

transforming knowledge



Übersicht über die Technologien und Perspektiven der Wasserstoffwirtschaft ein Whitepaper der BCNP Consultants GmbH

Juli 2021, Tobias Kirchhoff



Inhalte der Übersicht über die Wasserstoffwirtschaft

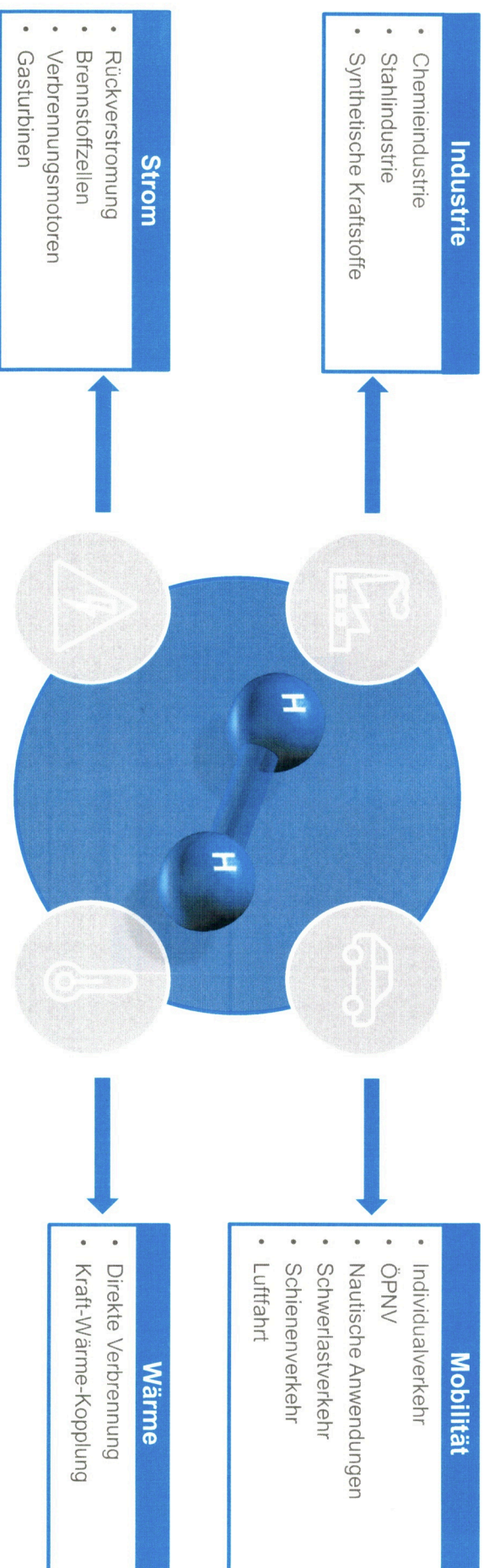
Inhaltsverzeichnis

- 1** Welche Wasserstoffarten gibt es?
- 2** Was sind die Stärken und Schwächen von grünem H₂ und wo liegen die Chancen und Risiken?
- 3** Wie sehen die Treibhausgasemissions-Einsparziele in Deutschland aus?
- 4** Welche H₂-Produktionsverfahren gibt es?
- 5** Welche Möglichkeiten der Speicherung und des Transport gibt es?
- 6** Ist eine autarke Energieversorgung durch erneuerbare Energien in Deutschland realistisch?
- 7** Wie viel H₂ muss importiert werden und woher?
- 8** Wie kann die Chemie ihre Treibhausgasemissionen senken?
- 9** Wie sieht der zukünftige Markt für grünen Wasserstoff aus?
- 10** Quo Vadis, Wasserstoff?
- 11** Welche weiteren vielversprechenden Technologien gibt es?



H₂ ist für viele Anwendungsgebiete geeignet

Einsatzfelder von H₂



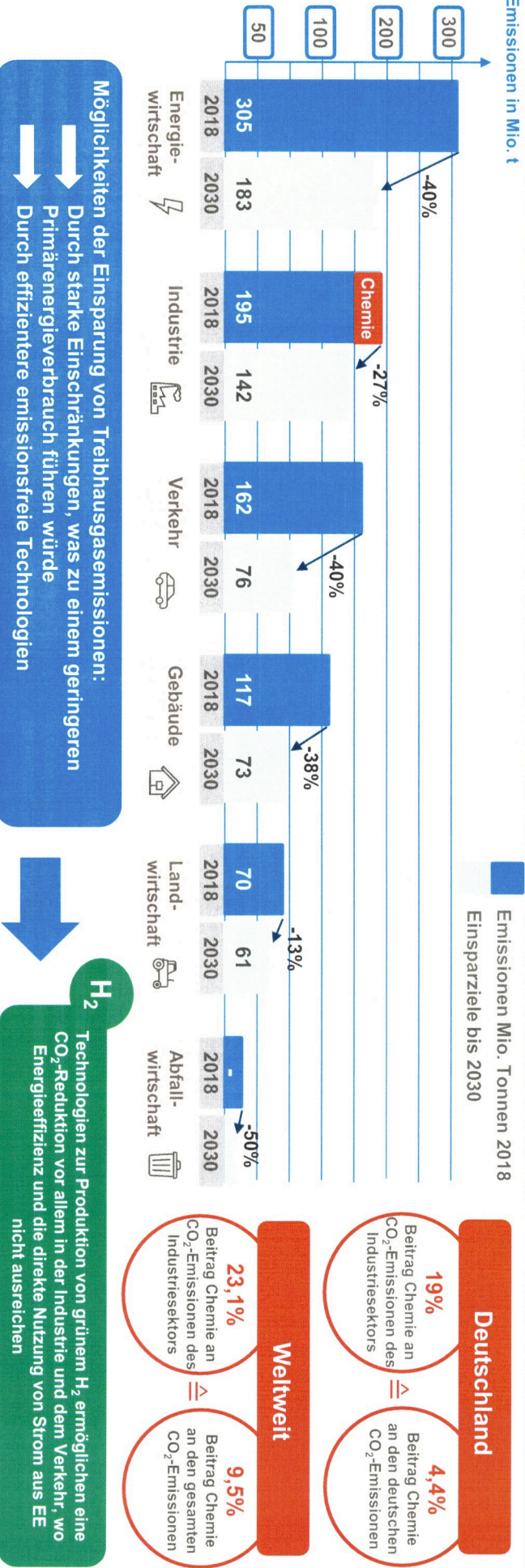
Wasserstoff als Energiequelle und Energieträger kann in verschiedenen Bereichen eingesetzt und genutzt werden. Das gelingt u.a. durch den Einsatz von Brennstoffzellen, wobei elektrische Energie und Wärme erzeugt wird. Weiterhin kann auch der Strom aus erneuerbaren Energien für die Herstellung von CO₂-armen synthetischen Energieträgern (Power Fuels) und chemischen Grundstoffen genutzt werden.



Klimafreundlicher H₂ kann Schlüsselement für Treibhausgasemissionseinsparungen sein

Sektorale Emissions-Einsparziele bis 2030 in Deutschland

- Treibhausgasemissionen sollen ausgehend vom Basisjahr 1990 bis 2050 um 80-95% gesenkt werden (Pariser Klimaabkommen)
- Von 1990 bis 2017 sanken die Treibhausgasemissionen der deutschen Chemieindustrie bereits um 48%

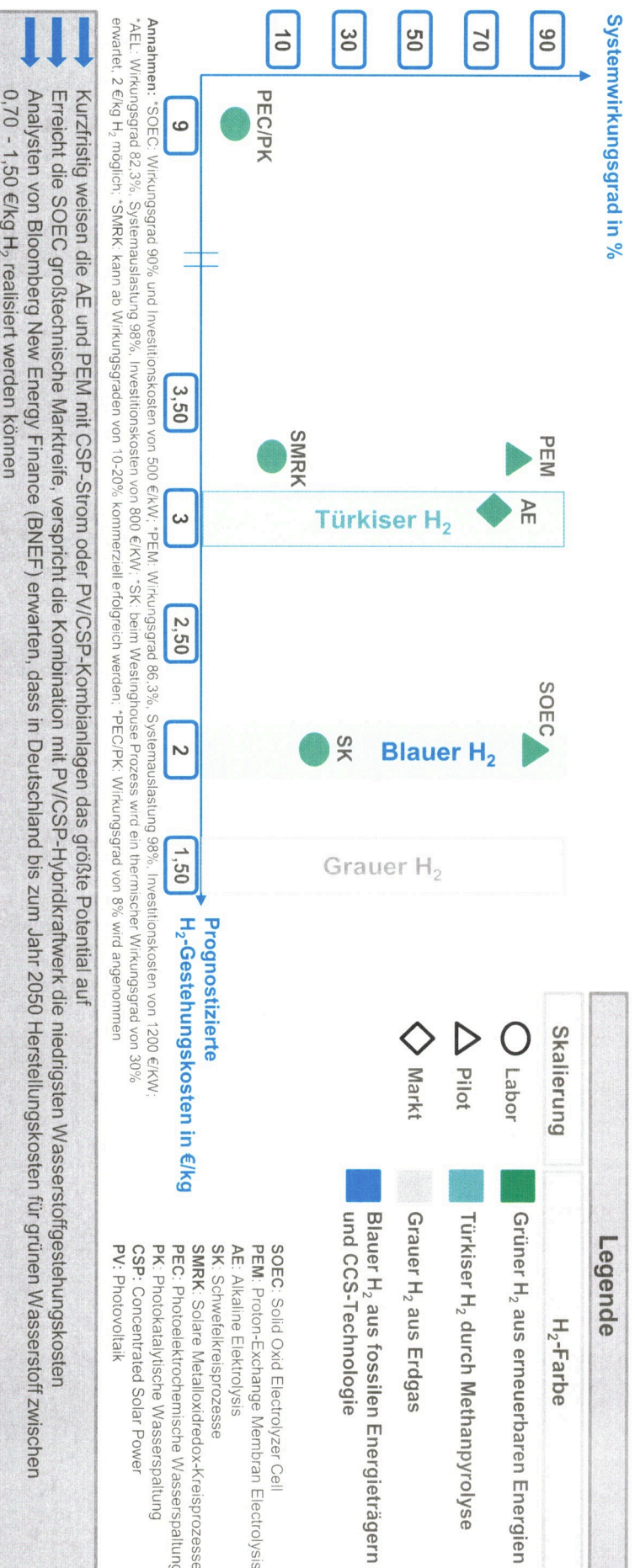


Quellen: DECHEMA & FutureCamp für den VCI (2019); Deloitte (2020); KEI; BMWi; Klimaschutzprogramm; UBA (2020)



Grüner H₂ kann durch SOEC und thermochemische Kreisprozesse wettbewerbsfähig werden

Vergleich ausgewählter Produktionsverfahren für grünen H₂ auf Basis ihrer Potentiale



Quellen: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (2020); Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW, 2018); BloombergNEF (2020)



Die Wahl der Transportform ist vor allem von der Entfernung abhängig

Vergleich über die Transportmöglichkeiten von H₂

		<0,1 \$/kg		1-2 \$/kg		>2 \$/kg	
		0-50 km	51-100 km	101-500 km	> 1.000 km	> 5.000 km	
Pipelines	Retrofitted						
	New						
Trucking	LH ₂						
	CGH ₂						
Shipping	LOHC						
	LH ₂						
	NH ₃						

Kostengünstigste Transportform ergibt sich durch:

Entfernung

Endanwendung (Menge bzw. als LH₂, NH₃ oder LOHC)

standortspezifische Bedingungen (Infrastruktur, Platzbedingungen)

Quellen: Hydrogen Council, McKinsey & Company (2021); Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (2020)



Deutschland wird mehr als die Hälfte an H₂ importieren müssen

Zukünftiger Bedarf an H₂ für Deutschland

Prognosen der H₂-Nachfrage der Endverbrauchssektoren (Industrie, Verkehr, Gebäude) für die Jahre 2030 und 2050 in Deutschland auf Basis verschiedener Studien (H₂-Bedarf 2020: ca. 55 TWh), 2030: 80-110 TWh, 2050: 200-450 TWh

Nationale Wasserstoffstrategie

Ziel: inländischer H₂-Produktionsanteil von 14%

(zum Umfang des Imports werden keine Angaben gemacht)

Annahmen: H₂-Bedarf 2030 von 90-110 TWh/a und 2050 von 110-380 TWh/a

Ziele für 2030:

- H₂-Erzeugungslleistung von 5 GW bzw. von 14 TWh/a
- Vergleich 2020: 3,85 TWh über Elektrolyseverfahren
- Strommenge aus EE: 20 TWh

- Bei einer gegebenen H₂-Nachfrage von 450 TWh im Jahr 2050 wäre eine Gesamtkapazität an heimischen Elektrolyseuren von 25 GW und eine zusätzlichen EE-Leistung von 53 GW erforderlich

Umlaut energy (2020)

Szenarien für 2050:

Szenario 80: (CO₂-Reduktion um 80% im Vergleich zum Basisjahr 1990)

- H₂-Bedarf von etwa 145 TWh – entspricht ca. 4 Mio. Tonnen H₂

Szenario 95:

- H₂-Bedarf von 399 TWh – entspricht 12 Mio. Tonnen H₂

Ergebnis: inländischer Produktionsanteil von 45%

(ergibt sich durch eine Optimierung, Modell minimiert die „Total Annual Cost“ und erfüllt gleichzeitig die Restriktionen der CO₂-Zielerreichung)

- Dadurch ergibt sich ein inländischer Elektrolysebedarf für 2050 von 62 GW Elektrolyseleistung (2900 Vollaststunden pro Jahr) und 168 GW an zusätzlicher EE-Leistung



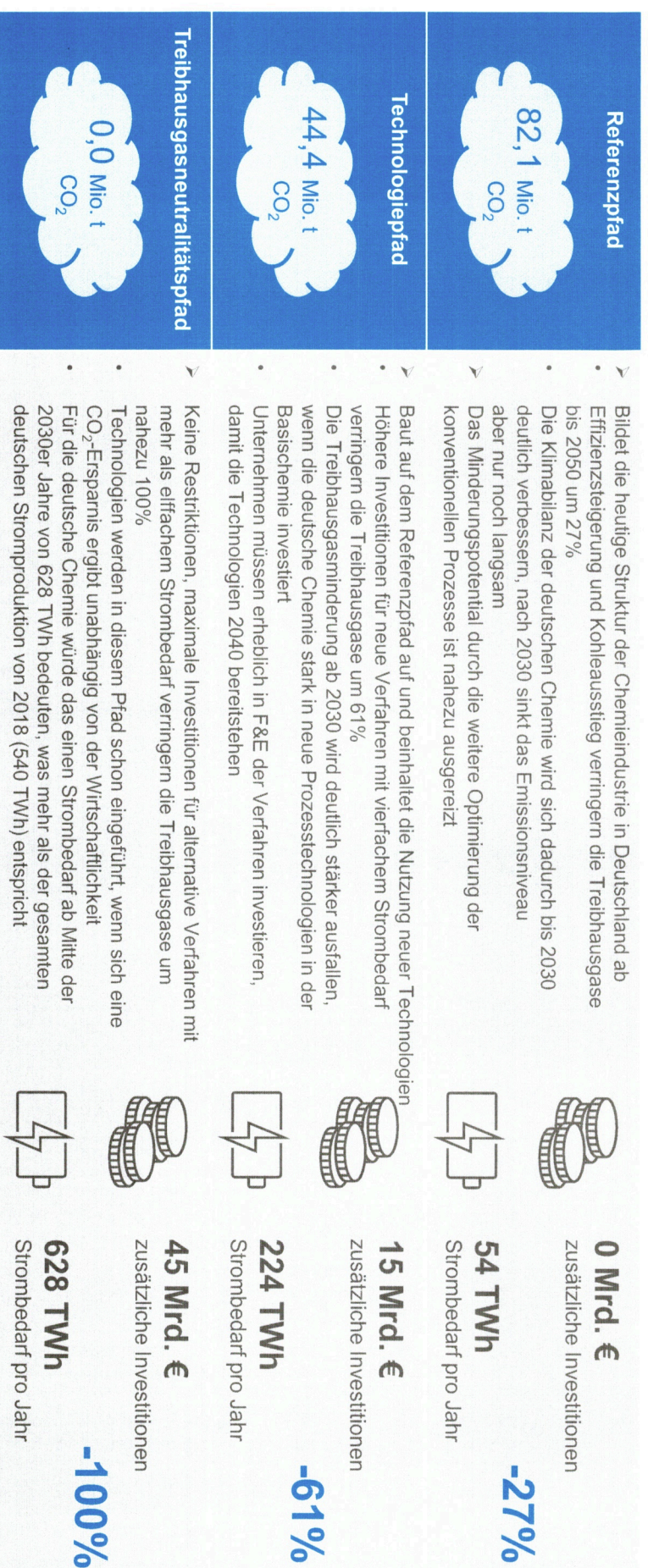
Deutschland muss einen erheblichen Anteil an H₂ importieren - um den Import in Grenzen zu halten sind in Zukunft leistungsstärkere Elektrolyseure erforderlich (aktuell liegt der Wirkungsgrad bei 67%)

Quellen: NOW (2018a, 2018b); Fraunhofer (2019), Dena (2018); Ludwig-Bölkow-Systemtechnik (LBST 2019); Umlaut energy (2020); BMWI (2020), Wuppertaler Institut (2020)



Für eine Treibhausgasneutrale Chemie 2050 werden 45 Mrd. € und 628 TWh/a Strom benötigt

Roadmap 2050 zur Senkung der THG-Emission der chemischen Industrie in Deutschland



THG: Treibhausgasemissionen | Quellen: DECHEMA & FutureCamp für den VCI (2019), Fraunhofer (2019)



Es entwickelt sich ein Multi-Milliarden Dollar Markt in den kommenden Jahren

Übersicht über den zukünftigen Markt von grünem H₂

200+ projects

Über 200 H₂-Projekte wurden bereits angekündigt:
17 sind bereits angekündigte Giga-Scale-Produktionsprojekte
(mehr als 1 GW für erneuerbaren H₂)

10 tn Euro

VDMA and BCG erwarten, dass Ingenieurunternehmen ein Umsatzpotential von
10 Billionen Euro bis 2050 erreichen können

6.7 mn tons

Der Hydrogen Council geht von einem Investitionspotenzial von 240 Mrd. Dollar zwischen
2018 und 2030 für die Produktion, Lagerung, Transport und die Verteilung von H₂ aus

2030

Grüner H₂ könnte in optimalen Regionen (Spanien, Chile, Naher Osten) bereits 2030
so teuer sein wie grauer H₂

- ✓ Investitionskosten der Elektrolyseure sinken (bis 2030 auf etwa USD 200-250/kW)
- ✓ Auslastung der Elektrolyseure steigt weiter an (durch Zentralisierung der Produktion, bessere Mischung von erneuerbaren Energien und optimierte Konstruktionen)
- ✓ Stromgestehungskosten sind rückläufig, vor allem an Standorten mit optimalen Ressourcen

Quellen: Hydrogen Council, McKinsey & Company (2021); BCG & VDMA (2020)

Quo Vadis H₂?

i

Extrem großes Potential zur Reduktion der Treibhausgasemissionen in allen Sektoren

?

- Technologien im Bereich der Produktion, Speicherung und des Transports stehen am Anfang ihrer Entwicklung.
- Essentielle Voraussetzung ist die preisliche Wettbewerbsfähigkeit von grünem H₂ gegenüber grauem H₂, was nur durch ausreichende und kostengünstige Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien erreicht werden kann.
- Deutschland und viele andere Länder werden aufgrund schlechter Ressourcen – wie auch bei fossilen Energietägern – den eigenen Bedarf an erneuerbaren Energien und H₂ nicht selber decken können und sind auf Import angewiesen.
- Politik muss Anreize liefern, damit auch kurz- bis mittelfristig die Herstellung von grünem H₂ attraktiv ist.
- CO₂-Bepreisung, die Einführung von Mindestquoten für grünen H₂ oder auch Investitionsboni in entsprechende Start-ups und Projekte könnten Möglichkeiten sein.



Abkürzungsverzeichnis

AE	Alkalische Elektrolyse	NH ₃	Ammoniak
ATR	Autotherme Reformierung	O ₂	Sauerstoff
CcH ₂	Cryo Compressed Hydrogen	PEC	Photoelektrochemische Wasserspaltung
CCS	Carbon Capture Strorage	PEM	Proton-Exchange Membrane
CGH ₂	Compressed Gaseous Hydrogen	PK	Photokatalytische Wasserspaltung
CO ₂	Kohlenstoffdioxid	POX	Partielle Oxidation
CSP	Concentrated Solar Power	PV	Photovoltaik
EE	Erneuerbare Energien	SH ₂	Slush Hydrogen
GW	Gigawatt	SK	Schwefelkreisprozesse
H ₂	Wasserstoff/Hydrogen	SMR	Steam Methane Reforming
LH ₂	Liquid Hydrogen	SMRK	Solare Metalloxydredox-Kreisprozesse
LOHC	Liquid Organic Hydrogen Carriers	SOEC	Solid Oxid Electrolyzer Cell
MOFs	Metal-Organic Frameworks	TWh	Terrawattstunde
MTO	Methanol to Olefins	WEA	Windenergieanlage