

# **Welche Chancen hat die Brennstoffzelle als Energiezentrum auf Kläranlagen?**

Dipl.-Wirtschafts.-Ing. (FH) Peter Berger

CFC Solutions GmbH  
Ottobrunn



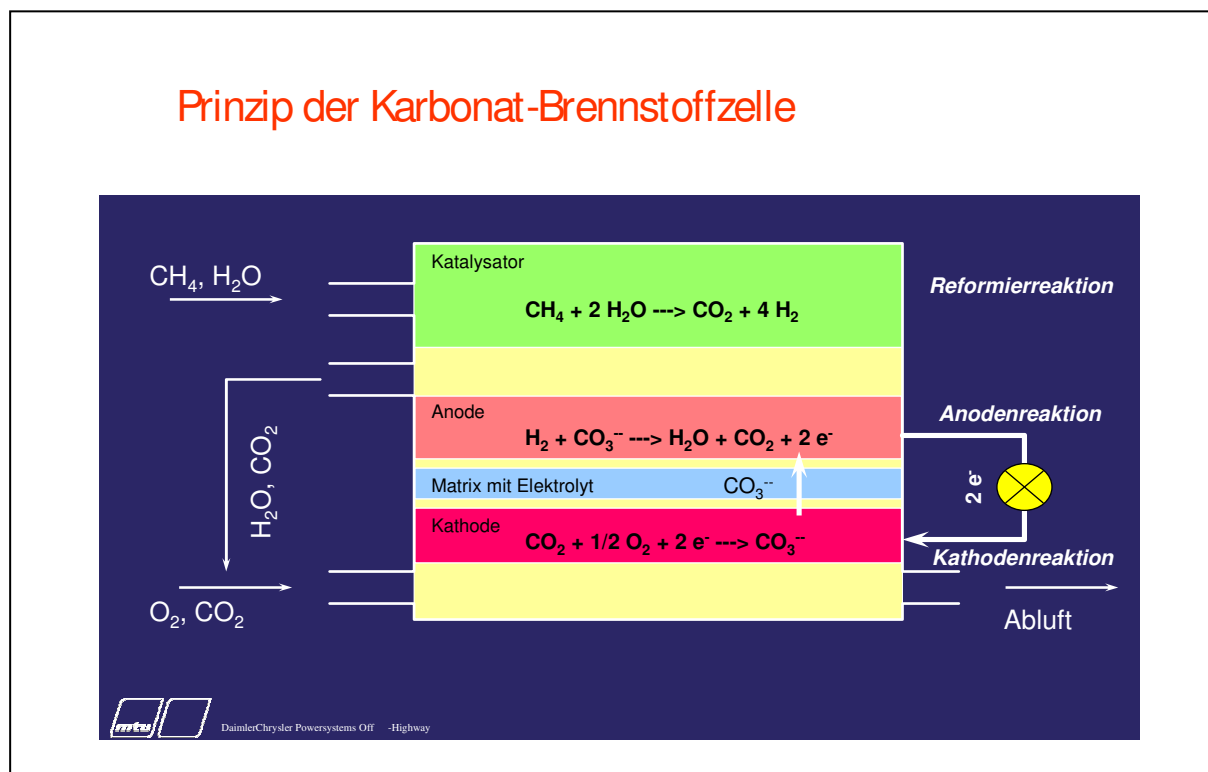
## 1. Technische Eigenschaften Brennstoffzellenkraftwerk

Das Brennstoffzellenkraftwerk der MTU CFC Solutions GmbH zeichnet sich durch eine grundlegend neue Technologie der Energiewandlung chemisch gebundener Primärenergie in elektrische und thermische Nutzenergie aus. Erstmals in der Energietechnik entfällt hierbei die bisherige Limitierung der Kraftwerkstechnologie durch den Carnot-Wirkungsgrad.

Grundlage des Kraftwerkes ist die Karbonatbrennstoffzelle mit einer Arbeitstemperatur von 650°C. Wegen der, verglichen mit anderen Brennstoffzellen vergleichsweise hohen Arbeitstemperatur können beliebige, heute schon verfügbare Brenngase verstromt werden.

Zellintern wird das Brenngas (in der Regel Methan) zu Wasserstoff reformiert (internes Reformieren). Diese Reaktion läuft endotherm ab. Das heißt es ist Wärmeenergie auf hohem Temperaturniveau (ab 550°C) erforderlich. Im Falle unseres Zell-Designs führen wir die Abwärme der Zellreaktion (650°C) dieser Reformierung zu. Dadurch erhöht sich der Heizwert des Gases um ca. 20 %.

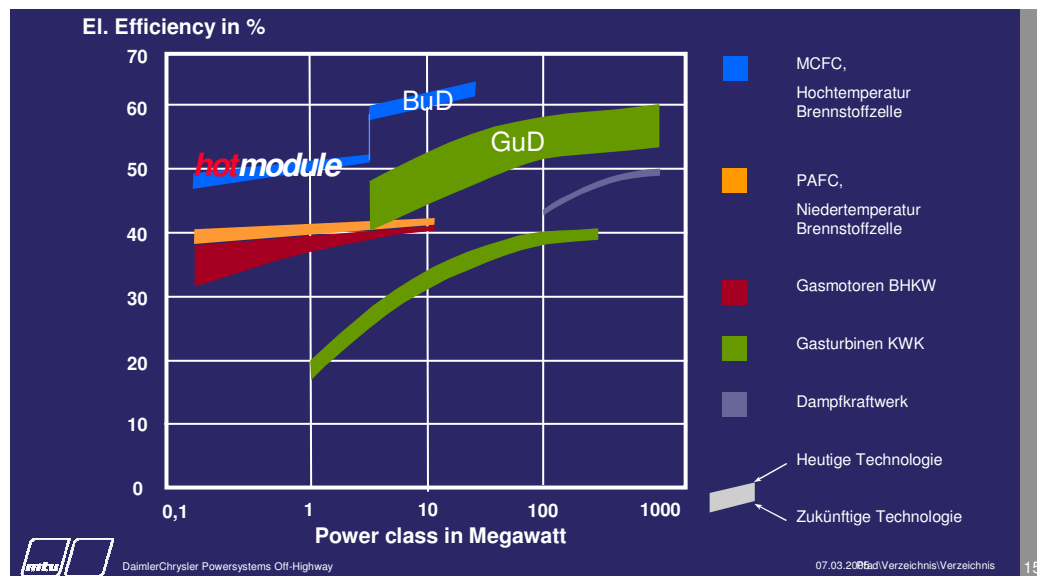
Bei einem Zellwirkungsgrad von 60 % steigt somit der elektrische Wirkungsgrad des Kraftwerkes bezogen auf den Brenngas-Input (Methan) um ca. 12 % an.



Gleichzeitig wird die Zelle chemisch gekühlt, wodurch die durch apparative Maßnahmen abzuführende Kühlenergie (Kühlgebläse) minimiert wird. In der Praxis bedeutet dies einen geringeren internen Verbrauch des Kraftwerkes, was wiederum dem elektrischen Kraftwerkswirkungsgrad zu Gute kommt.

Durch diese völlig neue Art der Energiewandlung steigt der Wirkungsgrad im Vergleich zu konventionellen Kraftwerkstechnologien um ca. 25 % an. Speziell im Bereich der kleineren Leistungsklassen und hier der Motoren- und Turbinenkraftwerke ist dieser Effizienzsprung beachtlich und führt neben Ressourcenschonung (Brenngaseinsparung) zu einer schnelleren Wirtschaftlichkeit.

## Elektrische Wirkungsgrade verschiedener Kraftwerke



Neben der elektrischen Energie wird durch das Kraftwerk Wärmeenergie erzeugt. Diese steht wegen der hohen Arbeitstemperatur jedoch mit ca. 400 °C zu Verfügung. Neben der Erzeugung reiner Heizenergie sind daher weitere Anwendungen möglich bzw. schon realisiert:

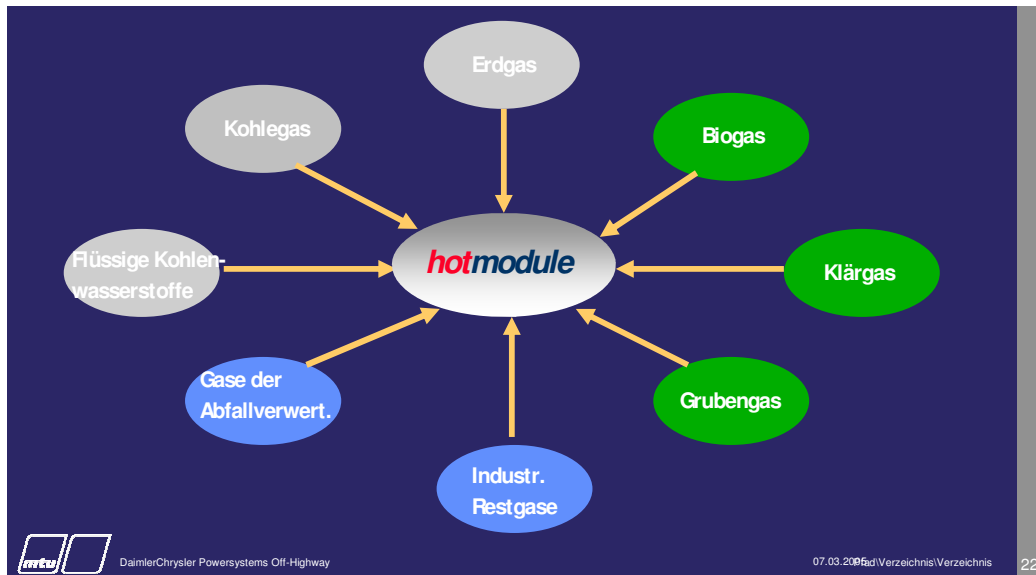
- Prozessdampferzeugung
- Kälteerzeugung mit einer Absorptionskälteanlage
- Prozessdampf- und/oder Kälteerzeugung und/oder Heizenergieerzeugung
- In größeren Einheiten energetische Nutzung (z.B.: Dampfturbine)

Ein weiterer Vorteil ist, dass für das Kraftwerk kein Wasserstoff hergestellt werden muss bzw. der aufwändige externe Reformier entfällt. Dies bedeutet zunächst geringeren Aufwand in der Gesamtprozesskette von der Primärenergie zum Strom und damit verbunden geringere Kosten der Elektrizitätserzeugung.

Karbonatbrennstoffzellen-Kraftwerke sind hingegen brennstoffflexibel.

Je nach Brenngas (Erdgas, Biogas, Klärgas usw.) eröffnet die Karbonatbrennstoffzelle trotzdem den Weg zur regenerativen Energieversorgung, da über den höheren elektrischen Wirkungsgrad die Wirtschaftlichkeitsschwelle sowohl in der Verstromung von fossilen (Erdgas, Kohlegas) als auch im Falle regenerativer Gase (Biogas, Klärgas, Deponiegas, Restgase aller Art) schneller erreicht wird.

## Brennstoff-Flexibilität und regenerative Alternative



Neben der Reduktion klimarelevanter Emissionen (CO<sub>2</sub>) zeichnet sich das Kraftwerk durch eine Minimierung lokaler Emissionen aus. Gemäß TA Luft produziert die Anlage kein Abgas sondern Abluft. Verglichen mit Motoren BHKW's wurden folgende Werte gemessen:

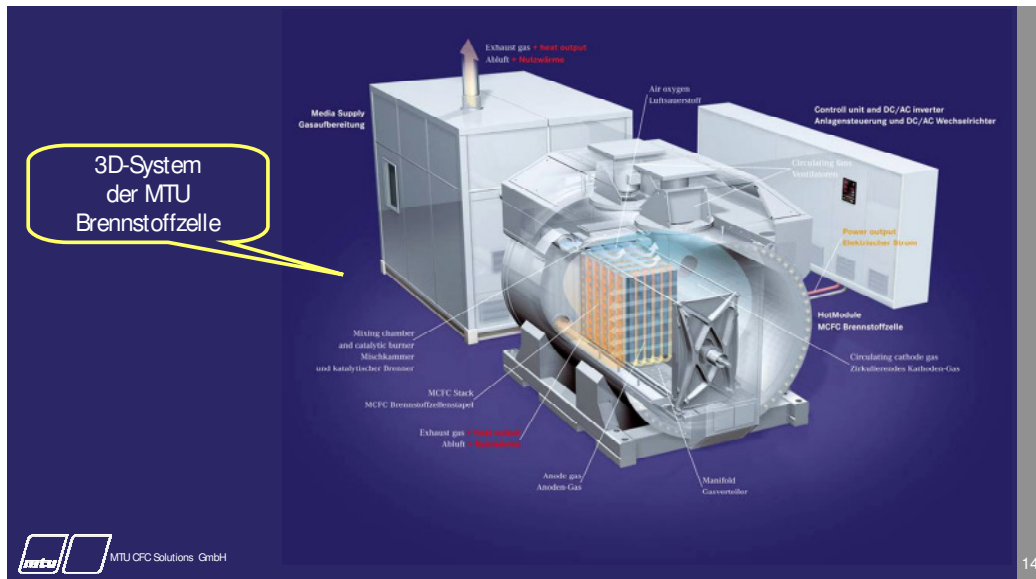
CO	mg/m <sup>3</sup>	14	statt	30 – 480
NOx	mg/m <sup>3</sup>	<2	statt	10 – 750
Gesamt C	mg/m <sup>3</sup>	5	statt	310 - 450

Durch hochintegrierte Bauweise und Minimierung des anlagentechnischen Aufwandes hat die MTU CFC Solutions einen innovativen Kraftwerkstyp mit folgenden Leistungsdaten entwickelt:

Elektrische Leistung:	ca. 245 kW
Elektrischer Wirkungsgrad:	47 %
Thermische Leistung:	180 kW (bei T(Min) = 80 °C)
Thermischer Wirkungsgrad:	35 %

Das Kraftwerk besteht aus einem Media Supply (Reinigung des Gases, Befeuchtung und Erwärmung) dem eigentlichen Brennstoffzellen Hot Module und einem Elektrogewerk (Trafo, DC/AC oder DC/DC Wandler) und einem Steuerungs- und Regelungsrechner

## Das **hotmodule**<sup>®</sup> Brennstoffzellen-Kraftwerk



Die heute realisierten Anlagen sind Felderprobungs- und Demonstrationsanlagen. Für die ersten Anlagen standen der Nachweis der Funktion und die Optimierung der Schnittstelle Kraftwerk/Kunden-Infrastruktur im Vordergrund.

Mittlerweile sind sowohl für den Betreiber als auch für den Hersteller die Optimierung der Gesamtanlage und die Demonstration verschiedener technischer Eigenschaften in den Vordergrund gerückt. Dies und der Vorseriencharakter der heutigen Anlagen dienen der Absicherung der aufzubauenden Serienfertigung und der breiten Markteinführung.

Zurzeit liegen Betriebserfahrungen von acht Anlagen dieses Typs vor, so dass mittlerweile erste Abschätzungen der anwendungstechnischen Vorteile möglich sind.

## 2. Vorteile in der dezentralen Energietechnik

Der Energiebedarf sowohl im Haushalts-, aber auch im Industriebereich durchläuft zurzeit unabhängig der zur Verfügung stehenden Energiewandler eine Phase des Umbruchs.

1. Während der Bedarf an Heizenergie rückläufig ist (verschiedenste Energieeinsparungserfolge der letzten Jahre), steigt der Bedarf an elektrischer Energie für Elektro- und Elektronikanwendungen.
2. Dezentrale Energietechnik, also sowohl Energieerzeugung als auch die Nutzung von erzeugtem Strom und Wärme direkt beim Verbraucher wächst zu Lasten der zentralen Energietechnik.

Das HotModule Brennstoffzellekraftwerk kommt dieser Entwicklung durch die Kombination seiner verschiedenen technischen Eigenschaften entgegen und kann diesen Prozess unterstützend begleiten. So bestätigen uns unsere heutigen Kunden, dass Sie mit dem Betrieb unserer Anlagen konkrete Betriebserfahrungen für zukünftige Investitionsüberlegungen sammeln wollen.

Das Kraftwerk ist speziell für den Einsatz in der Industrie und hierbei besonders zur Kraft-Wärme Kopplung (KWK), bzw. zur Kraft-Wärme-Kälte Kopplung (KWKK) geeignet. Da es die Vorteile der Stromerzeugung mit hohem Wirkungsgrad und Wärmegewinnung auf hohem Temperaturniveau kombiniert ergibt sich ein weites Anwendungs-Spektrum je nach Kundenanforderung und örtlicher Infrastruktur. Zusammen gefasst ergeben sich vor Allem im Vergleich zu motorischer Kraft-Wärme Kopplung oder kleinerer Gasturbinen folgende Vorteile:

- Hoher elektrischer Wirkungsgrad schon in der Submegawattklasse
- Hochtemperaturnutzwärme
- Effiziente Kälteerzeugung
- Brennstoff-Flexibilität (Erdgas, Biogas, Klärgas)
- Gute Kraftwerks-Auslastung
- Flexible Auslegung und Betrieb nach Anwenderanforderung
- Premium Power und USV Anwendungen
- Geringste Abgas-, und Geräuschemissionen

Zum Teil generiert dieser Kraftwerkstyp sogar neue Anwendungen.

Stromerzeugung mit hohem Wirkungsgrad in Kombination mit Hochtemperaturnutzwärmeerzeugung ist mit konventionellen Kraftwerken nicht möglich. Motoren BHKW's erreichen zwar akzeptable elektrische Wirkungsgrade, stellen jedoch lediglich Niedertemperaturwärme zur Verfügung. Kleine Gasturbinenkraftwerke sind hingegen in der Lage Hochtemperaturnutzwärme zu produzieren, der elektrische Wirkungsgrad fällt jedoch auf 20 % und darunter. Daher wird in diesen Anwendungen zurzeit noch der Strom aus dem Netz bezogen, die Wärmeenergie mittels Prozessdampferzeuger produziert.

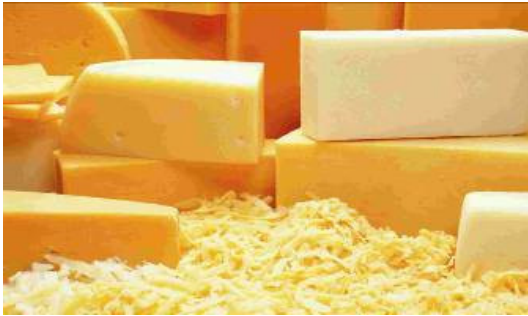
### **3. Anwendungen, Märkte und Zielgruppen**

Durch die Kombination der verschiedenen Kraftwerkeigenschaften in Verbindung mit einer hohen Flexibilität in der Betriebsführung und der Brennstoffversorgung ist dem Brennstoffzellenkraftwerk ein weites Anwendungsspektrum zugänglich.

- Kommunale Energieversorgung ( z. B. Versorgung von Krankenhäusern, Großbauten, öffentlichen Gebäuden)



- Industrielle Energieversorgung
  - Lebensmittel- und Getränkeindustrie
  - Chemie, Pharma, Rohstoffverarbeitung
  - Maschinenbau- und Elektroindustrie
  - Telekommunikation, ITK Industrie
  - Großgaststätten
  - Textilindustrie



#### 4. Fallbeispiel für die ITK Branche: Qualitätsstrom

Zunächst ist die ITK Industrie ein Wachstumsmarkt und daher mit seinem steigenden Energiebedarf generell interessant für effiziente Kraft-Wärme Kopplung.

Speziell diese Verbraucher sind auf Energiewandlungssysteme mit hoher Stromkennzahl (hoher elektrischer Wirkungsgrad) angewiesen, da nur wenig oder kein Wärmebedarf besteht. Die verbleibende Wärmeproduktion muss hierbei flexibel in Kälte gewandelt werden können um wiederum auf die Anforderungen, nämlich Kühlung der Elektronik dieser sensiblen Verbraucher (Rechenzentren, Telekommunikationsanlagen, High-Tech Elektronik) zu reagieren. In der Regel wird daher die Produktion von Klimakälte gefordert.

Besonders im Bereich der Großabnehmer wird die erzeugte Endenergie für sensible High-tech-Verbraucher verwendet, d. h. neben den Vorteilen des hohen Wirkungsgrades und der flexiblen Anpassung an unterschiedliche Spannungsniveaus bekommt die Güte des erzeugten Stromes eine besondere Bedeutung.

Die Anforderung dieser Abnehmer an Endenergie geht über die reine Strom- und Wärmebereitstellung hinaus:

- Rechenzentren aber auch Büros und Technikräume werden heute generell klimatisiert. Das heißt von Energiewandlern wird neben der Stromerzeugung die Bereitstellung von Klimakälte gefordert, eine Domäne des HotModule- Brennstoffzellenkraftwerkes in Verbindung mit einer Absorptionskältemaschine.
- Da der gesamte ITK Bereich sowohl volkswirtschaftlich als auch firmenintern als extrem sensibler Bereich eingestuft ist, sind entsprechende Sicherungssysteme gegen Netzausfall installiert. So ist beispielsweise bei Unternehmen der Telekommunikation ein Batterielager in der Größe eines halben Fußballfeldes, welches zusätzlich mit einer Netzersatzanlage (zwei Dieselmotoren, ganzjährig beheizt) besichert ist.



- Keine lokalen Emissionen, da sich Standorte der Unternehmen der ITK Industrie häufig in innerstädtischen Lagen oder anderen sensiblen Regionen befinden.

Nach Angaben des US department of energy belaufen sich Ausfallkosten in besonders sensiblen Industrien wie folgt:

➤ Telekomindustrie	41 TUSD/h
➤ Telefonischer Ticketverkauf	72 TUSD/h
➤ Flugreservierung	90 TUSD/h
➤ Kreditkartenbetrieb	2,6 MUSD/h
➤ Börsenbetrieb	6,5 MUSD/h

Es ist einleuchtend, dass das HotModule Brennstoffzellekraftwerk in entsprechender Infrastruktur weiteren Nutzen stiften kann:

- Hohe Stromkennzahl kombiniert mit Klimakälte
- Bereitstellung elektrischer Energie in geforderter Form
  - Netzkompatible Wechselspannung
  - Gleichstrom verschiedener Spannungsniveaus
- Erzeugung von premium power und USV
- Kompletter oder teilweiser Ersatz der teureren Sicherungsmaßnahmen
- Geringe Schadstoff- und Geräuschemissionen (innerstädtischer Bereich)

Mittlerweile gibt es erste Betriebserfahrungen und Referenzdaten von einer unserer Feldversuchsanlagen in dieser speziellen Anwendung. Kunde und Betreiber dieser Anlage ist die Deutsche Telekom Immobilien. Die Anlage hat mittlerweile über 20.000 Stunden Laufzeit akkumuliert.



**Feldversuchsanlage mtu HotModule Brennstoffzelle bei DeTe Immobilien**

- Standort: Innenstadt München
- Test der USV und premium power Eigenschaften
- Nutzung der Wärmeenergie:
  - Klimatisierung Bürogebäude DeTe Immobilien
- Nutzung der Elektroenergie:
  - Wechselspannung 240V Netzeinspeisung
  - Gleichspannung 48V
  - Gleichspannung 67V

## 5. Regenerative und CO<sub>2</sub>-neutrale Energieversorgung

Regenerativ erzeugte Gase weichen in ihrer Gaszusammensetzung erheblichem Maße vom Erdgas ab:

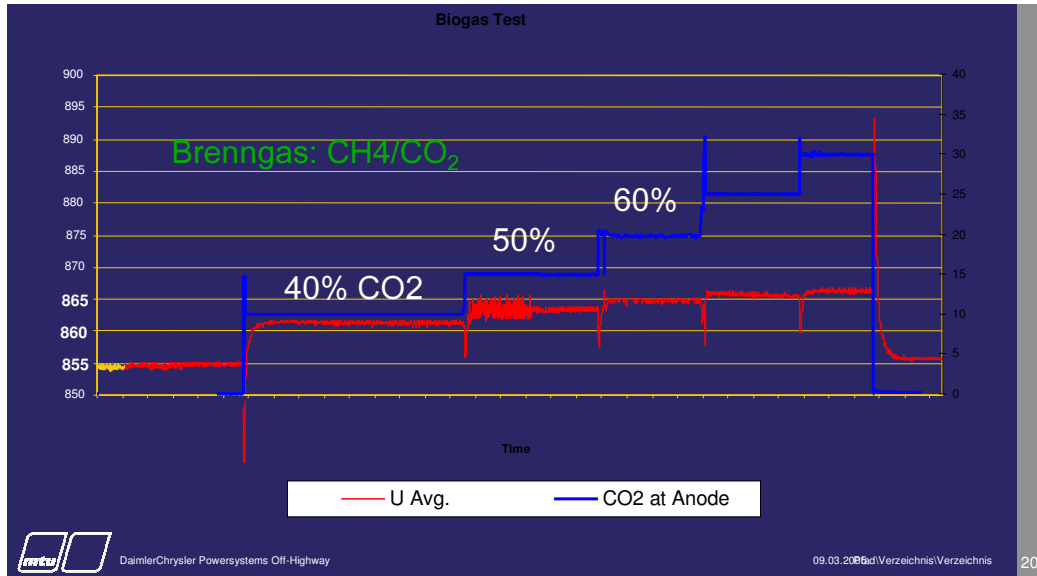
- Fermentatives Biogas: CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub>-Gemische
- Vergasergase (Reststoffverwertung, Holzgas): CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub>/CO/H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> Gemische
- Deponiegas: CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> Gemische

Als Konsequenz verringert sich der Wirkungsgrad und die Leistung von Motoren BHKW's, da z. B. CO<sub>2</sub> für Motoren ein reines Inertgas ist. Gleiches gilt für die verschiedenen Brennstoffzellentypen, da auf der jeweiligen Anodenseite CO<sub>2</sub> ebenfalls ein reines Inertgas ist.

Die einzige Ausnahme stellt die Karbonatbrennstoffzelle da. Hier bleibt der Wirkungsgrad gleich gut wie bei der Verstromung von Erdgas.

Die Ursache hierfür ist in den einzelnen Zellreaktionen zu finden. Auf der Anodenseite fungiert CO<sub>2</sub> wie bei allen Brennstoffzellen als Inertgas. Nach der Anodenreaktion wird das Gas jedoch der Kathode zugeführt, wo aus CO<sub>2</sub> und dem Luftsauerstoff das Karbonat gebildet wird. Bei höherem CO<sub>2</sub>-Angebot läuft dieser Prozess effizienter ab. Der Wirkungsgrad der einzelnen Zelle steigt sogar.

## Die Zellspannung profitiert vom CO<sub>2</sub>-Gehalt des Gases



Andererseits müssen die Gebläse eine größere Gasmenge fördern, wodurch dieser Effizienzgewinn wieder aufgehoben wird. Dennoch ist der gleich gute Wirkungsgrad ein Vorteil verglichen mit schwächeren Wirkungsgraden und Leistungen im Falle der motorischen Verstromung dieser Gase.

Im Falle von CO/H<sub>2</sub> Gemischen erlaubt wiederum die hohe Arbeitstemperatur der Brennstoffzelle die direkte Verstromung wobei CO zellintern mit H<sub>2</sub>O zu H<sub>2</sub> und gewandelt wird.

Da speziell im Bereich der regenerativen Gase ein hoher elektrischer Wirkungsgrad wegen der mangelnden Nutzbarkeit der Wärme von Bedeutung ist eröffnet sich durch die Synergie regenerative und CO<sub>2</sub>-neutrale Gaserzeugung und hocheffiziente Verstromung durch die Brennstoffzelle der Weg in eine neue zukunftsfähige Energieinfrastruktur.

Konkret ergeben sich schon heute folgende Anwendungen für die Verstromung Gasen aus:

- Kläranlagen
- Biogasanlagen



- Deponiegas
- Gase der Abfallverwertung (Entsorgung, industrielle Restgase)
- Industrielle Restgase und Holzgase (Altholzvergasung)



