

# Klimaneutrale Energie- versorgung.

Testen der Leistung und  
Lebensdauer von Brennstoffzellen.

# Brennstoffzellen testen.

**Innovative Wasserstoff-Technologien sind entscheidend für die Entwicklung einer klimaneutralen Energieversorgung. Die Brennstoffzelle etabliert sich zunehmend als Antriebstechnik im Straßengüterverkehr oder in der Luftfahrt sowie als Backup-Stromversorgungssystem.**

Eine einzelne Brennstoffzelle liefert eine Ausgangsspannung von bis zu 2 V. In der Praxis werden Brennstoffzellen daher zu Stacks (Stapeln) aus mehreren Zellen verbunden. Die größten Stacks kommen derzeit in Backup-Versorgungssystemen mit einer Kapazität von bis zu 1,5 MW zum Einsatz; in Fahrzeugen wird eine Maximalleistung von 125 kW erzeugt. Mit der stetigen Verbesserung der Brennstoffzellen-Technologie können Hersteller von Stacks zunehmend höhere Leistungen und Nennspannungen realisieren.

## Grundlagen zur Brennstoffzelle.

Die Stromerzeugung mittels Brennstoffzellen erfolgt über eine chemische Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff. Als Nebenprodukte entstehen Wasser und Wärme. An der Anode werden durch Oxidation des zugeführten Wasserstoffs negativ geladene Elektronen ( $e^-$ ) frei, die über eine externe Last von der Anode zur Kathode wandern (= nutzbarer elektrischer Strom).

Die entstandenen Protonen ( $H^+$ ) wandern durch den Elektrolyten von der Anode zur Kathode. Durch Reduktion des zugeführten Sauerstoffs ( $O_2$ ) an der Kathode entsteht Wasser ( $H_2O$ ), das zusammen mit der freigesetzten chemischen Energie in Form von Wärme abgeführt wird (Abbildung 1).

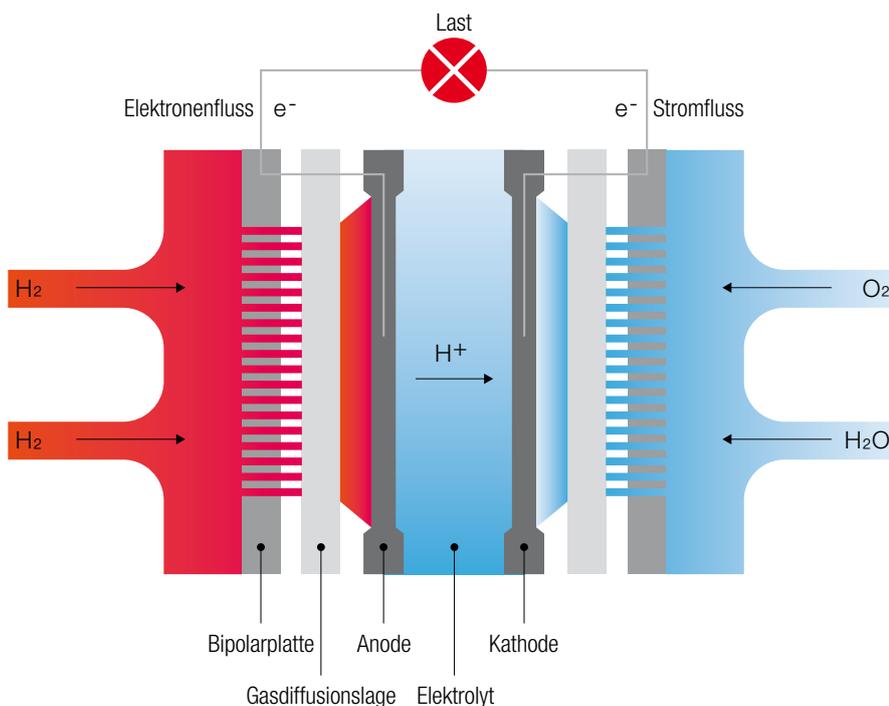


Abbildung 1: Funktionsschema einer Brennstoffzelle

**Die hohe Leistungsabgabe und Energiedichte von Brennstoffzellen und Brennstoffzellen-Stacks erfordern effiziente und sichere Tests. Es soll z. B. gewährleistet sein, dass der spezifizierte Mindestwirkungsgrad und die Betriebsdauer eingehalten werden.**

# Die Leistungsfähigkeit von Brennstoffzellen testen.

Brennstoffzellen und Brennstoffzellen-Stacks werden u. a. auf Basis von Leistungs- und Haltbarkeitstests charakterisiert. Polarisations- und Leistungsdichtekurven sind ein wichtiger Indikator für die Leistungsfähigkeit. In sog. Belastungstests müssen daher unterschiedliche Strom- und Widerstandsprofile berücksichtigt werden.

Beim Alterungstest wird der Stack einer kontinuierlichen Wiederholung des Arbeitszyklus unterzogen, was u. U. lange Testzeiten bedeutet. Mit regenerativen Testsystemen lassen sich erhebliche Energie- und Betriebskosten einsparen.

Zum Testen von Brennstoffzellen-Stacks mit Leistungen im MW-Bereich sind Hochleistungsgeräte erforderlich. Die ELR-Lasten und PSB-Stromversorgungen von EA können bis zu 30 kW aufnehmen und dank ihrer Autoranging-Funktion mit Spannungen von bis zu 2.000 V und Strömen von bis zu 1.000 A betrieben werden. Autoranging ermöglicht einen großen Betriebsbereich, sodass ganz verschiedene Brennstoffzellen mit nur einem Gerät getestet werden können. Für Brennstoffzellen-Stacks in Backup-Versorgungssystemen können bis zu 64 Geräte parallelgeschaltet werden.



**Die elektronischen Lasten und bidirektionalen Stromversorgungen von EA Elektro-Automatik bieten eine ausreichende Eingangs- und Ausgangsbelastbarkeit, die zum Testen von Brennstoffzellen-Stacks erforderlich ist.**

## **Vorteile der Netzgeräte und Lasten von EA auf einen Blick:**

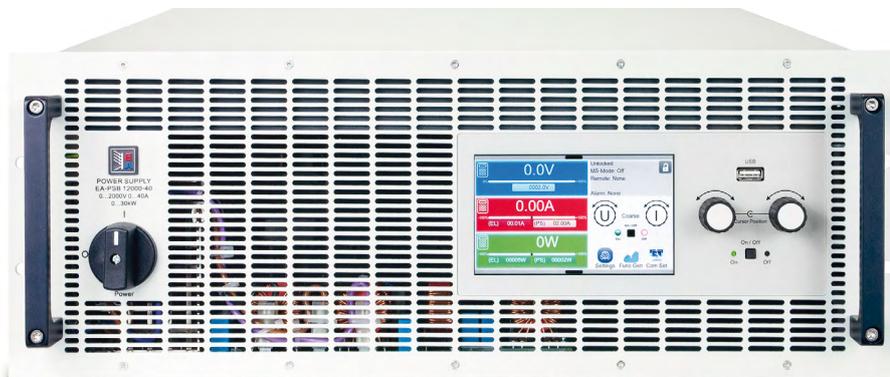
- > Der integrierte Funktionsgenerator ermöglicht definierte Laständerungen oder Laststromrampen und vereinfacht so den Testablauf.
- > Die Autoranging-Funktion bietet einen großen Betriebsbereich für vielfältige Prüflinge.
- > Die regenerative Energierückgewinnung spart Energie- und Betriebskosten bei Langzeit-Lebensdauertests

**Die Produktempfehlungen finden Sie auf der nächsten Seite. >>>**

# Empfohlene Produkte für den Brennstoffzellen-Test.



Elektro-Automatik



### EA PSI 10000 4U

DC-Stromversorgung |  
Integrierter Funktionsgenerator

### EA ELR 10000 4U

Elektronische Last |  
Regenerative Netzrückspeisung

### EA PSB(E) 10000 4U

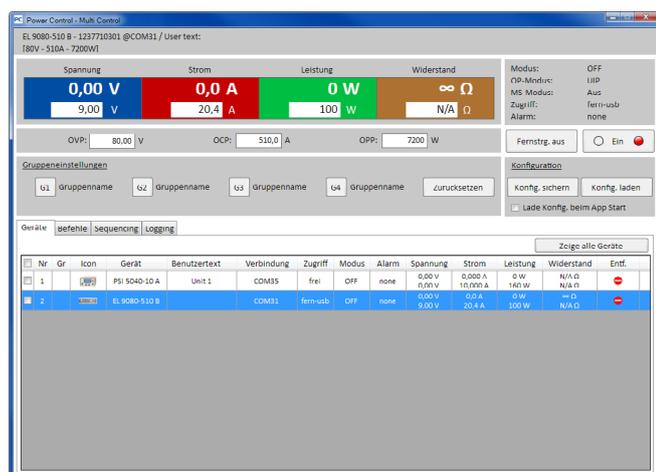
Bidirektional | Regenerative  
Netzrückspeisung

### Programmierbare DC-Stromversorgungen und Lasten

30 kW Nennleistung | Spannungsbereiche 60 bis 2.000 V |  
Strombereiche 40 bis 1.000 A | Leistungsgeregelte DC-  
Ausgangsstufen (Autoranging) | Regelmodi CV, CC, CP, CR  
mit schnellem Übergang | Hoher Wirkungsgrad bis über  
96 % | Wasser- oder luftgekühlt | Master-Slave-Bus für bis  
zu 64 Geräte in Parallelschaltung bis 1,92 kW und 64 kA

### Mehr Informationen zu den Geräten auch unter:

[>>>> www.datatec.eu/ea-10000-serie](http://www.datatec.eu/ea-10000-serie)



### Anwender-Software EA Power Control

Über die anwenderfreundliche Software lassen sich DC-Stromversorgungen und elektronische Lasten von EA komfortabel mit dem PC steuern. Mit der optionalen Multi Control können Sie die Einstellungen von bis zu 20 Geräten gleichzeitig verwalten – für effiziente Testabläufe bei Massentests. EA Power Control vereinfacht den Testaufbau ohne Programmieraufwand. Die Software ermöglicht die Simulation von Brennstoffzellen und Photovoltaik-Arrays.

### Mehr Informationen zu der Software finden Sie hier:

[>>>> Zur Software](#)

# Tests für Brennstoffzellen.

## 1. Zellenwiderstand messen mit dem AC-Störeinfluss-Verfahren.

Ein wichtiger Parameter von Brennstoffzellen ist deren Gesamtwiderstand, der sich im Wesentlichen aus dem Elektrolyt- und Polarisationswiderstand zusammensetzt. Im kW- und MW-Bereich kann ein zu hoher Gesamtwiderstand dazu führen, dass ein Brennstoffzellen-Stack nicht seine maximale Nennleistung erreicht. Je niedriger der Gesamtwiderstand der Brennstoffzelle, desto höher ist ihr Wirkungsgrad.

Die Spannungsquelle der Brennstoffzelle ist nicht von den Widerstandskomponenten trennbar, sodass für die Messung des Zellenwiderstands anstelle einer konventionellen DC-Widerstandsmessung eine Pseudo-AC-Messung

erforderlich ist. Hierbei kommt eine Störgröße zum Einsatz, d. h. ein durch die Last erzeugter  $\Delta I$ , der ein  $\Delta V$  ( $\Delta U$ ) an der Brennstoffzelle verursacht. Der Zellenwiderstand ergibt sich aus:  $R = \Delta U / \Delta I$ .

Bei der Pseudo-AC-Messung, auch Stromunterbrechungsverfahren genannt, wird ein  $\Delta I$  erzeugt, indem der Laststrom ohne Verzögerung unterbrochen wird, d. h. von einem stabilen Stromwert auf 0 A umgeschaltet wird. In der Folge steigt die Zellenspannung auf ihre Leerlaufspannung an, ausgehend von der um das Produkt aus Laststrom und Zellenwiderstand reduzierten Spannung (Abbildung 2).

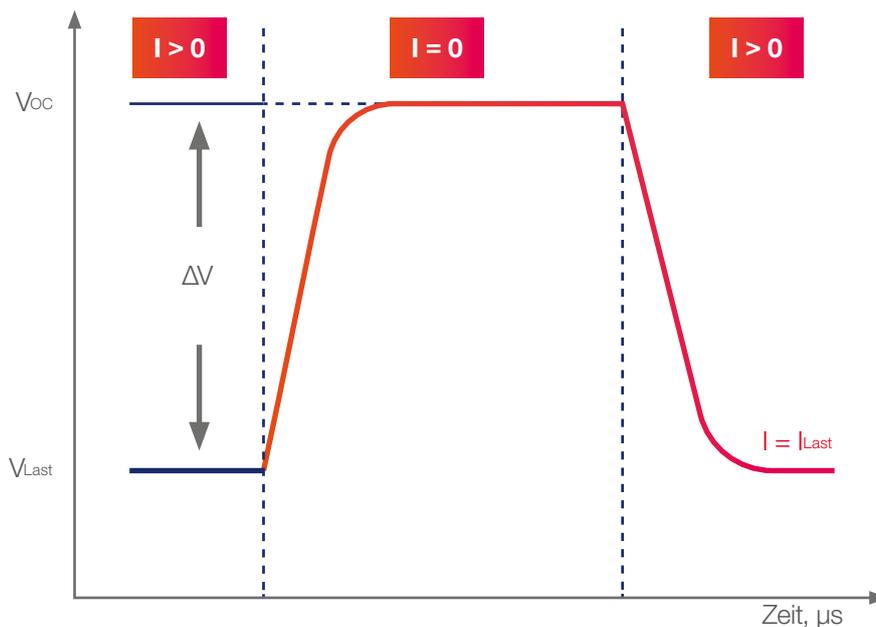


Abbildung 2: Spannungsimpuls einer idealen Brennstoffzelle infolge einer Laststrom-Unterbrechung.

Die Induktivität der Verkabelung erzeugt beim Stromübergang ein Überspringen an den Flanken. Dieser AC-Effekt lässt sich durch möglichst kurze Prüflleitungen zwischen der Last und der zu prüfenden Brennstoffzelle verringern (Abbildung 3).

Mit einer Vierleiter-Messung kann die Ausgangsspannung der Brennstoffzelle präziser ermittelt werden. Zudem wird der Spannungsabfall aufgrund des Stroms in den Zuleitungen nicht gemessen. Bei der Zweileiter-Messung wird dagegen eine niedrigere Spannung gemessen.

## 2. Die Leistungsabgabe in Abhängigkeit vom Laststrom ermitteln.

Die Quantifizierung der Leistungsabgabe von Brennstoffzellen erfordert eine kontrollierte Umgebung, um Parameter wie Brennstoffzellen-Temperatur, Druck oder Luftfeuchtigkeit für reproduzierbare Messdaten konstant zu halten.

Die Spannungsabgabe wird in Abhängigkeit vom Laststrom ermittelt, beginnend mit der Messung der Leerlaufspannung bei nicht angeschlossener Last. Anschließend wird die Last schrittweise erhöht, bis die Ausgangsspannung der Brennstoffzelle auf ca. 20 % ihrer Leerlaufspannung absinkt. Mit jeder Laststromänderung muss die Brennstoffzelle wieder den Gleichgewichtszustand herstellen. Man erhält eine Polarisationskurve (Abbildung 4).

Erläuterung: Im Bereich I führen nichtlineare elektrokinetische Effekte zu einem nichtlinearen Spannungsabfall. Im Bereich II dominiert der ohmsche Brennstoffzellen-Widerstand. Die Ausgangsspannung fällt mit dem schrittweise erhöhten Laststrom linear ab. Im Bereich III ist der Laststrom so groß, dass die Brennstoffzelle den geforderten Strom aufgrund limitierter chemischer Reaktionsprozesse nicht mehr liefern kann.

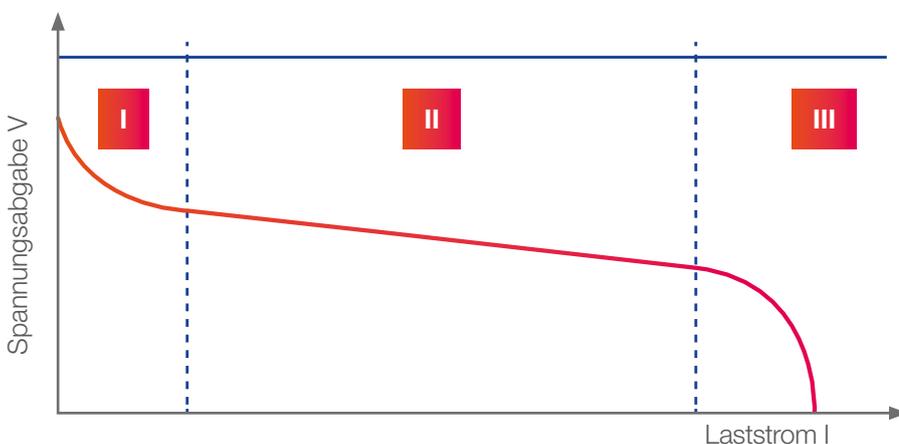


Abbildung 4: Polarisationskurve einer Brennstoffzelle bei schrittweiser Erhöhung des Laststroms I.

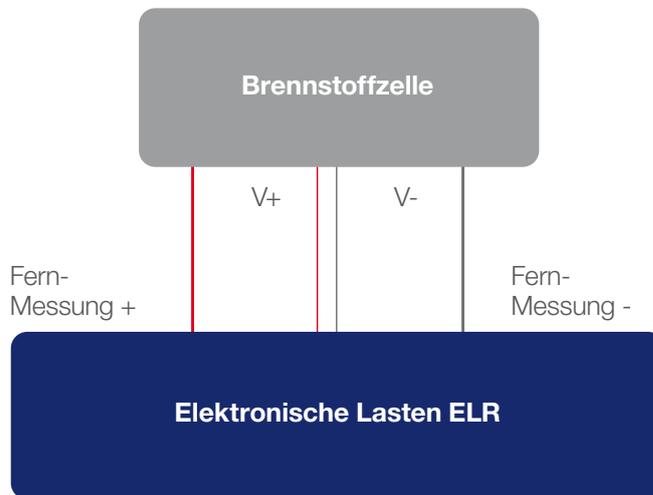


Abbildung 3: Testaufbau zur Messung des Brennstoffzellen-Widerstands mit der Stromunterbrechungsmethode. Übersprungseffekte infolge einer stufenförmigen Laständerungen lassen sich durch den Einsatz möglichst kurzer Prüflleitungen verringern.

## 3. Lebensdauertest mit stufenförmiger Laständerung.

Lebensdauertests bzw. Alterungstests gewährleisten die Stabilität und Sicherheit von Brennstoffzellen. Der Brennstoffzellen-Stack wird hierbei über einen Testzeitraum von mind. 100 Stunden stufenförmigen Laständerungen oder Laststrom-Rampen ausgesetzt. Bei jeder Messung muss die Zellenspannung um etwa 50 % absinken. Die Dauer des Rampenzyklus beträgt ca. 50 s. Für einen Lebensdauertest empfiehlt sich ein regeneratives Testsystem, das die aufgenommene elektrische Leistung mit einem Wirkungsgrad von über 96 % ins Stromnetz zurückspeisen kann.

Noch mehr interessante Themen finden Sie online:  
[>>>> Power Supplies und ihre Einsatzgebiete](https://www.datatec.eu)

The logo for dataTec, featuring the company name in a white, italicized, sans-serif font on a red rectangular background.

**dataTec**

Mess- und Prüftechnik. Die Experten.

**dataTec AG**  
**Ferdinand-Lassalle-Str. 52**  
**72770 Reutlingen**

**Telefon +49 7121 / 51 50 50**  
**Telefax +49 7121 / 51 50 10**  
**E-Mail [info@datatec.eu](mailto:info@datatec.eu)**

**>>> [www.datatec.eu](http://www.datatec.eu)**