aber eine Kombination aller Technologiepfade. Und wir müssen effizienter werden!

Machen wir es konkret – Anwendung in der Praxis

Wasserstoff in verschiedenen Branchenzweigen

01

Stoffliche Nutzung

Chemie-, Pharma-, Stahlindustrie



02

Thermische Nutzung

Großabnehmer Gas für Prozesse mit hohen Temperaturen



03

H2 als Stromspeicher

Nutzung von Überschussstrom EE-Anlagen, Eigenerzeugung und Vermarktung



04

H2 im Fuhrpark

Speditionen, Lieferdienste, Carsharing etc.



05

H2 für Wärme

Großabnehmer Gas für Heizanwendungen (z.B. Krankenhäuser) mit Ausrichtung Klimaneutralität



Disclaimer: Diese Reihenfolge richtet sich nach der zu erwartenden Nachfrage im B2B-Bereich und ist veränderlich



Stahlwerk Projekt Hybrit in Luleå (Schweden)

- Firmen: LKAB (Bergbauunternehmen), SSAB (Stahlproduzent), Vattenfall (Energieversorger) = Initiative Hybrit (2016)
- Ersatz von Hochofenprozess durch Direktinduktionsverfahren
- Fossile Gegenwart: Kohle und Koks für Reduktion des Eisenoxids (FeO) zu Eisen (Fe) und Weiterverarbeitung zu Stahl
- Fossilfreie Zukunft: Reiner Wasserstoff für Reduktion und Weiterverarbeitung zu Stahl
- Potenzial: 1 Projekt $\rightarrow$ -10% von Schwedens CO_2 -Emissionen
- 2022 in Betrieb: unterirdischer H_2 -Speicher (100.000 m^3)

Projektstart:
2016

H_2 -Speicher
2022,
100.000 m^3 ,
Bereits über
100 t Eisen-
schwamm
produziert

Projektziel:
2026
fossilfreier
Stahl mit
Marktreife

Investitions-
kosten
25 Mio. €
(für den
Speicher)

Glasschmelze von Schott AG in Mainz

- Firmen: Schott AG (Glasproduzent), P2X Kopernikus-Projekt vom BMBF
- 2021 achtwöchiger Betrieb einer Technikum-Schmelzwanne mit Wasserstoff
- 1.600°C notwendig für Glasproduktion
- Fossile Gegenwart: Verbrennung von Erdgas und Sauerstoff zu CO₂
- Fossilfreie Zukunft: Verbrennung von Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasserdampf
- Potenzial: jede fünfte Flasche in EU aus DE, 7 Mio. t Glas, aber 5 Mio. t CO₂ pro Jahr
- Keine Qualitätsänderung im Glas, ähnliche Brennerleistung und Temperaturniveau erreicht

Projektstart:
2021

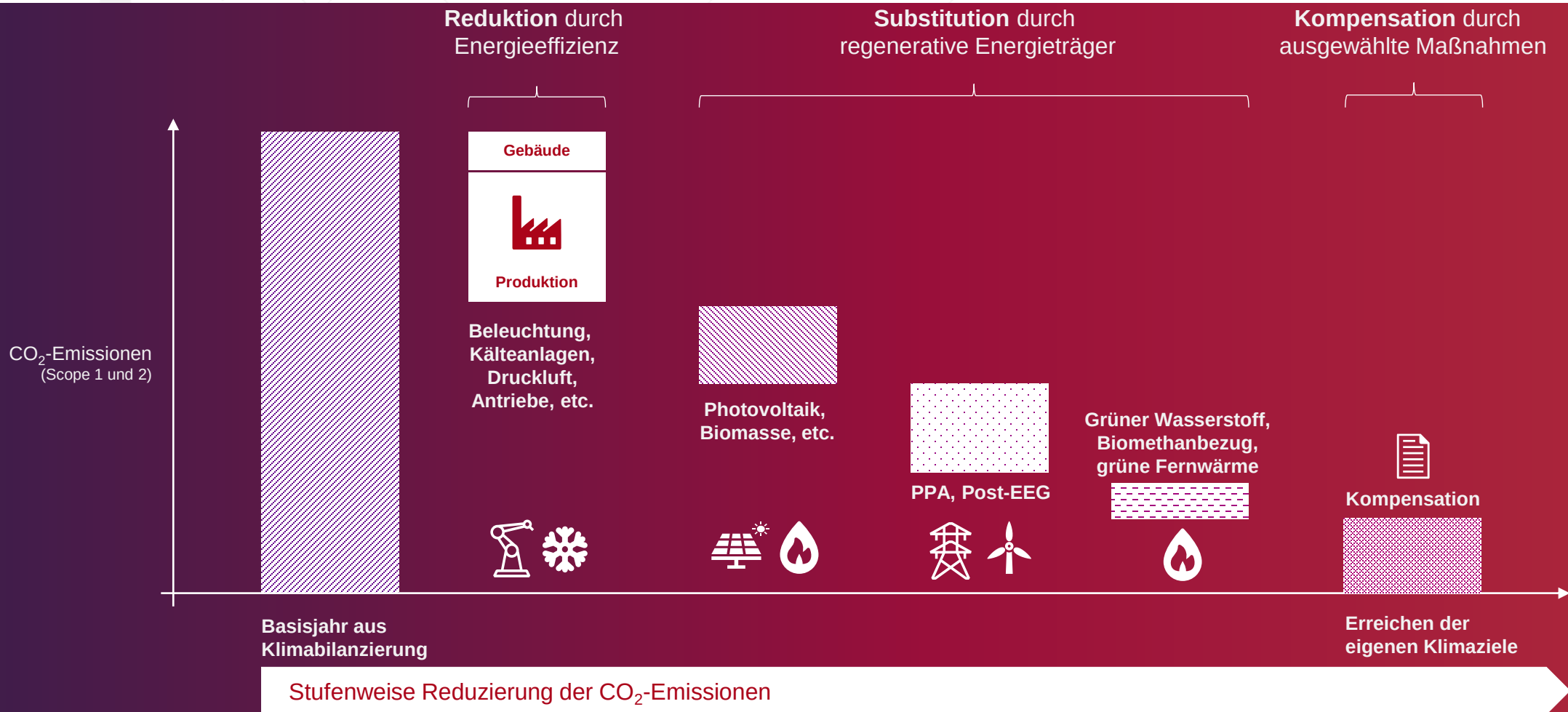
Umstieg auf
100%
Grünstrom,
-60% CO₂-
Emissionen

Projektziel:
2030
klimaneutrale
Produktion

Projekt-
kosten:
714.000 €,
Förderung:
338.000 €

H2 in Ihrer Unternehmensstrategie

Eine beispielhafte Roadmap der Dekarbonisierung



Priorisierung nach zu definierenden Kriterien, z.B. Kundenanforderungen, Anforderungen Transformationskonzept, etc.

Förderprogramm Transformationskonzept (TK)

Geförderte CO₂-Bilanzierung

- Gilt für **private und kommunale** Unternehmen
- Förderhöhe **50% (60% KMU)**, maximal 80.000 €/TK
- Konzeptziel: **mind. 40% CO₂-Reduzierung über 10 Jahre** (alle Energiearten)
- Formulierung eines **Neutralitätsziels bis spätestens 2045**
- CO₂-Bilanzgrenzen: **Scope 1 & 2 Pflicht**, Scope 3 freiwillig
- Im Konzept **mind. eine Maßnahme** enthalten, deren **Umsetzung nach EEW gefördert** wird
- Erstellung des Einsparkonzepts **nur durch Experten (BAFA Liste)**

- Geförderter Einstieg ins Klimaschutzmanagement
- Know-how von Experten
- Klimaschutz- und Fördermittelmanagement aus einer Hand
- Definition von Handlungsfeldern und geeigneter Maßnahmen



Die Vorteile sind vielfältig.

Dimensionierung

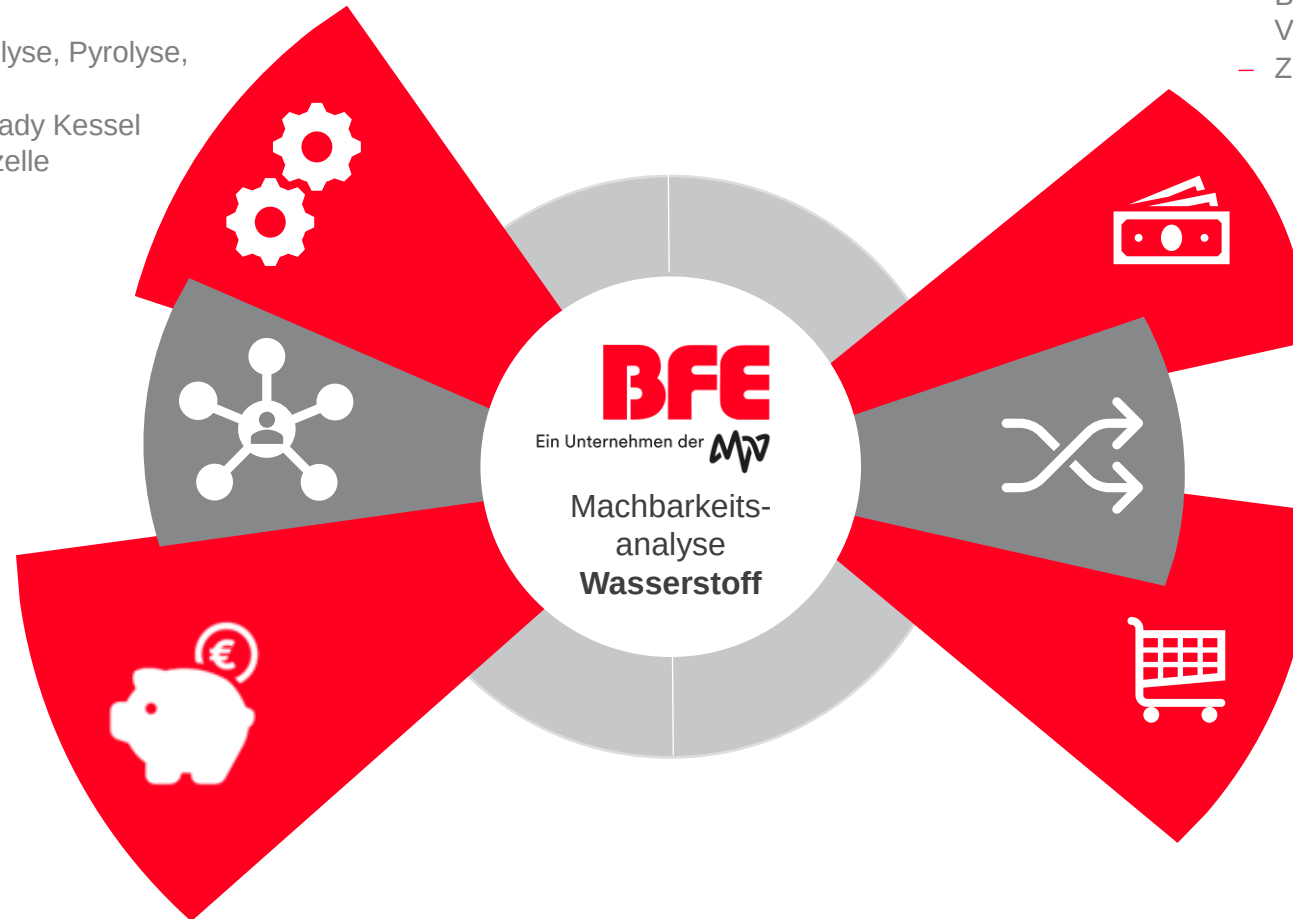
- Auswahl und Dimensionierung von Verfahren zur Wasserstoffproduktion und –Anwendung
- Produktion: z.B. Elektrolyse, Pyrolyse, biologische Verfahren
- Anwendung: z.B. H2-ready Kessel und BHKW, Brennstoffzelle

Synergieeffekte

- Bewertung von Synergieeffekten mit weiteren Stakeholdern
- Nutzung bzw. Vermarktung von Abwärme und Sauerstoff bei Elektrolyse (Byproduct)

Wirtschaftlichkeit

- Wirtschaftlichkeitsanalyse (Sensitivitätsanalyse) unter Speicher, Last-, und Preisszenarien
- Auch Vollkostenbestimmung
- Einbindung dynamischer CO2-Preis bei Vergleich mit fossilen Technologien



Wasserstoffgestehungskosten

- Berechnung der LCOH (WGK)
- Berechnung Break-even mit Vergleichstechnologie
- Z.B. Gaskessel vs. Brennstoffzelle

H2-Verträglichkeit

- Aussagen zur grundsätzlichen H2-Verträglichkeit bestehender Infrastruktur
- Empfehlungen für H2-ready Umrüstung

Vermarktung und Beschaffung

- Bestimmung der Abnehmerstruktur und Vermarktungsoptionen von eigenproduzierten H2
- Unterstützung bei der Beschaffung von extern eingekauften grünen H2

**Noch Fragen?
Gerne!**



Jessica Otto (M.Eng.)

Telefon +49 30 2559 7305

Mobil +49 (0) 160 8984958

E-Mail j.otto@bfe-institut.com

Quellenangaben Zeitungsschlagzeilen

Gemäß Präsentationsreihenfolge

1. Handelsblatt: Gastkommentar: Die EU braucht Wasserstoff „Made in Europe“ – auch mit Hilfe der Atomenergie (handelsblatt.com); 10.04.2023 - 17:45 Uhr; letzter Zugriff 24.04.23 17Uhr
2. Ntv: Deutscher Treibstoff der Zukunft: "Aktuell sind nur 0,03 Prozent des Wasserstoffs grün" - n-tv.de; 10.11.2022, 17:02 Uhr; letzter Zugriff 24.04.23 17Uhr
3. Ntv: Paris sperrt sich bei Pipeline: Bund sagt "non" zu Frankreichs erneuerbarem Atom-Wasserstoff - n-tv.de; 09.02.2023, 11:12 Uhr; letzter Zugriff 24.04.23 17Uhr
4. Wirtschafts Woche: E-Fuels: Gibt es genügend synthetische Kraftstoffe für Verbrenner-Pkw? (wiwo.de); 25.03.2023, 12:08 Uhr; Zugriff 24.04.23 17Uhr
5. Frankfurter Allgemeine: So werden E-Fuels hergestellt (faz.net); 24.03.2023, 16:10 Uhr; Zugriff 24.04.23 17Uhr
6. Spiegel: EU beschließt E-Fuels für Schiffe: Emissionen sollen bis 2050 um 80 Prozent sinken - DER SPIEGEL; 23.03.2023, 12.39 Uhr; Zugriff 24.04.23 17Uhr
7. Wirtschafts Woche: Energiewende: Energieminister nehmen Wasserstoff und Industriestrom in den Blick (wiwo.de); 29.03.23; Zugriff 24.04.23 17Uhr
8. Zeit: Energiewende: Ohne Ökostrom ist Wasserstoff kein Fortschritt | ZEIT ONLINE; 10.06.2020, 18:41 Uhr; Zugriff 24.04.23 17Uhr

Quellenangaben Zeitungsschlagzeilen

Gemäß Präsentationsreihenfolge

9. Frankfurter Allgemeine: Wasserstoff-Pipelines in Deutschland kommen nur langsam voran (faz.net); 29.03.2023, 12:05; letzter Zugriff 24.04.23 17Uhr
10. Deutsche Welle: Wasserstoff soll Energiewirtschaft gerechter machen | DW Nachrichten | DW | 15.11.2022; 15.11.2022; letzter Zugriff 24.04.23 17Uhr
11. Welt: Grüner Wasserstoff: Australien soll Deutschlands Energieträume wahr machen – WELT; 27.01.2023; letzter Zugriff 24.04.23 17Uhr
12. Ntv: Grüne Energie für Europa: Atlas zeigt mögliche Wasserstoff-Hotspots in Afrika - n-tv.de; 02.04.2023, 13:27 Uhr; letzter Zugriff 24.04.23 17Uhr
13. Bild: Dafür kommt sogar Habeck: Der erste Wasserstoff vom Sultan ist da | Regional | BILD.de; letzter Zugriff 24.04.23 17Uhr