

WASSERSTOFFTECHNOLOGIEN IM ÜBERBLICK

Markt, Potenziale und Perspektiven



www.ch2ance.de



[automotiveeland.nrw e.V.](http://automotiveeland.nrw.e.v.)

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

INHALT

1. Bilanz ziehen und Zukunft gestalten	3
2. Wasserstofftechnologien im Überblick: Chancen und Herausforderungen	4
3. Die Wasserstoffwertschöpfungskette	6
4. Marktentwicklung Wasserstoff – Global, Europa, Deutschland	8
5. Gegenüberstellung Elektrolyse- (EC) und Brennstoffzellen- (FC) Arten	14
6. Gegenüberstellung der Stückzahlen PEM-EC und PEM-FC Stapel	16
7. Bedarfs- und Potenzialanalyse	18
8. Mehr Wissen	20
9. Projektpartner	22

BILANZ ZIEHEN UND ZUKUNFT GESTALTEN

Wasserstoff bewegt die Zukunft

Der Transformations-Hub ch₂ance, als Teil der Strategie der Bundesregierung zur Transformation der Automobil- und Zulieferindustrie, hat das Ziel, die Branche durch Wissenstransfer und Vernetzung in die Lage zu versetzen, ihre individuellen Potenziale in den H₂-Technologien zu erkennen und zu nutzen.

Nach drei Jahren Projektarbeit stellen wir fest: straßengebundene Wasserstofftechnologie ist serienreif. In Sonderanwendungen befindet sich die Technologie noch häufig im Testbetrieb. Fahrzeuge und Anwendungen werden stetig weiterentwickelt. Die Industrie hat die notwendigen Kompetenzen, zeigt Innovationskraft und Einsatzbereitschaft.

Doch für den flächendeckenden Einsatz fehlt es noch an entscheidenden Voraussetzungen:

Skalierung: höhere Stückzahlen führen zu niedrigeren Kosten – aber nur, wenn auch der Markt wächst.

Infrastruktur: Ohne Tankstellen und Verteilnetze bleibt das Potenzial ungenutzt.

Wasserstoff: Die Verfügbarkeit und ein angemessener Preis sind wichtige Voraussetzungen.

Strategie: Es braucht einen verbindlichen politischen Rahmen – national und idealerweise europaweit.

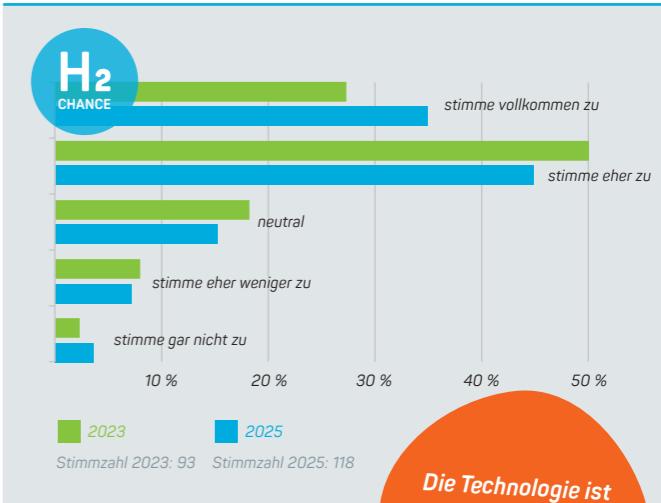
Förderung: Zielgerichtete Subventionen sind notwendig, bis der Markt eigenständig tragfähig ist.

Die Technologie ist erprobt. Die Branche ist bereit. Jetzt braucht es den politischen und wirtschaftlichen Willen und Entscheidungen!

Vorgehensweise

Drei Projektjahre haben wertvolle Einblicke in die Herausforderungen und Chancen wasserstoffbasierter Antriebe und Komponenten geliefert. Die Inhalte dieser Broschüre beruhen auf der engen Zusammenarbeit der Projektpartner mit Zielgruppe, Wissenschaft und Multiplikatoren. Sie wurden auf Basis von Recherchen, Befragungen und strukturierten Experteninterviews entwickelt. So entstand ein ganzheitlicher Überblick mit Bedarfen und Empfehlungen, die vielfältige Perspektiven einbeziehen.

Bestehende Kompetenzen der Automobil- und Zuliefer-industrie können adaptiert werden:



Die Technologie ist erprobt. Die Branche ist bereit.

WASSERSTOFFTECHNOLOGIEN IM ÜBERBLICK: CHANCEN UND HERAUSFORDERUNGEN

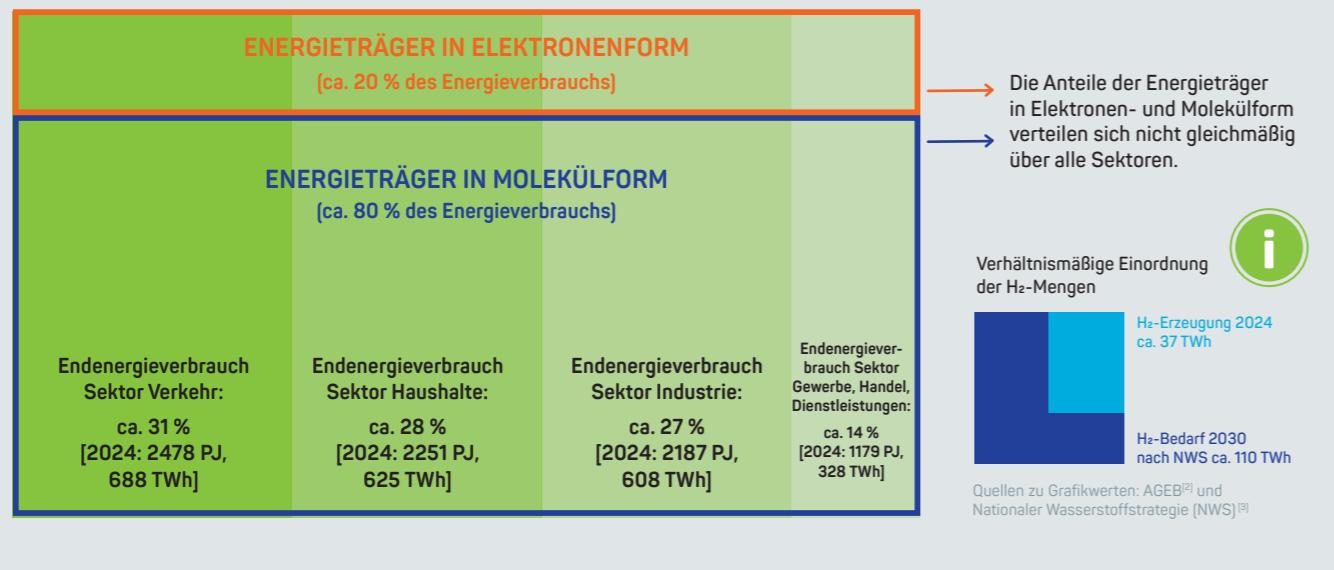
Warum Wasserstoff?

Für die Erreichung der Klimaziele, braucht es eine nachhaltige Reduzierung klimarelevanter Emissionen. Ein zukunftsfähiges Energiesystem kombiniert Energie in Form von Elektronen und Molekülen. 100 % Energiebedarfsdeckung über das Stromnetz würde einen massiven Netz- und Speicherausbau erfordern.

Wasserstoff ergänzt die Elektrifizierung und ermöglicht z. B.:

- saisonale Speicherung großer Energiemengen
- Ausgleich von Volatilität (Schwankungen im Stromnetz)
- Transport über weite Distanzen
- Energie für Industrieprozesse
- Sektorenkopplung (Strom, Wärme, Mobilität)
- Resilienz des Energiesystems

Aufteilung des Endenergieverbrauchs Deutschlands 2024 [8095 PJ, ca. 2248 TWh] nach Energieträgern und Sektoren



Wichtige Wasserstofffakten

Nutzbarkeit von erneuerbaren Energien

- ✓ H₂ macht grüne Energie in großen Mengen auf lange Zeit speicherbar und verfügbar, auch im Winter
- ⊕ Erhöhung der Nutzbarkeit von erneuerbaren Energien

Sicherheit

- ✓ Sicherheit gegeben durch bestehende Regularien
- ⊕ ähnlich konventioneller Energieträger: Wissen zur Handhabung nötig

Kostenerwartung

- ✓ erhebliche Skaleneffekte und Kostenenkung von H₂-Technologien durch Massenfertigung

Tankinfrastruktur

- ⊕ zwei Infrastrukturen (Ladesäulen und H₂-Tankstellen) sinnvoll
- ⊕ ab ca. 10 Mio. Fahrzeugen ist H₂-Infrastruktur günstiger^[4]



Technische Reife

- ✓ serienreife Fahrzeuge verfügbar
- ✓ laufend technische Verbesserungen
- ⊕ hohes Optimierungspotenzial
- ⊕ hohes Automatisierungspotenzial der Fertigung

Speicher

- ✓ Druckgasspeicher sind technisch dicht
- ⊕ Boil-off (kontrollierte aber ungewollte Verdampfung des Wasserstoffs, insbesondere bei längerer Nichtentnahme) tritt nur bei Flüssigwasserstoff-Tanks auf

H₂-Menge

- ✓ in einem Preisniveau von 3-5 €/kg H₂ können weltweit bis zu 1.620 EJ (450 PWh)^[5] produziert werden (vgl.: Energieweltbedarf 2024: ca. 600 EJ^[6])
- ⊕ Verfügbarkeit hängt von Kosten, Infrastruktur und politischen Rahmenbedingungen ab

Gegenüberstellung der kumulierten Infrastruktur-Investitionskosten bei Skalierung von BEV und FCEV (eigene Darstellung in Anlehnung an FZ Jülich)^[4]

Heute entwickeln und lernen. Morgen skalieren und den Vorsprung sichern.

- ⊕ Wasserstoff bietet die Chance, die Energieversorgung in Deutschland zu diversifizieren und die Resilienz des Gesamtsystems zu stärken.
- ⊕ Es bestehen erhebliche Potenziale zur Effizienzsteigerung, sowohl bei Komponenten und Systemen als auch beim Aufbau automatisierter Fertigungsanlagen.
- ⊕ Die Ähnlichkeiten zwischen klassischen Verbrennungstechnologien und bestimmten Wasserstofftechnologien, kombiniert mit deren vielseitigen, branchenübergreifenden Anwendungen, schaffen erhebliches Transformationspotenzial und eröffnen Möglichkeiten für eine diversifizierte Marktpositionierung.

Wasserstofftechnologien werden entlang der gesamten H₂-Wertschöpfungskette benötigt: von der Erzeugung über Speicherung und Transport bis hin zu vielfältigen Anwendungen. Die nationale Wasserstoffstrategie^[3] sieht einen Ausbau der Elektrolyseleistung bis 2030 von mindestens 10 GW vor. Weiterhin hat die Bundesnetzagentur^[7] einen Ausbau des H₂-Kernnetzes von rund 9.000 km Länge bis 2032 genehmigt. Davon werden etwa 60 % durch die Umwidmung bestehender Erdgasleitungen realisiert.

Branchenübergreifend kommt Wasserstoff beispielsweise in Energieversorgung, Industrie, Bauwesen und Mobilität zum Einsatz. Volles Potenzial entfaltet Wasserstoff, wenn die Planung sektorübergreifend erfolgt. So trägt Wasserstoff entscheidend zur Dekarbonisierung bei. Mit starken bereits bestehenden Kompetenzen der deutschen Unternehmen in Technologieentwicklung, Produktion und Automatisierung haben diese die ch2ance, den internationalen Markthochlauf von Wasserstofftechnologien maßgeblich mitzugestalten.

Wasserstoffanwendungen müssen zielgruppengerecht gedacht werden.

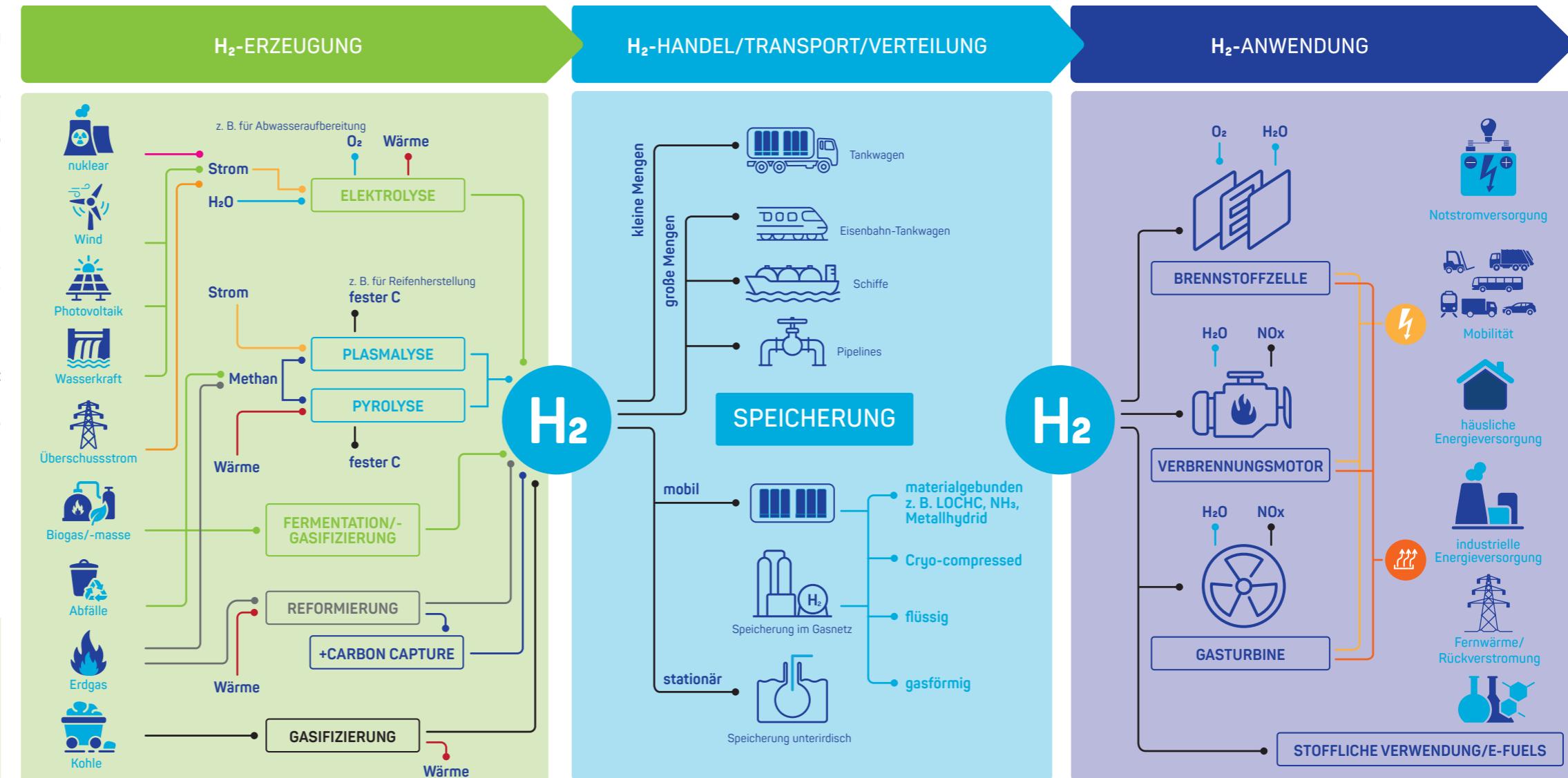
Folgende Anforderungen spielen eine entscheidende Rolle, wie der Wasserstoff transportiert und gespeichert werden muss und ob eine lokale Erzeugung oder Import ratsam sind:

- benötigte H₂-Menge der Zielgruppe/-anwendung
- Zahlungsbereitschaft bzw. Preisparität zum bisherigen Energieträger
- Qualitätsanspruch an den Wasserstoff



Verfahren zur Herstellung von sauberem Wasserstoff

- ⊕ Herstellung aus fossilen Energieträgern mit Carbon Capture Verfahren
- ⊕ Elektrolyse mit CO₂-armer elektrischer Energie
- ⊕ Elektrolyse mit erneuerbarer elektrischer Energie
- ⊕ Herstellungsverfahren mit festem Kohlenstoff als Produkt, wie Plasmalyse oder Pyrolyse



Technologieentwicklung und -export, Automatisierungs- und Produktionstechnik, Beratungs- und Dienstleistungen, Engineering, Forschungsleistung, Instandhaltung

Die Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

MARKTENTWICKLUNG WASSERSTOFF: GLOBAL, EUROPA, DEUTSCHLAND

H₂-Bedarfsentwicklung bis 2050

Wasserstoff wird zukünftig in nahezu allen Sektoren der Wertschöpfungskette eine zentrale Rolle als Energieträger und Rohstoff einnehmen. Damit einher geht eine zunehmende wirtschaftliche Bedeutung, was in einem stetigen Wachstum der globalen, europäischen und bundesdeutschen Wasserstoffnachfrage resultiert. In den nachfolgend dargestellten Ergebnissen aus einer HZwo-internen Datenerhebung werden konservative bis sehr ambitionierte Szenarien berücksichtigt.

Die unterschiedlichen Studienergebnisse werden in die nachfolgenden drei Szenarien eingeteilt:



Business as usual:

- ⊕ derzeitiger Kostenrückgang bei erneuerbaren Energien und Elektrolyseuren setzt sich fort
- ⊕ politische Maßnahmen reichen nicht aus, um ambitionierte Netto-Null-Ziele bis 2050 zu erreichen
- ⊕ Annahme eines konstanten, stetigen Wasserstoffmarktwachstums wie in den Vorjahren

Accelerated:

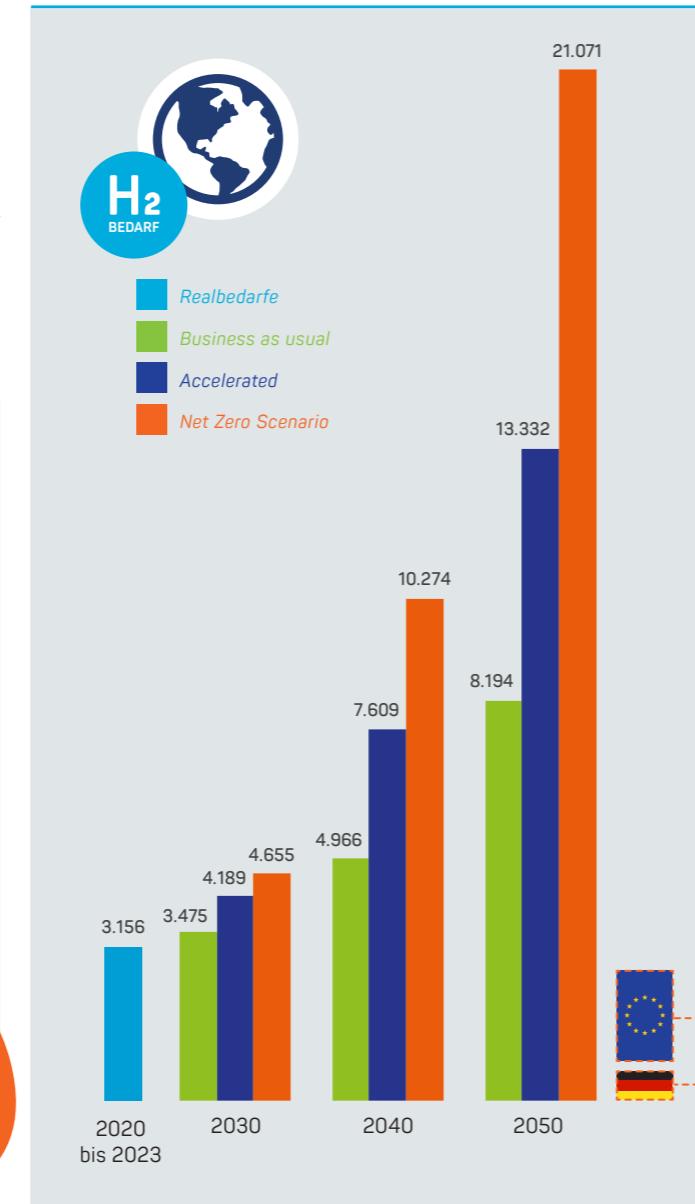
- ⊕ Übergang beschleunigt durch nationale Vorgaben, trotz finanzieller und technologischer Hürden
- ⊕ Netto-Null-Verpflichtungen bis 2050 von marktwirtschaftlich führenden Ländern zielgerichtet erreicht, andere Länder mit Verzögerung

Net Zero Scenario:

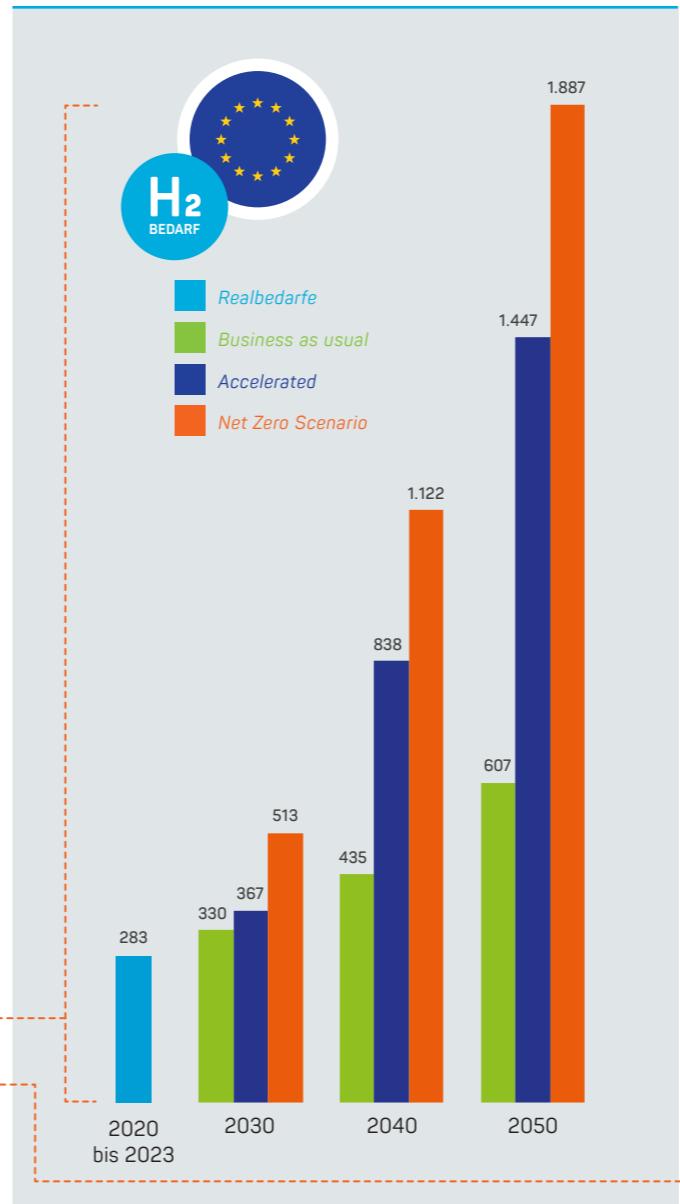
- ⊕ ehrgeizige Maßnahmen in allen Regionen
- ⊕ 1,5 Grad-Ziel wird erreicht

Wasserstoff wird zukünftig in nahezu allen Sektoren eine zentrale Rolle als chemischer Energieträger und Rohstoff einnehmen.

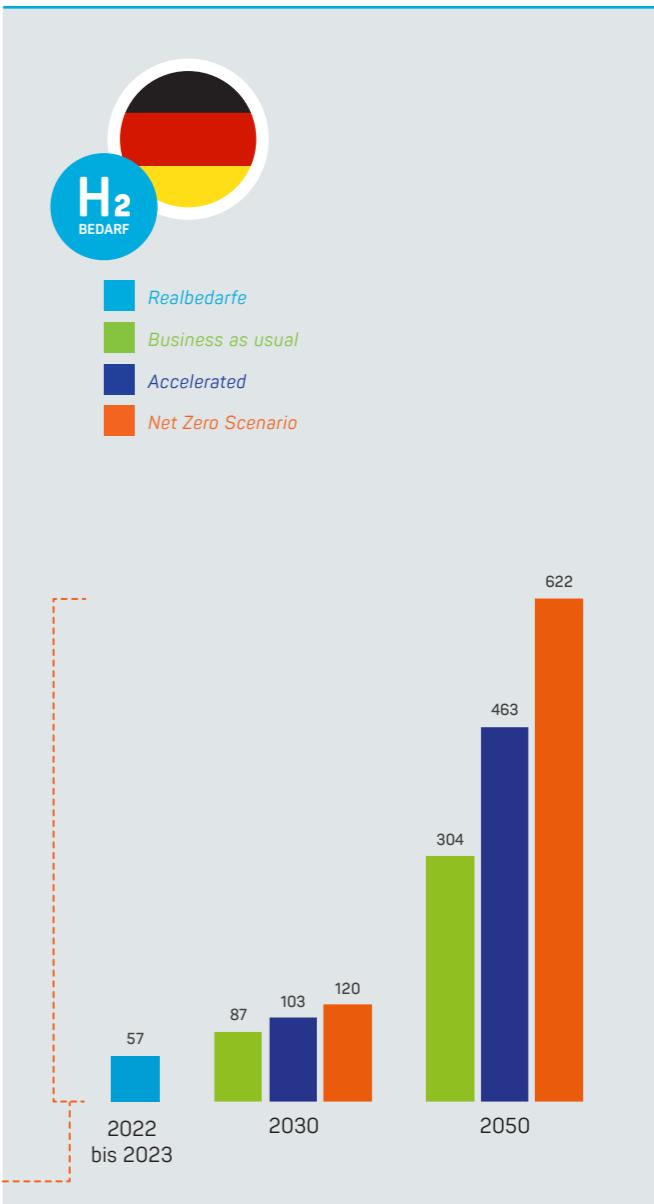
Wasserstoffbedarf Global in TWh



Wasserstoffbedarf Europäische Union in TWh



Wasserstoffbedarf Deutschland in TWh

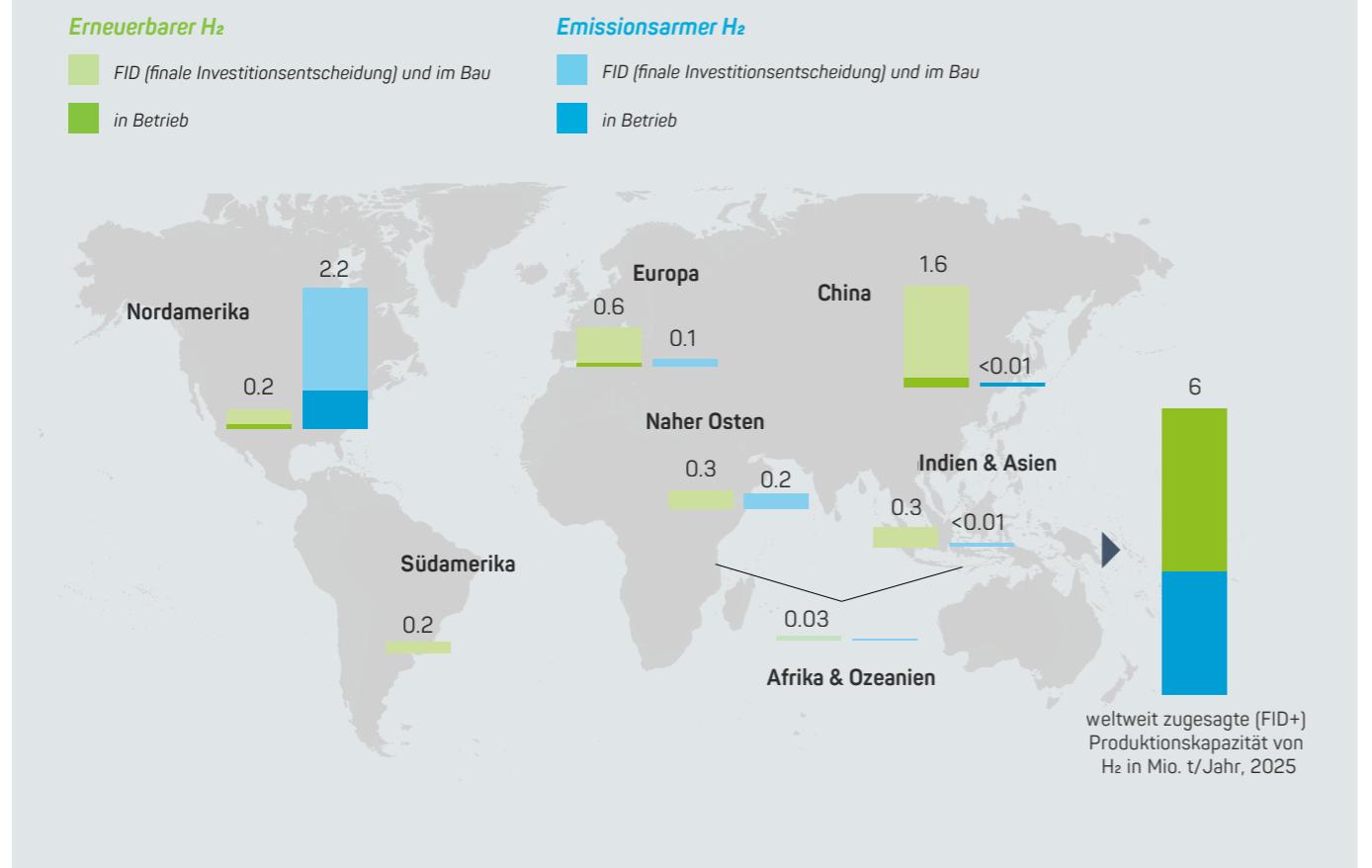


Entwicklung der globalen Erzeugungskapazität von sauberem Wasserstoff

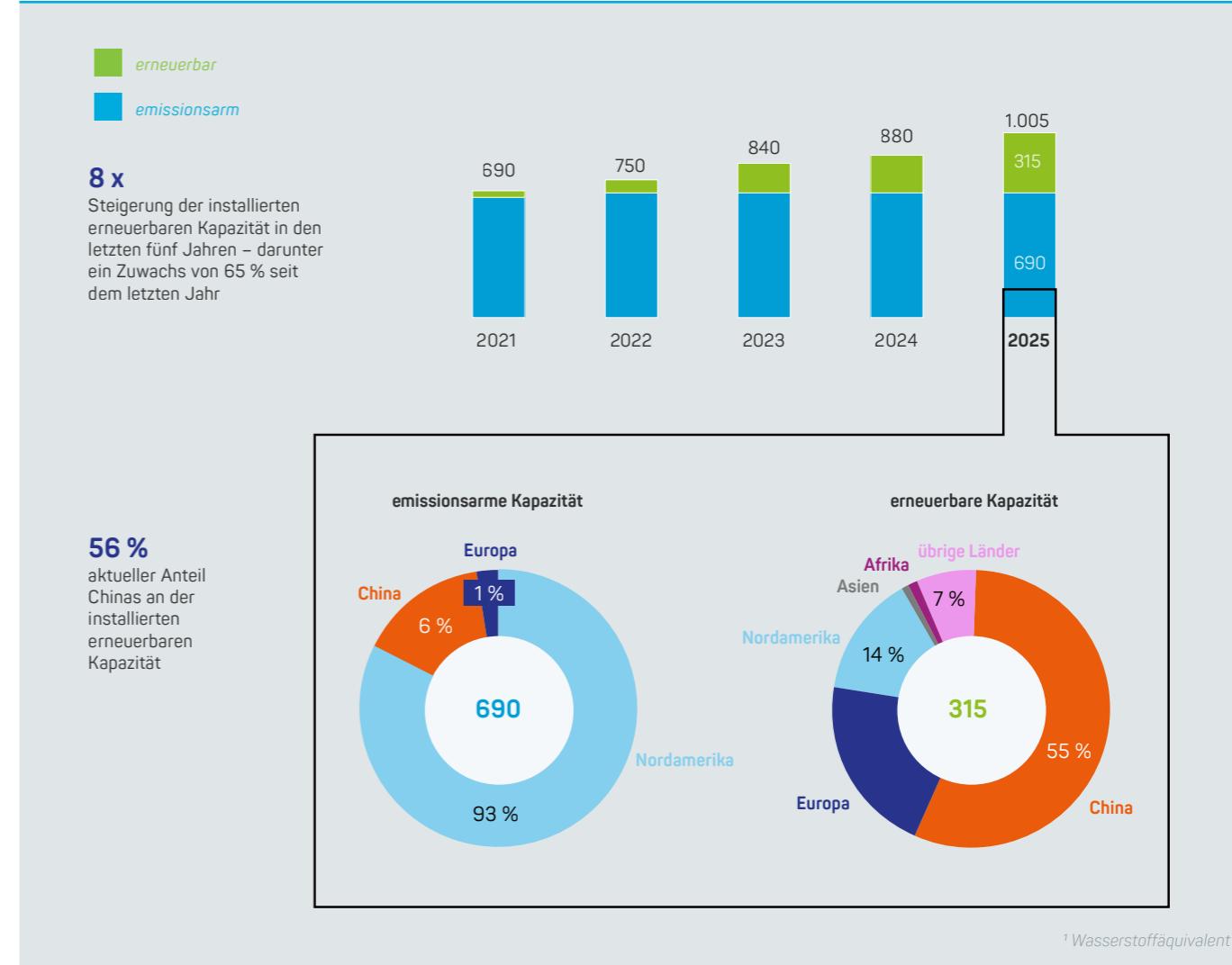
Die zugesagte Erzeugungskapazität (Projektstatus FID (final investment decision), im Bau oder in Betrieb) für sauberen (erneuerbaren und emissionsarmen) Wasserstoff übersteigt laut Global Hydrogen Compass 2025^[8] 6 Mio. Tonnen pro Jahr (t H₂/a), wovon 1 Mio. t H₂/a in Betrieb sind. Nach derzeitiger Angebotspipeline könnte bis 2030 die globale Gesamtkapazität auf

9-14 Mio. t H₂/a anwachsen. China ist derzeit führend beim Ausbau der Elektrolyse und verfügt über 55 % der global betriebsbereiten Kapazität für erneuerbaren Wasserstoff. Nordamerika führt mit 93 % bei der Produktion kohlenstoffarmen betriebsbereiten Wasserstoffs.

Weltweite Erzeugungskapazität von sauberem Wasserstoff in Mio. t H₂/a (Stand 2025) nach [8]



Betriebsbereite Kapazität für sauberen Wasserstoff nach Technologiepfad und Region in kt/a H₂e^[1] (Stand 2025) nach [8]



Globale Investitionen in Wasserstoffprojekte über die gesamte Wertschöpfungskette

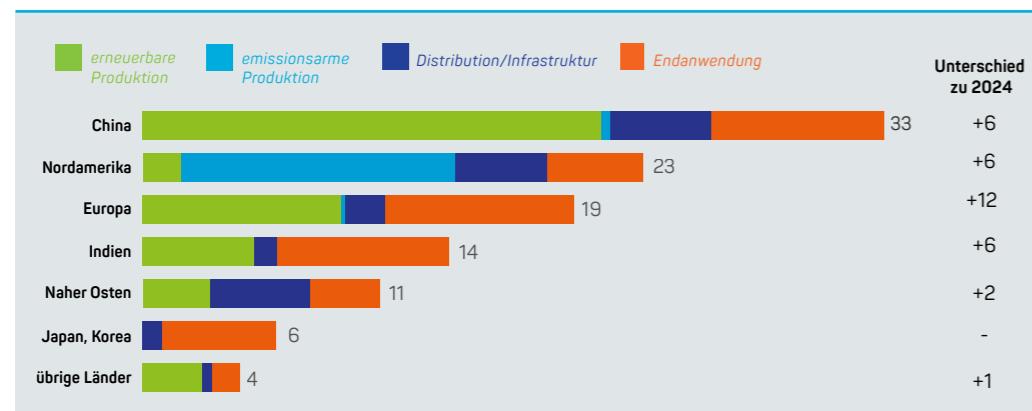
Laut Global Hydrogen Compass 2025^[8] stützen 2025 ca. 110 Milliarden US-Dollar zugesagte Investitionen mehr als 500 Projekte weltweit (FID, im Bau oder in Betrieb). Das sind 35 Milliarden US-Dollar mehr als noch 2024.

- ⊕ Wasserstoff-Projektpipeline wächst
- ⊕ insgesamt 1.749 Projekte, davon 1.159 mit commercial operation date (COD) bis 2030 (gemäß öffentlicher Bekanntmachungen)

Geplante Investitionen in saubere Wasserstoffprojekte bis 2030 in Mrd. US-Dollar [Stand 2025] nach [8]



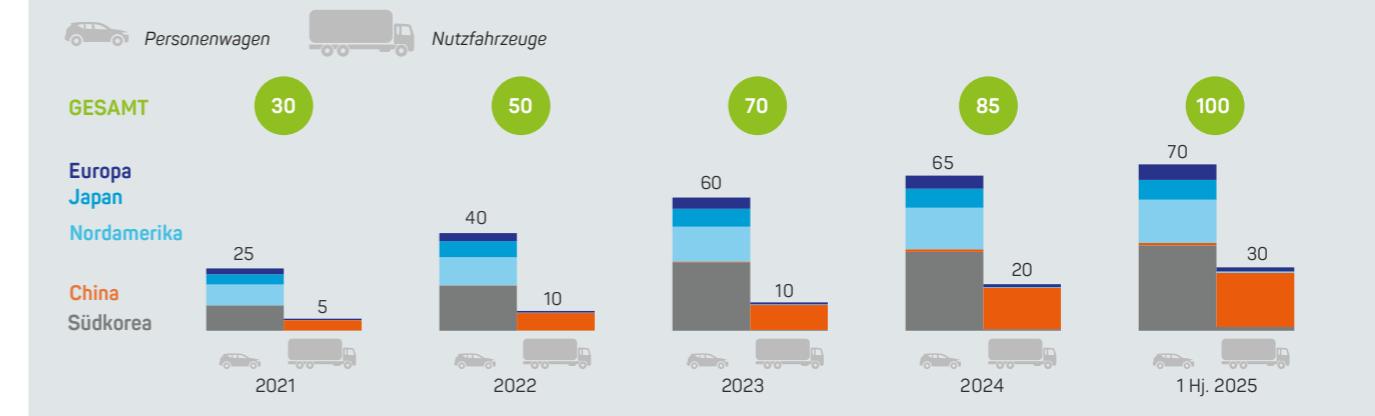
Verbindlich zugesagte (FID+) Investitionen nach Region und Wertschöpfungsstufe in Mrd. US-Dollar [Stand 2025] nach [8]



Die zugesagten Investitionen sind von 2024 nach 2025 um 45 %, v. a. durch die Wertschöpfungsstufen Produktion und Verteilung angestiegen. China führt bei den zugesagten Investitionen in Wasserstoffprojekte, die größtenteils in die Produktion von erneuerbarem Wasserstoff fließen.

Marktentwicklung von Fahrzeugen mit Wasserstoffantrieben

Gesamtabsatz von Brennstoffzellenfahrzeugen in der Vergangenheit nach Region in Tsd. Fahrzeuge [nach [8]]



Prognostizierte Absatzzahlen schwerer NfZ (N3 bzw. >12 t) in Deutschland laut Herstellerangaben



Laut [8] entfallen seit 2021 rund 45–50 % des weltweiten Absatzes von FCEV-Pkw auf Südkorea. Während anfangs insbesondere der Pkw-Markt Impulse setzte, hat sich der Schwerpunkt inzwischen auf Nutzfahrzeuge wie Lkw und Busse verlagert. Im Jahr 2025 stellten Nutzfahrzeuge bereits rund zwei Drittel der globalen Neuzulassungen, wovon etwa 75 % auf China entfielen.

In Deutschland kommt es laut [9] bei der Einführung von FCEV-Lkw zu zeitlichen Verschiebungen nach hinten. Die Serienreife des FCEV-Lkw wird laut [9] Ende dieses Jahrzehnts gesehen. Wasserstoffverbrennungsmotoren werden die Serienreife eher erreichen. Wasserstoffantriebe ergänzen batterieelektrische Lösungen im Schwerlastverkehr. Entscheidend ist die wirtschaftliche Bewertung auf Flottenebene unter Berücksichtigung von Einsatzprofil, Topografie und regionaler Infrastruktur. Langfristig entsteht ein Antriebsmix. Eine zukunftsfähige Verkehrsstrategie sollte beide Technologien einbeziehen, um Klimaziele zu erreichen und die Wettbewerbsfähigkeit der Fahrzeug- und Logistikbranche zu sichern.

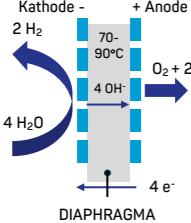
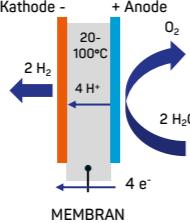
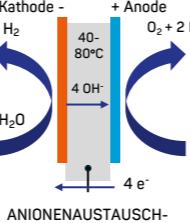
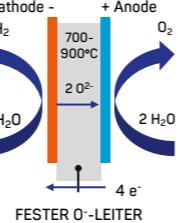
Nach Clearroom Gesprächen mit Nutzfahrzeugherstellern 2024^[9]. Hinweis: Die Rückmeldungsquote bezogen auf die aktuellen Marktanteile lag bei 96 %. Zur besseren Lesbarkeit wurden die Werte gerundet.

GEGENÜBERSTELLUNG ELEKTROLYSE- UND BRENNSTOFFZELLENARTEN

Elektrolysetechnologie (EC)

- ⊕ Schlüsselverfahren der H₂-Wertschöpfungskette zur elektrochemischen Herstellung von Wasserstoff
- ⊕ Wahl der Elektrolysetechnologie je nach Einsatzgebiet

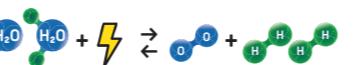
Vier Haupttechnologien der Wasserelektrolyse*

Alkalische Elektrolyse (AWE)	Polymer-Elektrolytmembran-Elektrolyse (PEM-WE)	Anionenaustauschmembran-Elektrolyse (AEM-WE)	Hochtemperatur-Elektrolyse (SOEC)
FUNKTIONSPRINZIP			
 <p>Kathode - 2 H₂ + Anode + O₂ + 2 H₂O 4 H₂O → 4 e⁻ DIAPHRAGMA</p>	 <p>Kathode - 2 H₂ + Anode + O₂ 2 H₂ + 4 H⁺ → 2 O₂ + 2 H₂O MEMBRAN</p>	 <p>Kathode - 2 H₂ + Anode + O₂ + 2 H₂O 4 H₂O + 4 OH⁻ → 2 O₂ + 2 H₂O ANIONENAUSTAUSCH-MEMBRAN</p>	 <p>Kathode - 2 H₂ + Anode + O₂ 2 H₂ + 2 O²⁻ → 2 H₂O FESTER O²⁻-LEITER</p>
VORTEILE			
<ul style="list-style-type: none"> • keine Edelmetallkatalysatoren • kostengünstige Katalysatoren und Komponenten → Reduzierung der Systemkosten • hohe Langzeitstabilität • relativ niedrige Kosten • Anlagen im großindustriellen Multi-Megawatt-Bereich möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • hohe Stromdichten • einfacher Systemaufbau • gute Teillastfähigkeit • schnelle Systemantwort für Netzstabilisierungsaufgaben • kompaktes Stapeldesign erlaubt Hochdruckbetrieb 	<ul style="list-style-type: none"> • kostengünstige Katalysatoren und Komponenten → Reduzierung der Systemkosten (keine Edelmetallkatalysatoren/platinierter Ti basierte PTL [poröse Transportschicht]/BPP [Bipolarplatte]) • geringster Stromverbrauch zur Herstellung von H₂, wenn mit existierender Wärmequelle (z. B. Abwärme aus industriellen Prozessen) kombiniert 	<ul style="list-style-type: none"> • keine Edelmetallkatalysatoren • gleichzeitige Reduktion von CO₂ und H₂O zu Synthesegas möglich • geringer Stromverbrauch zur Herstellung von H₂, wenn mit existierender Wärmequelle (z. B. Abwärme aus industriellen Prozessen) kombiniert
NACHTEILE			
<ul style="list-style-type: none"> • begrenzte Stromdichte • eingeschränkter Teillastbereich • Systemgröße und Komplexität („Footprint“) • aufwendige Gasreinigung 	<ul style="list-style-type: none"> • korrosive Umgebung • hohe Investitionskosten durch kostenintensive Komponenten • hohe Abhängigkeiten von teuren Edelmetallkatalysatoren • PFAS-Materialien für Membranen 	<ul style="list-style-type: none"> • kürzere Lebensdauer • geringer Entwicklungsgrad • geringe Leistungs- und Systemstabilität 	<ul style="list-style-type: none"> • geringe Langzeitstabilität (mechanisch) • umfangreiches Wärmemanagement • schwer skalierbar • geringe Dynamik

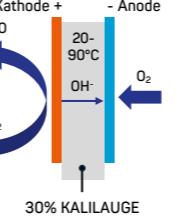
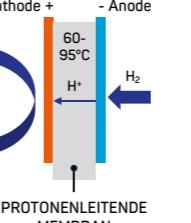
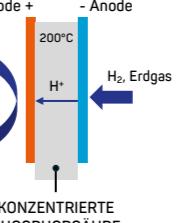
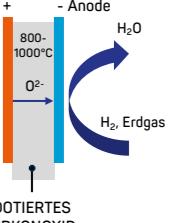
* Inhalte wurden unter Nutzung von [10] und [11] erstellt

Brennstoffzellentechnologie (FC)

- ⊕ Brennstoffzellen wandeln die chemische Energie eines Reduktionsmittels und eines Oxidationsmittels direkt in elektrische Energie und Wärme.
- ⊕ Hauptvorteile: hoher Wirkungsgrad, sehr geringe Schadstoff- und Lärmemissionen sowie ein wartungsarmer Aufbau



Vier Haupttechnologien von H₂-Brennstoffzellenverfahren**

Alkalische Brennstoffzelle (AFC)	Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzelle (PEMFC)	Phosphorsaure Brennstoffzelle (PAFC)	Oxidkeramische Brennstoffzelle (SOFC)
FUNKTIONSPRINZIP			
 <p>Kathode + H₂ + 20-90°C OH⁻ → O₂ 30% KALI LAUGE</p>	 <p>Kathode + H₂ + 60-95°C H⁺ → O₂ PROTONENLEITENDE MEMBRAN</p>	 <p>Kathode + O₂, Luft + 200°C H⁺ → H₂, Erdgas KONZENTRIERTE PHOSPHORSÄURE</p>	 <p>Kathode + O₂, Luft + 800-1000°C H₂, Erdgas → H₂O DOTIERTES ZIRKONOXID</p>
BETRIEBSWEISE			
variabel	variabel	eher stationär	stationär
VORTEILE			
<ul style="list-style-type: none"> • Verzicht auf Platin als Katalysator • kostengünstige Zellmaterialien • hoher Wirkungsgrad 	<ul style="list-style-type: none"> • hohe Leistungsdichte • einfache Systemtechnik (keine flüssige Lauge) • kompakte Systeme 	<ul style="list-style-type: none"> • hohe Toleranz gegenüber CO und H₂S • Abwärmenutzung möglich • für H₂ aus Erdgasreformierung 	<ul style="list-style-type: none"> • hohes Temperaturniveau und somit gute Nutzbarkeit der Abwärme • Brennstoffflexibel (Erdgas, H₂) • kein flüssiger Elektrolyt/keine Benzinprobleme, dadurch hohe Wirkungsgrade
NACHTEILE			
<ul style="list-style-type: none"> • geringe Leistungsdichte • Unverträglichkeit von CO₂ • niedrige Lebensdauer der Membranen 	<ul style="list-style-type: none"> • teure Edelmetallkatalysatoren • anfällig gegenüber CO • hohe Anforderungen an Wasserstofffreiheit • PFAS Materialien für Membranen 	<ul style="list-style-type: none"> • geringe Leistungsdichte • Korrosionsprobleme • niedriger Wirkungsgrad im Vergleich zu den genannten Verfahren 	<ul style="list-style-type: none"> • hohe Degradation durch z. B. thermomechanische Spannungen • hohe Temperaturbeständigkeit der Materialien notwendig

** Inhalte wurden unter Nutzung von [12], [13] und [14] erstellt



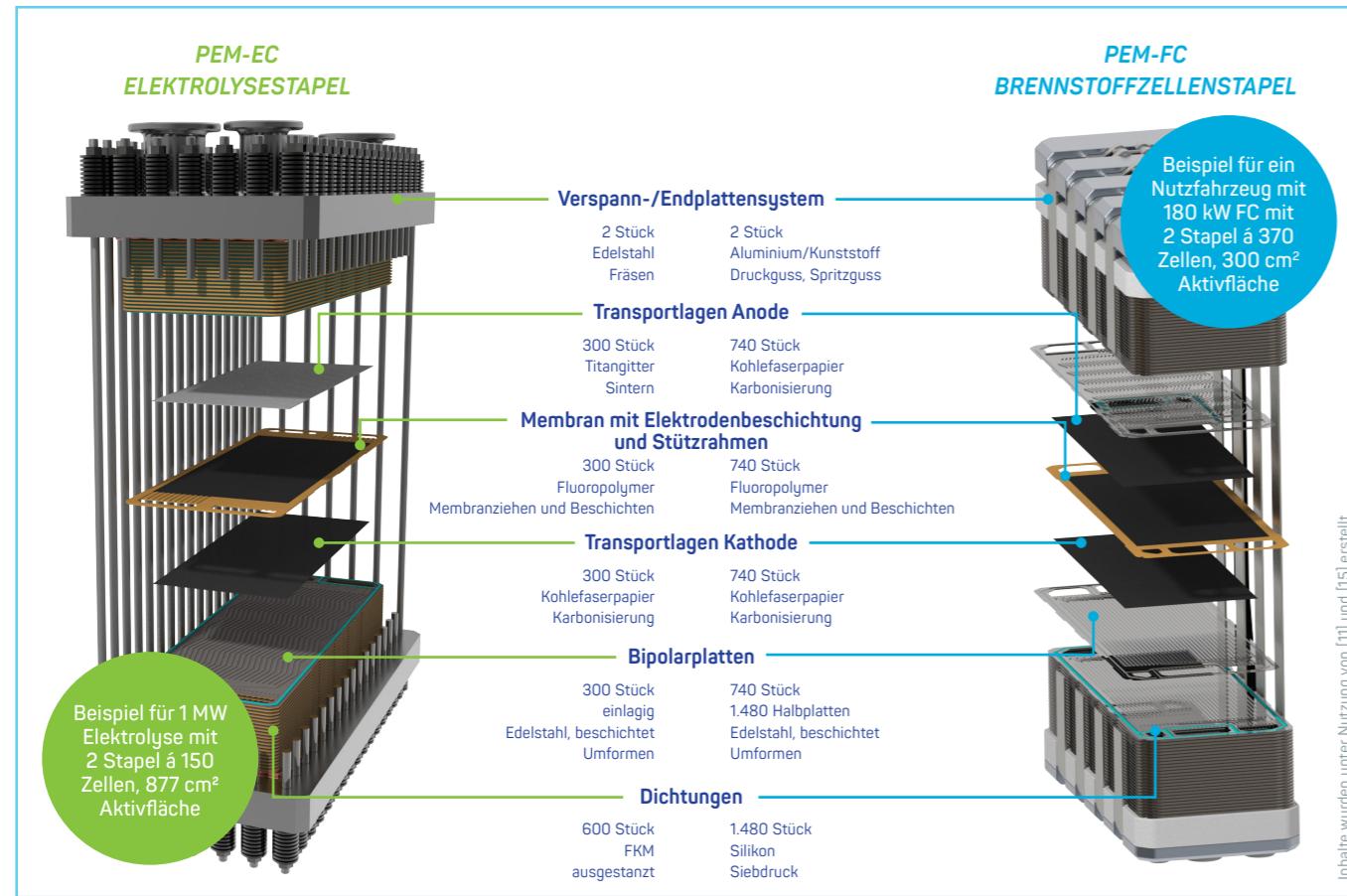
GEGENÜBERSTELLUNG DER STÜCKZAHLEN PEM-EC UND PEM-FC STAPEL

Stückzahlpotenziale des Stapels

Der Polymerelektrolytmembran (PEM)- Elektrolyseur und die PEM-Brennstoffzelle sind Energiewandlersysteme, die auf demselben elektrochemischen Grundprinzip basieren, jedoch in umgekehrter Wirkungsrichtung arbeiten. Dadurch bestehen viele technische und produktionstechnische Parallelen. Trotz Ähnlichkeiten gibt es bedeutende Unterschiede in der Ausführung.



Spiegelbildliche Funktion → ähnlicher Stapelaufbau → viele technische und produktionstechnische Parallelen



Inhalte wurden unter Nutzung von [1] und [15] erstellt

Potenzial zur Portfolio- und Branchenerweiterung

- ⊕ vergleichbare Komponenten: z. B. Membran, Transportlagen, Bipolarplatten, Dichtungselemente
- ⊕ hohe Adaptierbarkeit für verschiedene Materialien und Fertigungsprozesse in beiden Anwendungen
- ⊕ Übertragbarkeit technologischer Kernkompetenzen von Herstellern auf beide Technologien

Konkrete Stückzahlbeispiele für Brennstoffzellenstapel

Gabelstapler - Nutzfahrzeug 15 kW



Quelle: STILL GmbH

1 Stapel á 10 kW	BIPOLARHALBLATTEN
142	GASDIFFUSIONSLAGEN
ca. 71	MEMBRANEN
1	VERSPANNSYSTEME

BMW iX5 Hydrogen - Personenkraftwagen 125 kW



Quelle: BMW GROUP

1 Stapel á 125 kW	BIPOLARHALBLATTEN
660	GASDIFFUSIONSLAGEN
330	MEMBRANEN
1	VERSPANNSYSTEME

Hyundai Xcient - Lastkraftwagen 180 kW [16]



Quelle: Hyundai Motor Deutschland GmbH

2 Stapel á 95 kW	BIPOLARHALBLATTEN
1.400	GASDIFFUSIONSLAGEN
700	MEMBRANEN
2	VERSPANNSYSTEME

BEDARFS- UND POTENZIALANALYSE

Bei Mobilitätsanwendungen mit Brennstoffzellenantrieb zeigen sich entlang der Wertschöpfungskette vielfältige Bedarfe und Potenziale. Die folgenden Tabellen geben einen Überblick über ausgewählte Aspekte.

Stapelkomponenten

BEDARFE

- korrosionsbeständige, elektrisch leitfähige Materialien und langlebige Beschichtungen
- moderne Dichtungstechnologien mit hoher Beständigkeit unter variierenden Betriebsbedingungen
- großserienfähige Fertigungsprozesse mit hoher Taktrate
- zeiteffiziente, inlinefähige Prüfmethoden (Druck-/Durchfluss-/Isolationsprüfungen)
- Montagepräzision und gleichmäßige Verspannung des Stapels

Anodenmanagement (H₂-Subsystem)

BEDARFE

- standardisierte Rezirkulationskomponenten für unterschiedliche Leistungsanforderungen
- Kombinationslösung aus Strahlpumpe und Rezirkulationsgebläse
- korrosions- und wasserstoffbeständige Materialien, kompatibel mit deionisiertem Wasser und unter Berücksichtigung variierender Mischgaszusammensetzungen
- optimierte Rezirkulationssteuerung und Purge-Strategie zur Effizienz- und Lebensdauersteigerung
- Vermeidung von Tropfenschlag in Gebläsen durch effiziente Wasserabscheidung

Kathodenmanagement (O₂/Luft-Subsystem)

BEDARFE

- schadgasspezifische Luftfiltersysteme mit geringem Druckverlust
- Filter mit Anzeige des Wartungsbedarfs
- Weiterentwicklung Befeuchtungssysteme
- Weiterentwicklung und Standardisierung von Verdichtern mit breiten Leistungskennfeldern
- korrosionsbeständige Materialien und Beschichtungen

POTENZIALE

- Zulieferer:** Entwicklung effizienter, langlebiger Stromabnehmer-, BPP-, Endplatten mit integrierten Dichtungssystemen, Spannsysteme
- Anlagen- und Maschinenbau:** automatisierte Anlagen für Serienproduktion und Beschichtungsprozesse
- Qualitätssicherung:** End-of-Line-Tests, Lebensdauerprüfungen, Aktivierungsprotokolle
- Dienstleister:** Monitoring- und Servicekonzepte für Kühlmittel- und Dichtungssysteme
- Forschung und Entwicklung:** Optimierung der Beschichtungstechnologie, Reduktion Katalysatoreinsatz, Bipolarplatten, Verspannungs etc.

POTENZIALE

- Zulieferer:** Entwicklung Gebläselösungen und Abscheidesysteme, Materialien und Komponenten für Gebläse, Ventile und Abscheider
- Anlagen- und Maschinenbau:** automatisierte Anlagen und Prüftechnik für Gebläse
- Qualitätssicherung:** Testverfahren für Dichtheit, Lebensdauer und Effizienz von Gebläsen
- Dienstleister:** Lebensdauertests, Prozess- und Strategieoptimierung
- Forschung und Entwicklung:** Definition geeigneter Werkstoffe, Rezirkulations- und Purgeoptimierung

POTENZIALE

- Zulieferer:** Echtzeitsensoren für Filterzustand und Luftfeuchtigkeit
- Anlagen- und Maschinenbau:** Produktion von Filter-, Kompressor- und Kühlkomponenten
- Qualitätssicherung:** Tests zur Schadgasfilterung und Druckverlust
- Forschung und Entwicklung:** optimierte Schadgasabscheidung inklusive Beladungsüberwachung, neue Befeuchtungskonzepte und Materialien

Thermomanagement

BEDARFE

- chemisch stabile Kühlmittel mit niedriger elektrischer Leitfähigkeit
- korrosionsbeständige Materialien und Beschichtungen
- Optimierung der Serviceintervalle von Ionentauschern zur Leitfähigkeitskontrolle
- effiziente Wärmeabfuhr und Kaltstartfähigkeit
- Kontrolle der Kühlmittelleitfähigkeit (Ionentauscher, Monitoring)

POTENZIALE

- Zulieferer:** Kühlmittel, Additive, Ionentauscherharze sowie Komponenten für Pumpen und Wärmetauscher
- Qualitätssicherung:** Langzeitstudien zu Material- und Systemverträglichkeit (Ioneneintrag, Wärmeabfuhr)
- Dienstleister:** Wartungskonzepte, Monitoring-Services und Prüfdienstleistungen für Kühlkreisläufe
- Forschung und Entwicklung:** neue Materialien, Beschichtungen und intelligente Regelstrategien, Entwicklung nachhaltiger Kühlmittel und Additive

Wasserstofftanksystem

BEDARFE

- optimierte Wickeltechnologie und automatisierte Fertigungsprozesse
- formvariable Tanks für Pkw, Lkw und Busse
- leichte Hochdruckspeicher
- Zertifizierung von Tanksystemen nach internationalen Standard



POTENZIALE

- Zulieferer:** innovative Tanklösungen, Materialien, Ventile und Fertigungstechnologien
- Anlagen- und Maschinenbau:** automatisierte Produktions- und Prüfanlagen
- Qualitätssicherung:** Tests für Druckbeständigkeit, Dichtheit und Crashsicherheit
- Dienstleistung:** wiederkehrende Prüfervices und Wartungskonzepte für Tanksysteme
- Forschung und Entwicklung:** neue Verbundmaterialien und Protokolle

Leistungselektronik

BEDARFE

- hochleistungsfähige DC/DC- und DC/AC-Wandler
- Miniaturisierung bei hohem Wirkungsgrad
- thermisches Design und effiziente Wärmeabfuhr
- Software zur vorausschauenden Steuerung und Optimierung von Energiefüssen in Echtzeit
- Schnittstellenoptimierung zwischen Brennstoffzelle, Batterie und Antrieb

POTENZIALE

- Zulieferer:** Integration in Fahrzeugsteuerungen, Steuergeräte, Leistungsmodule
- Anlagen- und Maschinenbau:** Fertigungsanlagen für Leistungselektronik
- Qualitätssicherung:** Validierung von Energiefluss- und Thermokonzepten
- Dienstleister:** Algorithmen und Schnittstellen
- Forschung und Entwicklung:** neue Halbleitermaterialien und effiziente Wärmemanagementlösungen

Sie haben weitere
Potenziale erkannt?
Dann kommen Sie auf
uns zu!

Factsheets

Unsere Factsheets bieten einen kompakten technischen Überblick zu wasserstoffbasierten Antrieben, insbesondere zum Aufbau und der Funktion der Subsysteme und Komponenten eines FCEVs und machen das komplexe Thema „Normen und Standards“ leicht verständlich.

1. Überblick und Potenziale zu wasserstoffbasierten Antrieben
2. Aufbau und Funktion eines Brennstoffzellenantriebsstrangs
3. Aufbau und Funktion eines mobilen FC-Systems
4. Anwendungsfelder von Brennstoffzellenantrieben
5. Aufbau und Funktion des Anodensubsystems
6. Aufbau und Funktion des Kathodensubsystems
7. Aufbau und Funktion des Thermomanagementsystem
8. Aufbau und Funktion eines Brennstoffzellenstapels
9. Aufbau und Funktion einer FC-Einzelzelle
10. Wasserstofftanksystem eines FCEVs
11. Einführung Grundlagen „Regulation, Codes and Standards“ Teil 1 und Teil 2



Wissensplattform mit interaktivem 3D-Modell



BZ-Systembaukasten – Haptik zum Ausleihen

Der Systembaukasten zeigt anschaulich die Hauptkomponenten und die entsprechenden Medienflüsse eines Brennstoffzellensystems und eignet sich somit perfekt für Schulungen, als Anschauungsmaterial bei Kundenpräsentationen oder zur Entwicklung neuer Ideen. Entdecken Sie die spielerische „Hands-on“ Weiterbildung.



BZ-Systemberechnungs-Tool für Profis

Nutzen Sie aufbauend zum interaktiven 3D-Modell die BZ-Systemberechnung. Das Systemberechnungstool ermöglicht es Systembedingungen als auch die Kernparameter der einzelnen Balance-of-Plant-Komponenten (BoP) für einen statischen Betriebspunkt zu variieren. So können Sie den jeweiligen Einfluss auf den Brennstoffzellenstapel und das gesamte System kennenlernen und die Wirkzusammenhänge für verschiedene Anwendungsfälle besser verstehen.



Schaufensterworkshops

Mit unseren Workshops sind wir im gesamten Bundesgebiet unterwegs. Im Fokus stehen dabei die Vermittlung von wasserstoffspezifischem Wissen sowie die Vernetzung relevanter Akteure. Hier können Sie die Technik live erleben und neue, wertvolle Kontakte knüpfen. Sie haben Interesse an der Durchführung eines Workshops in Ihrem Unternehmen, dann kommen Sie gern auf uns zu!



Unser Beratungsangebot

Wir beraten Sie zu Ihren Möglichkeiten und passenden Partnern sowie Fördermitteln. Nutzen Sie unsere kostenlosen Beratungsangebote und sprechen uns an. Abonnieren Sie gern unseren Fördermittelnewsletter.



PROJEKTPARTNER



Der Transformations-Hub ch2ance als nationales und interdisziplinäres Bündnis aus etablierten Wasserstoffclustern und Automobil- und Zulieferer Netzwerken besteht aus folgenden Partnern:



Verbundkoordinator
HZwo e. V.
www.hzwo.eu

Europäisches H₂-Technologie-Netzwerk **HZwo** mit über 160 internationalen Mitgliedern aus Unternehmen und Forschungseinrichtungen sowie Wasserstoffexperten.

Schwerpunkte der Arbeit sind der Aufbau des nationalen Innovations- und Technologiezentrums für Wasserstoff – HIC, Fachberatung für Wirtschaft und Politik zur Technologie und Förderung, Wissenstransfer zu Wasserstofftechnologien über die gesamte Wertschöpfungskette, Vernetzung, Projektinitiierung und Öffentlichkeitsarbeit



**ZBT - Zentrum für
BrennstoffzellenTechnik GmbH**
www.zbt-duisburg.de

Die **ZBT - Zentrum für BrennstoffzellenTechnik GmbH** ist eine der führenden europäischen Forschungseinrichtungen für Brennstoffzellen, H₂-Technologien und Elektrolyse-Verfahren mit Schwerpunkten auf Automotive-Anwendungen und stat. Energieerzeugung. Teil des Portfolios sind Test- und Prüfeinrichtung für H₂-Technologien mit Produktions- und Testanlagen, chemischen Laboren und High-Tech-Analytik.



AMZ Sachsen
www.amz-sachsen.de

Kooperative, unternehmensübergreifende Zusammenarbeit mit dem Ziel, die Wettbewerbsfähigkeit eines jeden Einzelnen zu stärken. Als Stimme der Zuliefererindustrie begleitet **AMZ Sachsen** aktiv den Strukturwandel der Automobilbranche – durch themenspezifische Workshops sowie gezielte Projektinitiativen. Das Netzwerk bringt Menschen und Unternehmen zusammen, um gemeinsam Lösungen für die Transformation zu entwickeln.

automotiveland.nrw e.V.

automotiveland.nrw e. V.
www.automotiveland.nrw

Die Clusterinitiative **automotiveland.nrw e. V.** begleitet die Fahrzeugzulieferindustrie bei der Transformation und vernetzt Unternehmen, Forschung und Politik. Die Themenfelder des Netzwerks sind: Neue Antriebe (BEV + FCEV), autonomes Fahren und smarte Mobilität, Fachkräfte (Ausbildung und Qualifizierung), Internationalisierung und Außenwirtschaft, Liefer- und Wertschöpfungsketten sowie regulatorische Rahmenbedingungen.

QUELLEN

- [1] Transformations-Hub ch2ance, „[www.ch2ance.de](https://www.ch2ance.de/wp-content/uploads/2025/09/ch2ance_Zielgruppenbefragung_2-seitig.pdf),“ 2025. [Online]. Available: https://www.ch2ance.de/wp-content/uploads/2025/09/ch2ance_Zielgruppenbefragung_2-seitig.pdf. [Zugriff am 01.10.2025].
- [2] AGEB AG Energiebilanzen e.V., „[www.ag-energiebilanzen.de](https://ag-energiebilanzen.de/),“ 2025. [Online]. Available: https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/EBD24p2_EFBLang_PJ_deutsch.pdf. [Zugriff am 23.10.2025].
- [3] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), „[www.bundeswirtschaftsministerium.de](https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/fortschreibung-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=9),“ Juli 2023. [Online]. Available: https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/fortschreibung-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=9. [Zugriff am 30.09.2025].
- [4] M. Robinus et al., „Comparative Analysis of Infrastructures: Hydrogen Fueling and Electric Charging of Vehicles,“ Forschungszentrum Jülich GmbH, 2018.
- [5] Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, „[www.hypat.de](https://hypat.de/),“ 2024. [Online]. Available: <https://hypat.de/hypat-wAssets/docs/new/publikationen/HYPAT-Abschlussbericht.pdf>. [Zugriff am 16.09.2024].
- [6] Energy Institute 2025, „www.energyinst.org,“ 2025. [Online]. Available: <https://www.energyinst.org/statistical-review>. [Zugriff am 10.09.2025].
- [7] Bundesnetzagentur, „www.bundesnetzagentur.de,“ 22.10.2024. [Online]. Available: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Wasserstoff/Kernnetz/start.html?utm_source=chatgpt.com. [Zugriff am 16.09.2025].
- [8] Hydrogen Council. McKinsey & Company, „[www.compass.hydrogencouncil.com](https://compass.hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2025/09/Hydrogen-Council-Global-Hydrogen-Compass-2025.pdf),“ 09.2025. [Online]. Available: <https://compass.hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2025/09/Hydrogen-Council-Global-Hydrogen-Compass-2025.pdf>. [Zugriff am 01.10.2025].
- [9] NOW GmbH, „www.now-gmbh.de,“ 11.2024. [Online]. Available: <https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2024/11/Marktentwicklung-klimafreundlicher-Technologien-im-schweren-Strassengueterverkehr-2024.pdf>. [Zugriff am 01.10.2025].
- [10] M. El-Shafie, „Hydrogen Production by water electrolysis technologies: A review,“ Results in Engineering 20, Nr. 101426, 12/2023.
- [11] A. Badgett et al., „Updated Manufactured Cost Analysis for Proton Exchange Membrane Water Electrolyzers,“ National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, CO (United States), 02/2024.
- [12] P. Kurzweil, *Brennstoffzellentechnik: Grundlagen, Materialien, Anwendungen, Gaserzeugung*, Wiesbaden: Springer Verlag, 2016.
- [13] E. Wagner, *Das System Brennstoffzelle: Wasserstoffanwendungen ganzheitlich entwickeln*, München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co KG, 2023.
- [14] T. von Unwerth et al., „Wertschöpfungspotenziale von Wasserstoff für Sachsen: Potenzialstudie mit Akteurs- und Marktanalyse zu Wasserstofftechnologien und Brennstoffzellen für Sachsen,“ Chemnitz, 2021.
- [15] I. Pielecha, „Modeling of Fuel Cells Characteristics in Relation to Real Driving Conditions of FCHEV Vehicles,“ Energies, 15 (18), 6753, 09/2022.
- [16] Hyundai Truck & Bus, „www.hyundaihm.com,“ 2020. [Online]. Available: https://www.hyundaihm.com/wp-content/uploads/2020/10/XCIENT-Fuel-Cellcatalog_print.pdf. [Zugriff am 10.09.2025].

HERAUSGEBER

Transformations-Hub ch2ance
1. Auflage 12/2025

BILDNACHWEIS

Sämtliche Grafiken und Abbildungen ohne explizite Quellenangabe wurden durch HZwo e.V. erstellt.

INHALTLICHER ANSPRECHPARTNER

HZwo e.V.
Technologie-Campus 6, 09126 Chemnitz
info@hzwo.eu

Stand Dezember 2025. Änderungen vorbehalten.



HZwo e.V.

Technologie-Campus 6
09126 Chemnitz
+49 371 337 179 33
info@hzwo.eu

www.hzwo.eu



Projektträger

VDI | VDE | IT

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages