

| Kenngröße               | Ausgewählter Speicher   |
|-------------------------|---|
| Funktionsweise          | <p>Die Polymerelektrolytbrennstoffzelle (Protonenaustauschmembran-Brennstoffzelle) ist eine Niedrigtemperatur-Brennstoffzelle. Die Membran ist beidseitig mit einer katalytisch aktiven Elektrode beschichtet, einer Mischung aus Kohlenstoff und einem Katalysator (meistens Platin, eine Mischung aus Platin und Ruthenium, Platin und Nickel oder Platin und Cobalt). H<sub>2</sub>-Moleküle dissoziieren auf der Anodenseite und werden unter Abgabe von zwei Elektronen zu je zwei Protonen oxidiert. Diese Protonen diffundieren durch die Membran (nur für positive Wasserstoffionen durchlässig). Auf der Kathodenseite wird Sauerstoff durch die Elektronen, die zuvor in einem äußeren Stromkreis elektrische Arbeit verrichten konnten, reduziert; zusammen mit den durch den Elektrolyt transportierten Protonen entsteht Wasser. Um die elektrische Arbeit nutzen zu können, werden Anode und Kathode an den elektrischen Verbraucher angeschaltet. Eine solche Einheit wird als Stack bezeichnet. Für die gute Verteilung der Gasströme werden Bipolarplatten genutzt. Mehrere Stacks werden u.a. über Interkonnektoren zusammengeschlossen. Der elektrische Wirkungsgrad beträgt je nach Arbeitspunkt etwa 60 Prozent. Als Elektrolyt dient dabei normalerweise eine feste Polymermembran, beispielsweise aus Nafion. Die Betriebstemperatur liegt im Bereich von 60 bis 120 °C, wobei für den kontinuierlichen Betrieb bevorzugt Temperaturen zwischen 60 und 80 °C gewählt werden.</p> |
| Speichercharakteristika | <p>Da Brennstoffzellen an sich keine Energiespeicher sind, sondern nur Energiewandler, muss, was die Speicherkenndaten angeht, das Gesamtsystem betrachtet werden. Weiters ist zu beachten, dass Energiedichte und Leistungsdichte in Wh/kg bzw. W/kg typische Werte für Batterien sind; bei der Elektrolyse/Bz werden diese Werte normalerweise nicht angegeben, da sie sehr stark vom jeweiligen System und der Nutzung abhängig sind. Falls dennoch ein Wert gefordert ist, bieten sich hier die Werte von Wasserstoff an: 33,3 kWh/kg<br/>DOE 2020-Dokument: 0,65 kW/L; 0,65 kW/kg</p>  |

| Kenngröße        | Ausgewählter Speicher  |
|------------------|--|
| Subsysteme       | <p>Ladezeit beträgt derzeit unter 3 Minuten (SAE J2601). Es besteht bei der 700 Bar Gasflasche keine Selbstentleerung.</p> <p>Subsysteme als solches gibt es keine. Es existieren aber unterschiedliche Arten von Brennstoffzellen, wie z.B.: die Alkalische Brennstoffzelle. In der Regel wird eine wässrige Kaliumhydroxid-Lösung als Elektrolyt verwendet. Entsprechend dem pH-Wert des Elektrolyten wird die Zelle als alkalische Brennstoffzelle bezeichnet. Als Brenngas dient ebenfalls Wasserstoff, der der Anode zugeführt und dort zu H<sup>+</sup> oxidiert wird. Zusammen mit OH<sup>-</sup>-Ionen, die an der Kathode durch Reduktion von Sauerstoff gebildet werden und über den Elektrolyten zur Anode gelangen, bildet sich an der Anode als Reaktionsprodukt Wasser, welches ständig abgeführt werden muss. Die Arbeitstemperatur der Zelle liegt bei 60–120 °C. Im Vergleich zur PEMFC hat die AFC eine geringere Leistungsdichte, aber aufgrund der höheren Zellenspannung einen etwas besseren Wirkungsgrad. Sie erreicht jedoch zurzeit nicht die hohen Stromdichten einer PEMFC. Der Elektrolyt dient gleichzeitig zur Temperaturregelung des Stacks, womit kein weiterer Kühlkreislauf notwendig ist.</p> |
| Referenzen/Links | <p>Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik: Erzeugung, Speicherung, Anwendung (ATZ/MTZ-Fachbuch) Gebundene Ausgabe – 13. April 2012 von Helmut Eichlseder (Autor), Manfred Klell (Autor)</p> <p>Wasserstoff und Brennstoffzellen.<br/>von Sven Geitmann</p> <p>Erneuerbare Energien und Alternative Kraftstoffe - Mit neuer Energie in die Zukunft?<br/>von Sven Geitmann</p> <p>Wasserstoff und Wirtschaft -<br/>von Alf-Sibrand Rühle, Sven Geitmann</p>  |

| KenngroÙe            | Ausgewählter Speicher  |
|----------------------|--|
|                      | <p>Fuel Cell Technology Handbook<br/>von Martin G. Hogarth, David Thompsett, Charles Richard Stone, Gregor Hoogers</p> <p>Energierevolution Brennstoffzelle. Perspektiven - Fakten - Anwendungen.<br/>von M. Pehnt</p> <p>Brennstoffzellen: Entwicklung, Technologie, Anwendung<br/>von Konstantin-Hey Ledjeff, Falko Mahlendorf, Jürgen Roes</p> <p>Brennstoffzellentechnik<br/>von Peter Kurzweil</p> <p>Handbook of Fuel Cells - Fundamentals, Technology, Applications<br/>von Wolf Vielstich, Arnold Lamm und Hubert Gasteiger</p> <p>Auslegung von Brennstoffzellenanlagen<br/>von W. Winkler</p> <p>Brennstoffzellen-Technologie. Hoffnungsträger für den Klimaschutz.<br/>von Dagmar Oertel, Torsten Fleischer</p> <p>Fuel Cells and their applications<br/>von Karl Kordesch, Günter Simader</p> <p>Energie der Zukunft. Die Ballard Brennstoffzelle und der Weg zum sauberen Elektroauto.<br/>von Tom Koppel</p> |
| Technologiereifegrad | 7 bzw. schon am Markt (9) (Hyundai, Toyota, Honda, etc.) TRL 7 soll nur den Stand im Vergleich zu einem konventionellen Fahrzeug angeben. Heute findet noch Forschung im Bereich Effizienzsteigerung, Beständigkeit,   |

| Kenngröße  | Ausgewählter Speicher  |
|--|--|
|  | Lebensdauererhöhung und Kostenreduktion statt. Die genaueren Maßnahmen und die möglichen Forschungsfragen sind im Abschlussbericht zusammengefasst.  |
| TRL (Technology Readiness Level)                                     | 7 - 9  |
| Netzebene (NS=7, MS=5, HS=3, HÖS=1)                                  | mobile Anwendung   |
| Schnelligkeit/Regel-Ansprechverfahren (schnell/mittel/langsam)       | Ladefähigkeit: < 3 min. (SAE J2601)  |
| Energiedichte (Wh/kg)  | Wasserstoffgas (700 bar): 1,855 Wasserstoff: 33,3 kWh/kg   |
| Leistungsdichte (W/kg)   | FC (DOE 2020): 0,65 kW/L; 0,65 kW/kg   |
| Selbstentladung (%/Tag, %/Monat, ...)                                | keine  |
| Wirkungsgrad (technologisch, Batterie) (%)                           | FC (DOE 2020): 65%   |
| Kalendarische Lebensdauer (a)  | > 15 Jahre   |
| Zyklusfestigkeit (Zyklen über Lebensdauer)                           | > 20.000   |
| Kosten (Investitionskosten, Betriebskosten) (€/kWh) bzw. (€/kW)      | FC (DOE 2020): <40 \$/kW<br>H2 Tank: <10 \$/kW   |
| Soziale Akzeptanz der Technologie (hoch/mittel/niedrig)              | mittel   |
| Ökol. Performance (CO2-Äquivalent, seltene Erden, ökol. Fußabdruck)  | Treibhauspotential [kg CO2-Äqu.] sehr stark abhängig von Strominput<br>Edelmetalleinsatz (F&E Fokus)   |
| Recyclingfähigkeit   | Pt-Recycling möglich. Second Life nicht relevant   |
| Absatz, erwartet   | Weltweit (2014): 50.000 (stationär & mobil)<br>Österr. 2015: 6 FCEV erwartet für 2016: 35 - 50 FCEV  |
| Inländische Wertschöpfung (Hersteller in Ö, Demoprojekte, Forschung) | OMV: H2-Produktion<br>Fronius: Produktion FC für industrielle Anwendungen (z.B Gabelstapler)<br>Linde: Tankstellen-Produktion<br>Plansee: Bipolarplatten, Interkonnektoren<br>Magna: H2-Tanks<br>AVL: Entwicklungsdienstleister automotive und stationäre FC Systeme;<br>Produktion Komponenten<br>Miba, Proionic: H2 Speichermaterial<br>Miba: Beschichtungstechnologie für metall. BPP |
| Stromoutput (Eignung des Stromspeicher zur NetZRückzuspeisung) (J/N) | Back-up Power / USV: Anwendung im Bereich Telekom (Tetranetze mit langer Backup Zeit)  |

| KenngroÙe  | Ausgewählter Speicher  |
|--|--|
| Leistung (kW) ev. Dauer-/Spitzenleistung   | W bis MW Scale möglich   |
| Erzeugungsnähe (produktionsnahe) (J/N)   | Ja   |
| Zielwert ausgewählter Kennzahlen für die Technologie z.B. bis 2025/2030            | siehe DOE Targets  |
| Referenzen (Literaturquellen zu eingetragenen tech. Kennzahlen)                    | Buch: Brennstoffzellentechnik: Grundlagen, Komponenten, Systeme, Anwendungen   |
| Temperaturfestigkeit (Betriebs- und Umgebungstemperatur/Limitierung) (°C, von-bis) | 60 - 80°C / -30°C bis +45°C  |
| Materialien (Zellchemie)   | Katalysatormaterialien sind vor allem Pt (bzw. Gemisch aus Pt und Ni oder Co) als Katalysator. (Mengenreduktion wurde vorwiegend über Strukturierung der Pt Katalysatoren erreicht); Sulfoniertes Tetrafluorethylen-Polymer für die Membran  |
| Rohstoffe/Verfügbarkeit (nach Hauptelemente)                                       | Pt: Verfügbar, aber teuer, daher wird versucht zu substituieren. Derzeitige FC-Autos haben nicht mehr Pt in der Zelle als ein herkömmlicher Diesel im Katalystor (laut Toyota bei der A3PS-Konferenz)<br>Restliche oben erwähnte Materialien leicht und billig zu erwerben.<br>Metallische Bipolar Platte aus zB.316 L mit 0,1 mm Dicke ermöglicht starke Kostenreduktion.                     |
| Peripherie: BMS/Leistungselektronik (F&E Bedarf) (J/N)                             | Elektronik ist wichtige Integrationstechnologie für Leistung, Steuerung (Lebensdauer), Sicherheit  |
| Infrastruktur (F&E Bedarf)   | Stückzahlmarkt erforderlich, um stabile Lieferantenstrukturen für Komponenten zu etablieren und Kosten zu senken. Forschungsbedarf parallel zur Marktentwicklung auf allen Ebenen, um Performance zu steigern und Kosten weiter zu senken; Marktbarrieren wie Mangel an HRS, legislative Benachteiligungen durch Unwirksamkeit der Vorteile (Emissionsfreiheit, CO2 Einsparung, etc.) aufheben |
| Problembereiche  | Initialmarkt in Europa für Stabilisierung der Wertschöpfungsketten und Technologiereifung (Kostensenkung, Lebensdaueroptimierung, etc.); für mobile Anwendungen ist ausreichende Anzahl HRS erforderlich; Pilotprojekte zur Darstellung und Kommunikation der technolog. Vorteile; Abbau von legislativen Barrieren für Emissionsfreie Technologien und  |

| KenngroÙe      | Ausgewählter Speicher   |
|----------------|---|
|                | <p>Aufbau von legistischen Barrieren für gesundheitsschädigende, herkömmliche Technologien</p>  |
| KenngroÙe      | <p>Ausgewählter Speicher</p>  |
| Funktionsweise | <p>Die SOFC ist eine Hochtemperatur-Brennstoffzelle, die bei einer Betriebstemperatur von 650 - 1.000 °C betrieben wird. Der Elektrolyt dieses Zelltyps besteht aus einem festen keramischen Werkstoff, der in der Lage ist, selektiv Sauerstoffionen zu leiten, für Elektronen jedoch isolierend wirkt. An beiden Seiten der Elektrolytschicht sind die Elektroden, Kathode und Anode, angebracht. Sie sind gasdurchlässige elektrische Leiter. Der sauerstoffionenleitende Elektrolyt ist als dünne Membran vorgesehen, um die Sauerstoffionen energiearm transportieren zu können. Dies funktioniert nur bei hohen Temperaturen. Die dem Elektrolyt abgewandte, äußere Seite der Kathode wird von Luft umgeben, die äußere Anodenseite von Brenngas. Ungenutzte Luft und ungenutztes Brenngas sowie Verbrennungsprodukte werden abgesaugt. Im Inneren der SOFC findet die Redox-Reaktion von Sauerstoff mit dem Brennstoff, der Wasserstoff sein kann, jedoch z. B. auch Kohlenstoffmonoxid oder Methan, statt. Auf der Kathodenseite herrscht Sauerstoffüberschuss, während auf der Anodenseite Sauerstoffmangel herrscht, weil der vorhandene Sauerstoff gleich z. B. mit dem Wasserstoff reagiert. Durch dieses Konzentrationsgefälle diffundiert der Sauerstoff von der Kathode zur Anode. Hat das Sauerstoffmolekül die Grenzfläche zwischen Kathode und Elektrolyt erreicht, nimmt es 2 Elektronen auf, wird damit zum Ion und kann die Barriere durchdringen. An der Grenze zur Anode angekommen, reagiert es katalytisch mit dem Brenngas unter Abgabe von Wärme und den entsprechenden Verbrennungsprodukten, und gibt wieder 2 Elektronen an die Anode ab. Voraussetzung dafür ist ein Stromfluss, der Zweck der Festoxidbrennstoffzelle, der anderweitig genutzt werden kann.</p> <p>Aufgrund der variablen Brennstoffe kann keine einheitliche Reaktionsgleichung für die SOFC angegeben werden.</p> |

| Kenngröße               | Ausgewählter Speicher  |
|-------------------------|--|
| Speichercharakteristika | <p>Bei einer Spannung von etwa 0,7 V wird eine Leistungsdichte von circa 1 W/cm<sup>2</sup> (entsprechend einer Stromdichte von 1,4 A/cm<sup>2</sup>) erreicht.</p> <p>Da Brennstoffzellen an sich keine Energiespeicher sind, sondern nur Energiewandler, muss, was die Speicherkenndaten angeht, das Gesamtsystem betrachtet werden. Weiters ist zu beachten, dass Energiedichte und Leistungsdichte in Wh/kg bzw. W/kg typische Werte für Batterien sind; bei der Elektrolyse/Bz werden diese Werte normalerweise nicht angegeben, da sie sehr stark vom jeweiligen System und der Nutzung abhängig sind. Falls dennoch ein Wert gefordert ist, bieten sich hier die Werte von Wasserstoff (33,3 kWh/kg) und Methan (13,9 kWh/kg) an.</p> |
| Subsysteme              | <p>Im Wesentlichen unterscheidet man aufgrund der Bauform: tubuläre (röhrenförmige) und planare (flache) SOFCs.<br/>Solid Oxide Fuel Cells</p> <p>herausgegeben von J. Mizusake, Subhash C.</p>  |
| Referenzen/Links        | <p>Fuel Cell Handbook (Seventh Edition) ab Seite 7–1, ISBN 978-0-387-77707-8, 2009</p> <p>Einführung in die Hochtemperaturbrennstoffzelle (SOFC), Institut für Technische Thermodynamik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt</p>   |
| Technologiereifegrad    | <p>A.J. Appleby, F.R. Foulkes, Fuel Cell Handbook, Van Nostrand Reinhold, New York, NY, 1989. zitiert in: Fuel Cell Handbook, EG&amp;G TRL 7 für den mobilen Bereich. Hier wird diese Technik hauptsächlich als Auxiliary Power Unit (APU bzw. Hilfsantrieb) genutzt, um beim Stillstand eines Schwerverkehrslasters die VKM abstellen zu können und damit CO<sub>2</sub> und Treibstoff einsparen zu können. Forschung findet im Bereich Effizienzsteigerung, Beständigkeit, Lebensdauererhöhung und Kostenreduktion statt. Die genaueren Maßnahmen und die möglichen</p>   |

| Kenngröße   | Ausgewählter Speicher   |
|---|---|
| <p>TRL (Technology Readiness Level)</p> <p>Netzebene (NS=7, MS=5, HS=3, HÖS=1)</p> <p>Schnelligkeit/Regel-Ansprechverfahren (schnell/mittel/langsam)</p> <p>Energiedichte (Wh/kg)</p> <p>Leistungsdichte (W/kg)</p> <p>Selbstentladung (%/Tag, %/Monat, ...)</p> <p>Wirkungsgrad (technologisch, Batterie) (%)</p> <p>Kalendarische Lebensdauer (a)</p> <p>Zyklusfestigkeit (Zyklen über Lebensdauer)</p> <p>Kosten (Investitionskosten, Betriebskosten) (€/kWh) bzw. (€/kW)</p> <p>Soziale Akzeptanz der Technologie (hoch/mittel/niedrig)</p> <p>Ökol. Performance (CO<sub>2</sub>-Äquivalent, seltene Erden, ökol. Fußabdruck)</p> <p>Recyclingfähigkeit</p> <p>Absatz, erwartet</p> <p>Inländische Wertschöpfung (Hersteller in Ö, Demoprojekte, Forschung)</p> <p>Stromoutput (Eignung des Stromspeicher zur Netzzückzuspeisung) (J/N)</p> <p>Leistung (kW) ev. Dauer-/Spitzenleistung</p> <p>Erzeugungsnähe (produktionsnahe) (J/N)</p> <p>Zielwert ausgewählter Kennzahlen für die Technologie z.B. bis 2025/2030</p> <p>Referenzen (Literaturquellen zu eingetragenen tech. Kennzahlen)</p> <p>Temperaturfestigkeit (Betriebs- und Umgebungstemperatur/Limitierung) (°C, von-bis)</p> <p>Materialien (Zellchemie)</p> | <p>Forschungsfragen sind im Abschlussbericht der Speicherinitiative Phase I angeführt.</p> <p>7</p> <p>mobile Anwendung</p> <p>Ladefähigkeit: &lt; 3 min</p> <p>Wasserstoffgas (700 bar): 1,855</p> <p>Wasserstoff: 33,3 kWh/kg</p> <p>k.A.</p> <p>keine</p> <p>30 - 40%</p> <p>&gt; 15 Jahre</p> <p>CHP: &gt; 40.000 Bh</p> <p>CHP: &lt; 1.500 \$/kW</p> <p>mittel</p> <p>Zellkomponenten enthalten Seltene Erden</p> <p>Recycling von Pt und Seltener Erden möglich (Forschungsbedarf!). Second Life nichtrelevant</p> <p>Weltweit (2014): 50.000 (stationär &amp; mobil)</p> <p>Zusätzlich zu PEM: AVL: SOFC-APU</p> <p>Profactor: MSC-Platten</p> <p>ALPPS FC-Systeme: SOFC-APU (existiert Alpps noch?)</p> <p>J</p> <p>kW bis MW Scale möglich</p> <p>Ja</p> <p>k.A.</p> <p>Buch: Brennstoffzellentechnik: Grundlagen, Komponenten, Systeme, Anwendungen</p> <p>750 - 900°C / -30°C bis +45°C</p> <p>Materialien sind vor allem Elektrolyte aus fester Oxidkeramik (bspw. Yttrium-stabilisiertes Zirkonoxid "YSZ" oder alternativ strontium- und</p> |



| KenngroÙe  | Ausgewählter Speicher  |
|--|--|
| <p>Rohstoffe/Verfügbarkeit (nach Hauptelemente)</p> <p>Peripherie: BMS/Leistungselektronik (F&amp;E Bedarf) (J/N)</p> <p>Infrastruktur (F&amp;E Bedarf)</p> <p>Problembereiche</p> | <p>magnesiumdotiertes Lanthangalliumoxid (LSGM) oder selten gadolinium dotiertes Ceroxid).</p> <p>Anode: Verbundwerkstoff aus dem Metall Nickel und der Keramik YSZ.<br/>Kathode: viele Kombinationen möglich zb.: Lanthan-Strontium-Manganit, Lanthan-Strontium-Kobaltit,...</p> <p>Durch hohe Einsatztemperatur → unedlere, kostengünstigere Materialien (Pt-Einsparung) einsetzbar. Hohe Einsatztemperatur aber auch der Grund für fast alle technischen Herausforderungen.</p> <p>Aufgrund der hohen Temperatur kann weniger Pt verwendet werden.<br/>Zirkonoxid ist billig zu haben.</p> <p>Die Seltene Erden, die derzeit noch verwendet werden müssen, sind nicht teuer oder "selten", aber der europäische Markt macht sich damit von Asien und da vor allem von China abhängig.</p> <p>Das Yttrium z.B. hebt die Kosten derzeit noch leicht an. Gravierender wäre aber ein wiederholtes Ausfuhrverbot solcher Seltenen Erden seitens China.</p> <p>Ja</p> <p>Forschungsbedarf parallel zur Marktentwicklung auf allen Ebenen, um Performance zu steigern und Kosten weiter zu senken;<br/>Initialmarkt in Europa für Stabilisierung der Wertschöpfungsketten und Technologiereifung (Kostensenkung, Lebensdaueroptimierung, etc.); für mobile Anwendungen ist ausreichende Anzahl HRS erforderlich;<br/>Pilotprojekte zur Darstellung und Kommunikation der technolog. Vorteile;<br/>Abbau von legislativen Barrieren für Emissionsfreie Technologien und<br/>Aufbau von legislativen Barrieren für gesundheitsschädigende, herkömmliche Technologien</p> |