



# Biowasserstoff-Magazin

## Energie für neues Denken

3. Ausgabe • 17. Dezember 2008  
(Aktualisiert: 16.2.08 | 15.2.09)

### Autotherme Flugstromvergasung - Torsten Pörschke (Aktual. 16.2.08)

#### Das Carbo-V-Verfahren

Unternehmen: CHOREN Industries GmbH,  
D- 09599 Freiberg (Foto: T. Pörschke)

#### Allgemeines

Eines der aussichtsreichen Verfahren zur Herstellung von Wasserstoff aus Biomasse stellt das Vergasungsverfahren der Freiburger Firma Choren Industries GmbH dar. Es besteht aus einem dreistufigen Prozess mit:

- a) Niedertemperaturvergasung
- b) Hochtemperaturvergasung
- c) Endothermer Flugstromvergasung

Bei der Vergasung handelt es sich im Gegensatz zur Verbrennung um einen Prozess, der unter Sauerstoffarmut abläuft. Die dafür benötigten Flugstromvergaser sind bereits im kleinen Maßstab erprobte Anlagen, die von der Firma Technische Apparate Freiberg (TAF) GmbH produziert werden. Dieses Unternehmen ist heute Bestandteil der Choren Gruppe. Zunächst wurde in einer kleinen Versuchsanlage (Alpha-Anlage) der Firma UET GmbH mit einer thermischen Leistung von 3 MW im Jahr 1998 begonnen. Ende 2003 kam dann eine größere Anlage mit 15 MW (Beta-Anlage) hinzu. Im Augenblick wird diese mit einem weite-



Themen in dieser Ausgabe:

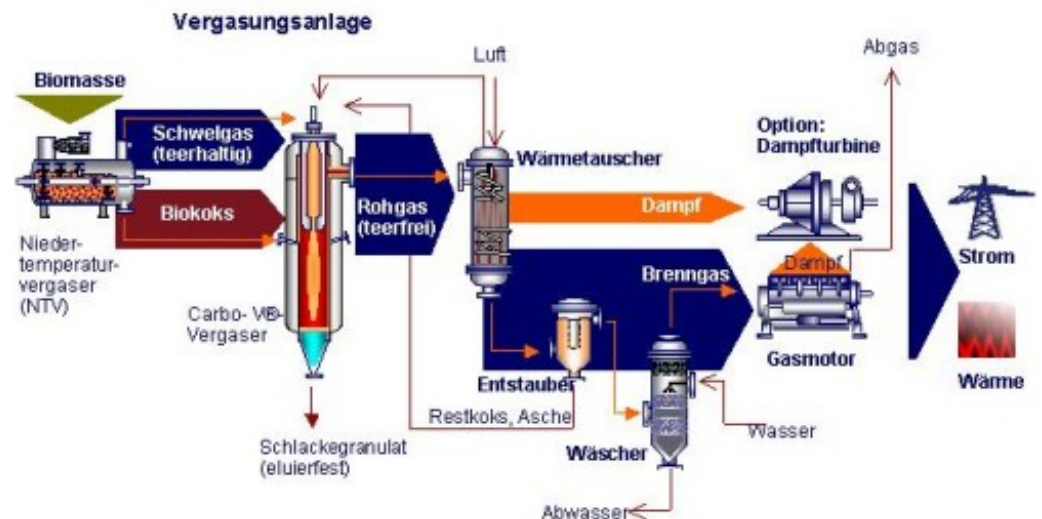
- Autotherme Flugstromvergasung (aktual. 16.2.08)
  - Choren Carbo-V-Prozess
- Rohrleitungstransport - schon vorhandene Wasserstoffleitungen in Europa
- Brennstoffzelle mit Kraft-/Wärmekopplung am Beispiel der Telekom München
- Wasserstoff-Busse II (aktualisiert 15.02.2009)

Impressum: Seite 16

**Bio-Wasserstoff ist aus Biomasse herstellbar und billig! Die Energieausbeute beträgt 90-110 %!**

*Warum es ihn noch nicht gibt? Fragen Sie das die Politiker und Verantwortlichen der Energiekonzerne!*

#### Carbo-V® - Biomassekraftwerk



(Bild mit freundlicher Genehmigung von <http://www.choren.com/de/>) (Fortsetzung auf Seite 2)

**Das sächsische Unternehmen CHOREN, Freiberg, trägt seit Donnerstag, 22. November 2007, offiziell den von der Standortinitiative „Deutschland – Land der Ideen“ verliehenen Titel „Ausgewählter Ort 2007“**

(Fortsetzung von Seite 1)

ren 30 MW- Flugstromvergaser bis April 2008 ergänzt. Für die Errichtung der ersten industriellen Großanlage (Sigma-Anlage) wurde der Standort Schwedt/ Oder ausgewählt. Dort sollen insgesamt 4 Flugstromvergaser mit je 160 MW (th) für die Biomassevergasung sorgen. Mittelfristig sollen vier weitere solche Komplexe an anderen Standorten gebaut werden.

## Der Flugstrom-Vergasungsprozess

### 1. Vorbereitung der Biomasse:

Die angelieferte Biomasse, z.Z. vor allem Holz, wird zunächst für den Prozess aufbereitet. Es erfolgt eine Zerkleinerung in einer Halle, die Restfeuchte des Ausgangsmaterials wird gemessen und soll 15 Volumenprozent nicht überschreiten. Anschließend werden die Hackschnitzel in zwei großen Vorratsilos für die Beta-Anlage eingelagert. Biomasse mit größerer Restfeuchte wird zunächst in einem weiteren Silo zwischengelagert und anschließend mit Hilfe von Wasserdampf getrocknet. Danach wird die getrocknete Biomasse wieder in die dafür vorgesehenen Vorratsilos zurückgepumpt. Langfristig ist vorgesehen, extra angebaute Energiepflanzen für die Vergasung zu nutzen. Im Moment laufen Versuche mit Holz aus Kurzumtriebsplantagen. Hierzu werden schnell wachsende Pappeln und Weiden angepflanzt und mit dem Häcksler nach 2 bis 3 Jahren geerntet. Diese Biomasse weist einen Wassergehalt von bis zu 65 Volumenprozent auf.

### 2. Prozess:

#### a) Niedertemperaturvergasung:

Zunächst wird kleingehäckselte und getrocknete Biomasse (Wassergehalt max. 15 Prozent) über eine Biomasseschleuse in den Niedertemperaturvergaser gegeben. In der ersten Vergasungsstufe entstehen bei 400 bis 500 Grad Celsius ein teerhaltiges Schwelgas und Biokoks.

#### b) Hochtemperaturvergasung:

Das Schwelgas kommt anschließend mit einem Überdruck von 4 bar (bei größeren Vergasern mit mehr als 20 bar) in das Herzstück der Anlage, den Carbo-V-Vergaser. Es wird mit Sauerstoff und Wasserdampf teiloxydiert, um die unerwünschten Kohlenwasserstoffe oberhalb des Ascheschmelzpunktes von ca. 1.400 Grad Celsius vorwiegend in CO und H<sub>2</sub> umzuwandeln. Damit entsteht ein teerfreies Rohgas.

#### c) Endotherme Flugstromvergasung:

Beim anschließenden chemischen Quenschen wird in das heiße Gasgemisch im Carbo-V-Vergaser unterhalb der Brennkammer statt Wasser der von der Niedertemperaturvergasung her vorliegende Biokoks (zu Brennstaub zermahlen) eingeblasen. Die Temperatur des entstehenden Synthesegases sinkt innerhalb von

Einsatzstoff	staubförmig
Aufbereitungsaufwand	Mahlung
Sauerstoffbedarf	hoch
Vergasertemperatur am Rohgasaustritt	hoch (1250-1600°C)
Kohlenwasserstoffzersetzung	vollständig
C-Vergasungsgrad	>95%
Ascheaustrag	Schlacke
Raum-Zeit-Ausbeute	sehr hoch
Regelbarkeit	sehr gut

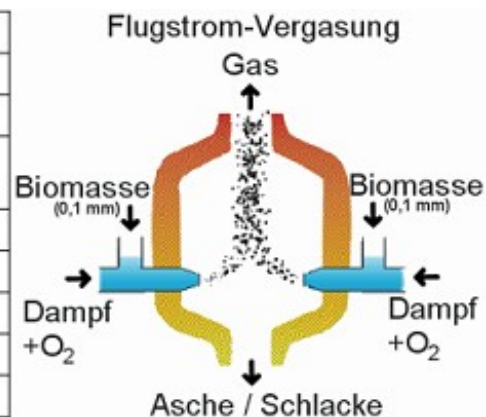


Bild oben: Prinzip Flugstromvergaser-technik

*Ein guter Anfang ist gemacht - die Technologie ist auf dem (richtigen) Weg!*

*Jetzt muss die Infrastruktur für preiswerten Bio-Wasserstoff geschaffen werden.*

*Hier sind die Politiker, die Energieversorger aber auch die Industrie gefordert.*

*Der Bau von Kohlekraftwerken ist umweltschädlich, sinnlos und Geldverschwendung!*

(Fortsetzung auf Seite 3)

(Fortsetzung von Seite 2)

wenigen Sekunden auf ca. 800 Grad Celsius durch die endotherm ablaufende Reaktion.

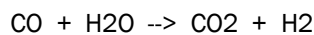
Damit werden sämtliche Biomassereste hauptsächlich zu Kohlenmonoxid und Wasserstoff umgesetzt.

Der Kaltgaswirkungsgrad des Carbo-V-Prozesses wird durch die Firma Choren mit 80 Prozent und der Kohlenstoffumsatz mit 98 Prozent angegeben.

### 3. Nachbereitung:

Anschließend werden das Synthesegas gekühlt (Nutzung für Prozesswärme und Stromgewinnung), noch vorhandene Biokokspartikel ausgefiltert (Rückführung in den Vergaser) und störende Schadstoffe (z.B. Chlor, Schwefel) ausgewaschen.

Bei praktischen Versuchen mit dem Flugstromvergaser enthielt das produzierte Synthesegas je nach Ausgangsmaterial bis ca. 18 Prozent Wasserstoff (H<sub>2</sub>), dazu hauptsächlich Kohlenmonoxid sowie Kohlendioxid und andere Gase in geringer Konzentration. Um die Wasserstoffausbeute wesentlich zu erhöhen, kann nun das Synthesegas einer vollständigen CO-Konvertierung (Stand der Technik) zugeführt werden. Die Umsetzung erfolgt nach der chemischen Gleichung:



Der Prozess verläuft dabei üblicherweise in zwei Stufen unter Anwendung eines auf Eisenoxidbasis arbeitenden Katalysators. Die Hochtemperatur-Shiftstufe erfolgt bei 350 bis 530 Grad Celsius sowie die Niedertemperatur-Shiftstufe bei 180 bis 270 Grad Celsius durch Zugabe von Wasserdampf. Anschließend kann mit einer Druckwechselabsorptionsanlage (PSA ist Stand der Technik) der Wasserstoff vom Kohlendioxid getrennt werden.

Aus dem Flugstromvergaser kommt die Asche der Biomasse, die bei diesem Vergasungsverfahren durch die hohen Temperaturen aufschmilzt. Das ist ein Nachteil, weil somit ein Ausbringen auf die Felder als Mineraldünger nicht möglich ist. Vielleicht ist eine technologische Änderung des Verfahrens dahingehend möglich, um das Problem zu lösen.

### Verschenkte Möglichkeiten

Nach der Vergasung verfügt man über ein wasserstoffhaltiges Synthesegas aus dem leider nun mittels Fischer-Tropsch-Prozess synthetische Kraftstoffe produziert werden bzw. es wird ein Kraftwerksmodul angekoppelt, das mittels Verbrennung des Produktgases in den Gasmotoren eines BHKW Wärme und Strom erzeugt. Beide Varianten sind energetisch gesehen (Stichwort: Gesamtwirkungsgrad) gegenüber der Verwendung des im Verfahren produzierten Wasserstoffs in einer echten Wasserstoffwirtschaft mit dezentraler Energieversorgung durch stationäre und mobile Brennstoffzellen unterlegen. Deshalb sind weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf diesem Gebiet nur auf die Zukunft gerichtet (Stichwort: spätere CO<sub>2</sub>-Entfernung aus der Atmosphäre) sinnvoll. Der Verkauf des Wasserstoffs nach der „Veredelung“ in Form von BtL-Kraftstoff, Strom und Wärme ist ein Irrweg, weil damit der Anteil der Biomasse am gesamten Primärenergieverbrauch weltweit kleingehalten wird.

Das von der Firma angebotene Kraftwerksmodul hat eine thermische Leistung von 30 MW, davon stehen dann 10 MW als elektrische Leistung zur Verfügung. Für die Wärmeverteilung muss bei dieser Art von Wärme-/Kraftkopplung zusätzlich ein Rohrleitungsnetz zu den Verbrauchern gelegt werden, das auch noch einer aufwändigen Isolierung bedarf. Der produzierte Strom muss in die vorhandene Struktur eingepasst werden. Auch hier fallen entsprechende Kosten an. Trotz moderner Technologie bei den Gasmotoren entstehen bei der Verbrennung wieder Kohlenmonoxid und Stickoxide.

Die Anwendung von synthetischen Kraftstoffen im Bereich der Mobilität ist im Prinzip genauso umweltschädlich, wie die bisher aus Erdöl gewonnenen Produkte. Bei der Verbrennung entstehen ähnliche Schadstoffe und das Grundwasser ist beim Transport und Tanken immer gefährdet. Der nachgeschaltete Fischer-Tropsch-Prozess lässt auch Naphta und andere kohlenwasserstoffhaltige Produkte entstehen. Demgegen-

(Fortsetzung auf Seite 4)

**In Deutschland**  
sollen nach dem Willen  
der Regierung weitere  
**25 Kohlekraftwerke**  
neu entstehen...

**Bio-Wasserstoff**  
kann den Einsatz von  
Primärenergien wie  
Kohle, Erdöl und  
Erdgas ablösen!

Die **Technologie**  
**ist verfügbar** -  
man muss sie nur  
anwenden!

**Weg von Kohle,  
Erdöl und Erdgas »  
Hin zum Bio-  
Wasserstoff!**

So schnell wie möglich...

(Fortsetzung von Seite 3)

über erweist sich die direkte Einspeisung des produzierten Wasserstoffs in bereits vorhandene bzw. noch zu bauende Gasleitungen mit dezentraler Wärme-/Stromerzeugung via Brennstoffzellen direkt beim Verbraucher als wesentlich umweltfreundlicher. Als „Abfallprodukt“ entsteht am Ende nur Wasser.

Die Vergasungsanlagen verfügen zur Energiegewinnung für den Carbo-V-Prozess bereits über einen industriellen Erdgasanschluss. Damit sind auch die Kosten für den Anschluss von Flugstromvergäsern als Wasserstofffabrik an das Pipelinenetz sehr gering. In der Beta-Anlage wird zusätzlich in Tankwagen angelieferter reiner Wasserstoff für die FT-Synthese verwendet, damit das Verhältnis von Wasserstoff und Kohlenmonoxid in der Kraftstoffproduktion stimmt.

Die im Moment für die Anlage in Freiberg vorgesehenen Parameter sind nicht darauf eingestellt, eine maximale Ausbeute an Wasserstoff zu erhalten. Durch den Einsatz von trockener bzw. vortrockneter Biomasse fehlt im Reaktorraum eigentlich das Wasser, dass sich dann zusammen mit der Biomasse in Wasserstoff und Kohlenmonoxid umsetzt. Wie führende Mitarbeiter der Firma aber versicherten, lässt sich der Carbo-V-Prozess mühelos auf die Herstellung von Wasserstoff optimieren. Bereits am 11. Juli 2006 wurde zwischen dem kanadischen Unternehmen Expander Energy Inc. und der Choren Industries GmbH ein Vertrag geschlossen, der die Lieferung von Kernkomponenten und weiteren Ingenieursdienstleistungen für eine Carbo-V-Anlage zu einem Preis von 50 Mio. \$CDN beinhaltet. Die notwendige Lizenz für die Technologie wurde erteilt und die Anlage soll ab dem Jahr 2008 dann synthetischen Dieselmotorkraftstoff herstellen. In einer Presseerklärung hieß es dazu, dass dann in der walddreichen Provinz Alberta 10.000 Kubikmeter grüner Wasserstoff aus 10 t Biomasse pro Stunde hergestellt werden können.



Bild mit freundlicher Genehmigung von <http://www.choren.com/de/>

Alle Rechte an diesem Artikel liegen bei Torsten Pörschke, Pirna - Nutzung bzw. Veröffentlichung nur nach vorheriger schriftlicher Zustimmung durch den Autor. Anfragen bitte an: [kontakt@bio-wasserstoff.info](mailto:kontakt@bio-wasserstoff.info)

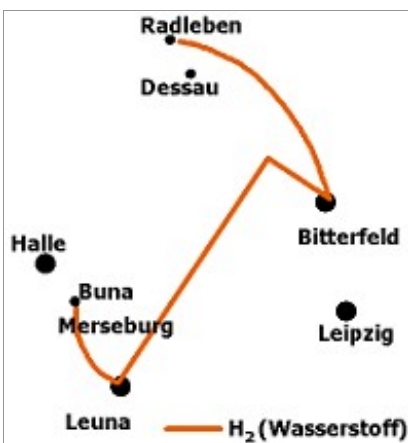
>> Dieser Beitrag wurde am 16. Februar 2008 aktualisiert

## Rohrleitungstransport - Torsten Pörschke

### Wasserstoff in Rohrleitungen - eine fixe Idee?

Was ist eigentlich so umwerfend neu an dem Vorschlag, Wasserstoff durch ein Rohrleitungssystem zum Endverbraucher zu transportieren? Nichts, absolut gar nichts. Die Sache ist uralte und manchmal sollten wir uns ja von unseren klugen Ahnen doch etwas abschauen. Bereits 1938 wurde die Rhein-Ruhr-Pipeline in Betrieb genommen und sie existiert heute noch. Das ist der lebende Beweis dafür, dass Wasserstoff durch Rohre zu uns nach Hause kommen kann.

Wer jetzt noch weitere Argumente braucht, der kann sie prompt bekommen. In Europa gibt es zur Verbindung von Chemiestandorten mehrere solche Netzwerke. Hier sollen nur die drei größten eine Erwähnung finden. Die Firma Air Liquide betreibt ein Pipeline-System mit insgesamt 966 km, die Standorte in Belgien, den Niederlanden und Frankreich miteinander verbindet (Grafik ganz unten). Der Dinosaurier Rhein-Ruhr-Pipeline ist 240 km lang (Grafik rechts) und die Firma Linde hat in Sachsen-Anhalt die modernste Version aufgebaut. Im Raum Leuna-Merseburg wurden bisher 100 km Rohrleitungen dafür verlegt (Grafik links).



Es gibt kein stichhaltiges Argument, warum die bereits in Deutschland (und in anderen Ländern) verlegten Erdgasversorgungsleitungen nicht für den Transport von Wasserstoff zum Verbraucher geeignet sein sollen. Bereits über 50 Prozent der privaten Haushalte und die meisten Industriekunden hierzulande verfügen über einen solchen Anschluss. Das hilft in der Zukunft Kosten sparen, wenn die echte Wasserstoffwirtschaft eingeführt wird. Auch für die Übergangsphase auf die Brennstoffzellentechnik ist das von großem Vorteil, weil die bereits beim Verbraucher vorhandenen Gasheizgeräte durch Austausch der Brennerdüsen weiter verwendet werden können. Stadtgas hatte früher einen Wasserstoffanteil von 50 bis 60 Prozent und wurde ebenfalls über das jetzt für Erdgas weiter genutzte Rohrleitungssystem im Mittel- und Niederdrucknetz transportiert. Große Fernleitungen im Hochdrucknetz lassen sich

gegen Versprödung des Rohrmaterials durch den Wasserstoff ohne großen Aufwand nachrüsten. Die Verbrennung von Wasserstoff zu Heizungszwecken im Keller ist technisch gesehen kein Problem. Damit deutet sich schon an, dass niemand extrem hohe Zusatzkosten beim Übergang in die Wasserstoffwirtschaft haben wird. Die in Entwicklung befindlichen Brennstoffzellen für Privathaushalte sollen ab dem Datum der



Markteinführung nicht teurer sein, als die jetzt verkauften Gasheizkessel. Das ist erklärtes Ziel der Industrie. Aber halt - darüber wird in einer der nächsten Ausgaben berichtet.

Alle Rechte an diesem Artikel liegen bei Torsten Pörschke, Pirna

©Copyright Grafiken: Manfred Richey

Nutzung bzw. Veröffentlichung nur nach vorheriger schriftlicher Zustimmung.

Anfragen bitte an: kontakt@bio-wasserstoff.info

*Die Energiekonzerne fürchten die Nutzung der Erdgasleitungen für Wasserstoff jedoch ungefähr so, wie der Teufel das Weihwasser fürchtet.*

## Brennstoffzellen - Torsten Pörschke

### Brennstoffzellen sind Arbeitsbienen

#### Gerüchte und Realität

Egal was über die Brennstoffzellentechnologie auch immer so landläufig gedacht wird, ihr steht eine große Zukunft bevor. Sie wird einer der zentralen Bausteine für eine völlig veränderte Energiewirtschaft sein. Gerüchte gibt es immer wieder darüber, dass die Technik noch lange nicht marktfähig ist und eine viel zu geringe Lebensdauer aufweist. Anhand des Einsatzes einer Schmelzkarbonat-Brennstoffzelle (MCFC-BZ) der Firma CFC Solutions soll hier gezeigt werden, welches Potential bereits heute vorhanden ist.



Die Deutsche Telekom hat im Juli 2007 in einem der größten Rechenzentren von T-Systems in München mit der Inbetriebnahme einer MCFC-Brennstoffzelle mit einer elektrischen Leistung von 250 kW einen sehr weitreichenden Schritt getan, um zukünftig die Energieversorgung des Unternehmens mit Strom und die Kühlung der Computertechnik umweltfreundlich zu gestalten. Hier soll zunächst erprobt werden, ob sich die Brennstoffzelle unter vollen Lastbedingungen bewährt. *Bild oben:* Brennstoffzellen im Rechenzentrum T-Systems im Euro-Industriepark, mit freundlicher Genehmigung von CFC Solutions - <http://www.cfc-solutions.com>.

#### Kraft-Wärmekopplung auf höchstem Niveau

Damit die Anlage klimaneutral gefahren werden kann, kommt als Energieträger Biogas zum Einsatz. Dieses wird aus Futtermais in einer Anlage in Pliening gewonnen und in das Erdgasnetz der Stadtwerke München eingespeist. Für die Versorgung der Brennstoffzelle sind 1,2 Quadratkilometer Ackerfläche notwendig. Aus dem Biogas wird zunächst Wechselstrom hergestellt, der einen der Serverräume am Rechenzentrum versorgen kann. Allein der elektrische Wirkungsgrad der Anlage beträgt nahezu 50 Prozent. Da die Brennstoffzelle eine Arbeitstemperatur von 650 Grad Celsius hat, entsteht gleichzeitig eine Abwärme auf einem Temperaturniveau von 400 Grad Celsius. Durch den Anschluss einer Absorptionskälteanlage mit einer Dauerleistung von 180 kW kann die Abwärme zur Kühlung der Anlagen des Rechenzentrums genutzt werden. Nach Firmenangaben des Betreibers wird dadurch ein Gesamtwirkungsgrad von 90 Prozent erreicht. Die Brennstoffzelle läuft im Dauerbetrieb rund um die Uhr. Das eigentlich interessante daran ist aber, dass das öffentliche Stromnetz jetzt nur noch einspringt, wenn die Anlage einen Defekt hat. Die Deutsche Telekom vertraut offenbar so sehr auf die Zuverlässigkeit und Langlebigkeit der Brennstoffzelle, dass durch sie allein die unterbrechensfreie Stromversorgung der Computersysteme gewährleistet werden soll. Das ist eine kleine technische Sensation.



*Bild oben:* HotModule - mit freundlicher Genehmigung von CFC Solutions (<http://www.cfc-solutions.com>)

#### Langzeittest bereits erfolgreich

Nicht von ungefähr kommt der Konzeptwechsel bei der Stromversorgung der Serversysteme des Kommunikationsanbieters. Bereits mehrere solcher Anlagen der Firma CFC Solutions laufen an verschiedenen Standorten einwandfrei. Als Beispiel soll hier nur die am 8. Juli 2003 in Betrieb genommene Brennstoffzelle am Kreiskrankenhaus in Grünstadt genannt werden. Das System wurde bis Anfang 2007 eingesetzt und erreichte eine Lebensdauer von 27.000 Betriebsstunden. Die HotModule HM 300 haben sich bisher als sehr zuverlässig erwiesen und sind in der Praxis zu 98 Prozent verfügbar. Das Ziel des Herstellers ist es, demnächst 40.000 Betriebsstunden zu erreichen. Dazu wurde die Brennstoffzelle in Grünstadt demontiert und zur Durchsicht ins Herstellerwerk gebracht. Dort wird sie mit einem neuen Stack (Brennstoffzellenstapel) ausgerüstet und erhält eine nachgeschaltete ORC-Anlage.

(Fortsetzung von Seite 6)

Durch die zusätzliche Nutzung der Abwärme für die Stromgewinnung steigt der elektrische Wirkungsgrad.

Letztes Jahr übertraf eine Brennstoffzelle des Typs HotModule HM 300 den bis dahin gültigen Rekord für MCFC-BZ von 21.000 Betriebsstunden. Sie wurde nach genau 30.018 Stunden abgeschaltet. Sie steht in der Otto-von-Guericke-Universitätsklinik in Magdeburg. Durch den modularen Aufbau der MCFC-Zelle reichte es aus, den alten Brennstoffzellenstapel der Anlage zu tauschen und sie wieder in Betrieb zu nehmen.

Die Auskopplung der Wärme auf einem hohen Temperaturniveau macht diese Bauart von Brennstoffzellen zu einem idealen System nicht nur für Krankenhäuser, sondern auch für Klärwerke, ITK-Unternehmen, die Lebensmittelindustrie und die verarbeitende Industrie.

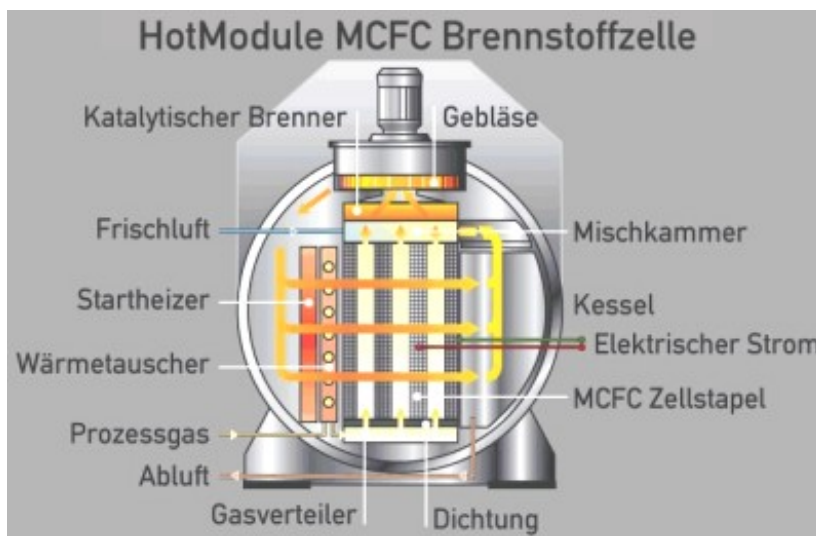


Bild oben: Die Technik des HotModules. Alle heißen Teile sind in einem gemeinsamen Gehäuse integriert - das kommt dem Wirkungsgrad zugute. Mit freundlicher Genehmigung von CFC Solutions.

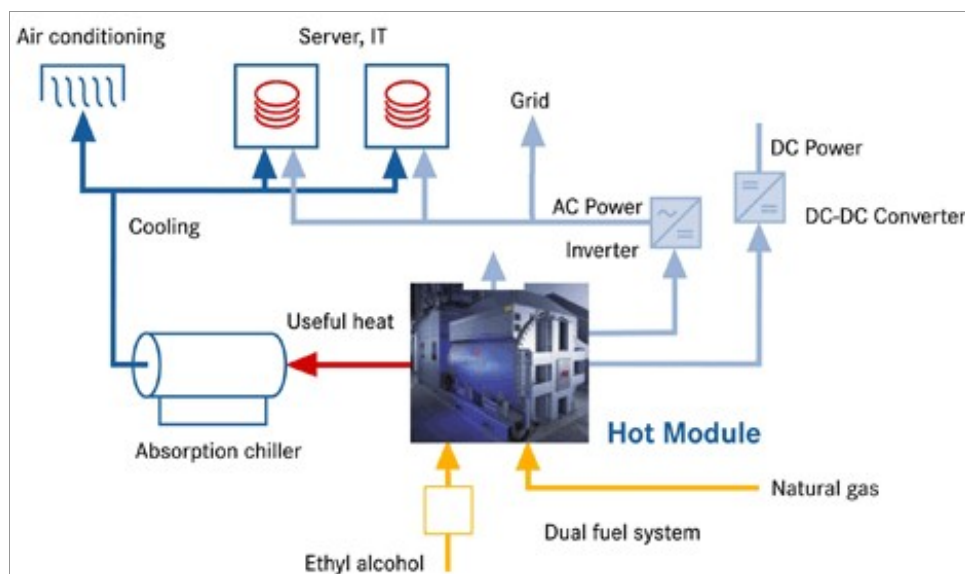


Bild oben: Beispieldarstellung HotModule - mit freundlicher Genehmigung von CFC Solutions

Die  
**Brennstoffzellen-  
Technik**  
ist vorhanden und  
reif für den  
**Serieneinsatz** -  
in Firmen, Häusern,  
Autos, und... und...

Jetzt muss die  
**Infrastruktur** für  
preiswerten **Bio-  
Wasserstoff**  
geschaffen werden -  
möglichst schnell!

(Fortsetzung auf Seite 8)

(Fortsetzung von Seite 7)

An dieser Stelle soll auch noch ein anderes Beispiel für das Potential der BZ-Technik aufgezeigt werden. Die Stadtwerke Saarbrücken betreiben seit dem 10. April 1997 im Stadtteil Nachtweide eine phosphorsaure Brennstoffzelle (PAFC) des Herstellers UTC Power (USA; früher Firma ONSI) in Form eines BZ-Kraftwerkes mit Kraft-/Wärmekopplung. Die PC 25 C (Containergröße 5,5 x 3,0 x 3,0 m) versorgt dort 400 Wohnungen mit elektrischem Strom und 125 Wohnungen mit Wärme. Die Brennstoffzellenstapel haben mittlerweile fast 50.000 Betriebsstunden hinter sich. Den Rekord hält eine Anlage dieses Typs für die Energieversorgung der Polizeistation Central Park in New York City, die bis zu ihrer Modernisierung 62.000 Stunden durchhielt. Bei dieser zuverlässigen PAFC handelt es sich um die weltweit erste serienmäßig produzierte Brennstoffzelle, von der mittlerweile mehr als 250 Stück in 19 Ländern der Erde im Einsatz sind. Die Firma kann auf eine Betriebserfahrung mit dem System von weit über 6 Mio. Stunden zurückblicken. Die Arbeitstemperatur der PAFC liegt bei 200 Grad Celsius, dadurch bietet sich die Auskopplung von Wärme geradezu an. Diese wird dann über verlegte Fernwärmeleitungen in die Haushalte geliefert.

### Ausblick

Im Moment werden die meisten größeren stationären Brennstoffzellen noch mit Erdgas oder gereinigtem Biogas (Methangas) versorgt. Zunächst muss der Betriebsstoff über einen Reformier umgewandelt werden, damit die BZ betrieben werden kann. Vereinfacht ausgedrückt macht man aus dem ankommenden Methangas erst Wasserstoff vor Ort und nutzt diesen dann in der BZ. Dabei muss das Erdgas erst auf über 800 Grad Celsius erhitzt werden. Im Dampfpreformer entstehen dann H<sub>2</sub>, CO und CO<sub>2</sub>. Anschließend wird in der ILS-Einheit das CO bei 300 Grad Celsius vollständig in H<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Diese Umständlichkeiten führen, wie auch bei der beschriebenen Telekom-BZ-Anlage, zu höheren Kosten bei der Produktion der Brennstoffzelle und zu einem zusätzlichen Energiebedarf für die Dampfpreformation. Es ist für jeden einleuchtend, dass aus Biomasse hergestellter Wasserstoff, der direkt per Rohrleitung zum Verbraucher transportiert und unmittelbar in Strom, Wärme und Kälte umgewandelt wird, viel ökonomischer ist. Ob die Erhöhung des elektrischen Wirkungsgrades der BZ in jedem Fall sinnvoll ist, steht auf einem anderen Papier. Der Einsatz in einem Gebäude eröffnet auf jeden Fall immer die Chance, neben der Abdeckung des Strombedarfs auch die Klimatisierung der Räume sicherzustellen.

Die Lebensdauer der Brennstoffzellen der Firma UTC Power soll mittlerweile bei 80.000 Betriebsstunden liegen, das entspricht 10 Jahren Dauerbetrieb. Auch die deutschen Firmen CFC Solutions und Siemens streben solche Werte bei ihren Produkten an.

Wie das Beispiel der Brennstoffzelle in Saarbrücken zeigt, lässt sich der Bau von dicken, isolierten und teuren Fernwärmeleitungen zu den einzelnen Verbrauchern eigentlich vermeiden, da Strom und Wärme auch in den einzelnen Häusern selbst in kleineren Anlagen erzeugt werden kann. Für größere Gebäude und für die Industrie dürften dann modulare Anlagen mit MCFC-BZ sinnvoll sein.

Strom wird bei dieser wärmegeführten Energiewirtschaft im Überfluss vorhanden sein. Deshalb kann ein Teil des erzeugten Stroms für Heizzwecke verwendet werden - effektiver kann man Energie wohl nicht ausnutzen. Die bisherige Form der Wärme-/Kraftkopplung mit Bindung an ein Stromnetz ist nicht besonders schlau. Strom muss sofort verbraucht werden, sonst geht er unweigerlich verloren. Brennstoffzellen lassen sich innerhalb von Sekunden in Betrieb setzen und verbrauchen nur dann den Wasserstoff, wenn ein Verbraucher (Haushalt, Firmengebäude, Fabrikhalle) Wärme/Kälte und Strom benötigt. Vielleicht haben wir da ja auch nur etwas übersehen. Gern lassen wir uns vom Gegenteil überzeugen. Also wenn jemand gute Argumente für die bisherige KWK-Lösungsvariante hat... einfach melden.

Alle Rechte an diesem Artikel (Text) liegen bei Torsten Pörschke, Pirna.  
Nutzung bzw. Veröffentlichung nur nach vorheriger schriftlicher Zustimmung.  
Anfragen bitte an: kontakt@bio-wasserstoff.info

©Copyright Bilder: CFC Solutions (<http://www.cfc-solutions.com>)

**Gute Ansätze - aber jetzt muss die Versorgung mit preiswertem Bio-Wasserstoff auf den Weg gebracht werden. Hier sind Politik und Industrie gleichermaßen gefordert. Langfristige Strategien anstelle kurzfristigem Profitdenken sind angesagt. Wir dürfen die Zukunft nicht verschlafen - Bio-Wasserstoff anstelle Kohle-Kraftwerke!**

## Wasserstoff-Busse II - Torsten Pörschke

### Wasserstofftechnik zum Anfassen

#### Kennzeichen D

Viele Köche verderben den Brei. Betrachten wir die Angelegenheit ganz sachlich, dann ist das auch heute noch so. Die Geschichte des Wasserstoffs im Verkehrsbereich belegt, dass es national keinen Chefkoch gibt, dafür aber viele Küchen, in denen es geheimnisvoll brodelt. Gedacht, entwickelt und ausprobiert wird regional. Förderprogramme gibt es meist nur auf der Ebene der Bundesländer. Misstrauisch beobachtet man sich gegenseitig, damit die "wertvollen technologischen Erfahrungen" nicht in die Hände der anderen gelangen. Bayern, Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen sowie die Stadtstaaten Hamburg und Berlin haben bisher ihre eigenen Initiativen im Bereich der Mobilität mit Wasserstoff gestartet. Das alles erinnert stark an die Kleinstaaterie im Mittelalter, mit Ausnahme eines EU-Projektes. Doch lassen wir uns zunächst von der Dynamik eines Theaterstückes hinreißen.

#### Erster Akt des Dramas: Der Strom betritt die Bühne

Bereits im Jahr 1969 stellte die Firma Mercedes Benz einen umgebauten Stadtlinienbus vom Typ OE 302 auf der IAA in Frankfurt vor. Der eingebaute Gleichstrom-Fahrmotor erreichte 115 kW als Dauerleistung und eine Spitzenleistung von 150 kW. Im Fahrzeug waren fünf Batterieblöcke mit einer Kapazität von 91 kWh untergebracht. Die verwendeten Bleibatterien wogen 3,5 t und im Linienbetrieb konnten damit 55 km zurückgelegt werden. Zusätzlich war ein 48 kW Dieselmotor im Heck eingebaut, der in Stadtrandgebieten zugeschaltet werden sollte. Über einen Generator konnten so die Batterien aufgeladen werden. Zur Energierückgewinnung wurde damals schon eine elektrische Bremse eingesetzt.

Sein Nachfolger OE 305, ein elektrischer Hybridbus, wurde 1978 auf der Handelsmesse „transport 78“ vorgestellt. Der technische Aufbau war prinzipiell gleich, die Batterien hatten je nach Ausführung der Busse ein Gewicht von 2 bis 3,5 t und als Zusatzantrieb wurde ein 74 kW Dieselmotor genutzt.

Ein zweiter Hybridbus wurde 1979 vorgestellt, der Duo-Bus. Hierbei handelte es sich um einen O-Bus vom Typ O 305 mit integriertem Dieselmotor. Eingesetzt wurde das Fahrzeug im Linienbetrieb zunächst in Esslingen. Erste Erprobungen liefen bereits 1975 an. Die ersten Exemplare der Baureihe hatten anstelle des Dieselmotors noch Speicherbatterien. Von dem Modell wurden insgesamt 25 Fahrzeuge in den Städten Stuttgart, Esslingen und Wesel eingesetzt. Sie legten zusammen mehr als 1,3 Mio. Kilometer zurück. Der nächste Schritt erfolgte mit dem O 305 GTD im Jahr 1984. Von diesem O-Bus mit Dieselmotor legte man eine Kleinserie auf. Seine Nachfolger O 305 GTD und O 405 GTD (ab 1986) kamen in größeren Stückzahlen in Europa und Südamerika zum Einsatz.

Der nächste Diesel-Hybridbus, diesmal mit Radnabenmotoren, war der "Pink Panther". Er wurde im Jahr 1994 fertig gestellt, blieb aber ein Einzelexemplar. Seine Weiterentwicklung führte zum O 405 GNTD, der bei einige Präsentationen in Esslingen eingesetzt und schließlich für einen Probetrieb an die Verkehrsbetriebe in Zürich (Schweiz) von 1997 bis 1999 übergeben wurde. Weitere Bestellungen konnten nicht mehr angenommen werden, da sich der Produzent jetzt auf den Brennstoffzellenbus konzentrierte.

Ein weiteres Pilotprojekt mit 17 dieselelektrischen Gelenkbussen O 405 GNDE und zwei dieselelektrischen Solobussen führten die SSB (Stuttgart) von 1997 bis 2003 durch. Die Fahrzeuge fuhren auf der Linie 42. Die eingebauten Radnabenmotoren wurden über einen Dieselmotor mit Strom versorgt. Der Test diente der Vorbereitung des Einsatzes der zukünftigen Brennstoffzellenantriebe. Allerdings gab es noch diverse technische Probleme, die zu einem Aus für die meisten Fahrzeuge im Jahr 2001 führten.

Mercedes-Benz produzierte von 1999 bis 2003 den städtischen Kleinbus Cito in Serie. Dieser hatte ein diesel-elektrisches Antriebssystem ohne Zwischenspeicher für Energie. Der Dieselmotor kam auf eine Leistung von 130 kW und auch hier wurde ein Generator zum Antrieb der Elektromotoren genutzt. Der Verbrennungsmotor musste während des Betriebes permanent laufen.

Auch andere deutsche Firmen beschäftigten sich mit Hybridsystemen. Das im Jahr 1980 gegründete Unternehmen Magnet-Motor entwickelte bis zum Jahr 1994 hochkompakte Fahrzeugkomponenten für den

(Fortsetzung auf Seite 10)

(Fortsetzung von Seite 9)

Antrieb zur Serienreife. Spezialität waren drehmoment- und leistungsstarke elektrische Dauermagnetmaschinen und Elektronikkomponenten. Diese wurden dann zu kompletten Antriebsystemen, wie z.B. elektrischen Radantrieben für Omnibusse zusammengesetzt. Über 60 Busfahrzeuge waren bzw. sind mit diesen Systemen ausgerüstet, die viele hunderttausend Betriebsstunden im Liniendienst hinter sich haben. Die Münchener Verkehrsbetriebe nutzten als erste einen mit MM-Komponenten ausgestatteten Diesel-Hybridbus. Der Energiespeicher ermöglichte einen rein elektrischen Betrieb über mehrere Kilometer und die Bremsenergie wurde zusätzlich zurück gewonnen.

Die Gemeinde Oberstdorf startete ein Gesamtprojekt, um den ÖPNV besonders umweltfreundlich zu machen. Dabei kamen von August 1992 bis Dezember 1996 völlig neue Elektrobusse mit Ni-Cd-Batterien bzw. ab Januar 1997 ein Diesel-Hybridbus der neuesten Generation in einem Ringverkehr zwischen den Auffangparkplätzen und dem Ortszentrum zum Einsatz. Der Energiebedarf dafür kam aus einer örtlichen Wasserkraftanlage und der damals bayernweit größten kommunalen Solaranlage.

Der Prototyp des Modells O 405 NÜH der Fa. Neoplan war mit einem Radnabenantrieb, Speicherbatterien aus Natrium-Nickel-Chlorid mit einem Gewicht von 800 kg, einem System zur Rückgewinnung von Bremsenergie und einem Euro-2 Dieselmotor ausgerüstet, der zwischen den Ortschaften in Betrieb genommen wurde. Oberstdorf, Sonthofen und Kempten bediente man mit dem neuen Bus im Liniendienst. Das vom Bayerischen Umweltministerium initiierte Projekt sollte die Tourismusregion Oberallgäu von Lärm und Abgasen entlasten. Rein elektrisch konnte das Fahrzeug 10 km zurückgelegt werden. Nach jeder Stadtfahrt wurden die Batterien mit dem Dieselmotor wieder aufgeladen.

Trotz aller Anstrengungen gelang damals der große Sprung nicht. Im Jahr 1998 wurde die Fa. Proton Motor Fuel Cell GmbH (u.a. aus der Fa. Magnet Motor hervorgehend) gegründet. Die Entwicklungsarbeiten konzentrierten sich jetzt auf die Brennstoffzelle als das Schlüsselement eines vollelektrischen Antriebsystems. Das Wissen wurde in den Bau des Neoplan N 8008 FC eingebracht, der am 14. Oktober 1999 der Öffentlichkeit vorgestellt wurde. Das Fahrzeug sollte für zwei Jahre im Liniendienst des Regionalverkehrs Allgäu und der Marktgemeinde Oberstdorf eingesetzt werden. Aus regenerativem Strom hergestellter Wasserstoff war für den Betrieb vorgesehen, doch das Projekt wurde nie realisiert. Offenbar waren die Kosten für das gesamte Projekt in Höhe von 10 Mio. DM, davon allein 2 Mio. DM für den Bus, nicht zu tragen.

Heute entwickelt MAN mit dem Partner Siemens A&D im Rahmen des IDEAS-Projektes (Innovativer diesel-elektrischer Hybrid-Antrieb für Stadtbusse) Hybrid-Antriebsysteme mit Dieselmotoren für den innerstädtischen Einsatz. Seit 2007 sind zwei so ausgerüstete Busse in Nürnberg im Test.

Für 2009 hat Mercedes-Benz nun einen serienreifen Diesel-Hybridbus angekündigt. Die Fa. NEOMAN sieht die Hybridtechnik im eigenen Haus für das Jahr 2010 marktfähig. Zwischen dem ersten Modell und dem Citaro Hybrid liegen jetzt fast 40 Jahre.

### **Zweiter Akt des Dramas: Heiße Leidenschaft**

Das erste Wasserstofffahrzeug der Welt war ein Mercedes-Benz City-Bus, ausgerüstet mit einem Hybrid-Speicher. Fertig gestellt wurde er 1977. Die äußerere Gemischbildung erfolgte über ein Saugrohr und das homogene Wasserstoff-Luftgemisch wurde in die Brennräume des Motors eingeblasen.

Im Mai 1996 kam zum ersten Mal in Deutschland ein Wasserstoffbus mit Verbrennungsmotor zum ÖPNV. Es war ein Stadtlinienbus der Fa. MAN vom Typ SL, der Flüssigwasserstoff nutzte und über eine Motorleistung von 140 kW verfügte. Er wurde in der Stadt Erlangen im Liniendienst eingesetzt und im April 1997 nach 13.500 km an die Stadt München übergeben. Dort fuhr der Bus bis August 1998 weitere 28.500 km im normalen Dienst. Seine Reichweite im praktischen Einsatz betrug ca. 140 km.

Das Projekt ARGEMUC stellte die konsequente Fortsetzung der Erprobung der Technik dar. Bereits 1997 wurden am Flughafen München die ersten Arbeiten zur Errichtung einer Wasserstofftankstelle begonnen. Zu Beginn des Jahres 1998 standen schon zwei MAN-Niederflurgelenkbusse mit Verbrennungsmotor (140 kW) für den Crewtransport bereit. Dazu kam noch ein Niederflurgelenkbus der Fa. Neoplan. Bald wurde der normale Shuttlebetrieb mit Passagieren auf dem Flughafengelände aufgenommen. Dabei leg-

(Fortsetzung auf Seite 11)

*Wasserstoffbusse sind umweltfreundlich und sauber!*

(Fortsetzung von Seite 10)

ten die drei Busse über 450.000 km zurück. Nach fünf Jahren Betrieb mit Flüssigwasserstoff erfolgte der Umbau der Tankstelle auf gasförmigen Wasserstoff. Ein Bus des Projektes mit VBM wird seit August 2005 im öffentlichen Nahverkehr rund um den Flughafen München genutzt.

Der Neoplan Centroliner wurde 2005 zurückgezogen. Die Fa. Neoplan ist in der NEOMAN-Unternehmensgruppe aufgegangen. Seither gab es keine eigenständigen Wasserstoffentwicklungen mehr. Der damals für das Wasserstoffprojekt ARGEMUC am Münchner Flughafen gebaute Niederflrbus hatte einem 2,5 l BMW-Sechszylindermotor, einen hybrid-elektrischen Antrieb in Verbindung mit magnetdynamischem Speicher (Flywheel) sowie 4 Radnabenmotoren.

Im Mai 2004 lieferte die Fa. MAN einen Bus mit Verbrennungsmotor (140 kW) an die BVG (Berliner Verkehrsgesellschaft) aus. Dieser nutzte ebenfalls gasförmigen Wasserstoff von der neu gebauten Tankstelle in Berlin-Spandau (TOTAL). Zur Strom- und Wärmeerzeugung wurden dort auch zwei stationäre Brennstoffzellen installiert. Auch Flüssigwasserstoff kann an dieser Tankstelle abgegeben werden. Das Testfahrzeug wurde im Linienverkehr eingesetzt und diente zum Sammeln weiterer Erfahrungen.



MAN Lion's City Wasserstoffbus mit Verbrennungsmotor (Bild: Torsten Pörschke)

Die ersten neu entwickelten MAN-Busse mit Wasserstoff-VBM vom Typ „Lion's City“ erhielt die BVG im Juni 2006. Die beiden gelieferten Fahrzeuge wurden bereits zur Fußball-WM für den Personenverkehr genutzt. Mittlerweile sind alle vier Fahrzeuge mit dem Saugmotor ausgeliefert und es laufen dieses Jahr noch einige Exemplare mit dem neuen leistungsstärkeren Turbomotor (200 kW) zu. Insgesamt kommen in Berlin erst einmal 14 Busse im Rahmen des europäischen Projektes Hyfleet/CUTE zum Einsatz. Der Einsatz im Linienverkehr soll bis zum Jahr 2009 laufen. Ein extra in die Tankstelle integrierter Flüssiggasreformer wird den zu tankenden gasförmigen Wasserstoff liefern.

(Fortsetzung auf Seite 12)

**Bei Wasserstoffbussen hat die ‚saubere‘ Zukunft schon begonnen!**

(Fortsetzung von Seite 11)

Die Kosten für die Busse mit Wasserstoff-VBM liegen derzeit mit 360.000 Euro um fast 80.000 Euro über denen herkömmlicher Dieselsebusse. Allerdings erwartet man, dass diese in den nächsten drei Jahren auf 15.000,- bis 20.000,- Euro sinken. Die BVG möchte eine größere Flotte dieser Fahrzeuge in Dienst stellen. Hierzu wurden Pläne für die Beschaffung von 100 bis 250 Stück bereits öffentlich. Mit dem Wasserstoff-Verbrauch zeigte sich die BVG bisher zufrieden. Die Motoren erzielen gute Wirkungsgrade im Bestpunkt (30 Prozent der Saugmotor; 40 Prozent der Turbomotor). Technisch gesehen hat man keine großen Probleme im Betrieb. Als treibender Faktor der Entwicklung werden die lokal sehr günstigen Bezugskonditionen für Wasserstoff genannt. TOTAL Deutschland bietet Wasserstoff aus dem Nebenprodukt Butan aus seiner Raffinerie in Leuna an.

### **Dritter Akt im Drama: Erleuchtung**

Die bisher vorgestellten Evolutionsschritte im Antriebsbereich wurden durch den Einsatz von Brennstoffzellen gekrönt. Im Jahr 1997 stellte die Fa. Evobus den ersten im eigenen Land gebauten Prototypen vor. Der NEBUS besaß keine Speichersysteme und war nicht als Hybrid ausgelegt. Dafür hatte er anstelle der Batterien Brennstoffzellen (250 kW, elektrischer Wirkungsgrad 55 %) und Gastanks für den Wasserstoff an Bord. Die Kraftübertragung erfolgte durch einen elektrischen Radnabenantrieb. Die Bremsenergie wurde von diesem als Generator (Motorbremse) aufgenommen und über wassergekühlte Bremswiderstände auf dem Dach an die Luft abgegeben. Die Drehstrom-Asynchron-Motoren waren wartungsarm und luftgekühlt. Zunächst setzten die Verkehrsbetriebe in Mannheim das Fahrzeug ein. Die Öffentlichkeit konnte den NEBUS auf dem Weltkongress für Personen-Nahverkehr (UITP) im Juni 1997 in Stuttgart testen. Dieser Niederflur-Stadtlinienbus des Typs O 405 wurde in den folgenden Jahren auf "Welttournee" geschickt. Er kam in der Vorweihnachtszeit vom 7. bis 22. Dezember 1999 in der Hamburger Innenstadt als Weihnachtsshuttle daher. Getestet wurde er u.a. auch in Oslo, Perth, Melbourne, Mexico Stadt und Sacramento. Dabei stellte er seine Alltagstauglichkeit unter Beweis. Immerhin konnten bis 80 km/h erreicht werden und die Reichweite mit einer Tankfüllung lag bei 250 km.

In der Zwischenzeit wurde auch sehr angestrengt beim Hersteller MAN an einem Brennstoffzellenantrieb gearbeitet. Im Mai 2002 stellte man einen Niederflur-Bus vor, der mit gasförmigen Wasserstoff (CGH<sub>2</sub>) fahren konnte. Die Brennstoffzelle kam von Siemens (120 kW, NT-PEFC), hatte allerdings keine Zwischenspeicher. Zunächst wurde er im Juni 2000 der BVG überlassen, die ihn zur EXPO im Juni 2000 auf der Linie Flughafen Tegel zum Bahnhof Zoo einsetzten. Die VAG Nürnberg erprobte den Bus ab Oktober 2000 für rund sechs Monate im Liniendienst. Insgesamt legte der Prototyp rund 8.000 km in den Städten Nürnberg (Linie 36 und 68), Erlangen und Fürth zurück. Die Projektkosten beliefen sich auf 13 Mio. DM einschließlich der Tankstelle im VAG Betriebshof Schweinau und wurden je zur Hälfte von MAN und vom Freistaat Bayern getragen. Im Betrieb wurden Reichweiten von 250 km erreicht. Die Betankung dauerte noch 30 Minuten.

Der weltweit erste seriennahe Prototyp eines Brennstoffzellenbusses wurde Ende 2001 im kanadischen Vancouver von der Firma Evobus vorgestellt. Es handelte sich um einen Mercedes-Benz Citaro. Anschließend wurde eine Kleinserie dieses Busses aufgelegt. Mittlerweile sind insgesamt 37 Fahrzeuge geliefert worden. Dabei handelte es sich neben dem Prototypen um die Vertragsbusse (je drei Stück) für die Städte Amsterdam, Barcelona, Hamburg, London, Luxemburg, Madrid, Porto, Stockholm, Stuttgart (alle CUTE-Projekt), Reykjavik (ECTOS-Projekt), Perth (Australien, STEP-Projekt) und Peking (China, UNEP-Projekt). Im Mai 2003 wurden die ersten Exemplare in Madrid übergeben, die anderen europäischen Busse folgten noch im selben Jahr, während Perth 2004 und Peking 2005 bedient wurden.

Ursprünglich war der Test auf zwei Jahre angelegt. Dabei hatte die Technik sehr unterschiedliche geographische und klimatische Bedingungen zu verkraften. Der zwölf Meter lange Citaro kann bis zu 70 Fahrgäste aufnehmen, hat drei Türen und ist bis zu 80 km/h schnell. Die Reichweite liegt je nach Höhenprofil der befahrenen Buslinie bei durchschnittlich ca. 200 km und es wird gasförmiger Wasserstoff zur Betankung verwendet, der aus verschiedenen Quellen (Dampfpreformation Erdgas; Elektrolyse aus Strom von Solar-, Wind-, Geothermal-, Wasserkraftanlagen) stammt. Der Praxisbetrieb hat ergeben, dass es durchaus möglich ist, diese Busse im Stadtverkehr mit einem Verbrauch von 13 bis 14 kg Wasserstoff auf 100 km (diverse Presseberichte: 18 kg/100 km) zu fahren. In die Drucktanks passen 40 kg Wasserstoff,

(Fortsetzung auf Seite 13)

*Saubere Luft, umweltfreundlichen Antrieb, moderne Technologie...  
...und mehr bieten Bio-Wasserstoffbusse!*

(Fortsetzung von Seite 12)

die bei sparsamen Betrieb durchaus bis zu 300 km weit reichen können. Die Betankung dauert 10 bis 15 Minuten.

Am Jahresende 2005 hatten die 36 Citaro-Busse insgesamt rund 1,1 Mio. km zurückgelegt und die Antriebe waren mehr als 75.000 Stunden in Betrieb. Einige Brennstoffzellen erreichten schon eine Lebensdauer von über 2.500 bis 3.000 Stunden. Herkömmliche Fahrzeuge schaffen das innerhalb eines einzigen Jahres. Allerdings liegen die Ergebnisse bereits jetzt deutlich über den Erwartungen, die der Hersteller Ballard zu Beginn selbst hatte. Der in der Öffentlichkeit kritisierte angebliche "hohe Wasserstoffverbrauch" der Fahrzeuge relativiert sich, wenn man bedenkt, dass die Fahrzeuge noch nicht über die energiesparende Hybridtechnologie verfügen. Die Nutzung der Bremsenergie und der Abwärme der Brennstoffzellen für die Klimatisierung dürfte den Verbrauch drastisch verringern.



Mercedes Benz Citaro Wasserstoffbus in Hamburg mit Ballard-Brennstoffzellen (Foto: Torsten Pörschke)

Hamburg und Stuttgart waren am Beginn von CUTE Wasserstoff-„Neulinge“. Die Citaros wurden in den regulären Linienbetrieb des ÖPNV der Städte voll integriert. In Stuttgart absolvierten die Fahrzeuge über ein Jahr ein Höhenttraining auf der Buslinie 44. Die Strecke stellte höchste Anforderungen an die Technik, denn auf 4,5 km waren rund 170 Höhenmeter mit über 6 Prozent Steigung zu bewältigen. Ab Dezember 2004 veränderte man die Streckenführung nochmals. Jetzt waren 25 Haltestellen auf einer Länge von 9,5 km mit einer Steigung von 8,5 Prozent anzufahren. Nach Ende der Projektlaufzeit im Jahr 2005 wurden der Betrieb eingestellt und die schwäbischen Citaros nach Hamburg transportiert. Auch in Stockholm kam es zu keiner Verlängerung des Probebetriebes.

Dadurch konnte in Hamburg eine Flotte von insgesamt 9 Fahrzeugen zusammengezogen werden, die seitdem unter dem Nachfolgeprojekt Hyfleet/CUTE unterwegs sind. Die Wasserstoffbusse mit BZ fahren im Augenblick auf den Linien 6, 292/114, 178/176 und 192/174/292/192. Die Hamburger sind von den Fahrzeugen sehr begeistert, da der Antrieb leise und erschütterungsfrei ist. In der Praxis werden die Fahrzeuge teilweise erst bemerkt, wenn sie so ca. 50 cm entfernt von Personen angehalten werden, ohne dass vorher Sichtkontakt bestand. Der Betreiber möchte zukünftig die Höhe solcher Fahrzeuge auf 3 Meter begrenzen, um auch an überdachten Haltestellen stoppen zu können. Die Hamburger Hochbahn AG plant ab 2009 den Ankauf von 20 bis 25 Wasserstoff-Bussen, um diese in der Hafen-City fahren zu lassen. Diese Pläne reflektieren das Vertrauen in die Technologie. Eine Verfügbarkeit von rund 90 Prozent spricht schon jetzt für die vorhandenen Citaros. Werkstattreserven von 8 Prozent des Fahrzeugbestandes sind heute beim ÖPNV üblich.

Die Kosten der jetzt im Einsatz befindlichen BZ-Busse sind mit 1,25 Mio. Euro noch viel zu hoch. Vor al-

(Fortsetzung auf Seite 14)

(Fortsetzung von Seite 13)

lem die beiden Brennstoffzellen sind mit 350.000,- Euro pro Stück sehr teuer. Hohe Entwicklungskosten, geringe Stückzahlen und die Verwendung von Platinbeschichtungen für die Membran sind die Preistreiber. Alle diese Probleme werden jetzt beim neuen BZ-Bus-Prototyp für das Hyfleet/Cute-Programm angegangen. Das Ergebnis werden wir nächstes Jahr sehen. Einen weiteren Nachteil des bisherigen Modells stellt die Kaltstartfähigkeit der BZ des Herstellers Ballard dar. Die Stacks der Busse werden auf dem Betriebshof durch elektrische Heizungen auf einem Niveau über 0 Grad Celsius gehalten. Für die nächste Generation werden BZ von der Fa. NuCellSys GmbH zum Einsatz kommen, die nach den letzten Informationen auch bei minus 25 Grad Celsius ohne Hilfssysteme "anspringen".



Brennstoffzellen eines Wasserstoffbusses (Hamburg, Torsten Pörschke)

Langfristig gesehen werden BZ-Busse wohl mit niedrigeren Betriebskosten gegenüber herkömmlichen Fahrzeugen aufwarten. Allein der modulare Aufbau der Brennstoffzellen selbst sorgt dafür, dass einzelne Elemente in der Werkstatt leicht getauscht werden können. Mechanische Baugruppen zum Antrieb sind bei BZ-Hybrid-Bussen später nicht mehr vorhanden, womit auch ein Großteil des Verschleißes an der Technik entfällt. Die derzeitigen Citaros werden noch über mechanische Komponenten angetrieben.

Die Entwicklung geht unaufhörlich weiter. Im Juni 2007 war ein Prototyp des Wettbewerbers Van Hool in Hamburg zu Gast. Der vorgestellte BZ-Hybrid-Bus vom Typ A 330 kam in der Öffentlichkeit gut an. Der Wasserstoffverbrauch dieses Fahrzeuges war bei den Probefahrten um 30 bis 50 Prozent geringer, als bei den bisher eingesetzten Citaros. Eine ZEBRA-Batterie dient zur Zwischenspeicherung von zurückgewonnener Bremsenergie.

Der Konkurrent MAN punktete in der Zwischenzeit mit einem neuen BZ-Hybrid-Bus (68 kW NT-PEFC von Ballard, 100 kW Energiespeicher NiMH), der CGH2 tankte. Gefahren wurde er das erste Mal im Mai 2004 am Flughafen München bei dem Projekt ARGEMUC. Ab August 2005 kam er auf der Linie 699 des MVV (München) bis Ende 2006 zum Einsatz. Mit einer Tankfüllung konnten 300 km zurückgelegt werden und der Betankungsvorgang dauert nur noch ca. 10 Minuten.

#### **Vierter Akt im Drama: Gestrandete Kinder – und Hoffnung**

Zunächst kam der Neoplan N 8008 FC nicht wie geplant ab Ende 1999 im Allgäu zum regulären Einsatz. Die Pläne in Oberstdorf waren einfach zu ambitioniert für die damaligen Verhältnisse der Gemeinden.

Der Nachfolgetyp N 8012 FC (Länge 10 m) mit einer 75 kW NT-PEFC besaß einen Schwungradspeicher, um Bremsenergie zurück zu gewinnen und um beim Anfahren die BZ zu entlasten. Der Antrieb erfolgte über Radnabenmotoren. Basis war ein Neoplan-Niederflurbus mit einer Karosserie aus karbonfaserverstärktem Kunststoff. Die Angaben zur Reichweite des Fahrzeugs schwankten zwischen 150 und 250 km. Es konnten 33 Passagiere befördert werden. Die Höchstgeschwindigkeit lag bei 80 km/h. Die Entwicklung wurde extra vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr und Technologie gefördert.

(Fortsetzung auf Seite 15)

*Brennstoffzellen in modernen Wasserstoffbussen, das ist die Zukunft!*

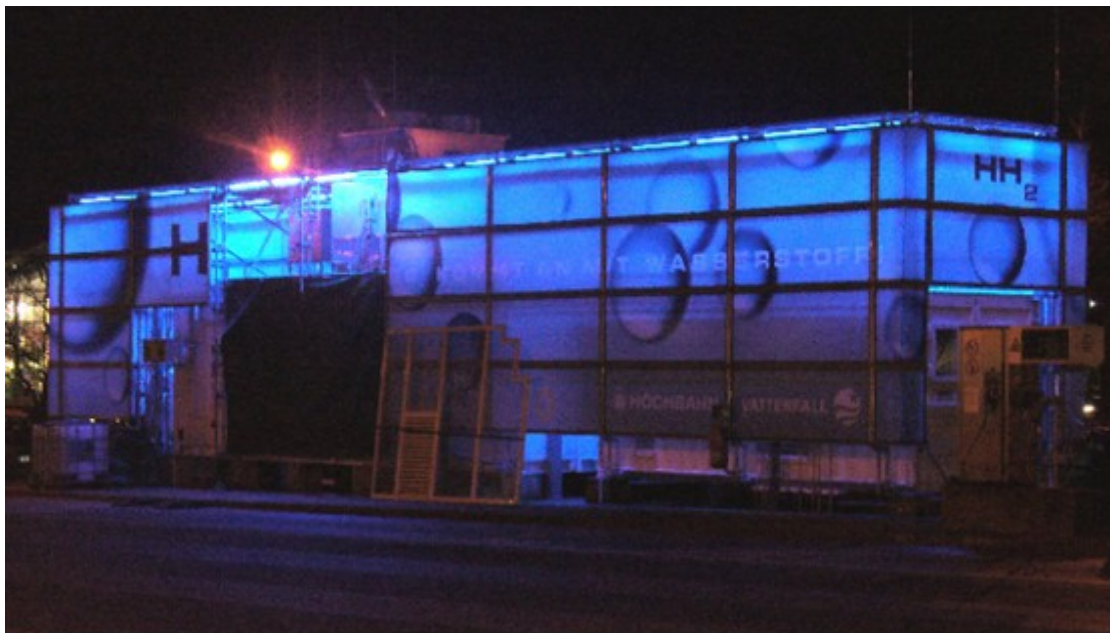
(Fortsetzung von Seite 14)

Aus einem dauerhaften Einsatz im ÖPNV wurde nie etwas.

Seit September 2006 ist in Barth (Mecklenburg-Vorpommern) einer der ersten BZ-Hybrid-Busse im Einsatz. Herzstück ist das Proton Motor Basic A 50 BZ-System. Dieses Busmodell ist der unmittelbare Nachfolger des N 8012 FC. Der Wasserstoff wird regenerativ aus Windstrom per Elektrolyse gewonnen.

Im Juli 2007 zog die Fa. Proton Motor aus Platzgründen auf ein neues Firmengelände in Puchheim. Eine Serienproduktion ihres BZ-Hybrid-Busses ist noch nicht in Sicht. EVOBUS arbeitet intensiv an der Herstellung eines neuen Prototypen für das Projekt Hyfleet/CUTE. Die Fertigstellung bei ihrer Tochterfirma Nu-CellSys GmbH wird nunmehr für das Jahr 2009 erwartet. Recht bedeckt hält sich die Fa. NEOMAN, sie rechnet mit dem Serieneinsatz der BZ frühestens 2015.

Bis heute gibt es kein Programm, das die Aktionen der Hersteller und Nutzer der Technik landesweit bündelt. Die Politik ist nicht in der Lage, diesen Zustand zu beenden. Bisher wurden immer die hohen Herstellungskosten und die unökologischen Herstellungsmethoden für Wasserstoff als Haupthindernisse dafür vorgeschoben. Mit der echten Wasserstoffwirtschaft auf Basis von Biomasse und Ökostrom lösen sich diese Argumente in Luft auf. Es ist Zeit zum Handeln, allerhöchste Zeit. Die Unternehmen des ÖPNV sollten sich zusammenschließen und eine gemeinsame Erklärung abgeben. Damit hätten die Hersteller entsprechende Planungssicherheit und könnten die Preise für die Technik schneller senken, als bisher gedacht.



Nachtaufnahme der Wasserstoff-Tankstelle bei der Hamburger Hochbahn AG - Torsten Pörschke

>> Dieser Beitrag wurde am 15. Februar 2009 aktualisiert

Alle Rechte an diesem Artikel liegen bei Torsten Pörschke, Pirna  
Nutzung /Veröffentlichung nur nach vorheriger schriftlicher Zustimmung durch den Autor.  
Anfragen zur Nutzung/Veröffentlichung bitte an: kontakt@bio-wasserstoff.info

*In Hamburg hat schon ein Stück ‚saubere‘ Zukunft begonnen - mit Wasserstoffbussen!*

Impressum

Herausgeber/Verantwortlich

Manfred Richey

Im Wasserfall 2

D-72622 Nürtingen

Telefon: 07022 - 46210

Web: [www.biowasserstoff-magazin.de](http://www.biowasserstoff-magazin.de)

E-Mail: [kontakt@bio-wasserstoff.info](mailto:kontakt@bio-wasserstoff.info)

Namentlich gekennzeichnete Beiträge stellen die Meinung des Autors dar.

Das Biowasserstoff-Magazin erscheint einmal monatlich im PDF-Format und ausschließlich online.

Wir sind ungebunden und unabhängig und wollen die Idee des Bio-Wasserstoffs als **neue umweltfreundliche Energie für Alle** verbreiten.

**Beiträge** sind willkommen - senden Sie diese bitte online an:

[kontakt@bio-wasserstoff.info](mailto:kontakt@bio-wasserstoff.info).

**Mitstreiter / Mit-Autoren gesucht!**

## Die Zeit ist reif

*für den Einstieg in die Bio-Wasserstoff-Technologie.*

*Die Technik ist bekannt und beherrschbar, das Know-how vorhanden - **man muss nur wollen.***

***„man“** - das sind die Politiker und Verantwortlichen der Energieerzeuger/Energiewirtschaft.*

*Ein hervorragendes Nachschlagewerk ist das Buch "Bio-Wasserstoff" von Karl-Heinz Tetzlaff. Es zeigt mit Beschreibungen und Berechnungen den bereits heute möglichen Weg auf, wie man mit Bio-Wasserstoff alle Energieprobleme nachhaltig lösen kann.*

*Mehr unter: <http://www.bio-wasserstoff.de>*

### Helfen auch Sie mit:

**Lesen -**

**Denken -**

**Weitersagen -**

**Handeln -**

**Druck machen...**

*... den Politikern und Verantwortlichen!*

### In eigener Sache

Auch diese Ausgabe unseres Biowasserstoff-Magazins soll wachrütteln, **Möglichkeiten und Wege zeigen**, wie man durch den Umstieg auf moderne und zukunftsträchtige Energien, wie **Bio-Wasserstoff**, den **CO2-Ausstoß drastisch verringern, neue Arbeitsplätze schaffen und preiswerte Energie für Alle** bereitstellen könnte.

### Ächtung von Kohle, Öl und Erdgas

Auf der 13. Vertragsstaatenkonferenz der Klimarahmenkonvention in Bali soll ein Verhandlungszeitplan festgelegt werden - doch worüber soll überhaupt verhandelt werden?

In der Kurzzusammenfassung des letzten IPCC-Berichts durch das BMU ([http://www.bmu.de/files/download/application/pdf/syr\\_kurzzusammenfassung\\_071117\\_v5-1.pdf](http://www.bmu.de/files/download/application/pdf/syr_kurzzusammenfassung_071117_v5-1.pdf)) ist zu lesen, **dass man die Gefährlichkeit der erwarteten Temperaturerhöhung bisher unterschätzt habe**. Auch habe man bisher noch gar nicht alle Effekte berücksichtigt, die sich selbst verstärken ("Rückkopplungen"). Dazu gehört z.B. die Tatsache, dass beim Auftauen der Permafrostböden Methangas frei wird, das seinerseits die Temperaturen weiter ansteigen lässt.

Die **Klimakatastrophe entwickelt sich nach den Gesetzen der Physik** - und die lassen sich durch Verhandlungen nicht verändern! Die **einzige Chance** der Menschheit liegt darin, dass **Alle den CO2-Ausstoß so rasch wie möglich BEENDEN, bevor es zu spät ist**, sich selbst verstärkende Rückkopplungen überwiegen und es zu einem "runaway climate change" - einer nicht mehr umkehrbaren immer schnelleren Erwärmung - kommt.

### Also brauchen wir zweierlei:

- Eine internationale Ächtung der fossilen Energien ...
- Den raschen Einstieg in CO2-freie erneuerbare Energien und eine vollständige Umstellung auf diese Art der Energieversorgung, damit die Volkswirtschaften auch ohne fossile Energien weiter gedeihen können. ...

**100% Erneuerbare Energien sind möglich, deutschlandweit, europaweit, weltweit. Wir müssen es nur wollen!**

Auszugsweise zitiert von:

[http://www.sonnenseite.com/index.php?pageID=6&news:oid=n8939&template=news\\_detail.html](http://www.sonnenseite.com/index.php?pageID=6&news:oid=n8939&template=news_detail.html)

Die Zeit ist reif für den Einstieg in die Bio-Wasserstoff-Technologie - siehe oben.

Nürtingen, im Dezember 2007 - Manfred Richey