

Die Brennstoffzelle



Handwerkskammer-Flensburg

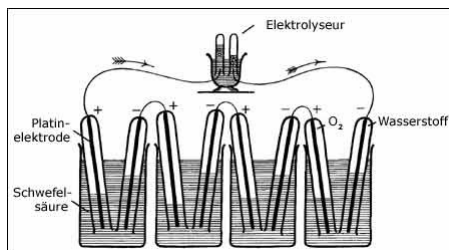
DAS HANDEWERK
DIE WIRTSCHAFTSMACHT. VON NEBENAN.

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Die Geschichte der Brennstoffzelle

Im Jahre 1839 wurde die Brennstoffzelle "erfunden". Der in Swansea, Wales, geborene Jurist und Physiker **Sir William Robert Grove (1811-1896)** experimentierte zu dieser Zeit mit der Elektrolyse von Wasser zu Wasserstoff und Sauerstoff und stellte fest, dass sich dieser Prozess auch umkehren ließ.

Schon bald stellte er eine "**galvanische Gasbatterie**" vor, die durch sogenannte kalte Verbrennung von Wasserstoff und Sauerstoff Strom erzeugen konnte.

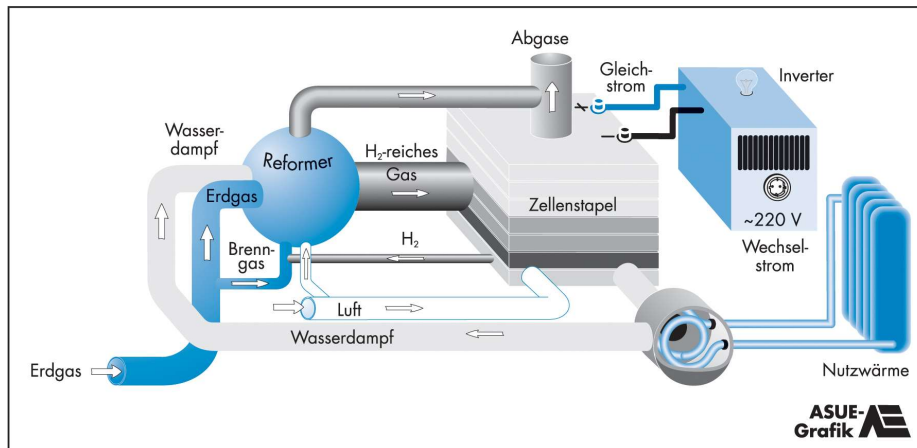


Diese erste Brennstoffzelle bestand aus zwei Platinelektroden, die in Schwefelsäure getaucht wurden. Um diese wurden Wasserstoff und Sauerstoff gespült.

Da aber die messbare Spannung und der Stromfluss der Brennstoffzelle zu gering waren, konnte sich die Brennstoffzelle nicht gegen Erfindungen wie den **Elektrodynamo** oder den **Verbrennungsmotor** durchsetzen.

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Aufbau der Brennstoffzelle



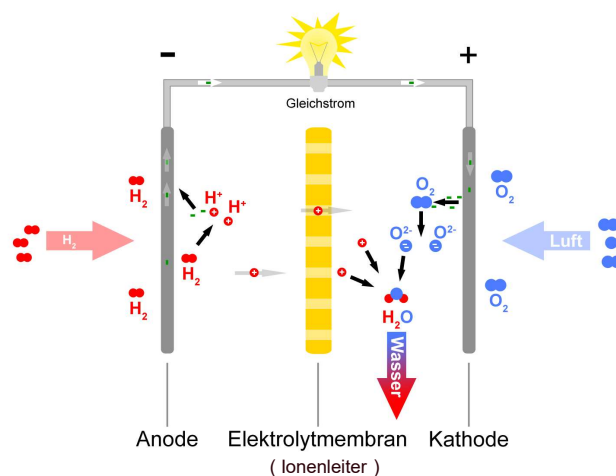
1870 schrieb Jules Verne über die Brennstoffzelle: „Das Wasser ist die Kohle der Zukunft.“

Wegen der Erfindung des elektrischen Generators, damals *Dynamomaschine* genannt, durch Werner von Siemens geriet die als „Galvanische Gasbatterie“ bezeichnete Erfindung zunächst in Vergessenheit.

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Prinzip der Brennstoffzelle

1. Anode: H_2 werden Elektronen entzogen
2. Elektronen wandern von Kathode zu Anode und erzeugen Strom
3. Kathode: O_2 werden Elektronen hinzugefügt
4. H^+ Teilchen wandern durch Membran und verbinden sich mit O^{2-} Teilchen zu heißem Wasser

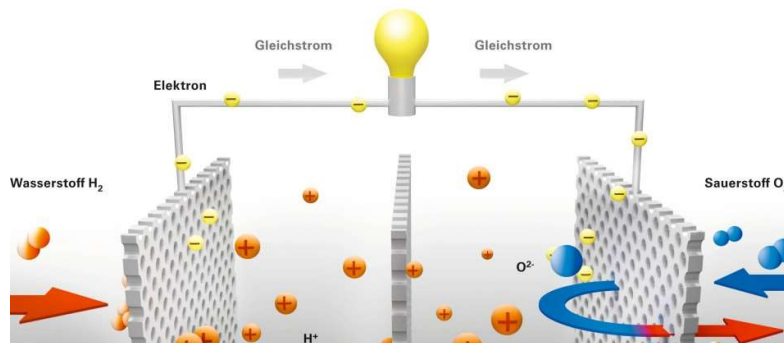


© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Die Energie liefert eine Reaktion von Sauerstoff mit dem Brennstoff, der Wasserstoff sein kann, jedoch ebenso aus organischen Verbindungen wie z.B. Methan oder Methanol bestehen kann. Beide Reaktionspartner werden über die Elektroden kontinuierlich zugeführt.

Die gelieferte Spannung liegt theoretisch bei **1,23 V** für die Wasserstoff-Sauerstoff-Zelle, bei einer Temperatur von 25 °C.

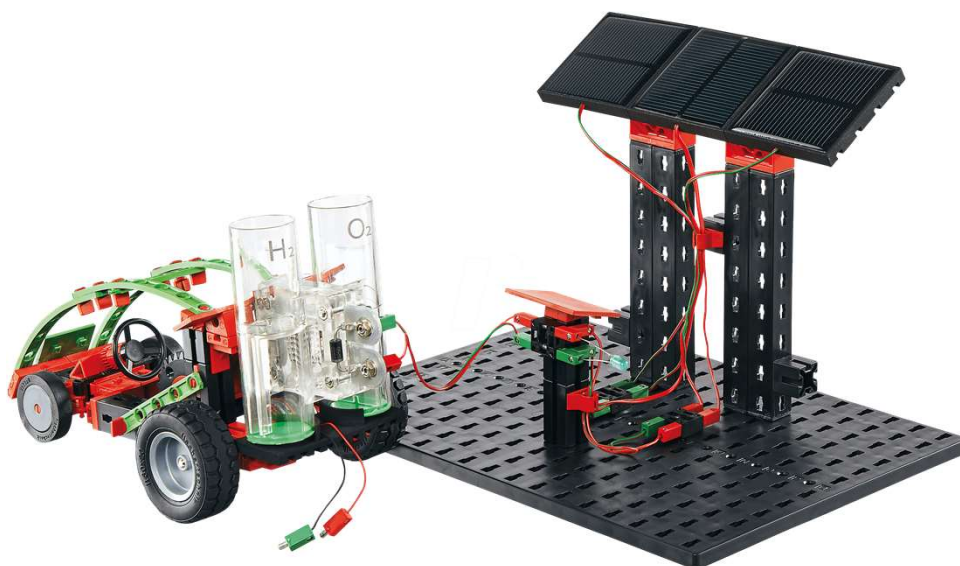
Praktisch sind die von Brennstoffzellen erzielten Wirkungsgrade (60%) höher als die von Otto- oder Dieselmotoren.



Die amerikanischen **Space Shuttle** verwenden Brennstoffzellen mit einer maximalen **Dauerleistung von 3 × 7 kW** für die Stromversorgung.

Das bei den Brennstoffzellen anfallende Wasser kann im Lebenshaltungssystem verwendet werden.

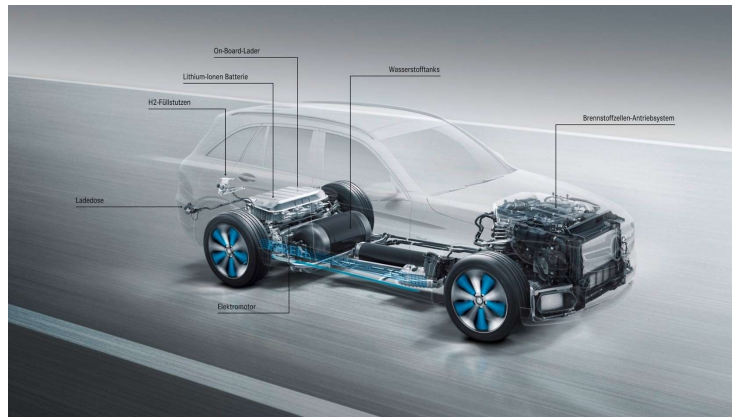
© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Die Fahrzeughersteller Toyota, Nissan, Mercedes-Benz und Honda haben **die Produktionskosten** für wasserstoffgetriebene Fahrzeuge inzwischen drastisch **reduziert**.

Um die Alltagstauglichkeit des Wasserstoffantriebes nachzuweisen, hat Mercedes-Benz eine Weltumrundung mit mehreren Brennstoffzellenfahrzeugen der B-Klasse erfolgreich abgeschlossen. Bereits 200 Serienfahrzeuge dieses Typs sind **2010 an Kunden ausgeliefert** worden.



Der Preis soll nur etwa **20%** über dem eines Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor liegen.

WASSERSTOFF ALS ANTRIEB





Die Vor- und Nachteile auf einen Blick

VORTEILE

-  **Emissionsfrei**
> Ausstoß besteht aus Wasserdampf
-  **Wasserstoff ist in unendlicher Menge verfügbar**
> Mit Elektrolyseverfahren
-  **Hohe Reichweite**
> Bis zu 600 km
-  **Schnelle Betankung**
> 3-5 Minuten
-  **Keine Motorengeräusche**
> Führt zu weniger Straßenlärm

Quelle: c3

NACHTEILE

-  **Geringerer Wirkungsgrad**
> Durch hohe Energieverluste
-  **Hoch entzündlich**
> Wasserstoff verflüchtet sich jedoch schnell
-  **Schlechte Infrastruktur**
> Nur 60 Tankstellen in Deutschland
-  **Hohe Kosten**
> In Anschaffung und Wartung sehr teuer



Toyota Mirai

Antrieb: Permanent erregter Synchron-Elektromotor, Vorderradantrieb, 113 kW/**154 PS**, maximales Drehmoment:**335 Nm**
0-100 km/h: 9,6 s, Vmax: 178 km/h
Durchschnittsverbr: 0,76 Kilo Wasserstoff je 100 km
Reichw. **ca.500km** CO2-Ausstoß: 0g/km, Effizienzklasse: A+

Leergew.:1925kg
Zuladung: 255kg

ca.78.000€

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



Hyundai IX35
NEU 78.000 €
5-jährig ca. 30.000 €

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



Reichweite: 1200 km





U-Boot-Klasse 212

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Wasserstofftankstellennetz

Am 5. März 2018 wurde in Ingolstadt immerhin die **45. deutsche Zapfmöglichkeit** in Betrieb genommen.

Bis 2019 soll das hiesige Tankstellennetz auf 100 H₂-Stationen und **bis 2023 auf 400 Zapfstellen** wachsen.

Doch viele der bisherigen Versorgungseinheiten sind Prototypen für Forschungseinrichtungen, die öfters den Dienst quittieren.



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Handwerk
> Bildung
Beratung

Handwerkskammer
Flensburg

Wasserstoff-Tankstellen in Europa

ludwig bolkow systemtechnik

H₂Stations.org

● in Betrieb
● in Planung

Stand Januar 2018
© Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH www.lbst.de

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Handwerk
> Bildung
Beratung

Handwerkskammer
Flensburg

ludwig bolkow systemtechnik

H₂Stations.org

Wasserstoff-Tankstellen weltweit in Betrieb

Stand Januar 2016
© Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH www.lbst.de

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Elektrischer Wirkungsgrad, Kosten, Lebensdauer (2018)

Typ	Leistung	Wirkungsgrad	Kosten €/kW
konventionelle <u>KWK</u>	bis 100 kWe	34 % (el.)	1000
konventionelle KWK	ab 1000 kWe	41 % (el.)	< 500
Stadtbus (Dieselmotor)	300 kW	30 %	< 275
<u>LKW</u> , Reisebus	500 kW	30 %	< 100
<u>PKW</u> (Ottomotor)	100 kW	15–20 %	50
Gasturbinen	1 kW – 300 MW	25–46 %	2200

Die Lebensdauer einer PAFC-Brennstoffzelle liegt zwischen 40.000 Betriebsstunden für stationäre und **5.000 Betriebsstunden für mobile Systeme. (2h/Tag = 7Jahre)**

Typ	Betriebsparameter	Leistung	Elektrischer Wirkungsgrad	Einsatzbereitschaft für KWK	Kosten €/kW
PEFC ^[18]	70 °C, fester Elektrolyt	250 kW	35 %	Feldtest	< 10.000
PAFC	250 °C	200 kW	38 %	Serie	> 5.000
MCFC	650 °C, für stationäre Anwendung	280 kW	48 %	Feldtest	< 8.000
SOFC ^[19]	900 °C, für stationäre Anwendung	100 kW	47 %	Feldtest	20.000

Die PEM-Brennstoffzelle

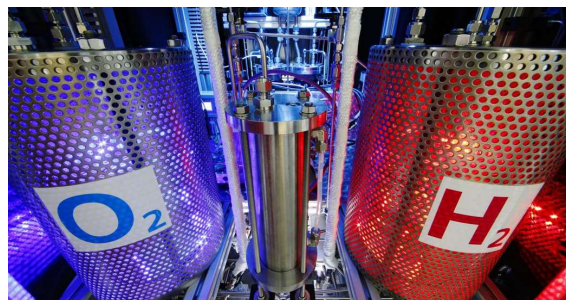
Die PEM-Brennstoffzelle in der Übersicht:

PEM-FC ???	Proton Exchange Membrane Fuel Cell		
Elektrolyt	Polymermembran	Wirkungsgrad	60% (H ₂) 40% (CH ₄)
Anodengase	Wasserstoff (Methanol)* (Methan)*	Anwendungen	Stromversorgung Pkw/Bus Hausversorgung Blockheizkraftwerke
Temperatur	0-80 °C		
Leistung	bis 250kW	Zusatz	CO-empfindlich

Die besondere Stärke von Brennstoffzellen ist jedoch die hohe Energiedichte, wodurch sich das frühzeitige Interesse des Militärs und der Raumfahrt an dieser Technik erklärt.

Brennstoffzellen sind **leichter** als **Akkumulatoren** und **zuverlässiger** und **leiser** als **Generatoren**.

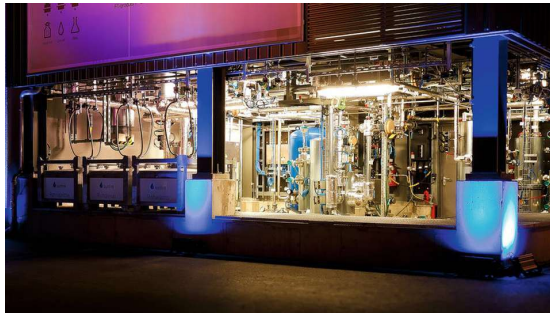
Die geringen Geräuschemissionen und die Möglichkeit, Brennstoffzellen nach sehr langer Inaktivität zuverlässig zu betreiben, trugen zu einer anfangs oft militärischen Nutzung sowie einem Einsatz in **Notstromversorgungen** bei.



Reversible Brennstoffzelle

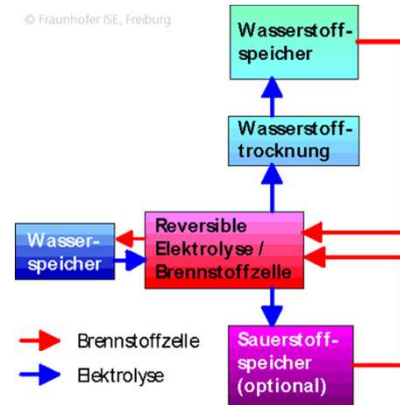
Neuere Modelle **kombinieren den Verbrennungs- und den Elektrolyse-Prozess**, um Gewicht zu sparen und die Komplexität zu vermindern.

Damit eignen sich reversible **Brennstoffzellen als Energiewandler für Energiespeicher** und zum Einsatz etwa in Akkumulator-Systemen.

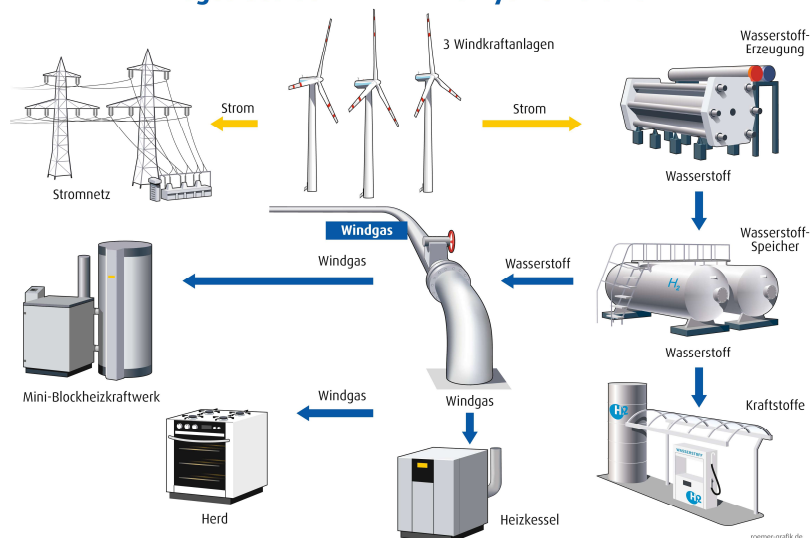


© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

© Fraunhofer ISE, Freiburg



Windgas aus dem ENERTRAG Hybridkraftwerk



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Wasserstoff aus dem Windpark

EE-Gas

Als **EE-Gas** wird ein Brenngas bezeichnet, welches mittels Elektrolyse unter dem Einsatz von Strom aus erneuerbaren Energien (**EE**) hergestellt wird.

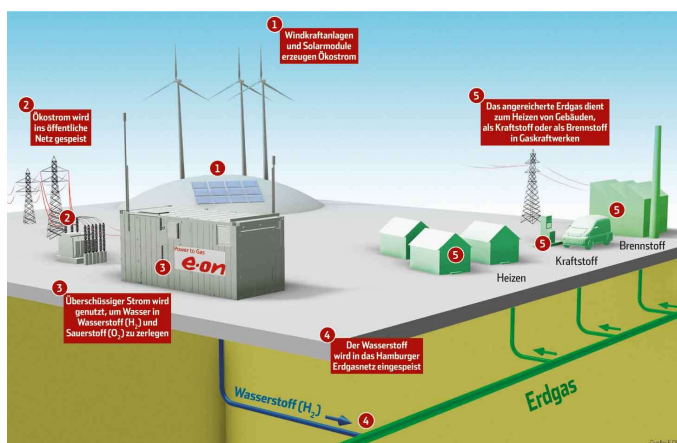
Mögliche Bezeichnungen sind auch Windgas oder Solargas.



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Power-to-Gas- und Power-to-Liquid-Konzepte

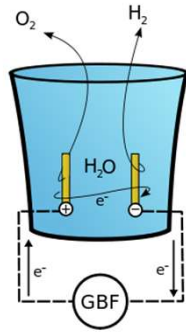
„Der Begriff Power-to-Gas steht für ein Konzept, bei dem **überschüssiger Strom** dazu verwendet wird, **per Wasserelektrolyse Wasserstoff zu produzieren** und **bei Bedarf** in einem zweiten Schritt unter Verwendung von Kohlenstoffdioxid (CO_2) in synthetisches **Methan** umzuwandeln.



Als Speicher für dieses Methan und bis zu einem gewissen **Volumenanteil (10%)** auch des elementaren Wasserstoffs könnte die bestehende Erdgasinfrastruktur, also das **Gasnetz**, mit den angeschlossenen Untertagespeichern, verwendet werden.

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Elektrolyse von Wasser



Methanisierung

