

*Dr.-Ing. Alexander Schuler  
Verfahrensentwicklung  
Sulzer HEXIS AG, Winterthur*

# **Die Brennstoffzelle - Zukunftstechnologie oder Utopie?**



# Die Brennstoffzelle - Zukunftstechnologie oder Utopie?

“Brennstoffzellen” seit über 160 Jahren bekannt



1970er/80er gekennzeichnet durch  
grosse Fortschritte in der Materialwissenschaft

## Materialien

- neue Kunststoffe/Polymere mit speziellen Eigenschaften
- Metalllegierungen für Einsatz bei sehr hohen Temperaturen
- Keramiken mit speziellen Eigenschaften

## Herstellverfahren

- Herstellung von sehr feinen Strukturen (dünne Membranen) möglich
- Herstellprozesse mit sehr hoher Qualität und Reproduzierbarkeit
- Gezielte Einstellung von Oberflächenstrukturen

## Brennstoffzelle

Reaktion an Oberfläche, nicht im Gasvolumen

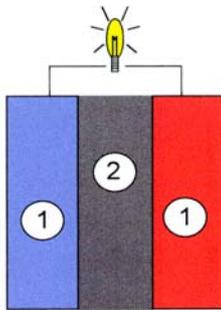
↓ Materialien und Oberflächen entscheidend

↓ jetzt ist die Zeit reif für die „Utopie“!

AS/MINERGIE/19.10.2000

**SULZER HEXIS**

## Prinzip einer Brennstoffzelle

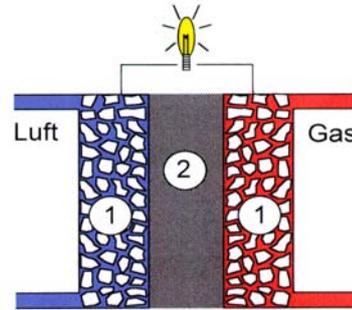


Ein elektrochemischer Prozess erzeugt Elektrizität und Wärme

- ① Elektrode
- ② Elektrolyt

### BATTERIE

Die Elektroden werden verbraucht, können eventuell regeneriert werden. (Aufladung)



### BRENNSTOFFZELLE

Brennstoff wird kontinuierlich zugeführt und umgewandelt. Elektroden werden nicht verbraucht.

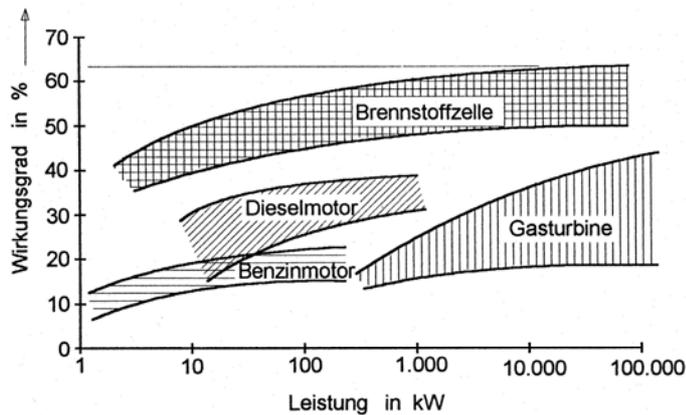
AS/MINERGIE/19.10.2000

**SULZER**HEXIS

## Warum überhaupt Brennstoffzellen?

**Direkte elektrochemische Verstromung in Brennstoffzelle unterliegt nicht dem Carnot'schen Wirkungsgrad!**

- hoher Wirkungsgrad
- niedrige Emissionen
- geräuscharm
- wartungsarm
- modularer Aufbau

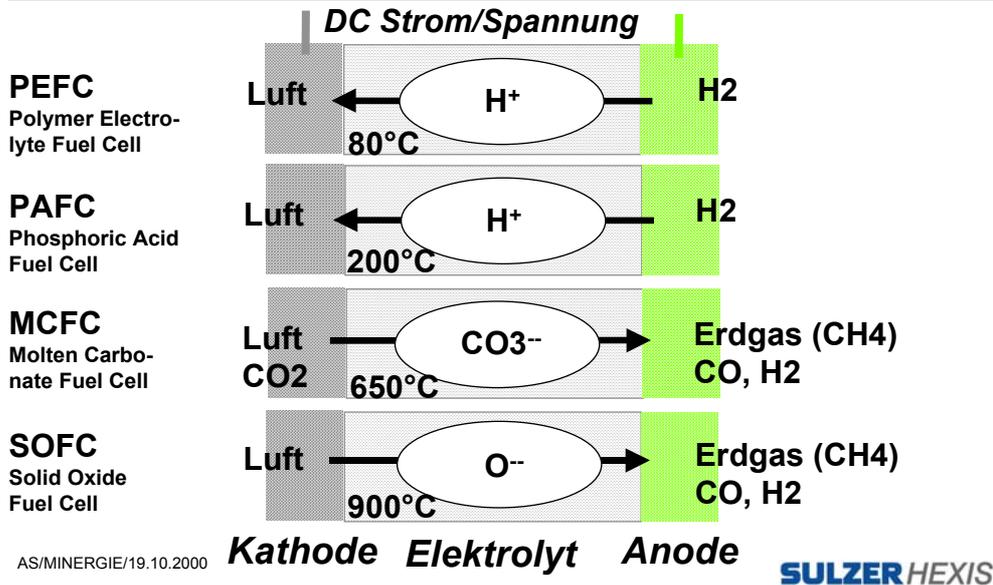


AS/MINERGIE/19.10.2000

**SULZER**HEXIS

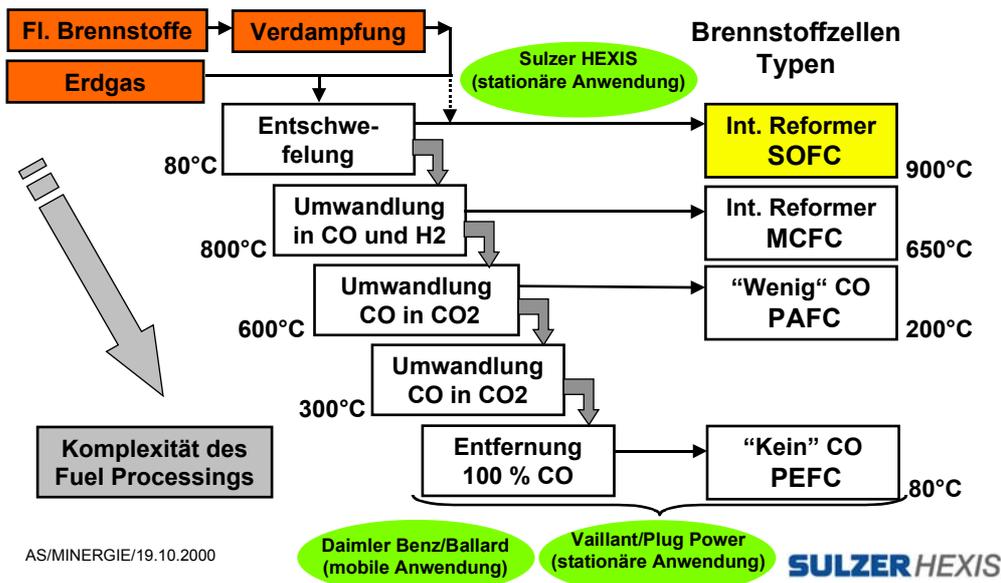
Brennstoffzellen können in einem extrem weiten Leistungsbereich von wenigen Watt bis zu mehreren Megawatt eingesetzt werden. Und sie können in allen Leistungsbereichen mit hohen Wirkungsgraden betrieben werden.

## Typen von Brennstoffzellen und Eigenschaften



Die verschiedenen Brennstoffzellentypen unterscheiden sich im wesentlichen in der Art des Elektrolyten und der Betriebstemperatur. Bei der PEFC und PAFC kann nur der reine Wasserstoff zur Stromerzeugung umgesetzt werden. Bei der MCFC und SOFC können auch andere brennbare Gase (CO, CH<sub>4</sub>) zu Strom umgesetzt werden, da hier der Sauerstoff von der Luftseite auf die Brennstoffseite transportiert wird. Ausserdem sind diese Hochtemperatursysteme weniger empfindlich gegen Verunreinigungen im Gas. Dem entsprechend wird die Brennstoffaufbereitung (Fuel Processing) hin zu den Niedertemperatursystemen immer komplexer.

## Fuel Processing - Brennstoffe für die Brennstoffzelle nutzbar machen!



Fast alle Automobilhersteller befassen sich heute mit der Brennstoffzellentechnologie. Für den Antrieb im Auto wird dabei ausschliesslich auf die PEFC Technologie mit Brennstoff Methanol oder Wasserstoff gesetzt. BMW verfolgt auch für die Zukunft das Konzept Verbrennungsmotor für den Antrieb. Sie wollen jedoch eine kleine Brennstoffzelle zur Bordstromversorgung (APU = Auxiliary Power Unit) ins Auto integrieren. Für das Benzin/Diesel-Auto soll die APU-Brennstoffzelle eine SOFC werden.

## Anwendungen im mobilen Bereich

<p><b>Daimler-Chrysler</b> Necar3 - Methanol</p> 	 <p>Necar4 - Wasserstoff</p> 	<p><b>Ford</b> P 2000</p> 
 <p><b>Toyota</b> FCEV - Wasserstoff AS/MINERGIE/19.10.2000</p>	 <p><b>Opel</b> Zafira - Methanol</p>	 <p><b>Chrysler Jeep</b> Commander - Benzin</p>

**SULZER HEXIS**

Für die stationären Brennstoffzellensysteme gibt es unterschiedliche Anwendungsgebiete von der Versorgung des Ein-Familien-Haus(halt)es bis hin zum dezentralen Kraftwerk.

## Anwendungen im stationären Bereich

<p><b>0.5 - 2 kWe</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Strom und Wärme für Ein-Familien-Haus(halt)</li> <li>- Netzgekoppelt</li> </ul>	<p><b>Sulzer HEXIS, (HGC)</b></p>
<p><b>2.5 - 5 kWe</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Strom und Wärme für Mehr-Familien-Haus</li> <li>- Netzgekoppelt</li> </ul>	<p><b>Vaillant, HGC</b></p>
<p><b>200 kWe - wenige MWe</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Strom und Wärme für gewerbliche Nutzung</li> <li>- Premium-Power</li> <li>Unterbrechungsfreie Stromversorgung, Notstrom</li> <li>- Kraftwerk mit Nah-/Fernwärme</li> </ul>	<p><b>Alstom, ONSI, MTU, Siemens</b></p>

**SULZER HEXIS**

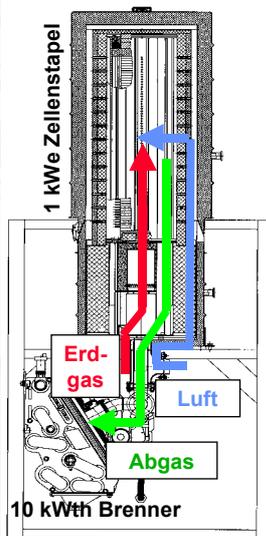
Hier sind einige Beispiele von verschiedenen Firmen und in verschiedenen Leistungsklassen dargestellt.

Sulzer HEXIS zielt mit einem 1 kWe System auf den Markt des Ein-Familien-Haus(halt)es und des kleinen Mehrfamilienhauses ab. Das System deckt den gesamten Wärmebedarf und einen grossen Teil des Strombedarfs. Im Rahmen der Energiemarktliberalisierung sind insbesondere auch Energieversorgungsunternehmen an dieser Technologie interessiert, um im Contracting-Verfahren Strom und Wärme zu verkaufen. Die Brennstoffzelle ist vom Typ SOFC und wird mit Erdgas ab dem Niederdrucknetz betrieben.

## Sulzer HEXIS Feldtestsystem 1998-2000



AS/MINERGIE/19.10.2000



*Erste Tests Mitte 1997:*

- DEW/D
- StWW/CH

*Start Oktober 1998:*

- AUE Basel/CH \*)
- EWE Oldenburg/D
- Thyssen Gas/D
- Tokyo Gas/J \*\*)

*Start Januar 2000:*

- Gas de Euskadi/E
- Gasunie/NL \*\*\*)

\*) Sulzer Infra ist Service Partner

\*\*\*) Zellen hergestellt von TG

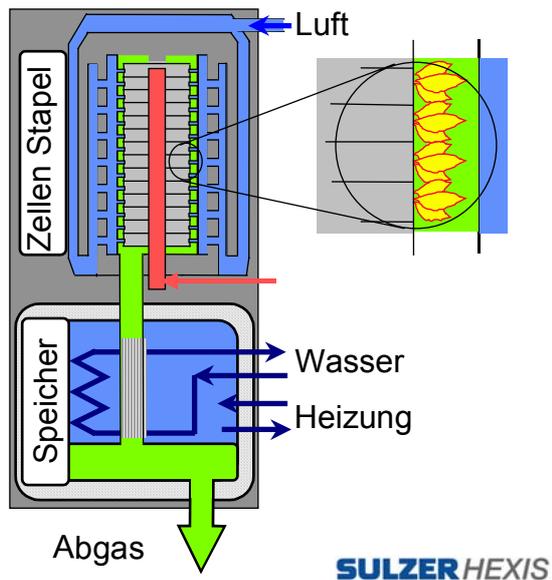
\*\*\*) Shell CPO

**SULZER**HEXIS

## Sulzer HEXIS Kompaktes Produkt für Markteintritt 2001



AS/MINERGIE/19.10.2000



**SULZER** HEXIS



## ONSI

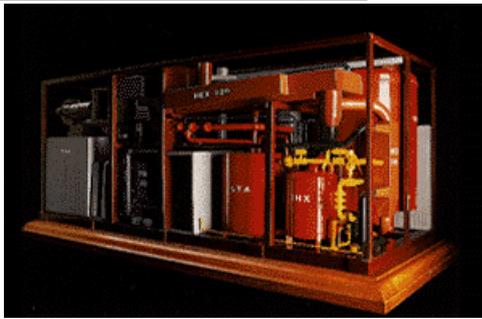
### PAFC

Leistung: 200 kW<sub>e</sub>

ca. 200 Systeme weltweit in Betrieb

Wirkungsgrad: 30-40%

Kosten: ca. 3'000 \$/kW<sub>e</sub>



AS/MINERGIE/19.10.2000



**SULZER** HEXIS

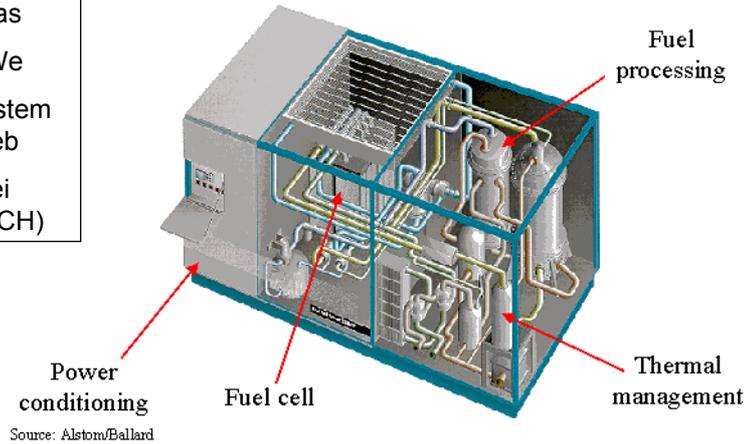
Die Firma Alstom arbeitet mit der kanadischen Firma Ballard zusammen. Ballard baut ein 250 kWe System mit PEFC Technologie. Alstom ist verantwortlich für das Gesamtsystem und insbesondere auch für den elektrischen Teil.

## Alstom

### PEFC (Ballard Can.)

Betrieb mit Erdgas  
Leistung: 250 kWe  
erstes Demo-System  
in Berlin in Betrieb  
weitere Demo bei  
Elektra Birseck (CH)

### The fuel cell and its system



AS/MINERGIE/19.10.2000

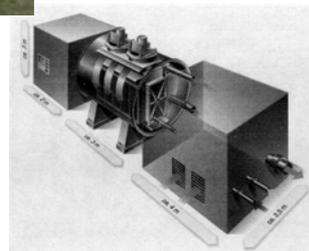
SULZER HEXIS

MTU entwickelt das sogenannte „Hot Module“, ein hoch integriertes System basierend auf MCFC Technologie. Der Brennstoffzellenstapel kommt vom US-amerikanischen Partner FuelCell Energy. Mit der Leistung von 300 kWe je Einheit und einem modularen Aufbau zielt MTU auf den Markt im unteren Megawattbereich.

## MTU

### MCFC

Betrieb mit Erdgas  
Temperatur: 650°C  
Leistung: 300 kWe  
erste Pilot-Anlage in  
Bieldefeld (D)  
Wirkungsgrad: 47%



AS/MINERGIE/19.10.2000

SULZER HEXIS

Siemens-Westinghouse verfolgt ein System basierend auf SOFC. Hierbei werden einzelne Brennstoffzellenröhren zur Rohrbündeln verschaltet. Ein 100 kWe Demo-System läuft seit 2 Jahren in Arnhem (Holland) mit sehr gutem Wirkungsgrad. Ziel ist, die Brennstoffzelle zukünftig durckaufgeladen zu betreiben, so dass der Wirkungsgrad verbessert wird und zusätzlich das heisse Abgas in einer Gasturbine verstromt werden kann. Eine erste Anlage dieses Typs geht noch in 2000 in Betrieb. Siemens zielt auf den Markt im Megawattbereich.

## Siemens-Westinghouse

---

<p><b>SOFC Röhrenkonzept</b></p> <p><b>System in Holland</b></p> <p>Betrieb mit Erdgas</p> <p>Leistung: 100 kWe</p> <p>el. Wirkungsgrad: ~50%</p> <p>Betriebszeit Stack: 8'000 h System: 12'000 h</p> <p>Degradation vernachlässigbar</p>	
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

AS/MINERGIE/19.10.2000

**SULZER**HEXIS

Markteinführung, Wirtschaftlichkeit und andere Randbedingungen sind für den mobilen und stationären Bereich differenziert zu betrachten.

## Markteinführung, Wirtschaftlichkeit und Herausforderungen

### **Mobiler Bereich**

- ab ca. 2004 Kleinserien von praktisch allen Automobilherstellern
- Wirtschaftlichkeit ab Kosten von ca. 80-100 SFr/kWe (50-60 \$/kWe)
- **Herausforderungen**
  - extrem niedrige Herstellkosten für Wirtschaftlichkeit
  - schnelle Startzeiten, viele An/Aus-Zyklen, Dynamik

### **Stationärer Bereich**

- Kleinserien ab 2001/2002; grössere Stückzahlen ab ca. 2004/2005
- Wirtschaftlichkeit ab Kosten von 1000-2000 SFr/kWe
- **Herausforderungen**
  - Kosten für Wirtschaftlichkeit
  - Langzeitstabilität (mind. 40'000 Betriebsstunden)

AS/MINERGIE/19.10.2000

**SULZER**HEXIS

In einer zukünftigen Energiewirtschaft basierend auf erneuerbaren Energien kann die Brennstoffzelle eine wichtige Rolle spielen. Neben dem Beitrag der Brennstoffzelle in einer Wasserstoffinfrastruktur (Mobilität, Strom aus Wasserstoff), kann sie auch bei der Nutzung von Bio-Brennstoffen eine wichtige Rolle spielen.

## Erneuerbare Energien - Wasserstoff ist Energieträger der Zukunft?!

**Wasserstoff ist kein primärer Energieträger,  
also keine Energiequelle, sondern ein Energiespeicher!**

### **Erneuerbare Energiequellen sind:**

- Sonne, Wind, Wasser
- Bio-Brennstoffe  
Biogas, Rapsöl, Bio-Ethanol, Holz, .....

### **Sonne, Wind, Wasser:**

Energieangebot passt zeitlich nicht immer zum Energiebedarf

↓ Energiespeicher notwendig  
z.B. Akkumulatoren, Schwungrad, Wasserstoff

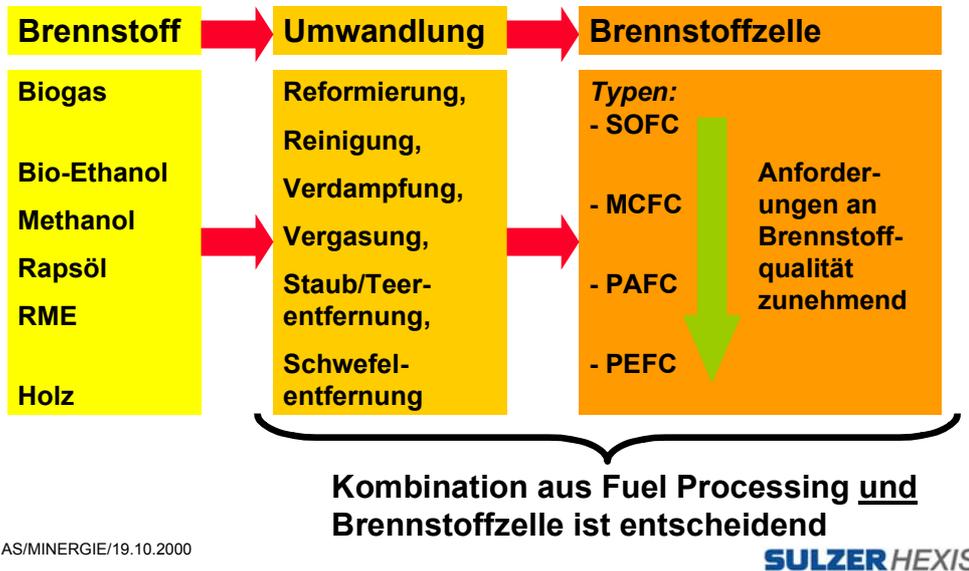
↓ **wichtige Rolle der Bio-Brennstoffe**

AS/MINERGIE/19.10.2000

**SULZER**HEXIS

Für die Nutzung von Bio-Brennstoffen in Brennstoffzellen sind zwischengeschaltete Umwandlungsschritte notwendig. Der technische Aufwand für diese Umwandlung hängt auch von der Wahl des Brennstoffzellentyps ab. Die Hochtemperatursysteme haben hier sicher einen Vorteil, da sie auf Verunreinigungen im Brennstoff nicht so empfindlich reagieren.

## Bio-Brennstoffe in Brennstoffzellen



## Fuel Processing für Bio-Brennstoffe

Brennstoff	Fuel Processing	Herausforderungen
<b>Biogas</b>	analog zu Erdgas mit geringen Anpassungen	wechselnde Gasqualität
<b>Methanol, Ethanol</b>	Verdampfung, sonst prinzipiell wie Erdgas (Katalysator und Temperatur entsprechend)	Methanol ist aggressiv und giftig
<b>Rapsöl, RME</b>	Verdampfung, sonst prinzipiell wie Erdgas (Katalysator und Temperatur entsprechend)	Russbildung, Ablagerungen beim Verdampfen, Langzeitstabilität des Katalysators
<b>Holz</b>	Vergasung, Gasreinigung, Gasaufbereitung	zuverlässige Vergasung, Teer, Staub,

**Prinzipiell:** Begleitstoffe in Bio-Brennstoffen (Cl, P, ...) können je nach Brennstoffzellentyp und Fuel Processing mehr oder weniger Probleme bereiten

AS/MINERGIE/19.10.2000 **SULZERHEXIS**

Je nach Art des Brennstoffs verbleiben noch einige zum Teile grosse Herausforderungen beim Fuel Processing, die es zu lösen gilt. In Forschungs- und Entwicklungsprojekten an Universitäten, Fachhochschulen, Instituten und in der Industrie werden diese Themen zum Teil schon bearbeitet.

## Zusammenfassung

---

- **Brennstoffzellen sind keine Utopie**
- **Brennstoffzellen ermöglichen effiziente und umweltfreundliche Strom-/Wärmeerzeugung aus fossilen Brennstoffen**
- **Brennstoffzellen für Bio-Brennstoffe können einen wesentlichen Beitrag in einer nachhaltigen, erneuerbaren Energiewirtschaft leisten**