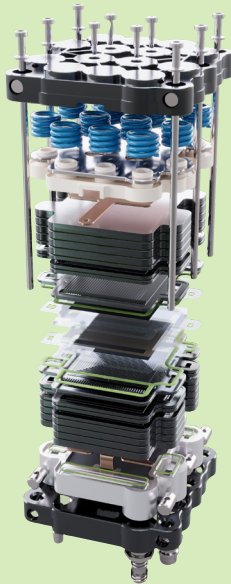


## WASSERSTOFFTECHNOLOGIEN IM ÜBERBLICK

Markt, Potenziale und Perspektiven



[www.ch2ance.de](http://www.ch2ance.de)



automotive**land**.nrw e.V.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

**Wasserstoff bewegt die Zukunft**

Der Transformations-Hub cH<sub>2</sub>ance, 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 H<sub>2</sub>-Technologien zu erkennen und zu nutzen.

Nach drei Jahren Projektarbeit stellen wir fest: straßen- gebundene Wasserstofftechnologie ist serienreif. In Sonderan- wendungen befindet sich die Technologie noch häufig im Test- betrieb. Fahrzeuge und Anwendungen werden stetig weiterent- wickelt. Die Industrie hat die notwendigen Kompetenzen, zeigt Innovationskraft und Einsatzbereitschaft.

Doch für den flächendeckenden Einsatz fehlt es noch an ent- scheidenden Voraussetzungen:

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

**Infrastruktur:** Ohne Tankstellen und Verteilnetze bleibt das Potenzial ungenutzt.

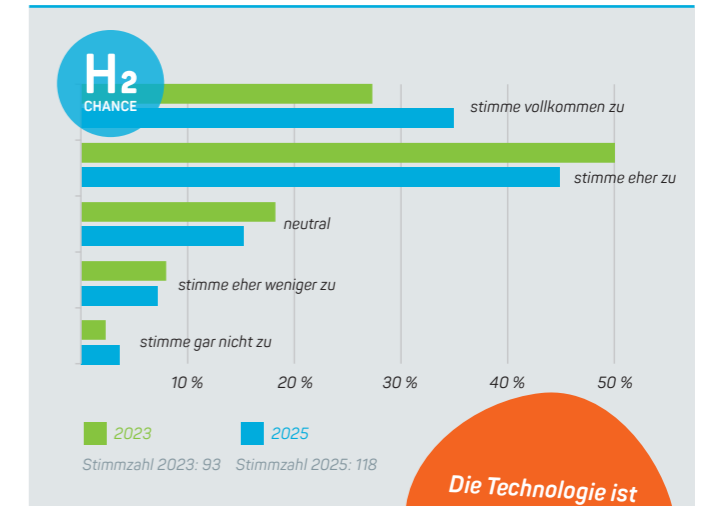
**Wasserstoff:** Die Verfügbarkeit und ein angemessener Preis sind wichtige Voraussetzungen.

**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!**

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



Ergebnisausschnitt der ersten und zweiten Zielgruppenbefragung durch den Transformations-Hub cH<sub>2</sub>ance<sup>1)</sup>

**Die Technologie ist erprobt. Die Branche ist bereit.**

**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

**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.

## 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.:

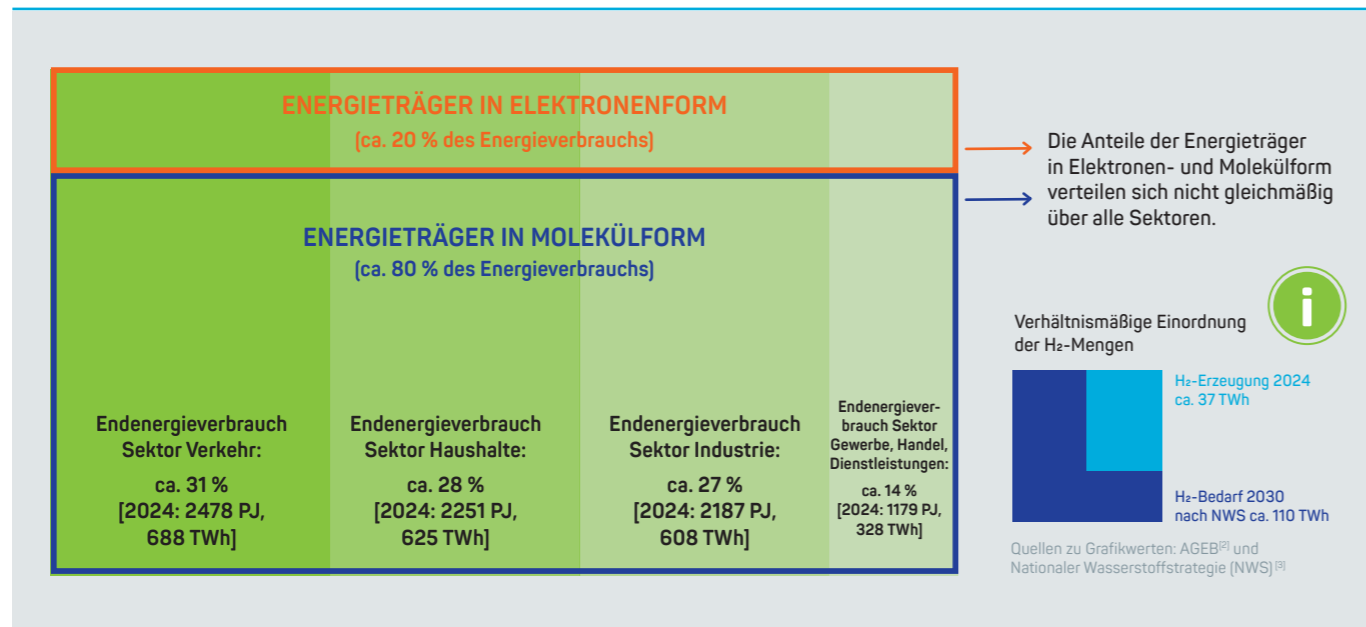
- saisonale Speicherung großer Energiemengen
- Ausgleich von Volatilität (Schwankungen im Stromnetz)
- Transport über weite Distanzen
- Energie für Industrieprozesse
- Sektorenkopplung (Strom, Wärme, Mobilität)
- Resilienz des Energiesystems

## Wasserstoff: Schlüsseltechnologie für die Transformation

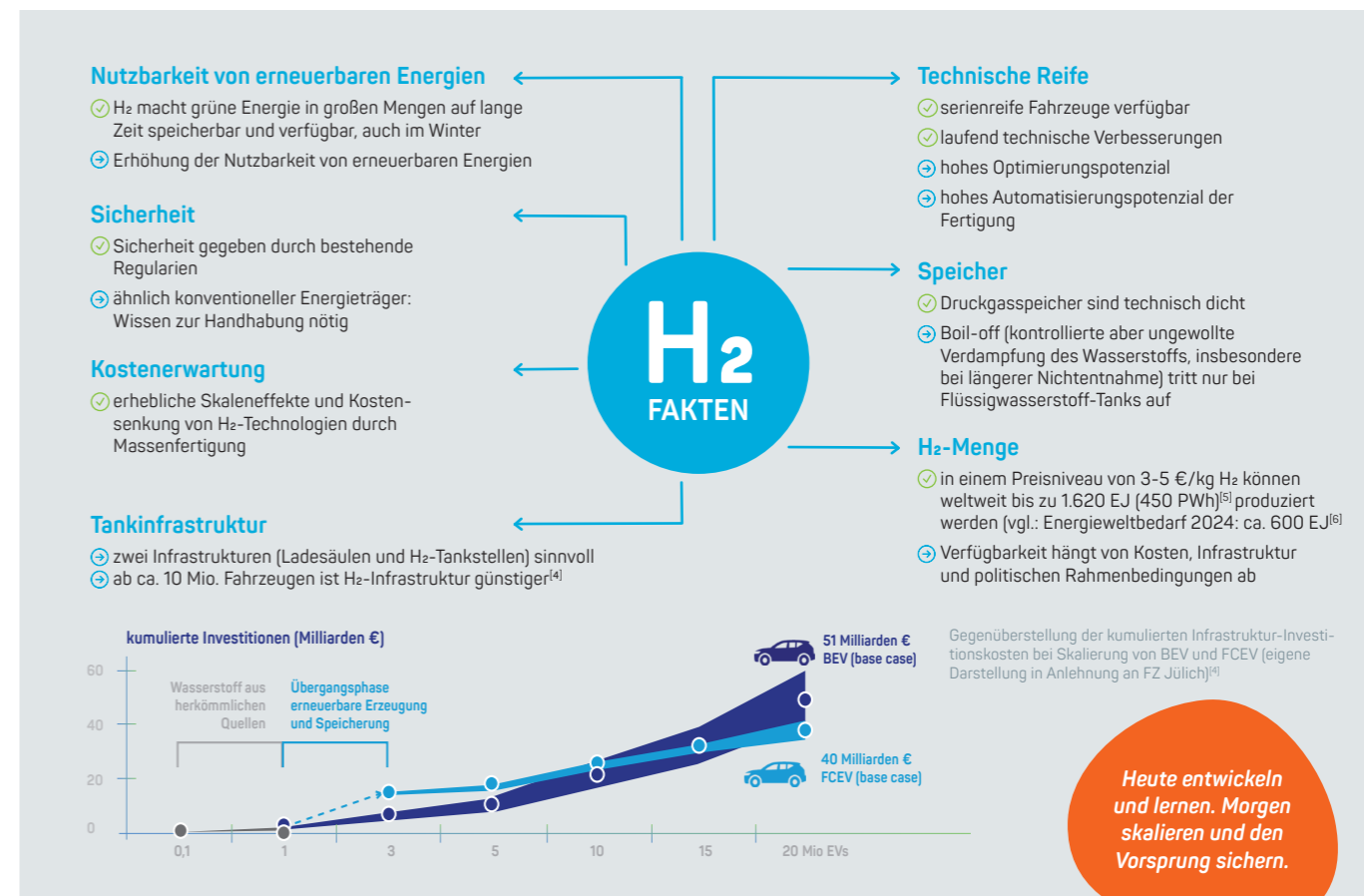
Wasserstofftechnologien gelten als entscheidende Wegbereiter für die Transformation der Energiewirtschaft und Mobilität. Zwar sind Erzeugung, Speicherung und Nutzung von Wasserstoff heute vielfach noch kostenintensiv, doch bestehen in vielen Bereichen Potenziale für deutliche Kostensenkungen – dank technologischer Lernkurven und Skaleneffekten, wie sie bereits bei der Photovoltaik und Elektromobilität beobachtet wurden.

Die vorhandenen Kompetenzen der Automobil- und Zulieferbranche lassen sich im Mobilitätsbereich auf zahlreiche Wasserstofftechnologien übertragen. Die Anwendbarkeit vieler dieser Technologien in weiteren Branchen (z. B. Energiewirtschaft) eröffnet zusätzliche Möglichkeiten zur Marktdiversifizierung und kann zum Erhalt der Wertschöpfung in Deutschland beitragen.

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



## Wichtige Wasserstofffakten



- ➔ 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 H<sub>2</sub>-Wertschöpfungskette **benötigt**: von der **Erzeugung** über **Speicherung und Transport** bis hin zu **vielfältigen Anwendungen**. Die nationale Wasserstoffstrategie [9] sieht einen Ausbau der Elektrolyseleistung bis 2030 von mindestens 10 GW vor. Weiterhin hat die Bundesnetzagentur [7] einen Ausbau des H<sub>2</sub>-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.**

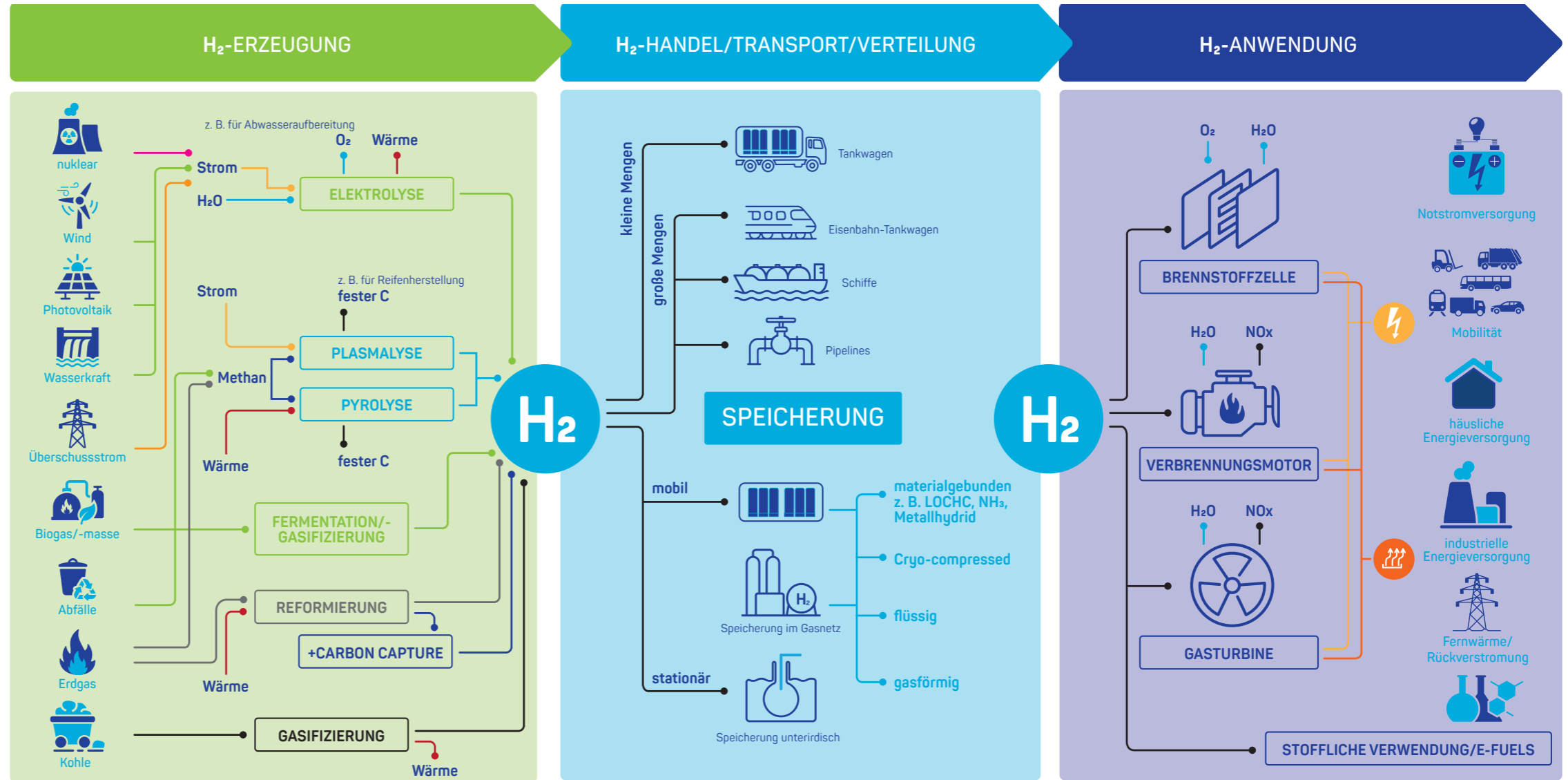
Folgende Anforderungen spielen eine entscheidende Rolle, wie der Wasserstoff transportiert und gespeichert werden muss und ob eine lokale Erzeugung oder Import ratsam sind:

- **benötigte H<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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

## H<sub>2</sub>-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:

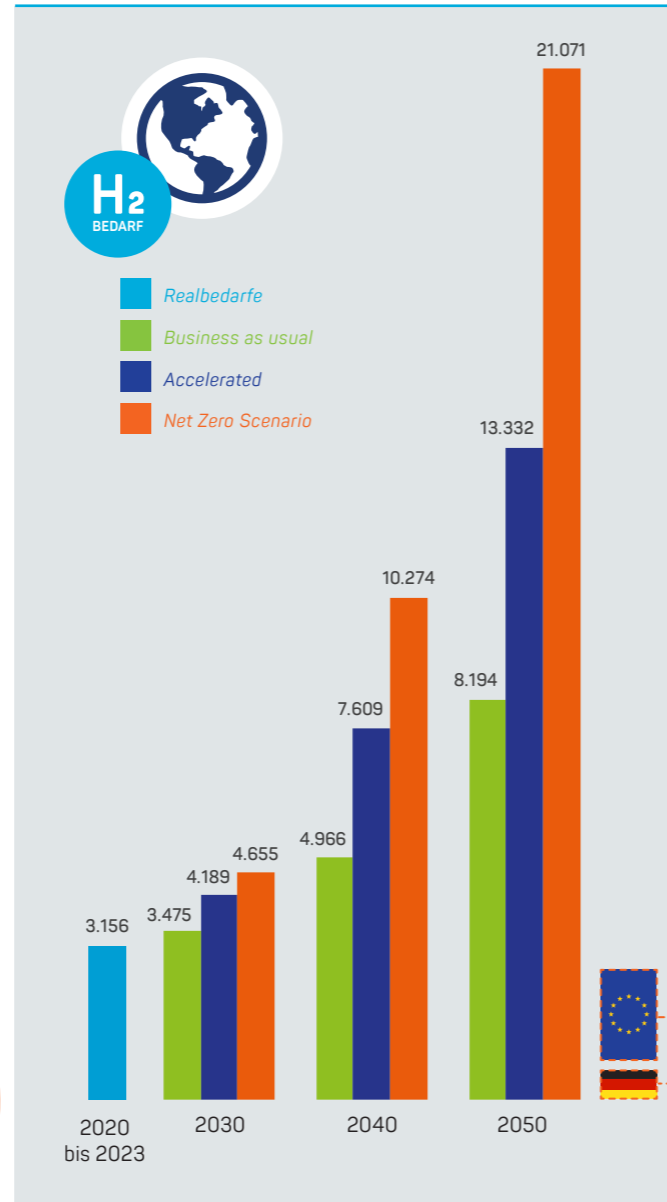
- ↻ Übergang beschleunigt durch nationale Vorgaben, trotz finanzieller und technologischer Hürden
- ↻ Netto-Null-Verpflichtungen bis 2050 von marktwirtschaftlich führenden Ländern zielgerichtet erreicht, andere Länder mit Verzögerung

### Net Zero Scenario:

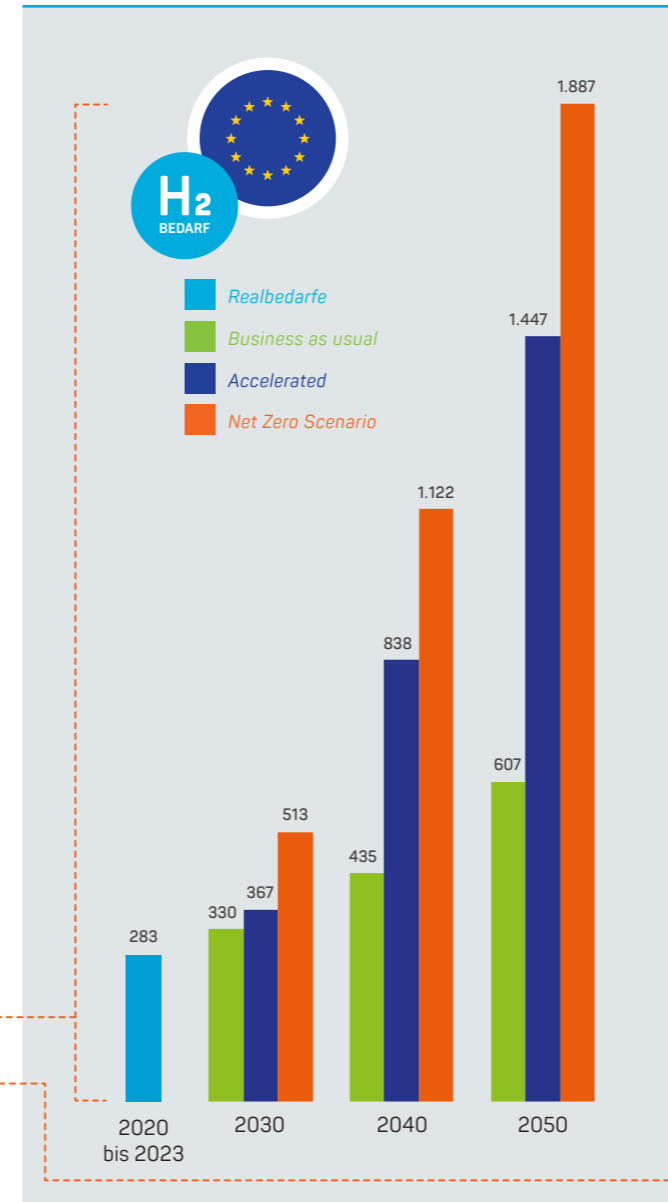
- ↻ ehrgeizige Maßnahmen in allen Regionen
- ↻ 1,5 Grad-Ziel wird erreicht

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

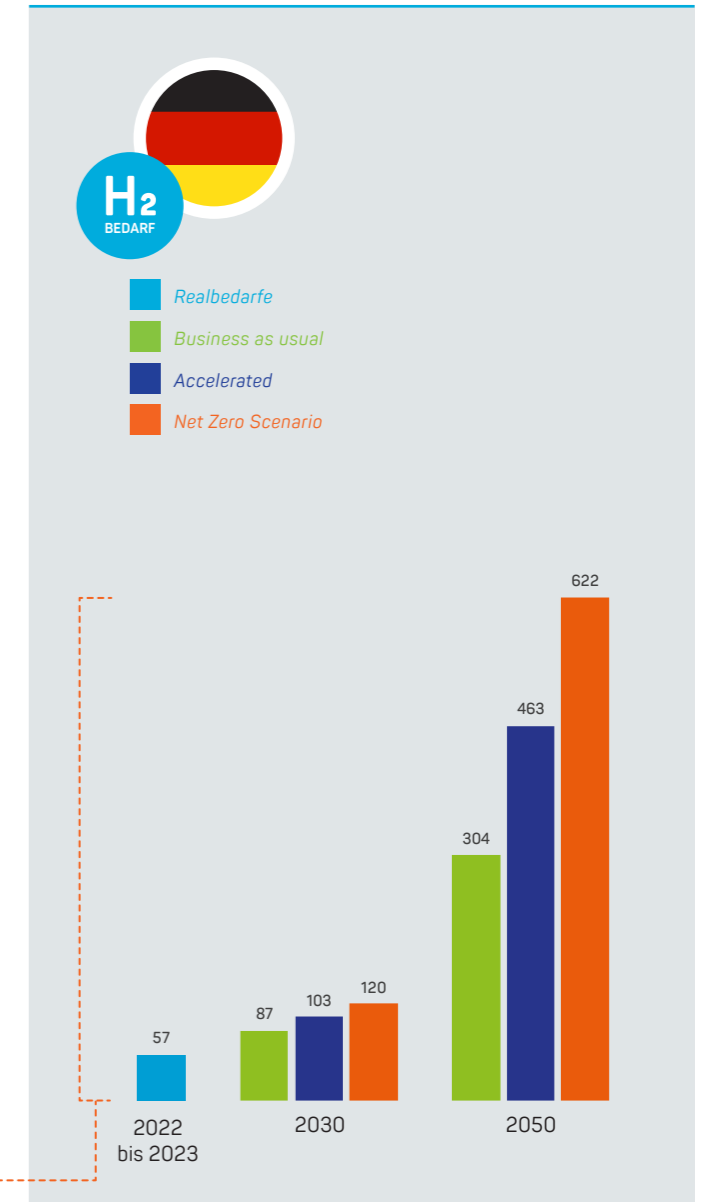
Wasserstoffbedarf Global in TWh



Wasserstoffbedarf Europäische Union in TWh



Wasserstoffbedarf Deutschland in TWh

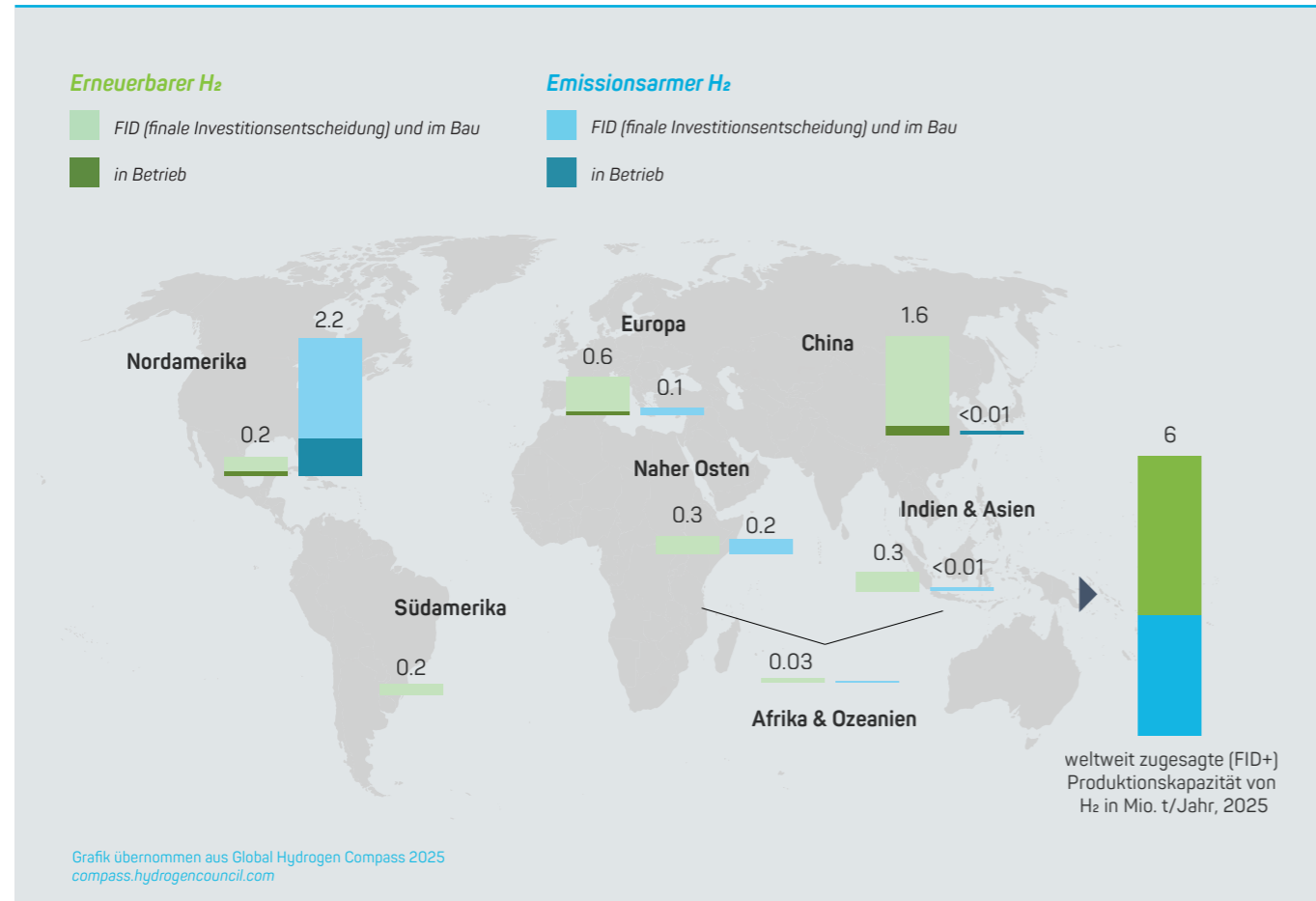


### Entwicklung der globalen Erzeugungskapazität von sauberem Wasserstoff

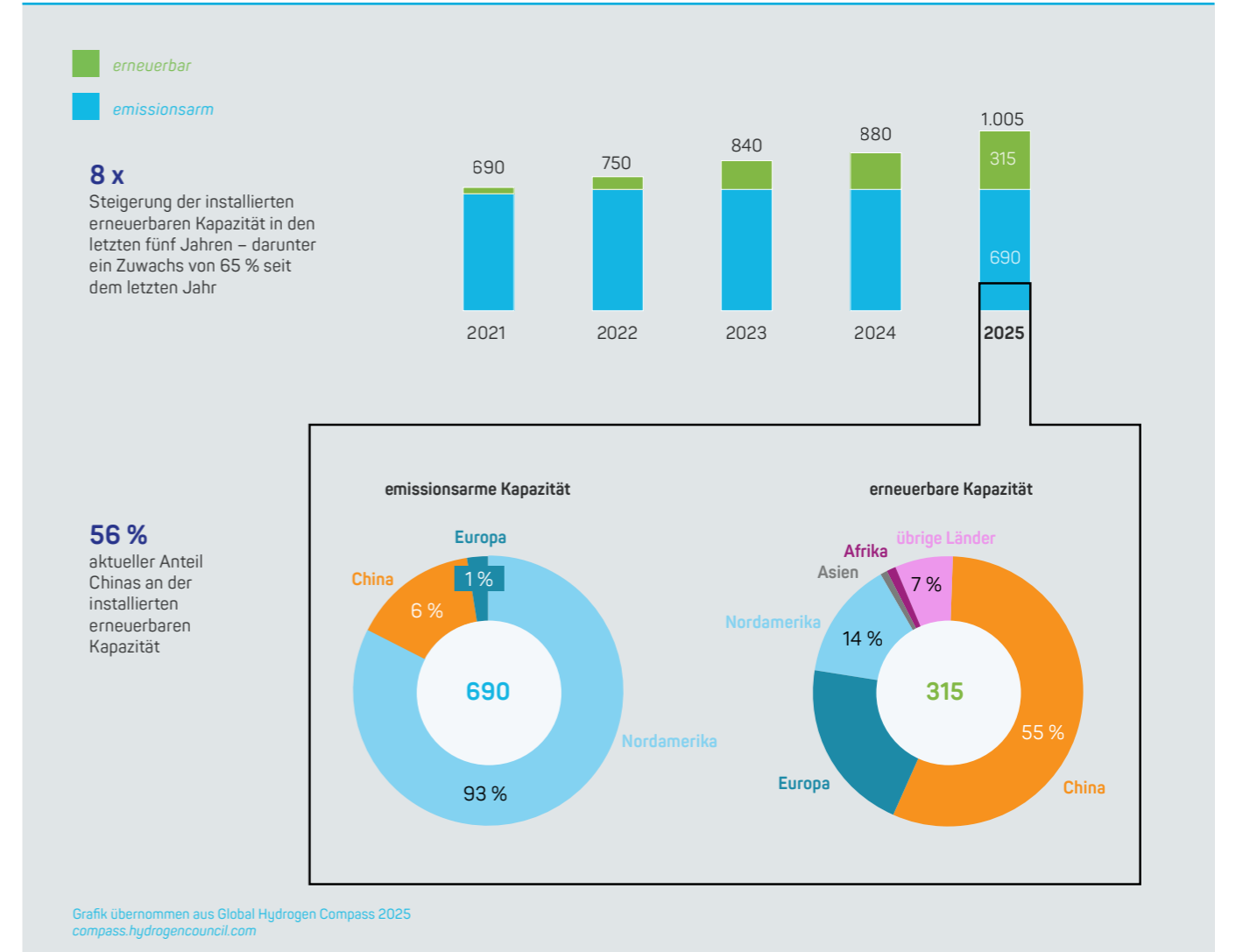
Die zugesagte Erzeugungskapazität (Projektstatus FID (final investment decision), im Bau oder in Betrieb) für sauberen (erneuerbaren und emissionsarmen) Wasserstoff übersteigt laut Global Hydrogen Compass 2025 <sup>[8]</sup> 6 Mio. Tonnen pro Jahr (t H<sub>2</sub>/a), wovon 1 Mio. t H<sub>2</sub>/a in Betrieb sind. Nach derzeitiger Angebotspipeline könnte bis 2030 die globale Gesamtkapazität auf

9-14 Mio. t H<sub>2</sub>/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 H<sub>2</sub>/a (Stand 2025) nach [8]



Betriebsbereite Kapazität für sauberen Wasserstoff nach Technologiepfad und Region in kt/a H<sub>2</sub>e<sup>[1]</sup> (Stand 2025) nach [8]



<sup>1</sup> Wasserstoffäquivalent

## Globale Investitionen in Wasserstoffprojekte über die gesamte Wertschöpfungskette

Laut Global Hydrogen Compass 2025<sup>[8]</sup> 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.

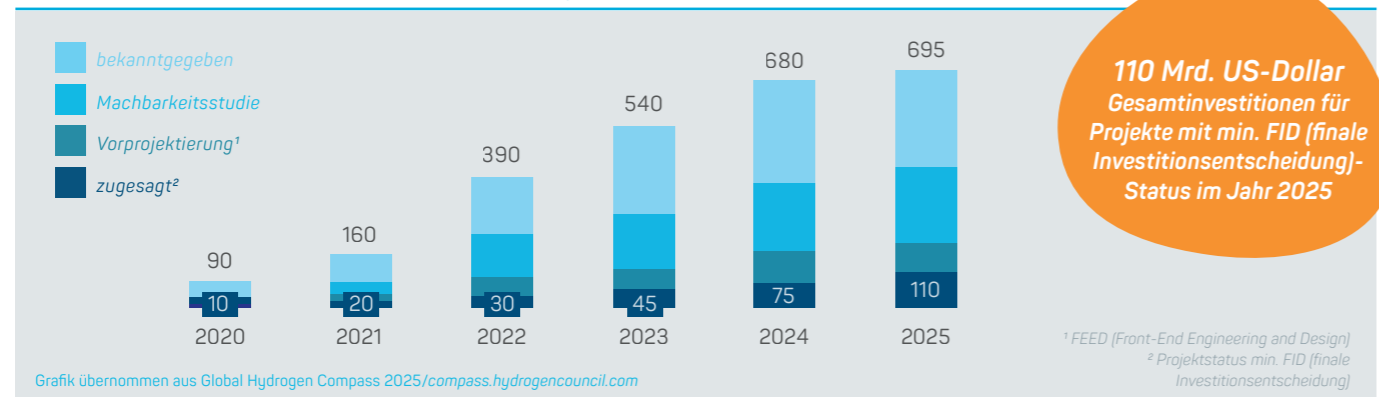
- ☉ Wasserstoff-Projektpipeline wächst
- ☉ insgesamt 1.749 Projekte, davon 1.159 mit commercial operation date (COD) bis 2030 (gemäß öffentlicher Bekanntmachungen)

☉ Die durchschnittliche Projektgröße chinesischer Projekte für erneuerbaren Wasserstoff ist zehnfach größer als die europäischer Projekte.

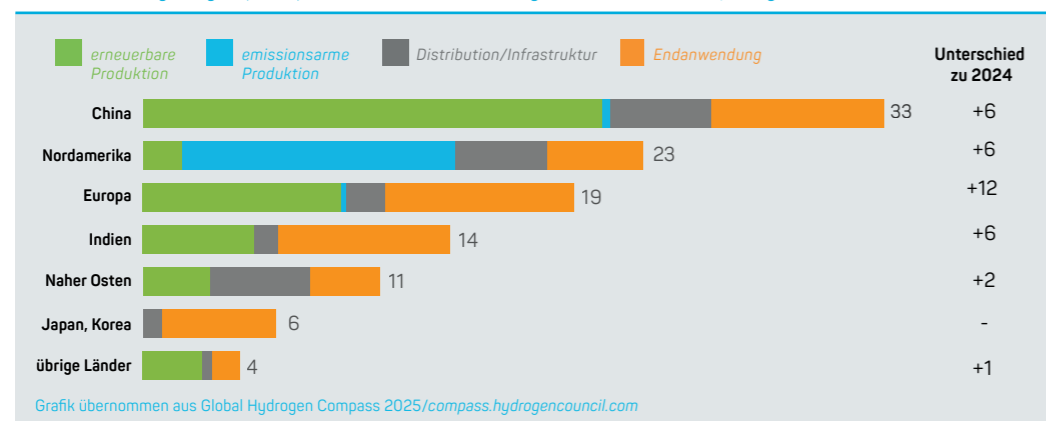
Die durchschnittlichen Investitionsvolumina für zugesagte Projekte stiegen von 5 Millionen US-Dollar im Jahr 2020 auf ca. 260 Millionen US-Dollar im Jahr 2025.

☉ Projekte entwickeln sich von kleinen Pilotvorhaben zu industriellen Großprojekten.

## 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]

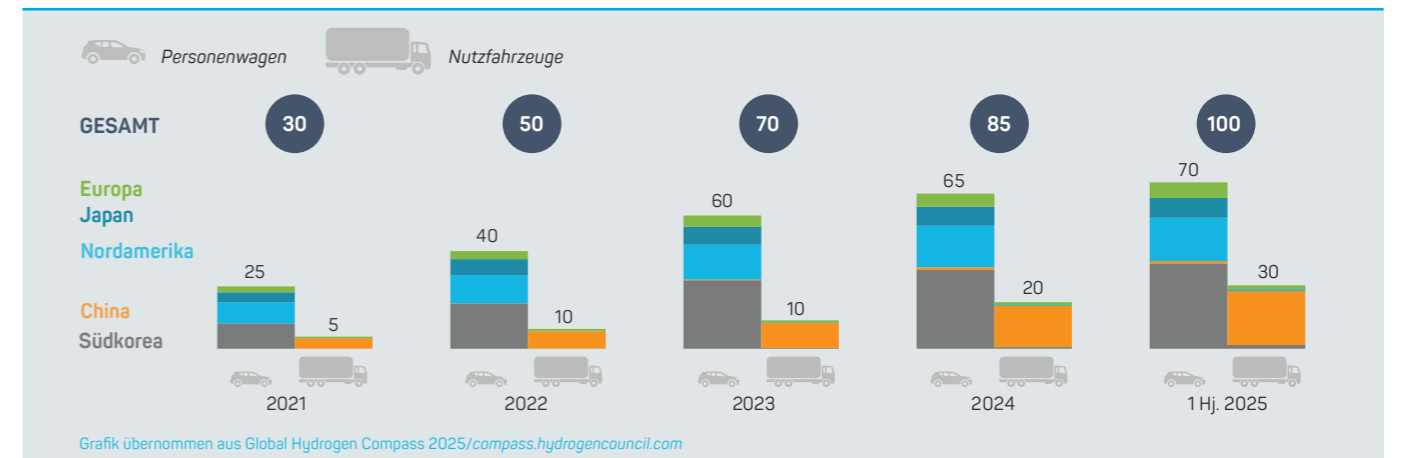


Die zugesagten Investitionen sind von 2024 nach 2025 um 45 %, v. a. durch die Wertschöpfungsstufen Produktion und Verteilung angestiegen. China führt bei den zugesagten Investitionen in Wasserstoffprojekte, die größtenteils in die Produktion von erneuerbarem Wasserstoff fließen.

Grafik übernommen aus Global Hydrogen Compass 2025/compass.hydrogencouncil.com

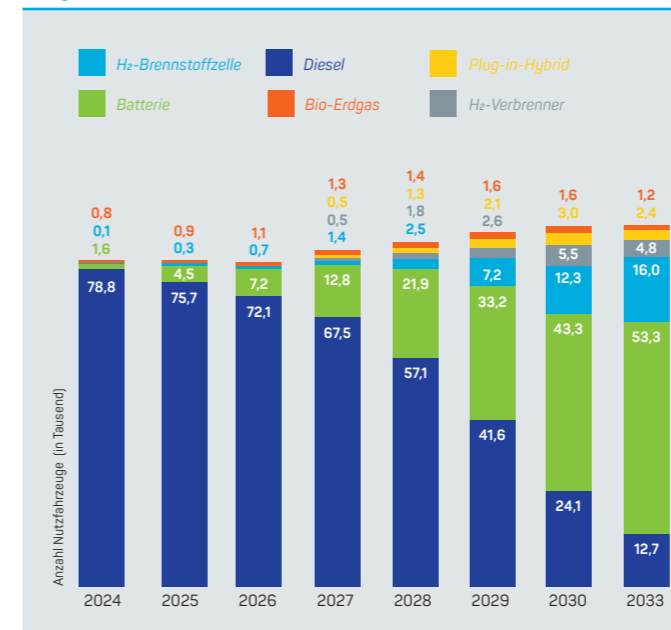
## Marktentwicklung von Fahrzeugen mit Wasserstoffantrieben

### Gesamtabsatz von Brennstoffzellenfahrzeugen in der Vergangenheit nach Region in Tsd. Fahrzeugen<sup>[1]</sup> nach [8]



Grafik übernommen aus Global Hydrogen Compass 2025/compass.hydrogencouncil.com

### 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 Cleanroom Gesprächen mit Nutzfahrzeugherstellern 2024<sup>[9]</sup>. 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 H<sub>2</sub>-Wertschöpfungskette zur elektrochemischen Herstellung von Wasserstoff
- ⌚ Wahl der Elektrolysetechnologie je nach Einsatzgebiet

- ⌚ Beispiele von Auswahlkriterien: Kosten, Teillastfähigkeit, Leistung



### Vier Haupttechnologien der Wasserelektrolyse\*

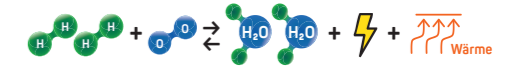
Alkalische Elektrolyse (AWE)	Polymerelektrolytmembran-Elektrolyse (PEM-WE)	Anionenaustauschmembran-Elektrolyse (AEM-WE)	Hochtemperatur-Elektrolyse (SOEC)
<b>FUNKTIONSPRINZIP</b>			
<b>VORTEILE</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Edelmetallkatalysatoren</li> <li>kostengünstige Katalysatoren und Komponenten → Reduzierung der Systemkosten</li> <li>hohe Langzeitstabilität</li> <li>relativ niedrige Kosten</li> <li>Anlagen im großindustriellen Multi-Megawatt-Bereich möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>hohe Stromdichten</li> <li>einfacher Systemaufbau</li> <li>gute Teillastfähigkeit</li> <li>schnelle Systemantwort für Netzstabilisierungsaufgaben</li> <li>kompaktes Stapeldesign erlaubt</li> <li>Hochdruckbetrieb</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>kostengünstige Katalysatoren und Komponenten → Reduzierung der Systemkosten (keine Edelmetallkatalysatoren/platiniierte Ti basierte PTL (poröse Transportschicht)/BPP (Bipolarplatte))</li> <li>Potential für weitere Verbesserung der Stromdichte und Lebensdauer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Edelmetallkatalysatoren</li> <li>gleichzeitige Reduktion von CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O zu Synthesegas möglich</li> <li>geringster Stromverbrauch zur Herstellung von H<sub>2</sub>, wenn mit existierender Wärmequelle (z. B. Abwärme aus industriellen Prozessen) kombiniert</li> </ul>
<b>NACHTEILE</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>begrenzte Stromdichte</li> <li>eingeschränkter Teillastbereich</li> <li>Systemgröße und Komplexität („Footprint“)</li> <li>aufwendige Gasreinigung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>korrosive Umgebung</li> <li>hohe Investitionskosten durch kostenintensive Komponenten</li> <li>hohe Abhängigkeiten von teuren Edelmetallkatalysatoren</li> <li>PFAS-Materialien für Membranen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>kürzere Lebensdauer</li> <li>geringer Entwicklungsgrad</li> <li>geringe Leistungs- und Systemstabilität</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>geringe Langzeitstabilität (mechanisch)</li> <li>umfangreiches Wärmemanagement</li> <li>schwer skalierbar</li> <li>geringe Dynamik</li> </ul>

\* 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

- ⌚ Die Wahl der Brennstoffzellentechnologie richtet sich nach dem jeweiligen Einsatzgebiet, insbesondere der Betriebsweise (z. B. stationär, variabel).
- ⌚ weitere zentrale Auswahlkriterien: Wirkungsgrad, Betriebstemperatur, Systemkosten



### Vier Haupttechnologien von H<sub>2</sub>-Brennstoffzellenverfahren\*\*

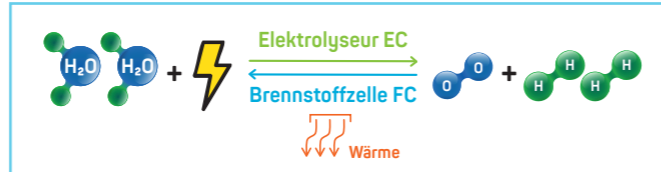
Alkalische Brennstoffzelle (AFC)	Polymer-Elektrolyt-Membran Brennstoffzelle (PEMFC)	Phosphorsaure Brennstoffzelle (PAFC)	Oxidkeramische Brennstoffzelle (SOFC)
<b>FUNKTIONSPRINZIP</b>			
<b>BETRIEBSWEISE</b>			
variabel	variabel	eher stationär	stationär
<b>VORTEILE</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>Verzicht auf Platin als Katalysator</li> <li>kostengünstige Zellmaterialien</li> <li>hoher Wirkungsgrad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>hohe Leistungsdichte</li> <li>einfache Systemtechnik (keine flüssige Lauge)</li> <li>kompakte Systeme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>hohe Toleranz gegenüber CO und H<sub>2</sub>S</li> <li>Abwärmenutzung möglich</li> <li>für H<sub>2</sub> aus Erdgasreformierung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>hohes Temperaturniveau und somit gute Nutzbarkeit der Abwärme</li> <li>Brennstoffflexibel (Erdgas, H<sub>2</sub>)</li> <li>kein flüssiger Elektrolyt/keine Benetzungsprobleme, dadurch hohe Wirkungsgrade</li> </ul>
<b>NACHTEILE</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>geringe Leistungsdichte</li> <li>Unverträglichkeit von CO<sub>2</sub></li> <li>niedrige Lebensdauer der Membranen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>teure Edelmetallkatalysatoren</li> <li>anfällig gegenüber CO</li> <li>hohe Anforderungen an Wasserstoffreinheit</li> <li>PFAS Materialien für Membranen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>geringe Leistungsdichte</li> <li>Korrosionsprobleme</li> <li>niedriger Wirkungsgrad im Vergleich zu den genannten Verfahren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>hohe Degradation durch z. B. thermomechanische Spannungen</li> <li>hohe Temperaturbeständigkeit der Materialien notwendig</li> </ul>

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

# GEGÜBERSTELLUNG 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

**PEM-EC  
ELEKTROLYSESTAPEL**

**PEM-FC  
BRENNSTOFFZELLENSTAPEL**

<b>Verspann-/Endplattensystem</b>	
2 Stück Edelstahl Fräsen	2 Stück Aluminium/Kunststoff Druckguss, Spritzguss
<b>Transportlagen Anode</b>	
300 Stück Titangitter Sintern	740 Stück Kohlefaserpapier Karbonisierung
<b>Membran mit Elektrodenbeschichtung und Stützrahmen</b>	
300 Stück Fluoropolymer Membranziehen und Beschichten	740 Stück Fluoropolymer Membranziehen und Beschichten
<b>Transportlagen Kathode</b>	
300 Stück Kohlefaserpapier Karbonisierung	740 Stück Kohlefaserpapier Karbonisierung
<b>Bipolarplatten</b>	
300 Stück einlagig Edelstahl, beschichtet Umformen	740 Stück 1.480 Halbplatten Edelstahl, beschichtet Umformen
<b>Dichtungen</b>	
600 Stück FKM ausgestanzt	1.480 Stück Silikon Siebdruck

Beispiel für 1 MW  
Elektrolyse mit  
2 Stapel á 150  
Zellen, 877 cm<sup>2</sup>  
Aktivfläche

Beispiel für ein  
Nutzfahrzeug mit  
180 kW FC mit  
2 Stapel á 370  
Zellen, 300 cm<sup>2</sup>  
Aktivfläche

Inhalte wurden unter Nutzung von [11] 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



1 Stapel á 10 kW	<b>BIPOLARHALBPLATTEN</b> 142
<b>ZELLEN</b> ca. 71	<b>GASDIFFUSIONSLAGEN</b> 142
<b>MEMBRANEN</b> 71	<b>VERSPANNSYSTEME</b> 1

BMW iX5 Hydrogen - Personenkraftwagen 125 kW



1 Stapel á 125 kW	<b>BIPOLARHALBPLATTEN</b> 660
<b>ZELLEN</b> 330	<b>GASDIFFUSIONSLAGEN</b> 660
<b>MEMBRANEN</b> 300	<b>VERSPANNSYSTEME</b> 1

Hyundai Xcient - Lastkraftwagen 180 kW [16]



2 Stapel á 95 kW	<b>BIPOLARHALBPLATTEN</b> 1.400
<b>ZELLEN</b> 700	<b>GASDIFFUSIONSLAGEN</b> 1.400
<b>MEMBRANEN</b> 700	<b>VERSPANNSYSTEME</b> 2

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 Prüfmethode (Druck-/Durchfluss-/Isolationsprüfungen)
- Montagepräzision und gleichmäßige Verspannung des Stapels

### 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, Verspannsystem etc.

## Anodenmanagement (H<sub>2</sub>-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

### 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:** Lebensdauerersts, Prozess- und Strategieoptimierung
- **Forschung und Entwicklung:** Definition geeigneter Werkstoffe, Rezirkulations- und Purgeoptimierung

## Kathodenmanagement (O<sub>2</sub>/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:** Echtzeitsensoren für Filterzustand und Luftfeuchtigkeit
- **Anlagen- und Maschinenbau:** Produktion von Filter-, Kompressor- und Kühlerkomponenten
- **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)

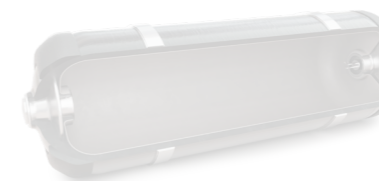
### POTENZIALE

- **Zulieferer:** Kühlmittel, Additive, Ionentauscherharze sowie Komponenten für Pumpen und Wärmetauscher
- **Qualitätssicherung:** Langzeitstudien zu Material- und Systemverträglichkeit (Ioneneintrag, Wärmeabfuhr)
- **Dienstleister:** Wartungskonzepte, Monitoring-Services und Prüf-dienstleistungen 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 Crashesicherheit
- **Dienstleistung:** wiederkehrende Prüfservices 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 Energieflüssen 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



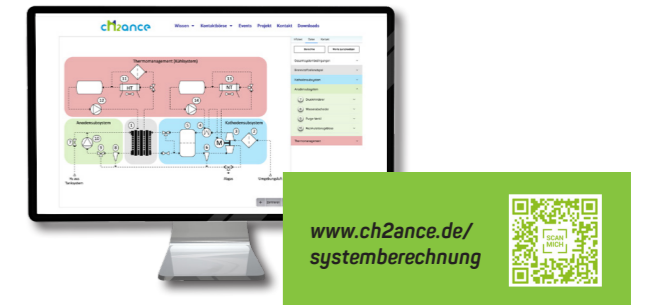
### BZ-Systembaukasten – Haptik zum Ausleihen

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.



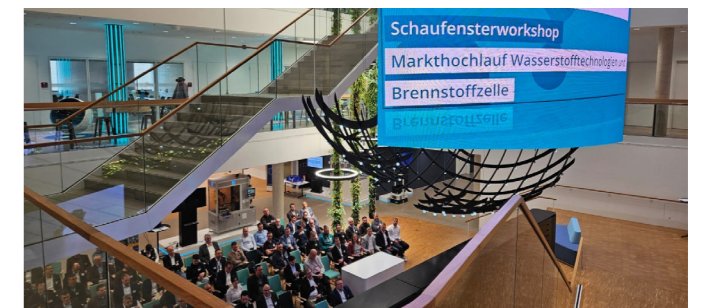
### BZ-Systemberechnungs-Tool für Profis

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.



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



**Verbundkoordinator  
HZwo e. V.**  
[www.hzwo.eu](http://www.hzwo.eu)

Europäisches H<sub>2</sub>-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](http://www.zbt-duisburg.de)

Die **ZBT - Zentrum für BrennstoffzellenTechnik GmbH** ist eine der führenden europäischen Forschungseinrichtungen für Brennstoffzellen, H<sub>2</sub>-Technologien und Elektrolyse-Verfahren mit Schwerpunkten auf Automotive-Anwendungen und stat. Energieerzeugung. Teil des Portfolios sind Test- und Prüfeinrichtung für H<sub>2</sub>-Technologien mit Produktions- und Testanlagen, chemischen Laboren und High-Tech-Analytik.



**AMZ Sachsen**  
[www.amz-sachsen.de](http://www.amz-sachsen.de)

Kooperative, unternehmensübergreifende Zusammenarbeit mit dem Ziel, die Wettbewerbsfähigkeit eines jeden Einzelnen zu stärken. Als Stimme der Zulieferindustrie 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](http://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.

[www.ch2ance.de](http://www.ch2ance.de)

**QUELLEN**

- [1] Transformations-Hub **ch2ance**, „[www.ch2ance.de](https://www.ch2ance.de/wp-content/uploads/2025/09/ch2ance_Zielgruppenbefugung_2-seitig.pdf),” 2025. [Online]. Available: [https://www.ch2ance.de/wp-content/uploads/2025/09/ch2ance\\_Zielgruppenbefugung\\_2-seitig.pdf](https://www.ch2ance.de/wp-content/uploads/2025/09/ch2ance_Zielgruppenbefugung_2-seitig.pdf). [Zugriff am 01.10.2025].
- [2] AGEB AG Energiebilanzen e.V., „[www.ag-energiebilanzen.de](https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/EBD24p2_EFBlang_PJ_deutsch.pdf),” 2025. [Online]. Available: [https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/EBD24p2\\_EFBlang\\_PJ\\_deutsch.pdf](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/),” Juli 2023. [Online]. Available: [https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/fortschreibung-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=9](https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/fortschreibung-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=9). [Zugriff am 30.09.2025].
- [4] M. Robinius 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://www.hypat.de/),” 2024. [Online]. Available: <https://www.hypat.de/hypat-wAssets/docs/new/publikationen/HYPAT-Abschlussbericht.pdf>. [Zugriff am 16.09.2024].
- [6] Energy Institute 2025, „[www.energyinst.org](https://www.energyinst.org/),” 2025. [Online]. Available: <https://www.energyinst.org/statistical-review>. [Zugriff am 10.09.2025].
- [7] Bundesnetzagentur, „[www.bundesnetzagentur.de](https://www.bundesnetzagentur.de/),” 22. 10. 2024. [Online]. Available: [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Wasserstoff/Kernnetz/start.html?utm\\_source=chatgpt.com](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/)” 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](https://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](https://hyundaihm.com/),” 2020. [Online]. Available: [https://hyundaihm.com/wp-content/uploads/2020/10/XCIENT-Fuel-Cellcatalog\\_print.pdf](https://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](mailto:info@hzwo.eu)

Stand Dezember 2025. Änderungen vorbehalten.

# ch2ance

[www.ch2ance.de](http://www.ch2ance.de)



HZwo e.V.  
Technologie-Campus 6  
09126 Chemnitz  
+49 371 337 179 33  
[info@hzwo.eu](mailto:info@hzwo.eu)

[www.hzwo.eu](http://www.hzwo.eu)



Projektträger

**VDI | VDE | IT**

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages