

# BRENNSTOFFZELLE ZELLSPANNUNG

## BRENNSTOFFZELLE – ZELLSPANNUNG UND SPANNUNGSVERLUSTE

### Strom-Spannungs-Charakteristik

Wird die Klemmenspannung gegen die jeweilige Stromstärke aufgezeichnet, ergibt sich ein Kurvenverlauf (1).

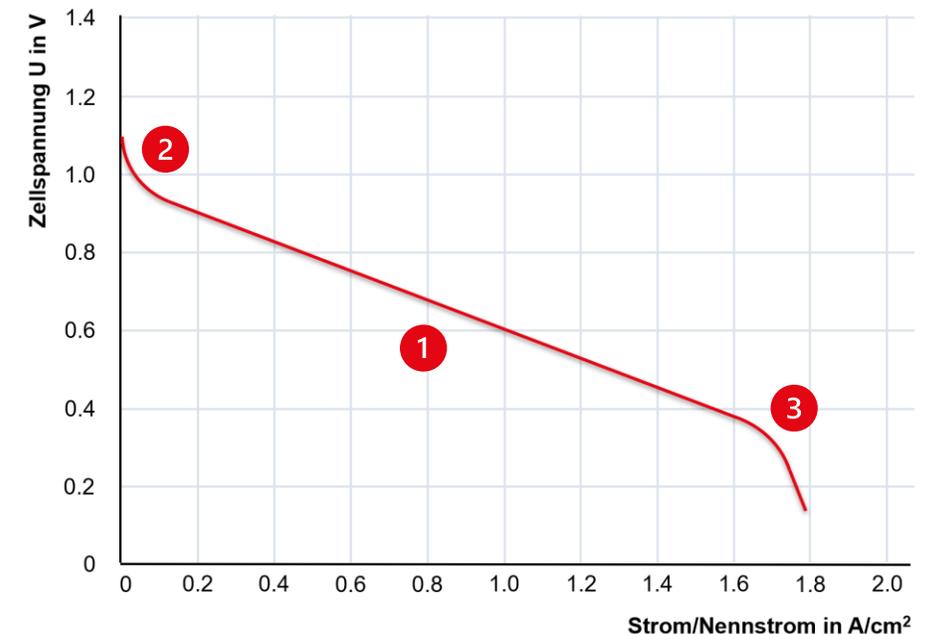
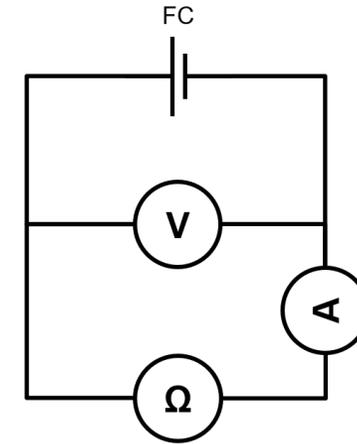
Wie jede Spannungsquelle weist auch die Brennstoffzelle einen Eigenwiderstand ( $\Omega$ ) auf, der dazu führt, dass die Spannung (V) mit steigendem Strom (A) abfällt.

Der **Innenwiderstand** einer Brennstoffzelle ist aber bei **kleinen** und **grossen Strömen nicht linear**.

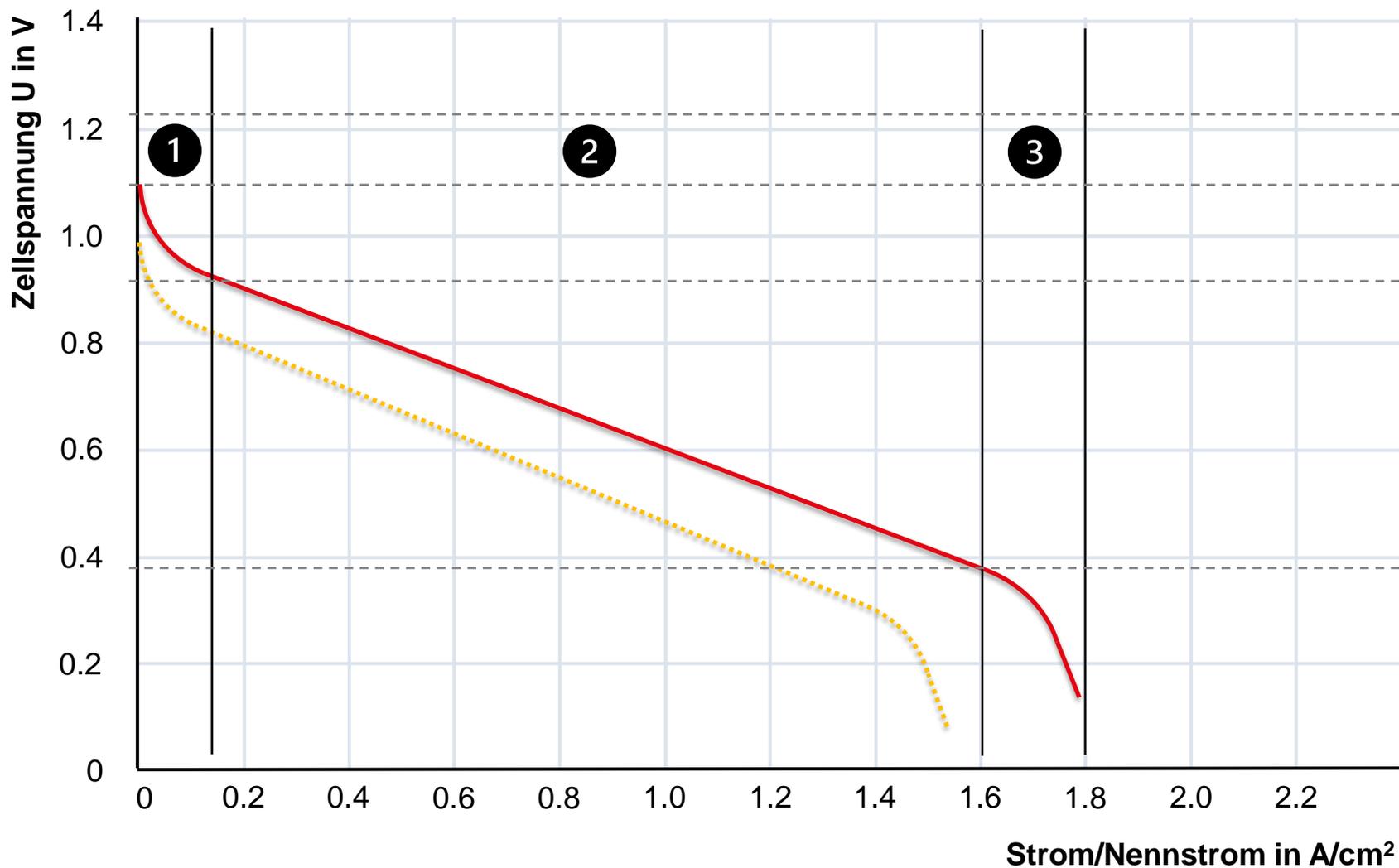
Um die chemische Reaktion in Gang zu setzen, muss eine Mindestenergie aufgebracht werden, die dazu führt dass (2):

- die Klemmenspannung geringer ist als die theoretisch berechnete Spannung
- ein starker Spannungsabfall bei geringen Strömen verursacht wird

Das Abknicken der Spannungskurve (3) bei hohen Strömen resultiert aus Transporthemmungen an der Drei-Phasen-Grenze.



## BRENNSTOFFZELLE – ZELLSPANNUNG UND SPANNUNGSVERLUSTE



Polarisationskurve/Zellspannung neu/gealtert ———— ●●●●●

- Standardpotential 1.23 V
  - Nernstspannung
  - Aktivierungsüberspannung
  - Widerstandsüberspannung
  - Diffusionsüberspannung
- 1 Starker Spannungsabfall infolge:
    - Hemmung durch beginnende Reaktion
    - Reaktionstemperatur noch nicht optimal
  - 2 Zelle befindet sich im Gleichgewicht und liefert bei unterschiedlicher Belastung eine weitgehend konstante Spannung.
  - 3 Überlastung der Zelle infolge:
    - Brennstoff und Sauerstoff können nicht schnell genug an die Drei-Phasen-Grenze nachgeliefert werden

## BRENNSTOFFZELLE – ZELLSPANNUNG UND SPANNUNGSVERLUSTE

### Standardpotenzial 1.23 V

Die als 1.229 V bei Standarddruck angegebene Leerlaufspannung kann je nach Partialdruck der Reaktanten und Produkte in der Anode und der Kathode variieren.

### Aktivierungsverluste (*Aktivierungsüberspannung*)

Bei kleinen Stromdichten ist der Verlust durch die Aktivierungsüberspannung besonders hoch. Dies zeigt sich am starken Spannungsabfall in der Polarisationskurve. Dafür ist die langsame Sauerstoffreduktionsreaktion (Kathodenseite) hauptverantwortlich und hängt stark von der **Art des Katalysators** und der **Temperatur** ab. Die deutlich schnellere Wasserstoffoxidationsreaktion (Anodenseite) trägt nur unwesentlich dazu bei.

Um das Aktivierungsüberpotential zu senken, muss die Austauschstromdichte erhöht werden. Es gibt verschiedene Ansätze, aber die wirksamsten sind:

- entweder die Verwendung eines wirksameren Katalysators, von denen Platin und Palladium die besten sind,
- oder die Erhöhung der Reaktantenkonzentration durch Verwendung von reinem Sauerstoff anstelle von Luft.

## BRENNSTOFFZELLE – ZELLSPANNUNG UND SPANNUNGSVERLUSTE

### Ohmsche Verluste (*Widerstandsüberspannung*)

Die Ohmschen Verluste setzen sich aus den **Leitungswiderständen** der **einzelnen Komponenten** der Brennstoffzelle zusammen.

Der **Membranwiderstand** ist in Abhängigkeit von der **Befeuchtung**. Bei geringer Befeuchtung der Membran steigt dieser Widerstand. Der Membranwiderstand hat den grössten Anteil an den Ohmschen Verlusten.

Die elektrischen Widerstände beinhalten sowohl die elektrischen Widerstände der einzelnen Komponenten als auch die elektrischen **Kontaktwiderstände zwischen den Komponenten**. Die Kontaktwiderstände hängen von der Verpressung der Brennstoffzelle ab.

Der **Protonentransportwiderstand** in den Elektroden hängt von der Art und Menge des Ionomers in der jeweiligen Elektrode ab. Da die Oxidation (Anode) sehr schnell ist, findet sie nahe der Anoden/Membran Grenzfläche statt, so dass der Protonentransportwiderstand in der Anode vernachlässigbar gering ist. Im Gegensatz hierzu ist die Reduktion (Kathode) sehr langsam, so dass die Reaktion in der gesamten Kathode stattfindet. Der effektive Protonentransportwiderstand in der Kathode kann als Funktion der Stromdichte berechnet werden.

Durch **Degradation** nimmt der Protonentransportwiderstand zu, da die Oberfläche des Katalysators zuerst an der Membranoberfläche abnimmt und damit der Transportweg der Protonen zunimmt.

Eine Möglichkeit, diese Verluste zu minimieren, besteht darin, **Elektroden mit der bestmöglichen Leitfähigkeit** zu verwenden oder den **Elektrolyten so dünn wie möglich** zu machen

## BRENNSTOFFZELLE – ZELLSPANNUNG UND SPANNUNGSVERLUSTE

### Transportverluste (*Diffusionsüberspannung*)

Transportverluste treten vor allem bei hohen Stromdichten auf und werden auch als **Diffusionsüberspannung** beschrieben.

Durch **hohe Stromdichten** erfolgt ein **erhöhter Stoffumsatz** der Edukte an den Elektroden. Hier wirkt die Geschwindigkeit der Reaktionsgaszufuhr limitierend. Die Gase können nicht ausreichend schnell an die **Drei-Phasen Grenze** diffundieren. Die Versorgung der Elektroden mit Reaktionsgasen bei hohen Stromdichten ist dominiert durch **Diffusionswiderstände**, so dass bei einer zu geringen Transportrate ein Konzentrationsgefälle entsteht. Durch die Abnahme der Reaktantenkonzentration in der Elektrode bzw. am Katalysator sinkt die Reaktionsrate und es kommt zum **Spannungsabfall**. Sinkt die Konzentration der Reaktionsgase gegen Null, spricht man von der sogenannten Grenzstromdichte. Die Spannungsverluste werden aus dem Konzentrationsgefälle der Reaktionsgase zwischen Gaskanal und Katalysatorschicht bestimmt.

Insbesondere an der **Kathode** sind diese Verluste zu beobachten, da zum einen die Zelle nicht mit reinem Sauerstoff betrieben wird und zum anderen die Möglichkeit der Bildung von flüssigem Produktwasser besteht. Das Flüssigwasser kann bei zu geringem Abtransport die Poren der Katalysatorschicht bzw. der Gasdiffusionsschicht belegen und den Gasaustausch blockieren. Dies führt ebenso zum Einbruch der Leistung. Die Eigenschaften der Gasdiffusionslage GDL beeinflusst massgeblich die Transportverluste in der Zelle.