Factsheet des Transformations-Hubs

ch2ance

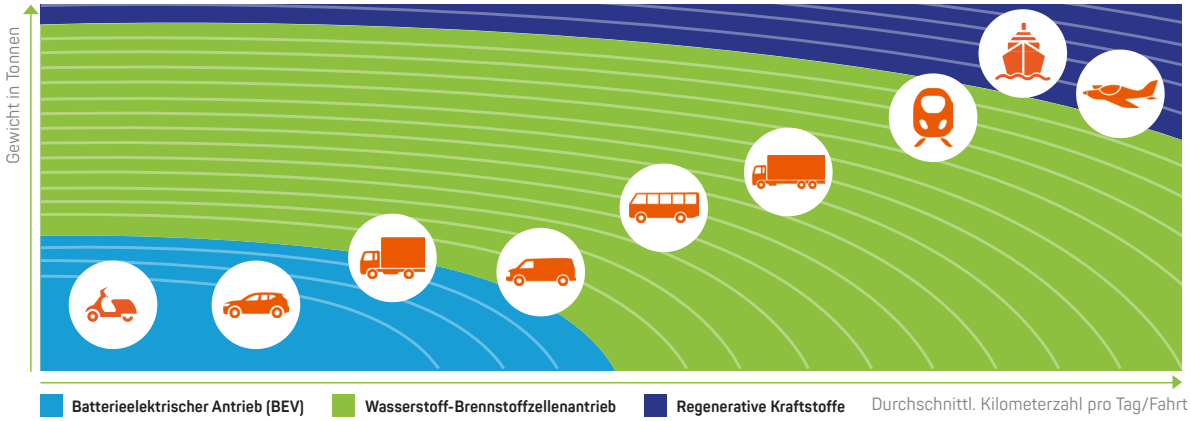
www.ch2ance.de

Überblick und Potenziale zu wasserstoffbasierten Antrieben

PKW's, Busse, LKW's 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_2-ICE)
- Grundsätzlicher Aufbau eines Brennstoffzellenantriebes
- Wertschöpfungspotentiale am Beispielvergleich
- Potenziale der Brennstoffzelle: Wirkungsgrad und Skalierungseffekte



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an e-mobil BW [1]

Überblick zu wasserstoffbasierten Antriebskonzepten (FC und H_2-ICE)

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

Die folgende Tabelle zeigt an den ausgewählten Beispielen H_2-ICE und Brennstoffzellenantrieb welche Vor- und Nachteile die jeweilige Technologie mit sich bringt.

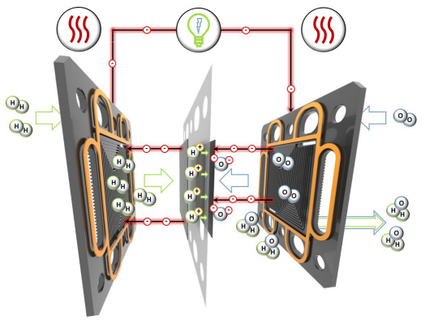
	H_2-ICE	*Brennstoffzellenantrieb: (PEMFC)*
Vorteile	· Reinheit vom Wasserstoff ist sekundär[2] · Zurückgreifen auf Aufbau und Komponenten von konventionellen ICEs möglich	· Wirkungsgrad von 50-70 % einer PEMFC[3] · niedrige Betriebstemperatur (60-80 °C) günstig für mobile Anwendungen[3,4] · Wertschöpfungspotenzial durch hohe Vielzahl an Peripheriekomponenten · Rekuperation in elektr. Energiespeicher
Nachteile	· kein Zero-Emission Antrieb[2] (geringe Bildungvon NOx, HxCy und CO) · Wirkungsgrad von 27-45 % [2] · Geräuschemissionen · Anpassung der Motorkomponenten an Betriebsbedingungen	· Wasserstoff- und Luftreinheit für Alterung (Degradation) der FC entscheidend[4]

Der Transformations-Hub cH2ance unterstützt im Wesentlichen den Markthochlauf des FC-Antriebs, da dieser aufgrund der vorteilhaften Eigenschaften der niedrigen Betriebstemperatur, des hohen Wirkungsgrades und der nicht vorhandenen Emissionen sich im Fahrzeugbetrieb als günstig für mobile Anwendungen erweist.

Grundsätzlicher Aufbau eines Brennstoffzellenantriebes

Brennstoffzellen (FC) werden in der Namensgebung nach dem verwendeten Elektrolyten unterschieden. Ein Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzellen-Antriebsstrang (PEMFC) nutzt die chemische Reaktion von Wasserstoff (H_2) und Sauerstoff (O_2) 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



Quelle: HZwo e.V. [5]

Chemisches Funktionsprinzip der PEMFC:

Anodenreaktion: $2H_2 \rightarrow 4H^+ + 4e^-$

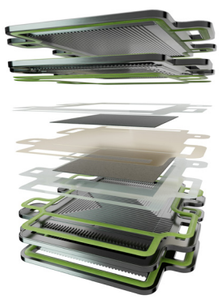
Kathodenreaktion: $O_2 + 4e^- + 4H^+ \rightarrow 2H_2O$

Gesamtreaktion: $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$

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

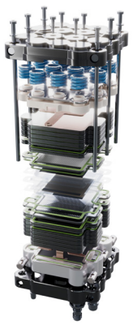
Brennstoffeinzelzelle

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



FC-Stack

Ein FC-Stack 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-Stack mit der benötigten Peripherie. Diese umfasst die zwei Medienpfade für H_2 und Luft, den Kühlkreislauf und Steuerungseinheiten.

FC-Antriebsstrang

Ein FC-Antriebsstrang kombiniert das FC-System mit einer E-Achse, die sich aus H_2-Tanksystem, elektrischen Energiespeicher, E-Motor, und weiteren Komponenten zusammensetzt.

Quelle: HZwo e.V. [5]

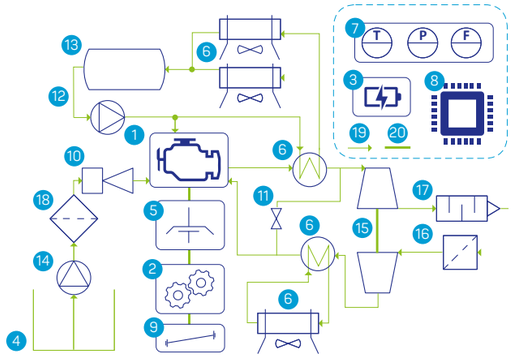
Wesentliche Systembestandteile eines FC-Antriebsstranges sind:

- Systemperipherie (H_2-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

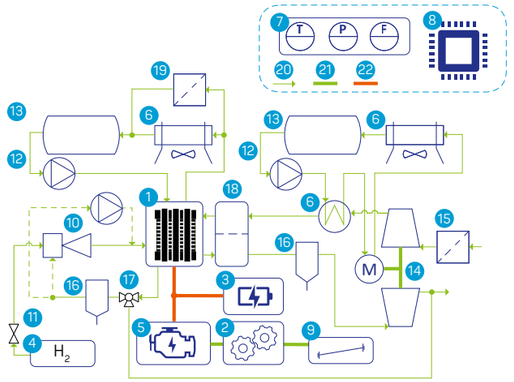
Das konventionelle ICE- und FC-Antriebssystem sind sich ähnlich. Jeweils muss ein Brenn- bzw. Reaktionsmedium mit Fördereinheiten (z.B. Pumpen und Verdichter) zugeführt werden, ein Thermomanagement (Kühlkreislauf), speziell mit nicht leitfähigem Kühlmittel bei der FC, verfahrenstechnische Komponenten, wie Sensorik, sowie Filter, Ventile und Regler werden benötigt. 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



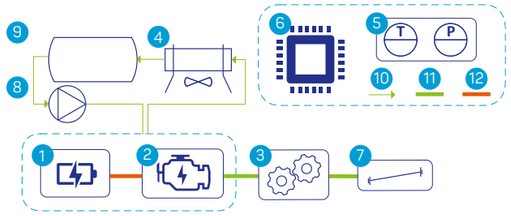
Verbrennungsmotorischer Antrieb (ICE)

1. Motorblock
2. Getriebe
3. Akkumulator
4. Kraftstofftank
5. Kupplung
6. Wärmetauscher
7. Temperatur-, Druck-, Durchflusssensorik
8. Bordnetz
9. Antriebswellen
10. Einspritzdüsen
11. Ventiltechnik
12. Kühlmittelpumpe
13. Kühlmittelbehälter
14. Kraftstoffpumpe
15. Turboverdichter
16. Luftfilter
17. Abgastrakt
18. Kraftstofffilter
19. Medienleitungen
20. Mechanische Verbindung



Brennstoffzellenelektrischer Antrieb (FC)

1. Brennstoffzellenstack
2. Getriebe
3. Elektr. Energiespeicher
4. Wasserstofftank
5. Elektromotor
6. Wärmetauscher
7. Temperatur-, Druck-, Durchflusssensorik
8. Leistungselektronik und Bordnetz
9. Antriebswellen
10. passive Ejektordüse/ Rezirkulationspumpe
11. Ventiltechnik
12. Kühlmittelpumpe
13. Kühlmittelbehälter
14. Luftverdichter
15. Luftfilter
16. Wasserabscheider
17. Purge-Ventil
18. Luftbefeuchter
19. KM-Ionentauscher
20. Medienleitungen
21. Mechanische Verbindung
22. Elektrische Leitungen



Batterieelektrischer Antrieb (BEV)

1. Akkumulator
2. Elektromotor
3. Getriebe
4. Wärmetauscher
5. Temperatur- und Drucksensorik
6. Leistungselektronik und Bordnetz
7. Antriebswellen
8. Kühlmittelpumpe
9. Kühlmittelbehälter
10. Medienleitung
11. Mechanische Verbindung
12. Elektrische Leitungen

Die hohe Anzahl der ähnlichen Peripheriekomponenten eines ICE und FC-Antriebsstrangs vereinfacht im Gegensatz zu BEV's der Automobil- und Zulieferindustrie ihre Kompetenzen in Bauteilfertigungs- und Verfahrenstechnik in die neue Antriebstechnologie zu übertragen und bestehende Komponenten auf neue Parameter anzupassen. Der Transformations-Hub cH2ance informiert über diese 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 Anwendungsgebiet
- Betankungs- bzw. Ladezeit und Verfügbarkeit der dazugehörigen Infrastruktur
- Reichweite
- Anschaffungs- und Betriebskosten
- Servicebedarf

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

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

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

Wirkungsgrad

FC-Antriebe erreichen ähnlich hohe Wirkungsgrade von der Primärenergieerzeugung bis zum Radantrieb (WTW – Well-to-Wheel) 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.

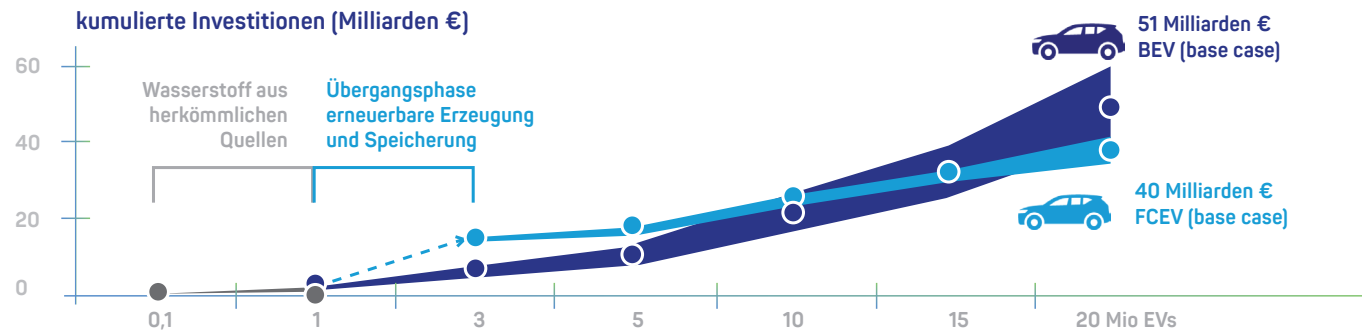
Abhängig von der Jahreszeit verringert sich die Reichweite eines BEV-Fahrzeugs bei niedrigen Außentemperaturen, da ein gewisser Anteil der Kapazität des Akkus für die Innenraumbeheizung erforderlich ist. Bei FCEVs kann die Abwärme des Stacks genutzt werden, sodass kaum Reichweitenunterschiede auftreten.

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_2-Tankstellen verfügbar, an denen mit 350 oder 700 bar in kurzer Zeit eine Vielzahl an Fahrzeugen dezentral getankt werden können (siehe 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 auf lange Sicht ein dezentrales H_2-Tankstellennetz eine sinnvolle Ergänzung ab einer Marktdurchdringung von 25 % dar. Bei weiter steigender Marktdurchdringung ist eine immer größere Schere zugunsten des FCEV zu erwarten.



Eigene Darstellung in Anlehnung an FZ Jülich [9]

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 (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 (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.)

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

Herausgeber: Transformations-Hub cH₂ance; 1. Auflage 11/2023

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