

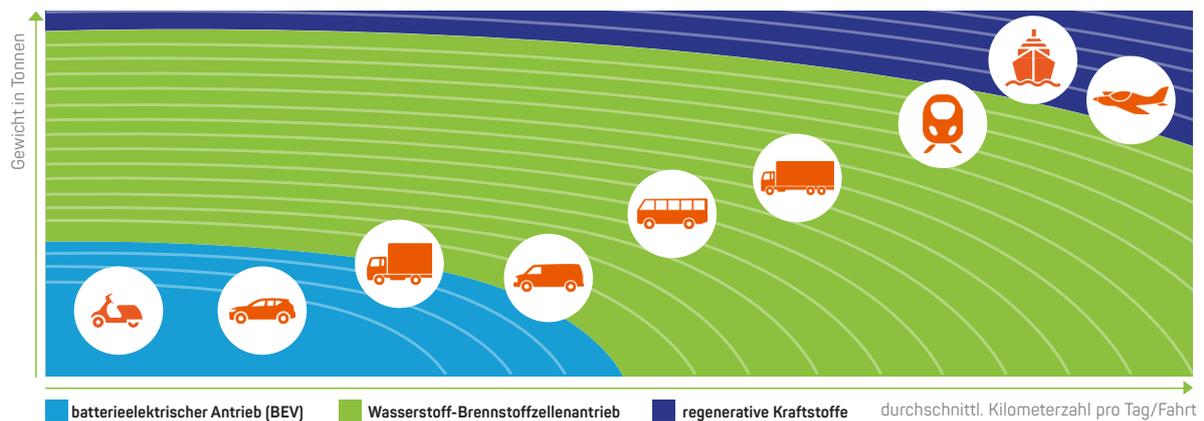


## Überblick und Potenziale zu wasserstoffbasierten Antrieben

PKW, Busse, LKW und Schienenfahrzeuge sind beispielhafte Anwendungsgebiete von Brennstoffzellenantrieben (FCEV – Fuel Cell Electric Vehicle), welche anstelle von verbrennungsmotorischen Antrieben (ICE – Internal Combustion Engine) als umweltfreundliche Alternative zum Einsatz kommen können. Die ch2ance Factsheet-Reihe gibt Ihnen einen breiten Überblick über die Wertschöpfungspotenziale in der Umstellung auf Brennstoffzellenelektrische Antriebe.

### Inhalte

- ⊕ Überblick zu ausgewählten wasserstoffbasierten Antriebskonzepten (FC und H<sub>2</sub>-ICE)
- ⊕ Grundsätzlicher Aufbau eines Brennstoffzellenantriebes
- ⊕ Wertschöpfungspotenziale am Beispielvergleich
- ⊕ Potenziale der Brennstoffzelle: Wirkungsgrad und Skalierungseffekte



Einteilung nachhaltiger Antriebstechnologien (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an e-mobil BW <sup>[1]</sup>)

## Überblick zu wasserstoffbasierten Antriebskonzepten (FC und H<sub>2</sub>-ICE)

Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile von Wasserstoffverbrennungs- und Brennstoffzellenantrieben

	H <sub>2</sub> -ICE	Brennstoffzellenantrieb: (PEMFC)
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reinheit vom Wasserstoff ist sekundär<sup>[2]</sup></li> <li>• Zurückgreifen auf Aufbau und Komponenten von konventionellen ICEs möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wirkungsgrad von 50-70 % einer PEMFC<sup>[3]</sup></li> <li>• niedrige Betriebstemperatur (60-80 °C) günstig für mobile Anwendungen<sup>[3,4]</sup></li> <li>• Wertschöpfungspotenzial durch hohe Vielzahl an Peripheriekomponenten</li> <li>• Rekuperation in elektrische Energiespeicher</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kein Zero-Emission Antrieb<sup>[2]</sup> (geringe Bildung von NOx, HxCy und CO)</li> <li>• Wirkungsgrad von 27-45 %<sup>[2]</sup></li> <li>• Geräuschemissionen</li> <li>• Anpassung der Motorcomponenten an Betriebsbedingungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wasserstoff- und Luftreinheit für Alterung (Degradation) der FC entscheidend<sup>[4]</sup></li> </ul>

Mit dem Energieträger Wasserstoff eröffnen sich verschiedene technische Möglichkeiten, die im Wasserstoff gespeicherte chemische Energie in kinetische Energie zu überführen.

Die Tabelle zeigt an den ausgewählten Beispielen H<sub>2</sub>-ICE und Brennstoffzellenantrieb welche Vor- und Nachteile die jeweilige Technologie mit sich bringt.

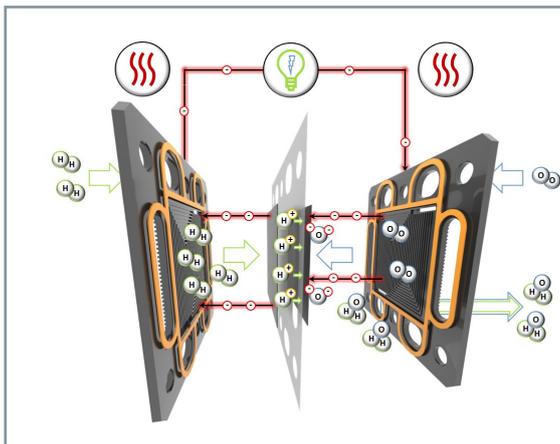
Der Transformations-Hub ch2ance unterstützt im Wesentlichen den Markthochlauf des FC-Antriebs, da sich dieser aufgrund der vorteilhaften Eigenschaften der niedrigen Betriebstemperatur, des hohen Wirkungsgrades und der nicht vorhandenen Emissionen im Fahrzeugbetrieb als günstig für mobile Anwendungen erweist.

## Grundsätzlicher Aufbau eines Brennstoffzellenantriebes

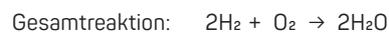
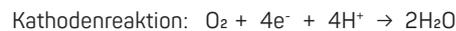
Brennstoffzellen (FC) werden in der Namensgebung nach den verwendeten Elektrolyten unterschieden. Ein Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzellen-Antriebsstrang (PEMFC) nutzt die chemische Reaktion von Wasserstoff (H<sub>2</sub>) und Sauerstoff (O<sub>2</sub>) aus der Umgebungsluft, um elektrischen Strom z. B. für einen Elektromotor bereitzustellen. Als Reaktionsprodukt entsteht Reinstwasser, welches an die Umgebung abgegeben werden kann, sodass keine Treibhausgasemissionen (GHG – Greenhouse Gas Emissions) im Betrieb anfallen.

In Abhängigkeit des Betriebspunktes entsteht Abwärme, welche mittels des Kühlsystems abgeführt wird und weiter genutzt werden kann.

Weitere Informationen zu den Brennstoffzellenarten finden Sie im Factsheet: *Arten von Brennstoffzellen*



### Chemisches Funktionsprinzip der PEMFC:

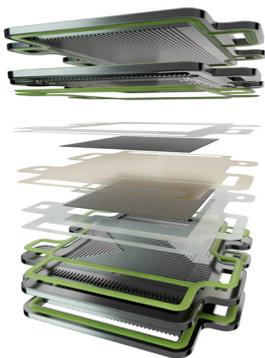


Weitere Informationen zur FC-Einzelzelle finden Sie im Factsheet: *Aufbau und Funktion FC-Einzelzelle*

Quelle: HZwo e.V. [5]

### Brennstoffeinzelzelle

Eine Brennstoffeinzelzelle besteht u. a. aus Elektrolytmembran (PEM), Elektroden (Anode, Kathode), Katalysatoren, Gasdiffusionslagen (GDL), Bipolarplatten (BP) und Dichtungen.



### FC-Stapel

Ein FC-Stapel besteht aus in Reihe verspannten Brennstoffeinzelzellen, um die Leistung in höhere Bereiche zu skalieren. Weitere Bestandteile sind u. a. Dichtungen, Sensorik, Verspannsystem und Stromabnehmer.



### FC-System

Ein FC-System umfasst einen FC-Stapel mit der benötigten Peripherie. Diese umfasst die zwei Medienpfade für H<sub>2</sub> und Luft, den Kühlkreislauf und Steuerungseinheiten.



### FC-Antriebsstrang

Ein FC-Antriebsstrang kombiniert das FC-System mit einer E-Achse, die sich aus H<sub>2</sub>-Tanksystem, elektrischen Energiespeicher, E-Motor und weiteren Komponenten zusammensetzt.



Quelle: HZwo e.V. [5]

## Wesentliche Systembestandteile eines FC-Antriebsstranges sind:

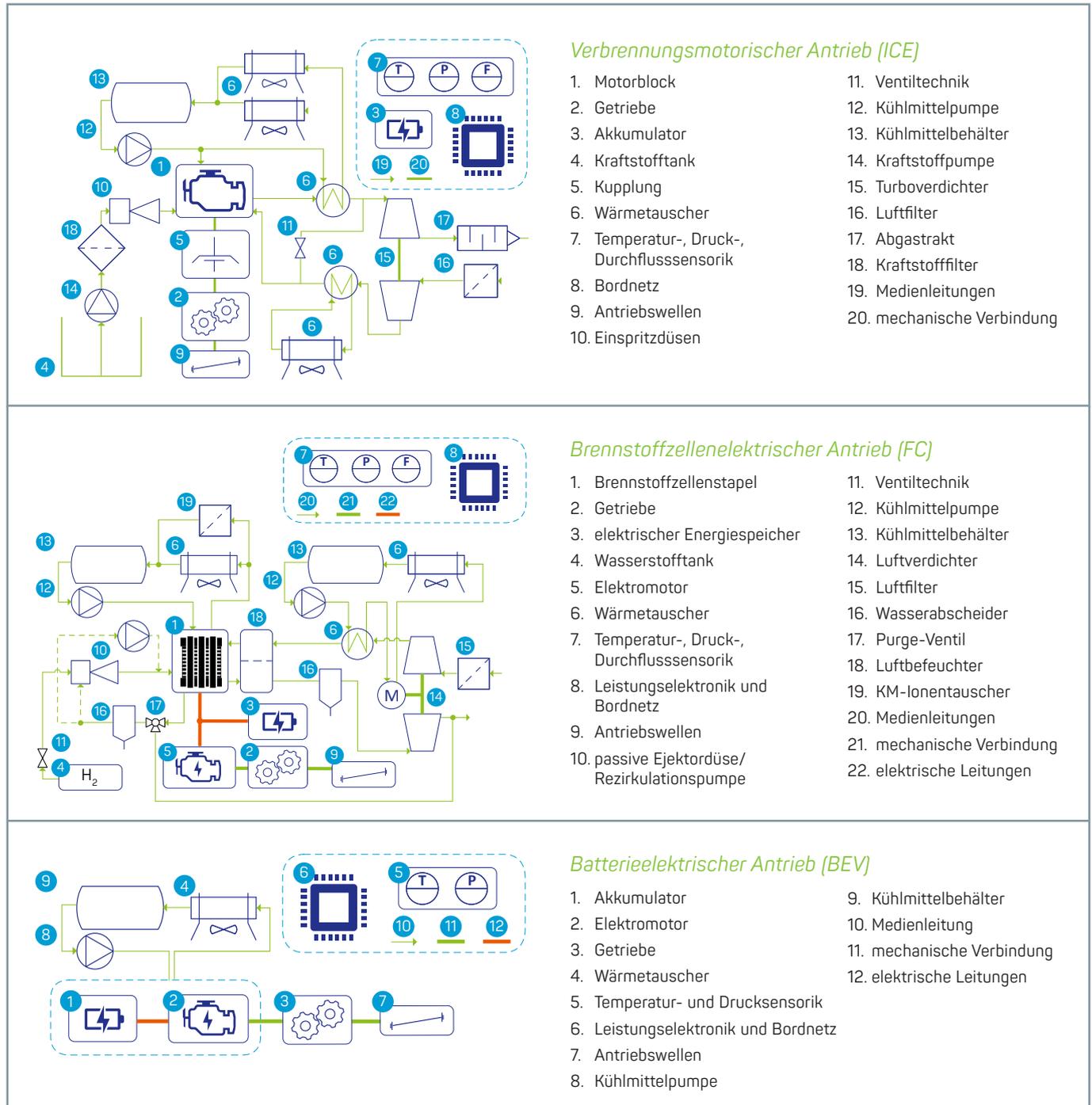
- ⊕ Systemperipherie (H<sub>2</sub>-Rezirkulation, Aufbereitungskomponenten, Fördereinheiten, Ventiltechnik)
- ⊕ Thermomanagement (Kühlsystem) inkl. Aufbereitungskomponenten und Fördereinheiten
- ⊕ Leistungselektronik mit elektrischem Anschluss des FC-Stacks
- ⊕ Energiespeicher: Wasserstoff (350 oder 700 bar), elektrisch (z. B. Akku oder SuperCap) für Lastspitzen und Rekuperation, je nach Anwendungsfall unterschiedlich starke Hybridisierung
- ⊕ mind. ein Elektromotor zur Wandlung der elektrischen in kinetische Energie benötigt

## Wertschöpfungspotentiale am Beispielvergleich

Das konventionelle ICE- und das FC-Antriebssystem sind sich ähnlich. In beiden Fällen muss ein Brenn- bzw. Reaktionsmedium mit Fördereinheiten (z. B. Pumpen und Verdichtern) zugeführt werden. Es wird ein Thermomanagement (Kühlkreislauf) benötigt; bei der FC insbesondere mit nicht leitfähigem Kühlmittel. Zusätzlich sind ver-

fahrenstechnische Komponenten wie Sensorik sowie Filter, Ventile und Regler erforderlich. Beim batterieelektrischen Antrieb (BEV) ist kein Energiewandlersystem verbaut, sondern es wird ein elektrischer Energiespeicher mit hoher Kapazität und weniger Peripheriekomponenten verwendet.

## Wesentliche Systemkomponenten von ausgewählten Antriebstechnologien am Beispiel PKW



Quelle: eigene Darstellungen

Die hohe Anzahl ähnlicher Peripheriekomponenten bei ICE- und FC-Antriebssträngen erleichtert es der Automobil- und Zulieferindustrie – im Gegensatz zu batterieelektrischen Fahrzeugen (BEV) –, ihre bestehenden Kompetenzen in der Bauteilfertigung und Verfahrenstechnik auf die neue Antriebstechnologie zu übertragen. Gleichzeitig

können bestehende Komponenten an neue Anforderungen angepasst werden. Der Transformations-Hub ch2ance informiert über die vielfältigen Möglichkeiten, wie Sie Ihre bestehenden Kompetenzen für die Wasserstofftechnologie adaptieren können.

## Potenziale der Brennstoffzelle: Wirkungsgrad und Skalierungseffekte

FC-Antriebe kommen zum Einsatz, wo andere umweltfreundliche Antriebssysteme nicht vorteilhaft eingesetzt werden können. Für die richtige, anwendungsbezogene Technologiewahl erfordern neue Antriebstechnologien eine Betrachtung der einsatzbedingten Randbedingungen.

*Ausgewählte Faktoren mit hoher Gewichtung sind:*

- ⌚ Anwendungsart und -gebiet
- ⌚ Betankungs- bzw. Ladezeit und Verfügbarkeit der dazugehörigen Infrastruktur
- ⌚ Reichweite
- ⌚ Anschaffungs- und Betriebskosten
- ⌚ Servicebedarf

Diese Faktoren sind besonders für den Endanwender interessant. FC-PKW können heute innerhalb von 3-5 min vollgetankt werden und erreichen eine Reichweite von ca. 550 km (Beispiel: Toyota Mirai 2)<sup>[6]</sup>.

Für FC-NFZ werden Tankzeiten von bis zu 20 min mit Reichweiten bis zu 1200 km erwartet<sup>[7]</sup>. Das BEV von Tesla (Model Y) benötigt 15 min Ladezeit für 241 km<sup>[8]</sup>.

Weitere Informationen zu FCEVs finden Sie im Factsheet:  
**Anwendungsfelder von FC-Antrieben**

### Wirkungsgrad

FC-Antriebe erreichen von der Primärenergieerzeugung bis zum Radantrieb (WTW – Well-to-Wheel) ähnlich hohe Wirkungsgrade wie konventionelle ICEs und bieten zusätzlich die Möglichkeit, bei einem weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien überschüssige Solar- und Windenergie mittels Elektrolyse in Wasserstoff zu wandeln und über längere Zeiträume zu speichern und nach Bedarf zu nutzen (Power-to-Gas). Außerdem kann der Ausstoß von Treibhausgasemissionen mit alternativen Antriebskonzepten deutlich reduziert werden.

Abhängig von der Jahreszeit verringert sich die Reichweite eines BEV-Fahrzeugs bei niedrigen Außentemperaturen, da ein gewisser Anteil der Kapazität des Akkus für die Innenraumbeheizung erforderlich ist. Bei FCEVs kann die Abwärme des Stacks genutzt werden, sodass kaum Reichweitenunterschiede auftreten.

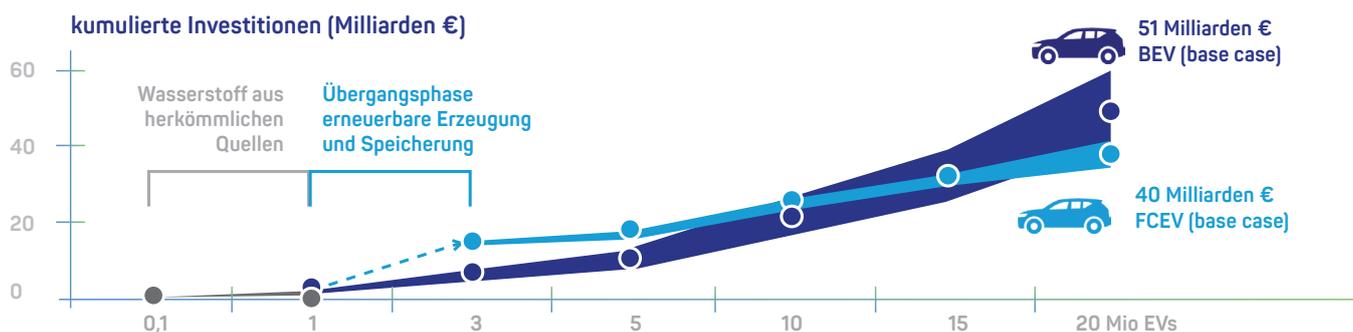
*Der Wirkungsgrad eines FC-Antriebsstranges wird voraussichtlich in diesen Bereichen noch steigen:*

- ⌚ Betriebsstrategie, Betriebsmanagement
- ⌚ Weiterentwicklung der Zellkomponenten der Brennstoffzelle
- ⌚ Reduzierung der parasitären Systemleistung durch Weiterentwicklung der Peripheriekomponenten

### Skalierungseffekte

In Deutschland sind etwa 100 H<sub>2</sub>-Tankstellen verfügbar, an denen mit 350 oder 700 bar in kurzer Zeit eine Vielzahl von Fahrzeugen dezentral getankt werden können (siehe [www.h2.live](http://www.h2.live)). Die Anschaffungskosten von BEV Ladestationen sind gering, somit für eine geringe Marktdurchdringung günstiger, aber steigen mit der Anzahl. Laut FZ

Jülich stellt ab einer Marktdurchdringung von 25 % ein dezentrales H<sub>2</sub>-Tankstellennetz auf lange Sicht eine sinnvolle Ergänzung dar. Bei weiter steigender Marktdurchdringung ist eine immer größere Scheizugunsten des FCEV zu erwarten.



Gegenüberstellung der kumulierten Infrastruktur-Investitionskosten bei Skalierung von BEV und FCEV (eigene Darstellung in Anlehnung an FZ Jülich<sup>[9]</sup>)

#### Quellen

- [1] e-mobil BW GmbH – Landesagentur für neue Mobilitätslösungen und Automotive Baden-Württemberg, „Datenmonitor e-mobil BW Juli 2019“, 2019.
- [2] K. Mayr et al., Systemvergleich zwischen Wasserstoffverbrennungsmotor und Brennstoffzelle im schweren Nutzfahrzeug: eine technische und ökonomische Analyse zweier Antriebskonzepte. e-mobil BW GmbH, 2021.
- [3] H. Tschöke, P. Gutzmer und T. Pfund, Elektrifizierung des Antriebsstrangs: Grundlagen vom Mikro-Hybrid zum vollelektrischen Antrieb. Springer-Verlag, 2019.
- [4] P. Kurzweil, Hg. Brennstoffzellentechnik. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2016.
- [5] HZwo e.V. „Komponenten und ihre Funktion.“ <https://hzwo.eu/wissen/> (Zugriff am: 23. Oktober 2023).
- [6] ADAC e.V. „Autotest Toyota Mirai Executive.“ [https://assets.adac.de/image/upload/v1635144662/ADAC-eV/KOR/Text/PDF/toyota-mirai-executive\\_bf1g0t.pdf](https://assets.adac.de/image/upload/v1635144662/ADAC-eV/KOR/Text/PDF/toyota-mirai-executive_bf1g0t.pdf) (Zugriff am: 27. Oktober 2023).
- [7] F. Unterlohner, „Comparison of hydrogen and battery electric trucks.“, 2020.
- [8] Tesla, Inc. „Supercharger Support.“ [https://www.tesla.com/de\\_de/support/charging/supercharger](https://www.tesla.com/de_de/support/charging/supercharger) (Zugriff am: 23. Oktober 2023).
- [9] M. Robinius et al., „Comparative Analysis of Infrastructures: Hydrogen Fueling and Electric Charging of Vehicles.“, Elektrochemische Verfahrenstechnik, 2018.

Autoren: L. Volmering (ZBT GmbH), M. Hentschel (HZwo e.V.)

Herausgeber: Transformations-Hub ch2ance; 2. Auflage 07/2025

**Inhaltlicher Ansprechpartner:**  
ZBT - Zentrum für Brennstoffzellen-Technik GmbH  
Carl-Benz-Straße 201, 47057 Duisburg, +49 20375982470

Gefördert durch:  
 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie  
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages