



Aufbau und Funktion eines mobilen FC-Systems

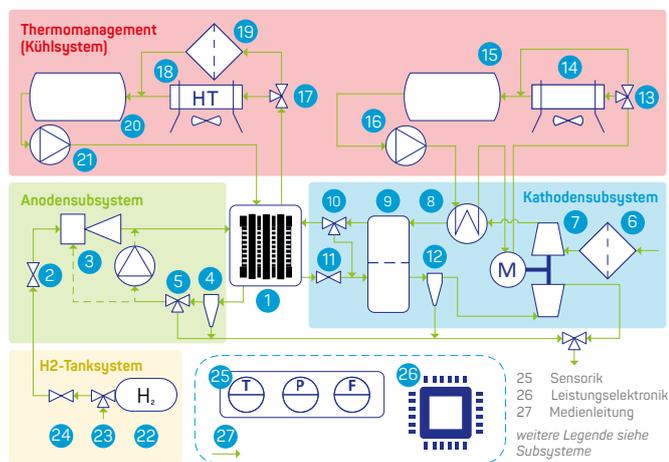
FC-Systeme (Fuel Cell) sind für mobile und stationäre Anwendungen zu unterscheiden, da die unterschiedlichen Anforderungen zu abweichenden Hybridisierungsstrategien und Systemtopologien führen können. Im Rahmen des Transformations-Hubs ch2ance werden insbesondere Kenntnisse über mobile FC-Systeme vermittelt. Dieses Factsheet umfasst die Kernkomponenten eines Brennstoffzellensystems für eine Fahrzeuganwendung, welche für die Aufbereitung der Edukte Wasserstoff und Luft sowie die thermische Regulierung des Systems erforderlich sind.

Inhalte

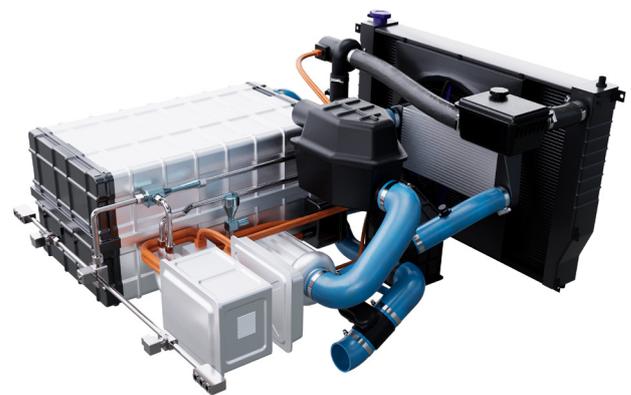
- ⊕ Bestandteile eines mobilen FC-Systems
- ⊕ Grundlegender Aufbau des Brennstoffzellenstapels
- ⊕ Grundlegender Aufbau des Anodensubsystems (H₂-Versorgung)
- ⊕ Grundlegender Aufbau des Kathodensubsystems (O₂-Versorgung)
- ⊕ Grundlegender Aufbau des Thermomanagements (Kühlkreislauf)
- ⊕ Aufbau und Funktion des Wasserstofftanksystems

Bestandteile eines mobilen FC-Systems

Ein FC-System für Fahrzeuganwendungen beinhaltet folgende Funktionsgruppen, welche schematisch vereinfacht mit den jeweiligen Kernkomponenten im Fließschema dargestellt sind. Je nach Anwendungsgebiet kann der Systemaufbau vom dargestellten Fließschema abweichen.



Flusschema eines Brennstoffzellensystems (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an [1-3])



3D-Modell eines Brennstoffzellensystems (Quelle: eigene Darstellung)

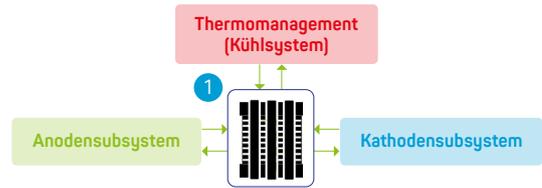
- ⊕ Der **Brennstoffzellenstapel** (1), welcher als Energiewandler die chemische Energie der Eduktgase Wasserstoff (H₂) und Sauerstoff (O₂) in elektrische Energie wandelt.
- ⊕ Das **Anodensubsystem** führt den Wasserstoff aus dem Wasserstofftanksystem der Brennstoffzelle zu und setzt ebenso die Rezirkulation des unverbrauchten Wasserstoffs um.
- ⊕ Das **Kathodensubsystem** versorgt den Brennstoffzellenstapel mit gefilterter, verdichteter und konditionierter Umgebungsluft und verwertet ebenso die in der Abluft enthaltene Feuchte und Restenergie.

- ⊕ Das **Thermomanagement**, bestehend aus einem Hochtemperatur- und einem Niedertemperaturkühlkreislauf (folgend mit HT und NT abgekürzt), führt die im Brennstoffzellenstapel und in den Subsystemen anfallende Wärmeleistung ab.
- ⊕ Das **Wasserstofftanksystem** dient als chemischer Energiespeicher, versorgt das Anodensubsystem mit Wasserstoff und ermöglicht eine Betankung.

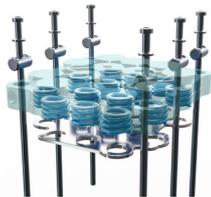
Grundlegender Aufbau eines Brennstoffzellenstapels

Die zentrale Komponente eines mobilen FC-Systems ist der Brennstoffzellenstapel (1), welcher aus gestapelten Einzelzellen aufgebaut ist. Bei der Zellreaktion gibt der Wasserstoff Elektronen ab, welche als Energieversorgung in einem Stromkreislauf zum Beispiel einen Elektromotor antreiben können oder zur Ladung eines elektrischen Energiespeichers dienen. Zusammen mit Sauerstoff und den Elektronen reagiert der oxidierte Wasserstoff zu Reinstwasser. Unter realen Bedingungen kann überschlägig eine Spannung von bis zu $U = 1\text{ V}$ für eine Einzelzelle angenommen werden [4]. Zur Spannungserhöhung werden beispielsweise bei Fahrzeuganwendungen bis über

400 Einzelzellen in einer Reihenschaltung zu einem FC-Stapel verschaltet [5].



Zusammen mit folgenden Komponenten bilden die Einzelzellen einen FC-Stapel:



Endplatten mit Vorspannsystem

äußerste Stapelplatten mit Aufnahme des Vorspannsystems zur flächig gleichmäßigen Vorspannkraftübertragung zum Beispiel durch Zuganker oder Spannbänder zur Erzeugung der Vorspannkkräfte; Reduzierung von Kontaktwiderständen und Dichtungsverpressung [6]



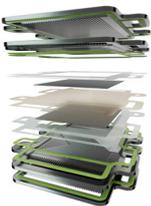
Isolierung

nicht leitfähige Schicht zwischen Stromabnehmer und Endplatte zur elektrischen Isolation



Stromabnehmerplatte

flächig kontaktierende Platten mit elektrischen Anschlüssen zwischen den äußeren Einzelzellen, Bipolarplatten und Endplatten



Einzelzelle

Bereich der Redoxreaktion der Eduktgase Wasserstoff und Sauerstoff; Stapelbildung durch Reihenschaltung einzelner Zellen



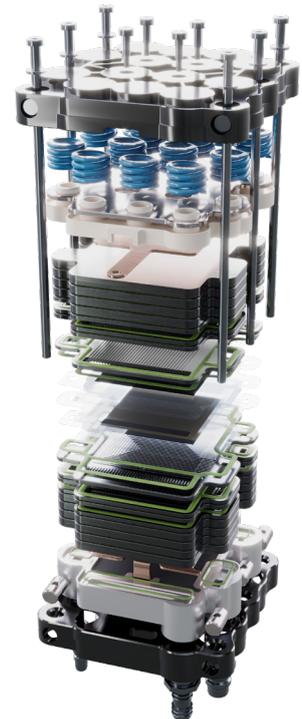
Dichtungen

Dichtheit der Medien zur Umgebung und zwischen einzelnen Stapelkomponenten; zum Teil auch elektrisch isolierende Wirkung



Endplatte mit Medienanschlüssen

äußerste Stapelplatte mit Aufnahme der Medienanschlüsse, welche als Anschlussstutzen zur Zu- und Abfuhr von Wasserstoff, aufbereiteter Luft und Kühlmittel dienen



3D-Modell eines Brennstoffzellenstapels (Quelle: eigene Darstellung)

Weitere Informationen zum Brennstoffzellenstapel finden Sie im Factsheet: **Aufbau und Funktion eines Brennstoffzellenstapels**

Bei dem dargestellten Brennstoffzellenstapel handelt es sich um den Open-Source-Stack (TU Chemnitz – Professur Alternative Fahrzeugantriebe, HZwo e.V.). Dieser wird in erster Linie für akademische Zwecke verwendet, um einen freien Kompetenzaufbau im Bereich Verfahrenstechnik und Konstruktion zu ermöglichen. Sie haben Interesse, diese Kompetenzen für sich zu nutzen? Kontaktieren Sie das ch2ance-Team!



Sie möchten mehr erfahren?
Besuchen Sie unseren Wissensbereich:
www.ch2ance.de/h2-wissen

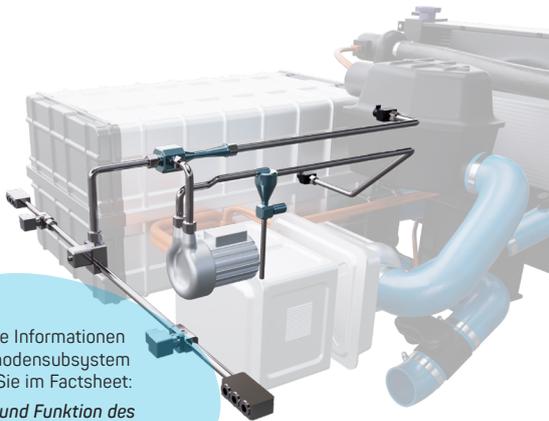
Nutzen Sie auch unser interaktives 3D-Modell des Brennstoffzellen-Antriebsstrangs



Grundlegender Aufbau des Anodensubsystems (H_2 -Versorgung)

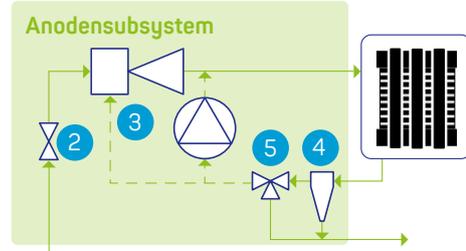
Das Anodensubsystem versorgt den Brennstoffzellenstapel (1) mit Wasserstoff aus dem Wasserstofftankensystem. Ein Absperr- und Dosier-/Druckregelventil (2) stellt dem Brennstoffzellenstapel Frischwasserstoff in geforderter Menge und mit dem geforderten Systemdruck zur Verfügung. Der unverbrauchte Wasserstoff wird über eine Rezirkulationseinheit (3) dem Frischwasserstoff wieder zu-

geführt. Ein Wasserabscheider mit Ablassventil (Drain-Valve) (4) führt im Abgas angereichertes Produktwasser ab. Ein Spülventil (Purge-Valve) (5) verhindert eine Verringerung des Wasserstoffpartialdrucks aufgrund der Rezirkulation von diffundiertem Stickstoff mittels zyklischen Spülens mit Frischwasserstoff [7].



Weitere Informationen zum Anodensubsystem finden Sie im Factsheet: **Aufbau und Funktion des Anodensubsystems**

3D-Modell eines Anodensubsystems (Quelle: eigene Darstellung)



- 2 Absperr-, Dosier-/Druckregelventil
- 3 aktive/passive Rezirkulation
- 4 Wasserabscheider und Ablassventil (Drain-Valve)
- 5 Spülventil (Purge-Valve)

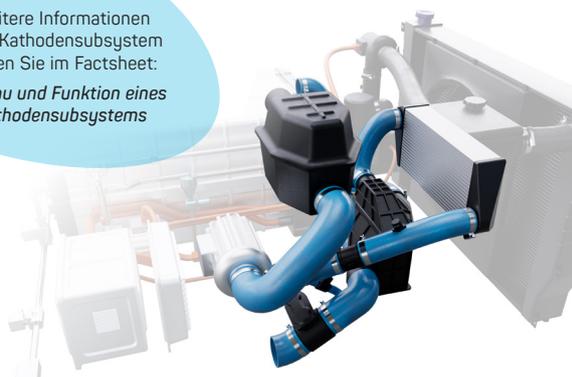
Flussschema eines Anodensubsystems (Quelle: eigene Darstellung)

Grundlegender Aufbau des Kathodensubsystems (O_2 -Versorgung)

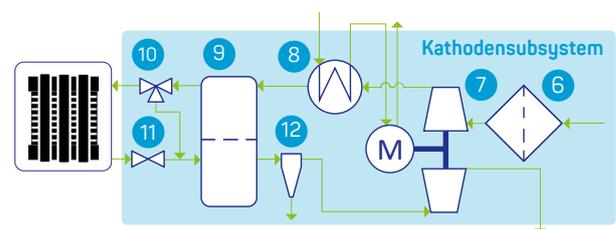
Der benötigte Sauerstoff wird über die Umgebungsluft bereitgestellt. Ein Partikel- und Schadgasfiltersystem (6) dient zur Abscheidung von Partikeln und definierten Schadgasen aus der Umgebungsluft [8]. Die Zuluft wird mit einem elektrischen Verdichter (7) auf ein Druckniveau von etwa 2,5 bar absolut komprimiert [7]. Die verbleibende thermische und kinetische Energie kann über eine Expander-einheit zurückgewonnen werden. Die Integration eines Expanders wird aufgrund einer geringen Abgasenergie im Vergleich zum Verbrennungsmotor in Nutzfahrzeuganwendungen mit höheren Brennstoffzellenleistungen erwartet [9]. Ein Zwischenkühler (8) wird eingesetzt, damit die verdichtete Zuluft die Betriebstemperatur des FC-Stapels von etwa 80 °C nicht überschreitet, um eine Degradation der Polymerelektrolytmembran (PEM) zu vermeiden [10].

Ein Kathodenluftbefeuchter (9) führt der Zuluft Wasser in Form von Wasserdampf über eine semipermeable Membran aus der Abluft zu, damit die PEM-Membran für einen guten Protonentransport (H^+) dauerhaft hydratisiert ist [11]. Ein zusätzlicher Wasserabscheider (12), verhindert eine Expanderschädigung durch Tropfenschlag.

Weitere Informationen zum Kathodensubsystem finden Sie im Factsheet: **Aufbau und Funktion eines Kathodensubsystems**



3D-Modell eines Kathodensubsystems (Quelle: eigene Darstellung)



- 6 Luftfilter
- 7 Verdichter (inkl. Expander)
- 8 Zwischenkühler
- 9 Kathodenluftbefeuchter
- 10 Absperr-, Bypassventil
- 11 Absperrventil
- 12 Wasserabscheider und Ablassventil (Drain-Valve)

Flussschema eines Kathodensubsystems (Quelle: eigene Darstellung)

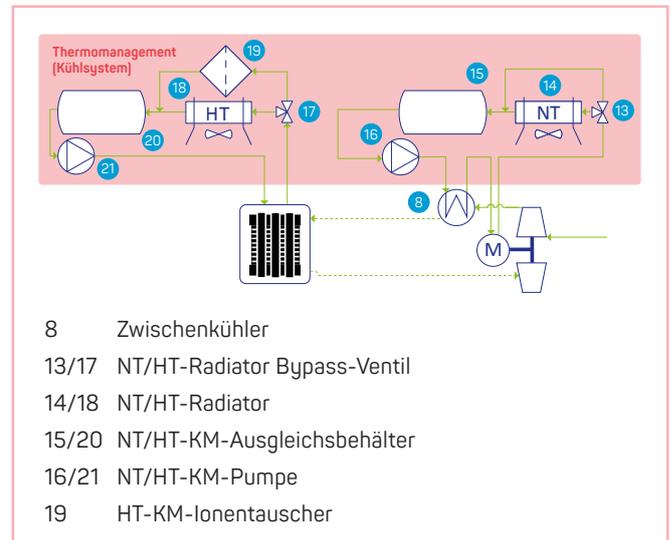
Grundlegender Aufbau des Thermomanagements (Kühlkreislauf)

Das Brennstoffzellensystem verfügt über einen Hochtemperatur-(HT) und einen Niedertemperatur-Kühlkreislauf (NT). Der HT-Kühlkreislauf dient zur Abfuhr der Wärmeleistung aus dem Brennstoffzellenstapel. Ein Kühlmittel (KM) mit niedriger Leitfähigkeit verhindert einen Kurzschluss im FC-Stapel [12]. Durch Auswaschungen oder Korrosion ins Kühlmittel eingebrachte Ionen werden mit einem Ionentauscher (19) gebunden, um die Leitfähigkeit dauerhaft niedrig zu halten [12]. Der NT-Kühlkreislauf kühlt die verdichtete Zuluft und

führt die Wärmeleistung des Verdichters ab. Außerdem können weitere Komponenten im Antriebsstrang (z. B. die Leistungselektronik, der elektrische Energiespeicher und der Elektromotor) gekühlt und eine Klimatisierung des Fahrzeuginnenraums umgesetzt werden. Im Gegensatz zum HT-Kühlkreislauf bestehen keine spezifischen Leitfähigkeitsanforderungen.



3D-Modell eines Thermomanagements (Quelle: eigene Darstellung)



Flussschema eines Thermomanagements (Quelle: eigene Darstellung)

Grundlegender Aufbau des Wasserstofftanksystems

Ein oder mehrere Tanks (22) werden über den Anschlussstutzen (ugs. Tankstutzen), welcher mit dem On-Tank-Ventil (OTV) (23) verbunden ist, wahlweise mit 350 bar oder 700 bar befüllt (bezogen auf Drucktanktechnologie). Die Wasserstoffzufuhr für den FC-Stapel erfolgt ebenso über das On-Tank-Ventil. Ein Druckminderer (24) stellt einen systemspezifischen Mitteldruck von etwa 5-30 bar absolut bereit [3, 11].



Flussschema eines Wasserstofftanksystems (Quelle: eigene Darstellung)

3D-Modell eines Wasserstofftanksystems (Quelle: eigene Darstellung)

Quellen

- [1] D. A. Cullen et al., „New roads and challenges for fuel cells in heavy-duty transportation,“ Nat Energy, Jg. 6, Nr. 5, S. 462–474, 2021, doi: 10.1038/s41560-021-00775-z.
- [2] Brian D. James, Jennie M. Huya-Kouadio, Cassidy Houchins, Daniel A. DeSantis: Strategic Analysis, Inc., „Mass Production Cost Estimation of Direct H2 PEM Fuel Cell Systems for Transportation Applications: 2018 Update,“ 2018.
- [3] A. Kampker und H. H. Heimes, Elektromobilität. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2024.
- [4] H. Tschöke, P. Gutzmer und T. Pfund, Elektrifizierung des Antriebsstrangs: Grundlagen - vom Mikro-Hybrid zum vollelektrischen Antrieb. Springer-Verlag, 2019.
- [5] S. Hahn, Modellbasierte Betriebsstrategie für PEM-Brennstoffzellensysteme. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2023.
- [6] X. Wang, Y. Song und B. Zhang, „Experimental study on clamping pressure distribution in PEM fuel cells,“ Journal of Power Sources, Jg. 179, Nr. 1, S. 305–309, 2007, doi: 10.1016/j.jpowsour.2007.12.055.
- [7] S. Pischinger und U. Seiffert, Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2021.
- [8] C. Özyalcin, P. Mauermann, S. Dirkes, P. Thiele, S. Sterlepper und S. Pischinger, „Investigation of Filtration Phenomena of Air Pollutants on Cathode Air Filters for PEM Fuel Cells,“ Catalysts, Jg. 11, Nr. 11, S. 1339, 2021, doi: 10.3390/catal11111339.
- [9] D. Lückmann, A. Schloßhauer, J. Klütsch und L. Plum, „Effizienzsteigerung durch die Verwendung einer Turbine im Brennstoffzellensystem,“ MTZ Motortech Z, Jg. 84, Nr. 12, S. 48–51, 2023, doi: 10.1007/s35146-023-1535-5. [Online]. Verfügbar unter: <https://link.springer.com/article/10.1007/s35146-023-1535-5>.
- [10] P. Kurzweil, Hg. Brennstoffzellentechnik. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2016.
- [11] M. Klell, H. Eichseder und A. Trattner, Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2018.
- [12] M. Doppelbauer, Grundlagen der Elektromobilität. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2020. Cells,“ Catalysts, Jg. 11, Nr. 11, S. 1339, 2021, doi: 10.3390/catal11111339.