

Brennstoffzelle	Grundprinzip/Merkmale
<p>Anode: $2\text{H}_2 \rightarrow 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$ Katode: $\text{O}_2 + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{O}^{2-} + 4\text{H}^+ \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$</p>	<p>Das Grundprinzip der Brennstoffzelle besteht auf der Umkehrung der Elektrolyse von Wasser. Dabei wird die Anode mit Wasserstoff (H_2) aus den Druckbehältern und die Katode mit Sauerstoff (O_2) aus der Luft versorgt. An der Katalysatorschicht der Membrane wird der Wasserstoff H_2 in seine Bestandteile 2H^+ (positive Ionen) und 2e^- (Elektronen) zerlegt. Da die Membrane nur für die positiven Wasserstoff-Ionen durchlässig ist, müssen die Elektroden über den Elektromotor fließen, um zur Katode zu gelangen.</p> <p>In der Katode werden die Sauerstoffmoleküle O_2 unter dem Einfluss der von der Anode kommenden Elektronen in ihre Bestandteile 2O zerlegt. Sie nehmen dabei jeweils zwei Elektronen auf (O^{2-}, negative Ionen). Die negativen Sauerstoff-Ionen reagieren an der Katalysatorschicht mit den durch die Membrane gelangten positiven Wasserstoff-Ionen zu Wasser.</p> <p>Merkmal: Die Brennstoffzelle erzeugt eine Spannung von 0,6 bis 1,0 V. Mehrere Brennstoffzellen werden in Reihe geschaltet, um die erforderliche Spannung, z. B. von 12 oder 450 Volt, zu erhalten.</p>

Brennstoffzellenantrieb	Merkmale	Vor- und Nachteile im Vergleich zum Verbrennungsmotor
	<p>Mehrere Brennstoffzellen (z. B. 440) in Reihe geschaltet, erzeugen durch die Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff elektrische Energie, die den Elektromotor (Drehstrommotor) antreibt.</p> <p>Die Steuerelektronik steuert die Drehzahl des Elektromotors und den Generatorbetrieb (z. B. Laden des Lithium-Ionen-Batteriesatzes während des Schiebebetriebes).</p> <p>Der flüssige Wasserstoff wird in Druckbehältern, z. B. mit 700 bar, mitgeführt.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Motorleistung, Motordrehmoment und Fahrgeschwindigkeit hoch, ■ geringere Lärmemissionen, ■ keine Schadstoffemissionen im Fahrbetrieb, ■ kinetische Energie des Fahrzeugs wird während des Schiebebetriebs in elektrische Energie umgeformt, ■ hohe Drehmomente während des Anfahrens und Beschleunigens, ■ hohe Herstellungskosten für Wasserstoff, ■ geringere Fahrkilometer, ■ hoher Platzbedarf.

Alternative Kraftstoffe			
Kraftstoffe	Merkmale	Vor- und Nachteile im Vergleich zum Otto- und Dieselmotor	
Erdgas	Erdgas besteht aus 83–98 % Methan. LNG: flüssig bei $-162\text{ }^\circ\text{C}$, CNG: gasförmig bei etwa 200 bar	<ul style="list-style-type: none"> ■ hohe Klopffestigkeit (ROZ 130), ■ geringere Schadstoffemissionen 	<ul style="list-style-type: none"> ■ geringerer Heizwert, ■ geringere Reichweite, ■ größerer Raumbedarf für Gasbehälter
Flüssiggas	Flüssiggas ist ein Gemisch aus Propan und Butan. LPG: flüssig bei etwa 3–15 bar	<ul style="list-style-type: none"> ■ höhere Klopffestigkeit (ROZ 104), ■ geringere Schadstoffemissionen 	<ul style="list-style-type: none"> ■ geringerer Heizwert, ■ geringere Reichweite, ■ größerer Raumbedarf für Gasbehälter
Wasserstoff	Wasserstoff kann aus Erdgas, Biomasse oder durch Elektrolyse hergestellt werden. LH ₂ : flüssig bei $-253\text{ }^\circ\text{C}$ GH ₂ : gasförmig bei etwa 700 bar	<ul style="list-style-type: none"> ■ keine schädlichen Emissionen (nur Wasserdampf), ■ hoher Wirkungsgrad 	<ul style="list-style-type: none"> ■ aufwendige Speicherung des Wasserstoffs, ■ höherer Betankungsaufwand
Biodiesel	Biodiesel besteht aus Pflanzenölen (z. B. Rapsöl und Methanol), CZ von 51, Flammpunkt $130\text{ }^\circ\text{C}$	<ul style="list-style-type: none"> ■ geringere Rußemissionen, CO- und HC-Anteile, schwefelfrei 	<ul style="list-style-type: none"> ■ höhere NO_x-Emissionen, ■ Ablagerungen im Tank und in Leitungen
BTL-Kraftstoff	BtL-Kraftstoff wird aus fester Biomasse (z. B. Stroh, Brennholz) synthetisch hergestellt.	<ul style="list-style-type: none"> ■ geringe CO₂-, NO_x- und Rußemissionen, ■ schwefelfrei 	<ul style="list-style-type: none"> ■ hoher Herstellungsaufwand
Bioethanol-Kraftstoff	Bioethanol wird aus Pflanzen, z. B. Zuckerrohr, Mais, hergestellt.	<ul style="list-style-type: none"> ■ geringere Schadstoffemissionen 	<ul style="list-style-type: none"> ■ besondere Motoren und Kraftstoffsysteme