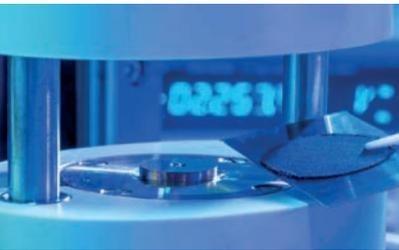




Sächsischer Innovationscluster  
für Brennstoffzellen und Wasserstoff

# Wertschöpfungspotenziale durch Wasserstoff

## Brennstoffzellen in Zahlen und Fakten



Sächsischer Innovationscluster  
für Brennstoffzellen und Wasserstoff



## Forschung | Anwendung | Transfer

Die sächsische Kompetenzstelle für Brennstoffzellen und Wasserstofftechnologie:

- Technologische Beratung
- Gezielte Fördermittelakquise
- Initiierung und Koordinierung von Forschungs-, Transfer- und Anwendungsprojekten
- Planung und Durchführung von Technologieworkshops, Seminaren, Fachkonferenzen und Netzwerktreffen

# Vorworte

Foto: Klaus Jedlicka



Elektromobilität umfasst eine Fülle neuartiger und innovativer Antriebstechnologien in vielen Anwendungsfeldern. Die Brennstoffzellentechnologie mit Wasserstoff zählt dazu und erfüllt die modernen Mobilitätsansprüche

nach niedrigen Emissionen und höchstem Komfort. Ausgehend von den heutigen automobilen Wertschöpfungsketten bietet diese Technologie ausgezeichnete Möglichkeiten, nicht nur bestehende Zuliefererketten zu erhalten, sondern auch neue Industriezweige zu etablieren. Wir freuen uns darauf, gemeinsam mit Ihnen die technologischen Herausforderungen dieses Wandels anzugehen und zu meistern.

Prof. Dr.-Ing. Thomas von Unwerth,  
Leiter Institut für Automobilforschung, TU Chemnitz,  
Vorstandsvorsitzender HZwo e. V.

Foto: Fraunhofer IWU



Elektrische Antriebe für die Mobilität von morgen nutzen – das ist gesellschaftlicher Konsens und für den Klimaschutz unumgänglich. Dafür müssen wir auf Wasserstoff als Energieträger setzen. Bei Fraunhofer entwickeln wir

daher moderne Fertigungstechnologien für Brennstoffzellen. Ihre Produktion und Verwendung muss wirtschaftlich und nachhaltig sein. Wir verfolgen einen ganzheitlichen Ansatz und berücksichtigen auch die Herstellungs-, Transport- und Infrastrukturprozesse von Wasserstoff. Sie sind entscheidend für Verkehrskonzepte, die auf Brennstoffzellen setzen. So können wir die Mobilität von morgen gestalten.

Prof. Dr.-Ing. Welf-Guntram Drossel,  
Geschäftsführender Institutsleiter Fraunhofer IWU,  
erster stellvertretender Vorstandsvorsitzender  
HZwo e. V.



Die Brennstoffzellentechnologie ist keine Erfindung des 21. Jahrhunderts. Erste Brennstoffzellen sind bereits 1963 an Bord eines Satelliten und für die Gemini- und Apollo-Raumkapseln eingesetzt worden. Auch erste Fahrzeugprototypen wurden schon in den 1960er Jahren aufgebaut.

# Warum Wasserstoff ?

Schadstofffreiheit im Verkehrs-, Energie- und Wärmesektor steigern



Wasserstoff ist ein kohlenstofffreier Energieträger

Unabhängigkeit von Erdöl, Erdgas und Kohle steigern



Wasserstoff ist aus allen Energiequellen herstellbar

Anteil erneuerbarer Energien steigern



Wasserstoff ist der Speicher für erneuerbare Energien

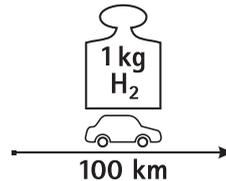
Sektorkopplung mit erneuerbarer Energie umsetzen



Strom, Wärme, Industrie und Mobilität können mit Wasserstoff versorgt werden



- häufigstes Element im Universum
- kleinster Atom-Durchmesser
- ungiftiges, geruch- und farbloses Gas
- geringste Dichte (0,0899 kg/m<sup>3</sup>)
- in Reinform nicht entzündbar
- Heizwert: 33,33 kWh/kg bzw. 120 MJ/kg



## Fakten:

1 kg Wasserstoff für 100 km PKW-Reichweite (5-7 kg Wasserstoff beträgt die Tankkapazität eines Brennstoffzellenfahrzeuges, d. h. die Reichweite beträgt 500-700 km)



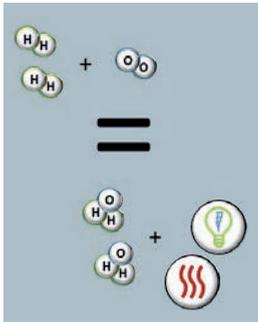
3- 5 Minuten tanken – nahezu 100 % Tankinhalt



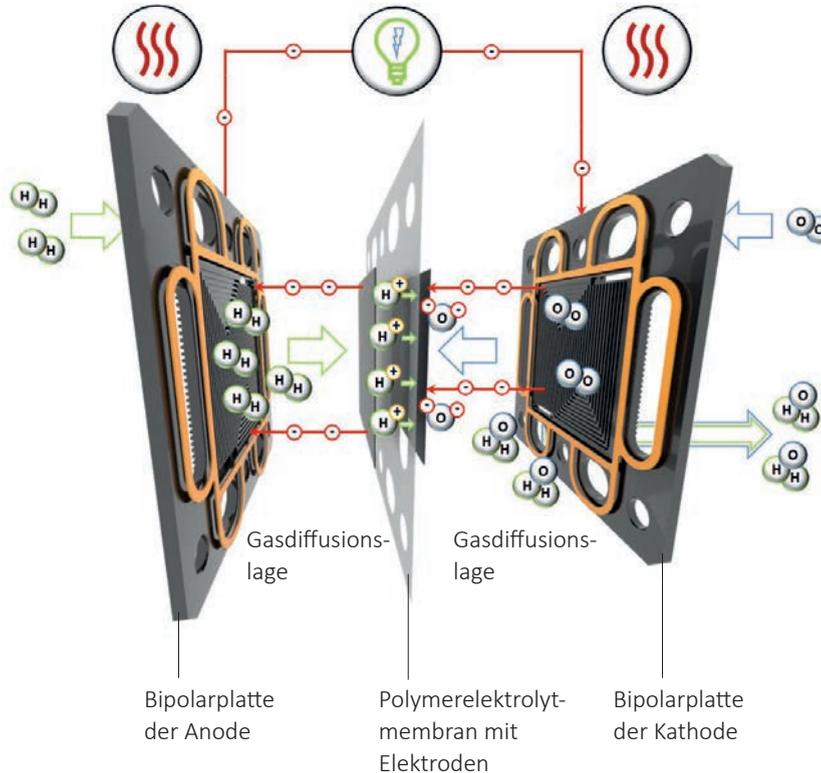
Betankungsprozess weltweit genormt durch Richtlinie SAE J 2601

# Funktion der PEM-Brennstoffzelle

## Reaktion in der Zelle



Wasserstoff und Sauerstoff (aus der Umgebungsluft) reagieren zu Wasser. Die chemische Energie der Reaktanden wird hierbei in nutzbare elektrische Energie und Abwärme gewandelt.



**i** Die erzeugte Abwärme von Brennstoffzellen wird zum Heizen und Klimatisieren genutzt. Nicht nur in Fahrzeugen ist dies von Vorteil, Brennstoffzellen kommen hierdurch auch zur emissionsfreien Gebäudeenergieversorgung und als BHKW zum Einsatz.

## Wertschöpfungsnetzwerk

Aufbau und Erhalt von Wertschöpfung sind die zentrale Zielstellung des Innovationsclusters HZwo. Brennstoffzellen für mobile Anwendungen und auch stationäre Systeme bestehen aus einer Vielzahl von Komponenten und Teilsystemen.

Davon profitieren sächsische Schlüsselbranchen, wie die Zuliefer- und Fahrzeugindustrie, der Maschinen- und Werkzeugbau, Elektronik- und Energiespezialisten sowie neue Systemhersteller.

Durch das Zusammenspiel von vielen Teilsystemen und unterschiedlichen Wirtschaftsbereichen bilden sich neue Wertschöpfungsnetzwerke.

Im **Innovationscluster HZwo** werden diese gezielt miteinander verzahnt, um Sachsen zum führenden Technologiestandort für Brennstoffzellen und Wasserstoff in Deutschland und Europa voranzubringen.



Grüner Wasserstoff kann weltweit mittels erneuerbarer Energie erzeugt und im bestehenden Gasnetz gespeichert und transportiert werden. Dieser Wasserstoff wird auch zur emissionsfreien Stahlerzeugung, Wärmeversorgung und in der Chemieindustrie benötigt.

## Profitierende Branchen von A bis Z

Additive Fertigung  
Antriebstechnik  
Automatisierung  
Beschichtungen  
Dichtungstechnik  
Elektronikdesign  
Energietechnik  
Fahrzeugbau  
Fahrzeugentwicklung  
Federtechnik  
Filtertechnik  
Fügetechnik  
H<sub>2</sub>-Speicher  
Kunststoffspritzguss  
Metallguss  
Montageanlagen  
Qualitätssicherung  
Planungssoftware  
Präzisionsbearbeitung  
Pumpenhersteller  
Schneidtechnik  
Sensortechnik  
Software  
Systemzulieferer  
Textiltechnik  
Umformtechnik  
Wärmetauscher  
Werkzeugbau  
Zahnrad-& Getriebetechnik

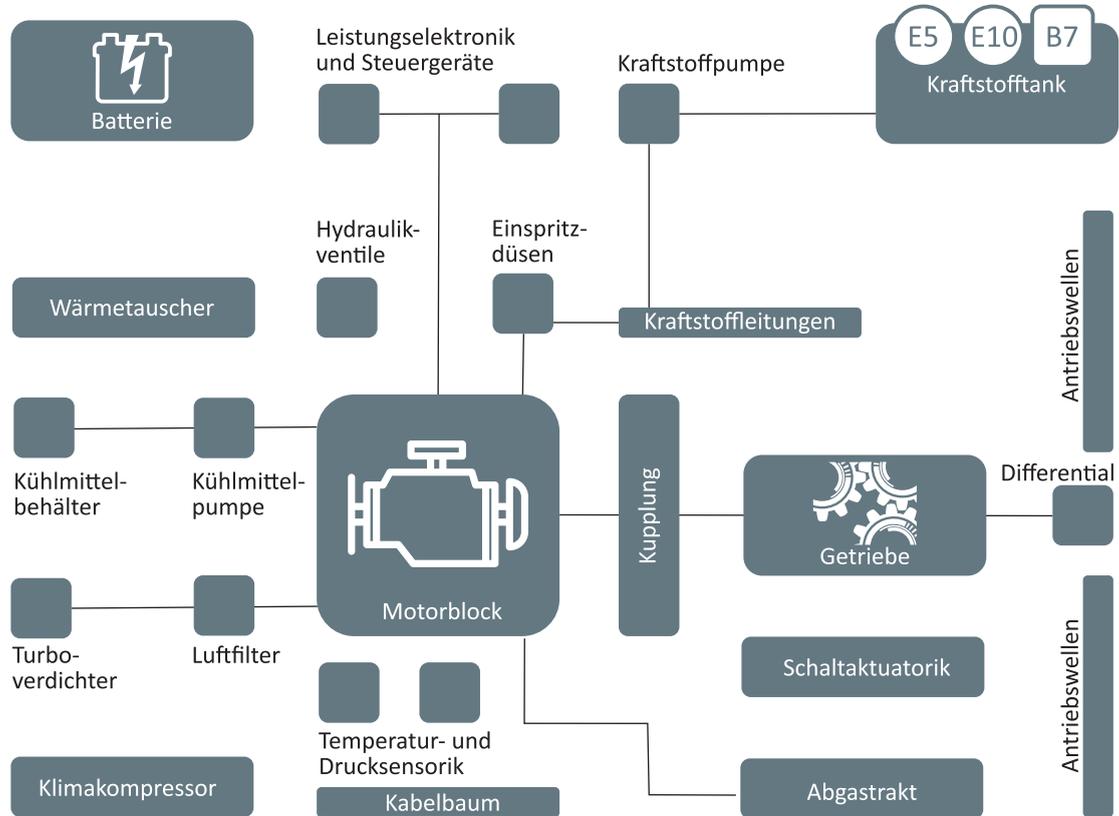


## Verbrennungskraftmaschine

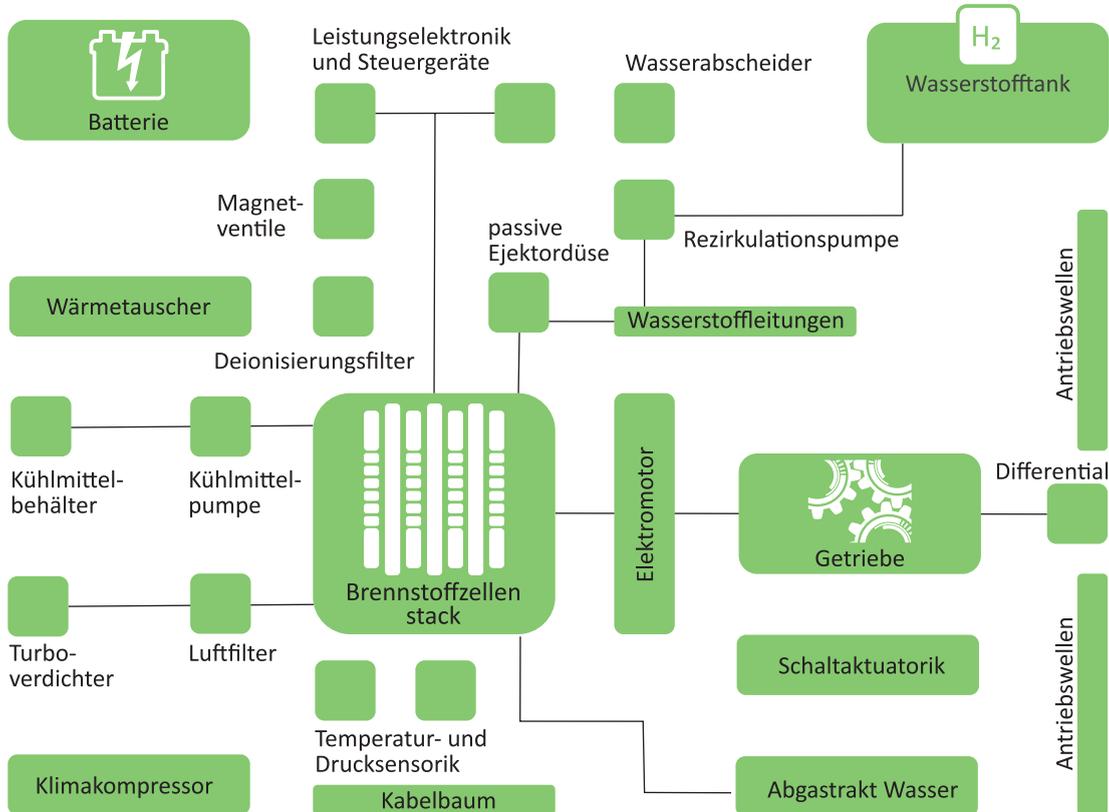


Der Aufbau und die Komponenten eines Antriebssystems mit Verbrennungskraftmaschine und eines Brennstoffzellenantriebs sind sehr ähnlich. Beiden Systemen muss jeweils ein Brenn- bzw. Reaktionsmedium sowie Umgebungsluft zugeführt werden. Hierfür werden Pumpen und Verdichter benötigt. Zudem gibt es bei beiden Technologien Kühlkreisläufe, verfahrenstechnische Komponenten, wie Sensoren für Druck und Temperatur sowie Filter, Ventile und Regler.

## Hauptkomponenten der Antriebssysteme im Vergleich



## Brennstoffzellen- antrieb



# Zellkomponenten



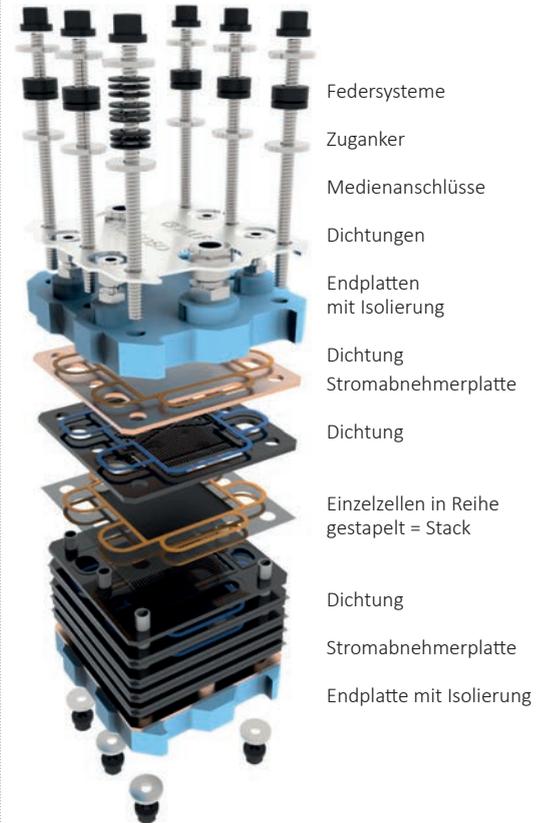
**i** Die Baugruppe aus Membran, Elektroden, Gasdiffusionslagen und Subgasket Rahmen wird Membran-Elektroden-Einheit genannt (Englisch „MEA“).

Komponente	Funktion	Bedarf für 100.000 Fahrzeuge*
<b>Polymerelektrolytmembran</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Protonen leiten</li> <li>- Barriere für Elektronen</li> <li>- Separierung der Reaktionsseiten</li> </ul>	<b>37,50 Mio Stk.</b> <b>1.237.500 m<sup>2</sup></b>
<b>Elektroden</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reaktionsprozesse durch Katalysatorschicht begünstigen</li> <li>- Aufspaltung Wasserstoff (Anode)</li> <li>- Aufspaltung Sauerstoff und Reaktion zu Wasser (Kathode)</li> </ul>	<b>75,00 Mio Stk.</b> <b>2.250.000 m<sup>2</sup></b>
<b>Gasdiffusionslage</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- elektrische Kontaktierung zwischen Membran und Bipolarplatte</li> <li>- Reaktanden verteilen (Zu- und Abführung)</li> <li>- Wassermanagement (Kathode)</li> </ul>	<b>75,00 Mio Stk.</b> <b>2.250.000 m<sup>2</sup></b>
<b>Subgasket Rahmen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- elektrische Isolation der Reaktionsseiten</li> <li>- mechanische Stabilisierung der Polymerelektrolytmembran</li> </ul>	<b>75,00 Mio Stk.</b> <b>3.150.000 m<sup>2</sup></b>
<b>Dichtungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dichtheit der Medien untereinander und zur Umgebung gewährleisten</li> <li>- teilweise elektrische Isolation</li> </ul>	<b>75,00 Mio Stk.</b> <b>96.000 km</b>
<b>Bipolarplatten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Medien verteilen</li> <li>- Elektronen leiten</li> <li>- mechanische Stabilisierung der Einzelzelle</li> <li>- Wärme ableiten</li> <li>- eine Bipolarplatte = zwei Halbplatten (d. h. 75,20 Mio Stk.)</li> </ul>	<b>37,60 Mio Stk.</b> <b>3.760.000 m<sup>2</sup></b>

\* Systemleistung 100 kW<sub>el</sub>, Aktivfläche 300 cm<sup>2</sup>, Aktiv-/Passivfläche 60 %, Stromdichte 1,5 A/cm<sup>2</sup> bei Zellspannung 0,6 Vw

Komponente	Funktion	Bedarf für 100.000 Fahrzeuge*
<b>Stromabnehmerplatte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- vollflächige Kontaktierung zur obersten und untersten Bipolarplatte</li> <li>- elektrischer Anschluss (bspw. Kabel)</li> </ul>	<b>200.000 Stk.</b> <b>9.240 m<sup>2</sup></b>
<b>Isolierung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- elektrische Isolation zu den Endplatten</li> <li>- Druckverteilung</li> <li>- Schnittstellenfunktionen</li> </ul>	<b>200.000 Stk.</b> <b>9.240 m<sup>2</sup></b>
<b>Endplatten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- homogene Kraftverteilung auf die verspannten Stackkomponenten</li> <li>- Kraftaufnahme vom Verspannsystem</li> </ul>	<b>200.000 Stk.</b> <b>10.080 m<sup>2</sup></b>
<b>Medienanschlüsse</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Schnittstellen für weitere Anschlusskomponenten (bspw. Verrohrung)</li> <li>- Gasdichtheit für jeweilige Medien</li> </ul>	<b>600.000 Stk.</b>
<b>Dichtungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dichtheit der Medien untereinander und zur Umgebung gewährleisten</li> <li>- teilweise elektrische Isolation</li> </ul>	<b>900.000 Stk.</b>
<b>Zuganker oder Spannbänder</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vorspannkraft auf Endplatten des Stacks übertragen</li> <li>- Stabilität des Stacks erhöhen</li> </ul>	<b>600.000 Stk.</b> <b>oder</b> <b>300.000 Stk.</b>
<b>Federsystem</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- definierte Vorspannkraft erzeugen</li> <li>- hinreichenden Federweg für dynamische Dehnungseffekte gewährleisten</li> <li>- z. B. Federpaket aus 9 Tellerfedern entspricht 5,4 Mio Stk.</li> </ul>	<b>600.000 Stk.</b>

## Stackkomponenten



# Systemkomponenten

## Wasserstoffseite (Anode)

### Komponente

### Funktion

#### Wasserstoffrezirkulationspumpe

- unverbrauchten Wasserstoff rezirkulieren (vom Anodenauslass zum Anodeneinlass)
- Druckdifferenzen ausgleichen
- Durchfluss gewährleisten

#### Wasserabscheider

- Entfeuchtung des Gasgemisches am Anodenauslass
- Speicherung und Abführung des ausgetragenen Wassers

#### Druckregelventil

- Wasserstoffdosierung
- Regelung Differenzdruck zwischen Anoden- und Kathodenseite

#### Überdruckventil

- Absicherung gegen Druckspitzen im Anodenkreislauf
- öffnet bei definiertem Überdruck und verhindert so Schädigung im Stack

#### Druck- und Temperatursensoren

- Temperatur- und Druckerfassung
- je nach Systemstruktur meist mehrere Sensoren im Anodenkreislauf integriert (für Temperatur- und Druckregelung über Stack)

#### Wasserstofffilter

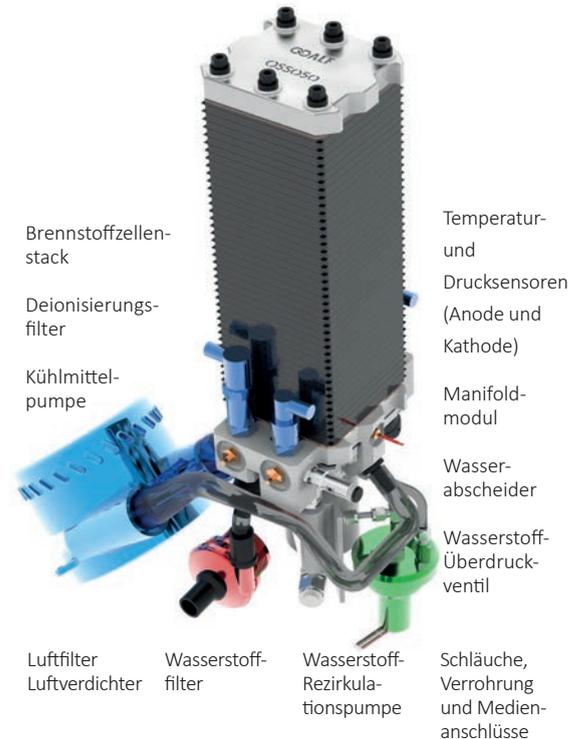
- filtert den zugeführten Wasserstoff vor Eintritt in den Brennstoffzellenstack

#### Wasserstoffsensoren

- detektiert Wasserstoff-Leckage und verhindert so die Bildung eines zündfähigen Gasgemisches im Systemaufbau

#### Wasserstoffverrohrung und -anschlussysteme

- Verbindung der Systemkomponenten im Anodenkreislauf
- Dichtheit der medienführenden Systeme



Brennstoffzellenstack

Deionisierungsfilter

Kühlmittelpumpe

Luftfilter  
Luftverdichter

Wasserstofffilter

Wasserstoff-  
Rezirkulationspumpe

Temperatur-  
und  
Drucksensoren  
(Anode und  
Kathode)

Manifold-  
modul

Wasser-  
abscheider

Wasserstoff-  
Überdruck-  
ventil

Schläuche,  
Verrohrung  
und Medien-  
anschlüsse

## Sauerstoffseite (Kathode)

---

Komponente	Funktion
<b>Lüfter oder Luftverdichter</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Zuführung von Luftsauerstoff in den Stack</li><li>- notwendigen Vordruck erzeugen</li><li>- Durchfluss gewährleisten</li></ul>
<b>Luftfilter</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- filtert zugeführte Luft vor Eintritt in den Brennstoffzellenstack</li></ul>
<b>Druck- und Temperatursensorik</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Temperatur- und Druckerfassung</li><li>- je nach Systemstruktur meist mehrere Sensoren im Kathodenkreislauf integriert (für Temperatur- und Druckregelung über Stack)</li></ul>
<b>Kathodenabsperrentil</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- verschließt den Kathodenkreislauf im Stillstand und unterbindet somit Verschmutzung und Austrocknung</li></ul>
<b>Feuchtetauscher</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Feuchteaustausch zwischen Kathoden-Ein- und Auslassseite</li><li>- Ziel: Vorbefeuchtung der Einlassseite</li></ul>
<b>Massendurchflusssensor</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Erfassung des Massendurchflusses des zugeführten Frischluftgemisches auf Kathodeneinlassseite</li></ul>
<b>Brennstoffzellen geeignete Schlauchsysteme</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Verbindung der Systemkomponenten im Kathodenkreislauf</li><li>- Dichtheit der medienführenden Systeme</li></ul>

## Kühlung

---

Komponente	Funktion
<b>Kühlmittelpumpe</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Fördern des Kühlmittels im Kühlkreislauf</li><li>- notwendigen Vordruck erzeugen</li><li>- Durchfluss gewährleisten</li></ul>
<b>Deionisierungsfilter</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- bindet Ionen aus dem Kühlmittel, um Leitfähigkeit zu minimieren</li></ul>
<b>Druck- und Temperatursensorik</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Temperatur- und Druckerfassung</li><li>- je nach Systemstruktur meist mehrere Sensoren im Kühlkreislauf integriert</li></ul>
<b>Kühlmittelausgleichsbehälter</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Reservoir an Kühlmittel zur Gewährleistung einer funktions sichereren Medienzuführung</li><li>- Entlüftung des Kühlkreislaufes</li></ul>
<b>Regelventile</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Kühlmitteldurchsatz und Temperatur regeln</li><li>- Gemischbildung und Filtrationszweig einstellen</li></ul>
<b>Kühlmittelschläuche</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Verbindung der Systemkomponenten im Kühlkreislauf</li><li>- Dichtheit der medienführenden Systeme</li></ul>

# Antriebskomponenten



## System

## Komponenten

## Funktion

### Wasserstofftankssystem

- Liner (Kunststoff)
- CFK-Mantel
- Ventilblock / Anschluss
- Hochdruckverrohrung

- Wasserstoffspeicherung (350 / 700 bar)
- Drucküberwachung
- Crashesicherheit

### Batteriesystem

- Zell-Package und Gehäuse
- Kühlsystem
- Batterie-Management-System (BMS)

- Überbrückung von Peak Leistungen
- Speicherung rekuperierter Energie
- Versorgung Bordnetz

### Elektromotor

- Blechpaket und Wicklungen
- Rotor- und Stator-komponenten
- Kühlsystem

- elektrische in mechanische Antriebsleistung wandeln
- motorischer und generatorischer Betrieb

### Getriebesystem

- Zahnräder, Wellen, Lager etc.
- Schaltaktorik und Parksperre
- Sensorik und Beölungssystem

- Drehzahl- und Drehmomentwandlung
- Parksperre

### Leistungselektronik, Kabelbaum und Steuergeräte

- konventionelle Elektronik-komponenten
- Platinen und Gehäuse
- Software und automotive Steckverbindungen

- Leistungsverteilung
- Steuerung und Vernetzung der Energiesysteme
- Umsetzung Betriebsstrategie

### Abgasanlage

- Drosselklappe
- Flammfilter
- Abgasleitung

- dynamische Druckregelung
- Flammrückschlag verhindern
- Abfuhr Wasserdampf und Flüssigwasser

## Werden Sie mit uns aktiv!

- Kontakt aufnehmen
- Newsletter abonnieren
- Konferenzen und Netzwerktreffen besuchen
- an Technologieworkshops teilnehmen
- Projektideen generieren und umsetzen

## Kontakt

Karl Lötsch  
Geschäftsführer

Dr. Gert Schlegel  
Netzwerkmanagement

Nico Keller  
Netzwerkmanagement

[info@hzwo.eu](mailto:info@hzwo.eu)

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



Sächsischer Innovationscluster  
für Brennstoffzellen und Wasserstoff

## Impressum

HZwö e. V.  
c/o TU Chemnitz / Fak. MB / IAF  
Reichenhainer Straße 70  
09126 Chemnitz  
Germany

Stand: März 2020  
Autoren: Nico Keller, Karl Lötsch  
Satz, Gestaltung, Druck: [www.punkt191.de](http://www.punkt191.de)



Diese Maßnahme wird mitfinanziert durch Steuer-  
mittel auf der Grundlage des von den Abgeordneten  
des Sächsischen Landtags beschlossenen Haushaltes.