

### Biomasse Torsten Pörschke

#### Natur und die Bio-Wasserstoffwirtschaft

Die heutige Verwendung von Pflanzen aus der Landwirtschaft zur Gewinnung regenerativer Energien schadet der Sache mehr, als sie uns allen nutzt. Nicht nur, dass große Anbauflächen mit Monokulturen wie Raps, Mais, Weizen, Zuckerrüben u.ä. belegt werden. Es kommen auch große Mengen an Pflanzenschutz- und Düngemitteln zum Einsatz. Hier spielt häufig eine Rolle, dass die Pflanzen erst noch reifen müssen und vor allem die Früchte über den Erfolg des Anbaus entscheiden. Das heillose Durcheinander im Bereich der nachwachsenden Rohstoffe und die Konkurrenz von vermeintlichen Lösungen wie Biodiesel, Bioethanol, Pflanzenöl und Biogas untereinander führt zu einer immer weiter sich zersplitternden Infrastruktur im Energiesektor, die hohe Kosten verursacht. Die aufgeführten Varianten sind alle zusammen nicht in der Lage, entscheidende Beiträge für unsere Energieversorgung zu leisten. Die dafür benötigten Flächen sind nicht vorhanden und die nachgelagerten Verarbeitungs- und Umwandlungsprozesse lassen von der Ernte wegen der hohen Verluste über mehrere Umwandlungsstufen nicht viel energetischen Nutzen übrig. Die Ackerböden werden durch den oft einseitigen Anbau von Energiepflanzen nicht geschont.



In der Bio-Wasserstoffwirtschaft ist das ganz anders, weil hier das Zweikultur-Nutzungskonzept zur Anwendung kommen wird. Da man die gesamte Pflanze verwendet, kann zweimal im Jahr von der gleichen Fläche geerntet werden. Der größte Zuwachs an Biomasse ist bis zum Reifeprozess der meisten für die Energieerzeugung geeigneten Pflanzen festzustellen, deshalb können zwei unterschied-



(Fortsetzung auf Seite 2)

#### Themen in dieser Ausgabe:

- Biomasse
- FICFB (allotherme Wirbelschichtvergasung)
- Der AER-Prozess (allotherme Wirbelschichtvergasung)
- Wasserstoff aus feuchter Biomasse – am Beispiel der Pilot-Anlage VERENA (FZ Karlsruhe)
- Lautlos über den Wolken (Aktualisiert 12.07.08)

Impressum: Seite 23

***Bio-Wasserstoff ist aus Biomasse herstellbar und billig! Die Energieausbeute beträgt 90-93%!***

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

*Die Elemente der echten Wasserstoffwirtschaft sind Zwei-Kulturnutzung der Ackerflächen und vollständiges Verwerten der angebauten Energiepflanzen...*

(Fortsetzung von Seite 1)

liche Pflanzen innerhalb eines Jahres ausgesät werden. Eine gut abgestimmte Fruchtfolge gewährleistet den Erhalt der Fruchtbarkeit der Ackerflächen. Die frühe Ernte der Energiepflanzen noch vor dem Reifeprozess führt zu einem sehr geringen Einsatz von Pflanzenschutzmitteln. Wildpflanzen und "Unkräuter" können durchaus auf den Flächen mitwachsen, denn auch sie sind ja Biomasse.

Ein in sich geschlossener Nährstoffkreislauf in der Bio-Wasserstoffwirtschaft ist durch einige wenige Maßnahmen leicht zu erreichen. Die bei der Biomassevergasung entstehenden Aschen (Mineraldünger) lassen sich ohne Probleme wieder auf die Felder bringen. Einzig der Stickstoff kann nicht rückgewonnen werden. Bei Verwendung eines geringen Teils des hergestellten Wasserstoffs (ca. 1 %) für die Ammoniaksynthese kann dieses Problem leicht gelöst werden. Energetisch fällt die Sache kaum ins Gewicht und es steht dann wieder ein Stickstoffdünger zur Verfügung. Die für das Zweikultur-Nutzungskonzept in Frage kommenden Pflanzen sind hinsichtlich ihres Stickstoffbedarfs genügsame Pflanzen. Somit ist nicht zu erwarten, dass Mehrbelastungen der Atmosphäre durch austretendes Lachgas (N<sub>2</sub>O) entstehen.

Das Zweikultur-Nutzungskonzept wurde an der Universität Kassel entwickelt und bereits seit einigen Jahren in der Nähe von Göttingen erprobt. Nach den bisherigen Erfahrungen liegen die Erträge bei 20 bis 30 t trockener Biomasse pro Hektar. Wen das alles bisher noch nicht überzeugen kann, der sollte etwas Geduld haben. Wir werden uns noch sehr ausführlich mit der Umweltverträglichkeit dieser Form der Biomassenutzung beschäftigen, alles im Zusammenhang auch mit der Konkurrenzsituation zu Nahrungsmitteln, dem Ökolandbau und dem Naturschutz. Bis bald und bleiben sie schön neugierig.



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)

*Eine regionale Wasserstoffwirtschaft ist in 3 Jahren installierbar – zum Vorbild für die Welt!*

## FICFB (Fast Internally Circulating Fluidized Bed) Torsten Pörschke (allotherme Wirbelschichtvergasung)

Lizenzhalter: RENET (Österreich)

### Wie alles zustande kam

In der Praxis haben sich bisher drucklose Vergaser mit zirkulierender Wirbelschicht als sehr zuverlässig erwiesen. Darunter befinden sich auch Anlagen, die ausschließlich mit Biomasse betrieben werden. Ein Scale-up ist dabei von wenigen MW (th) bis auf mehr als 100 MW (th) problemlos möglich. Als Paradebeispiel für eine solche Anlage kann ohne Zweifel die Biomasse-Vergasungsanlage in Güssing (Burgenland/Österreich) gelten. Bereits im Jahr 2001 wurde die Anlage mit einer Leistung von 8 MW (th; Brennstoff) fertig gestellt. Im Betrieb werden 2 MWeI und 4,5 MWth davon als Energie genutzt. Es handelt sich damit um eine Kraft-/Wärme-Kopplungsanlage, die gleichzeitig Strom und Fernwärme erzeugt. Der Vergaser wird mit 1,76 t Holz pro Stunde betrieben und erzeugt ein hochwertiges Synthesegas von gleichmäßiger Qualität. Die Anlage arbeitet nach einigen Verbesserungen jetzt 7.000 Stunden pro Jahr.

Während des zwei Jahre dauernden Probetriebes von 2001 bis 2003 experimentierte man mit unterschiedlichen Parametereinstellungen wie Vergasungstemperatur, Dampf-Brennstoff Verhältnis, Wäschertemperatur usw., um ein optimales Ergebnis zu erhalten. Als weitere Forschungsfelder wurden die Herstellung von synthetischem Erdgas, Methanol oder Treibstoffen aus Biomasse genannt. Diese Varianten sind für die echte Wasserstoffwirtschaft überflüssig. Weitere Forschungsgelder sollten lieber in die Optimierung des Anlagenprozesses zur direkten Herstellung von Wasserstoff verwendet werden. Die Wirbelschichtvergasung ist ideal geeignet, um Wasserstoff aus Biomasse herzustellen, da das Produktgas selbst schon einen hohen Gehalt an Wasserstoff besitzt.

### So funktioniert die Vergasung



Prinzipdarstellung Vergasung (eigene Grafik)

Für die Gaserzeugung werden in Güssing zwei Kammern verwendet. Dabei sind Vergaser (stationäre Wirbelschicht) und Brennkammer (zirkulierende Wirbelschicht) miteinander verbunden.

Im Vergasungsteil vermischt sich die eingebrachte Biomasse mit heißen Bettmaterial (Sand) aus der Brennkammer in relativ kurzer Zeit. Die im Sand gespeicherte Wärmeenergie wird dabei auf die Biomasse übertragen. Bei ca. 900 Grad Celsius finden überwiegend die Vergasungsreaktionen statt. Mit überhitztem Wasserdampf wird durch einen eingebauten Düsenboden der Vergasungsteil fluidisiert. Nicht vergaste Biomassereste (Holzkoks) wandern mit dem Bettmaterial über einen fluidisierten Verbindungskanal in die Brennkammer. Hier wird mit vor-

(Fortsetzung auf Seite 4)

(Fortsetzung von Seite 3)

gewärmter Luft eine expandierende schnelle Wirbelschicht erzeugt, in der die nichtvergasen Bestandteile (Koks) verbrannt werden. In der Brennkammer herrschen ca. 970 Grad Celsius. Zur Regelung der Vergasungstemperatur wird ein Teil des aus dem Vergaser stammenden Gases als Stützfeuer verbrannt bzw. als Zusatzbrennstoff verwendet. Der Temperaturunterschied zwischen Vergasungs- und Verbrennungsteil der Anlage ist nur gering, ein Beweis für einen hohem Umlauf von Bettmaterial. Das Anfahren des Vergasers erfolgt in Güssing noch über einen mit Öl gefeuerten Anfahrbröner.

Das entstehende Rauchgas der Brennkammer wird anschließend über einen Heißgaszyklon entstaubt und abgeschiedene Partikel kommen über einen Siphon in den Vergasungsteil zurück. Anschließend gelangt das entstaubte Rauchgas in eine Nachbrennkammer, um die Abgasmissionswerte erfüllen zu können. Die anfallende Bettasche wird ausgeschleust, gekühlt und in abgedeckte Container verfüllt.

### **Aufbereitung des Rohgases**

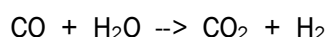
Am Ende des Prozesses entsteht ein fast stickstoffreies Produktgas mit geringem Teergehalt. Es setzt sich aus Wasserstoff 30-45 vol%, Kohlenmonoxid 20-30 vol%, Kohlendioxid 15-25 vol% Methan 8-12 vol% und Stickstoff 1-3 vol% zusammen. Das Produktgas kommt mit ca. 890 Grad Celsius aus der Brennkammer und wird über drei Wärmetauscherstufen mittels eines Rauchgasgebläses geleitet. Die erste Stufe dient zum Vorwärmen der Verbrennungsluft für die Brennkammer, die zweite Stufe dem Überhitzen des aus dem Verdampfer kommenden Sattampfes (Überhitzer) und die anschließende dritte Stufe der Wärmegewinnung für das angeschlossene Fernwärmenetz. Dabei wird die Temperatur bis auf ca. 150 Grad Celsius abgesenkt.

Im Gaswäscher wird das Produktgas weiter gekühlt und gleichzeitig Teer und Kondensat abgeschieden. Die Rückstände aus der Reinigung trennt man in organische und wässrige Fraktionen. Brennbar Bestandteile wandern zurück in die Koksverbrennung, wässrige werden zur Dampferzeugung genutzt. Als Waschmittel wird ein organisches Lösungsmittel (Biodiesel) verwendet. Ein Teil des Waschmediums wird zusammen mit dem kondensierten Teer ausgeschleust und durch frische Flüssigkeit ersetzt. Die Entsorgung erfolgt im Verbrennungsteil der Anlage. Im praktischen Betrieb funktioniert die Gasreinigung problemlos.

Bei hohen Wassergehalten in der Biomasse (mehr als 15 Gew.%) entsteht mehr Kondensat im Gaswäscher. Durch Einbau eines Kondensatverdampfers kann dieses Problem gelöst werden. Damit kann auch bei höheren Biomassefeuchten ein rückstandsfreier Betrieb gewährleistet werden. Durch einen höheren Wasseranteil wird die Gleichgewichtsreaktion im Vergasungsprozess in Richtung H<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub> verschoben, allerdings lässt sich das nicht ins Unendliche treiben. Ab 68 Prozent Wasseranteil sinkt der Kaltgaswirkungsgrad auf null. Deshalb ist Trocknung oder ein Kaltauspressen von feuchter Biomasse vor der Vergasung unerlässlich.

### **Verwertung des Synthesegases**

Das Synthesegas kann nun entweder in einem BHKW verstromt werden, wie das bei der Anlage in Güssing der Fall ist, oder man leitet das Gas in einen nachgeschalteten Shift-Reaktor, der für eine maximale Ausbeute an Wasserstoff sorgt. Dabei geht es um die vollständige Umsetzung des CO-Anteils im Synthesegas 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.

(Fortsetzung auf Seite 5)

(Fortsetzung von Seite 4)

### **Potential des Verfahrens**

Um die Erzeugungskosten für Wasserstoff gering zu halten, ist eine Druckaufladung des Wirbelschicht-Vergasers sinnvoll. Die Anlage in Güssing könnte bei gleicher Baugröße und etwas dickerem Material für die Wirbelschicht-Reaktoren bei einem Druck von 25 bar statt 8 MW(th) eine Leistung von 200 MW(th) haben. Unterhalb von 100 MW(th) sind solche Systeme wegen der aufwendigen Einschleusung der Biomasse in den Druckbehälter wenig sinnvoll, weil die spezifischen Anlagenkosten zu groß werden. Deshalb sind Wasserstofffabriken auch keine dezentralen Bastelobjekte, sondern eine großtechnische Anwendung. Die notwendige Zufuhr an Biomasse für eine solche Anlage kann durch das Zweikulturnutzungskonzept innerhalb eines Einzugsradius von 20 bis 30 km sichergestellt werden. Wer näheres dazu erfahren möchte, sollte unser demnächst erscheinendes Schwerpunktheft "Biowasserstoff und Energiepflanzen" lesen.

Druckaufgeladene Anlagen, die für die Erzeugung von H<sub>2</sub> optimiert sind, haben einen Umwandlungswirkungsgrad des Energiegehalts der eingesetzten Biomasse von ca. 78 Prozent. Das bezieht sich auf den Heizwert der theoretisch wasserfreien Biomasse gegenüber dem Heizwert des erzeugten Wasserstoffs. Als Prozessverluste der Vergasung sollte man ca. 10 Prozent ansetzen. Diese können durch den Einsatz von Brennstoffzellen innerhalb der Anlage und weiteren technologischen Maßnahmen noch minimieren werden. Der anschließende Rohrleitungstransport ohne Nachverdichtung bis zum Verbraucher und die dortige Umsetzung des Wasserstoffs in Wärme und Strom durch Brennstoffzellen (Wirkungsgrad Kraft-/Wärmekopplung über 90 Prozent) unter Nutzung der Kondensationswärme (wie bei Gasbrennwertgeräten; theoretisch also  $0,78 * 1,18 = 0,92$ ) führen zu einer verlustarmen Kette der Energieumwandlung, die auf anderen Wegen so nicht erreicht werden kann. Etwa die Hälfte dieser Nutzenergie fällt in Form von Strom an. Das ist mehr als man gewöhnlich braucht. Heute liegt das Verhältnis im Bedarf von Strom/Wärme bei 20 Prozent/80 Prozent. Bei 50 Prozent/50 Prozent kann also ein Teil des Stroms in Wärme umgewandelt werden. Eine Wasserstoffwirtschaft ist daher eine wärmegeführte Energiewirtschaft, die prinzipiell keine Verluste kennt. Das ist in Bezug auf das Potenzial der Biomasse und die Energiepreise wichtig. Denn unsere real existierende Energiewirtschaft wandelt etwa 2/3 unserer Primärenergie in Verluste um.

### **Nachwort**

Für die Optimierung von Biomasse-KWK-Anlagen hat die EU das Projekt BigPower von Oktober 2005 bis Oktober 2008 aufgelegt. Hier geht es darum, den Bau von größeren Anlagen im Bereich 15 bis 150 MW (el) und 15 bis 150 MW (th) vorzubereiten. Allerdings sollte sich jeder darüber im Klaren sein, dass es hier nicht um die Entwicklung von Anlagen zur Wasserstoffproduktion geht. Deshalb können wir uns auch nicht zurücklehnen und der Dinge harren, die da kommen werden.

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)

## Der AER-Prozess (allotherme Wirbelschichtvergasung)

Torsten Pörschke

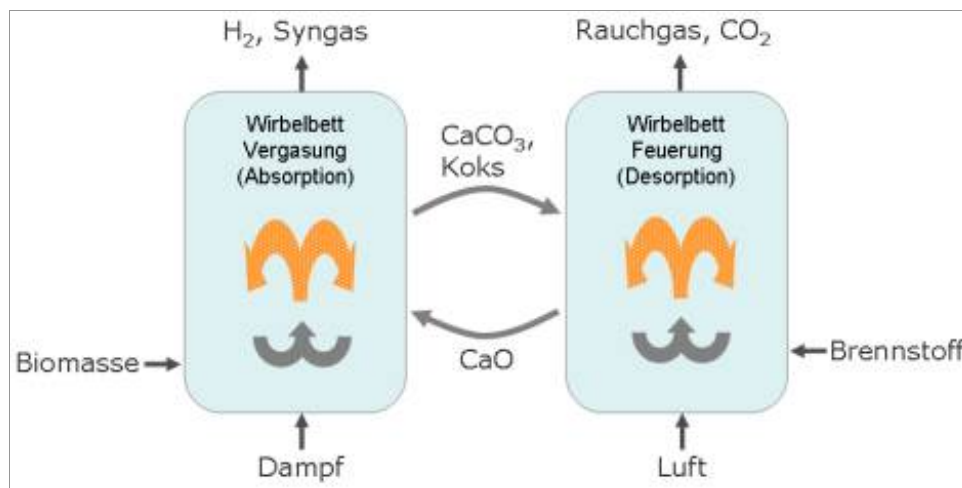
### Unverständliche Entwicklung

Ursprünglich wollte man dieses innovative Vergasungsverfahren in einer Pilotanlage im Biosphärenreservat Schwäbische Alb einsetzen. Die Landesregierung von Baden-Württemberg hatte im Dezember 2006 sogar schon grünes Licht für die Förderung eines Biomasse-BHKW mit der neuen Technologie gegeben. Warum das Vorhaben nicht realisiert wurde? Offiziell gibt es keine Erklärungen dazu. Entwickelt hat man das AER-Verfahren (Absorption Enhanced Reforming) beim Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW, Industriestraße 6, 70565 Stuttgart). Die Demonstrationsanlage sollte eine thermische Leistung von 10 MW haben und gleichzeitig Wärme sowie Strom erzeugen. In einer solchen Anlage kann feste Biomasse in ein wasserstoffreiches Gas umgewandelt werden. Prinzipiell eignet sich das Verfahren auch für Restbiomassen und feuchte Biomassen.

Grundsätzlich handelt es sich beim AER-Prozess um eine allotherme Wirbelschichtvergasung. Für den Prozess werden zwei Wirbelschicht-Reaktoren miteinander über zwei mit Dampf fluidisierte Siphone gekoppelt.



Wirbelschichtvergaser in Güssing/Österreich  
Bild: www.bio-wasserstoff.de



Prinzipdarstellung allotherme Wirbelschichtvergasung (eigene Grafik)

Dabei findet im ersten Reaktor der Vergasungsprozess der Biomasse unter Dampfzugabe statt. In einem zweiten Reaktor erfolgt die Verbrennung der Vergasungsrückstände. Als Bettmaterial wird statt Quarzsand (z.B. Wirbelschichtvergaser in Güssing bisher) nun ein reaktiver Stoff auf Basis des Stoffpaares  $\text{CaO}/\text{CaCO}_3$  verwendet. Im Brennraum (zweiter Reaktor) entsteht aus dem  $\text{CaCO}_3$  des Vergasungsreaktors  $\text{CaO}$ , erhitzt sich und

(Fortsetzung auf Seite 7)

(Fortsetzung von Seite 6)

wird dann in den Vergasungsteil (erster Reaktor) umgewälzt. Das zirkulierende Bettmaterial CaO ist in der Lage, dort CO<sub>2</sub> zu absorbieren indem es sich unter nützlicher Wärmeentwicklung in CaCO<sub>3</sub> umwandelt. Die CO<sub>2</sub>-Absorption bewirkt innerhalb des Reaktor eine Verschiebung des thermodynamischen Gleichgewichtes hin zum gewünschten Produkt Wasserstoff. Der Vergasungsprozess findet bei 600 bis 700 Grad Celsius statt, während das beladene Bettmaterial im Verbrennungsreaktor bei Temperaturen über 800 Grad Celsius regeneriert und wieder in den Vergasungsteil zurückgeführt wird. Biomasserestkoks wird vollständig verbrannt. Am Ende des Prozesses entsteht aufgrund des verwendeten Bettmaterials ein teerarmes Produktgas mit einem Anteil von bis zu 70 Prozent Wasserstoff (dazu kommt Kohlendioxid), das keiner zusätzlichen Gasaufbereitung bedarf. Höhere Wasserstoffgehalte wurden bei noch keinem anderen Verfahren weltweit erzielt. Der niedrige Teergehalt (hauptsächlich Phenol und Toluol) des Produktgases ist ein weiterer Vorteil des Verfahrens. Außer der Asche fallen keine weiteren Reststoffe an.

Mehrere Forschungsprojekte demonstrierten die praktische Anwendbarkeit der AER-Vergasung. Holzpellets wurden in einer Technikums-Versuchsanlage (100 kW th) an der TU Wien über zwei Förderschnecken in die Reaktoren eingebracht. Als Bettmaterial kam CaO gemischt mit 9 Prozent nickeldotiertem Olivin zum Einsatz. Der Prozess lief über 10 Stunden störungsfrei.

Wichtig für den AER-Prozess ist die mechanische und thermische Festigkeit des Bettmaterials (Sorbens). Eine gewisse Mindestzyklenzahl sollte das Material überstehen, damit nicht mehr als 80 kg Rohcalzit für die Verwertung von 1 t Biomasse benötigt werden. Längeren Verweilzeiten in den beiden Reaktoren und vor allem den größeren Temperaturunterschied von bis zu 200 Kelvin muss der Sorbens widerstehen können. Als Naturprodukt kann das Bettmaterial zusammen mit der Asche deponiert oder weiterverwendet werden.

### **Halbherziges Vorgehen**

Das EU-Projekt AER-Gas II führt die Umsetzung der Technologie jetzt in der Anlage in Güssing fort. Dazu finden im Augenblick entsprechende Umbauarbeiten statt. Nach vorliegenden Informationen bleibt der Vergasungsprozess drucklos. Das Produktgas will man bei Versuchen des Austrian Bioenergy Center und der Universität Trondheim unmittelbar in einer SOFC verwerten. Vielleicht hat die Einbindung der Arbeiten in dieses EU-Projekt dazu geführt, dass keine Versuchsanlage in Deutschland errichtet worden ist. Allerdings verschenkt man sich hier eigene Möglichkeiten. Eine druckaufgeladene Anlage unter Nutzung des AER-Prozesses muss dringend gebaut werden, um Technologien für die echte Wasserstoffwirtschaft zu erproben. Niemand kann sich mehr verstecken und behaupten, dass das alles gar nicht geht. Wer weitere Verzögerungen zulässt, muss auch die Verantwortung für den dramatischen Klimawandel mit übernehmen.

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

## Wasserstoff aus feuchter Biomasse

Der folgende Beitrag wurde der Publikation ISSN 0948-0919 - Nachrichten, Energieträger Wasserstoff, Jahrgang 37, 3/2005 entnommen. Der Abdruck erfolgt mit freundlicher Genehmigung des Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Postfach 3640 · 76021 Karlsruhe - <http://www.fzk.de>

### Wasserstofferzeugung aus Biomasse

N. Boukis, V. Diem, U. Galla, P. D'Jesús, A. Kruse, H. Müller, E. Dinjus, ITC

#### Einführung

Wasserstoff ist als sekundärer Energieträger für die zukünftige Energieerzeugung in Diskussion und ist ein wichtiger Chemierohstoff. Freier Wasserstoff kommt bekanntlich auf der Erde nur in geringen Mengen vor. Somit muss Wasserstoff chemisch oder elektrochemisch erzeugt werden. Heute wird Wasserstoff überwiegend durch Reformieren von Erdgas hergestellt. Eine alternative Quelle für die Wasserstoffherstellung ist Biomasse. Diese Wasserstoffquelle ist CO<sub>2</sub>-neutral, da Pflanzen beim Wachstum genauso viel CO<sub>2</sub> aufnehmen, wie bei der späteren Umsetzung frei wird. Die Wasserstoffgewinnung über den Weg der Wasserelektrolyse ist aus energetischer und ökonomischer Sicht weniger günstig.

Ziel der hier vorgestellten Forschungsarbeiten ist die Erzeugung von Wasserstoff aus Biomasse, bevorzugt aus Restbiomasse. Neben Wasserstoff wird auch, in geringeren Konzentrationen, Methan erzeugt. Diese Thematik wird im Forschungszentrum Karlsruhe seit etwa fünf Jahren intensiv bearbeitet [1]. Die organischen Bestandteile von Biomasse im Allgemeinen lassen sich in ihrer Zusammensetzung in etwa durch die Formel C<sub>6</sub>H<sub>9</sub>O<sub>4</sub> beschreiben. Über eine Reaktion mit Wasser (C<sub>6</sub>H<sub>9</sub>O<sub>4</sub> + 8H<sub>2</sub>O = 6CO<sub>2</sub> + 12,5H<sub>2</sub>) bei hohen Temperaturen lässt sich die Wasserstoffausbeute erheblich steigern. Dies ist ein wesentlicher Grund um nasse Biomasse für die Erzeugung von Wasserstoff einzusetzen. Ein anderer ebenso wichtiger Grund ist die Verfügbarkeit nasser Biomassen, die oft ein Entsorgungsproblem darstellen. Zwar lassen sich solche Biomassen bakteriologisch umsetzen, jedoch ist es bis jetzt trotz intensiver Bemühungen nicht gelungen, Wasserstoff in nennenswerten Mengen über biologische Prozesse aus Biomasse herzustellen.

#### Verfahrensbeschreibung

Der Prozess wird im Druck-Temperatur Bereich des überkritischen Wassers durchgeführt (T > 374 °C, p > 22,1 MPa) und wird als „Biomassevergasung in überkritischem Wasser“, im englischen als „Supercritical Water Gasification“, bezeichnet. Mit den konventionellen Vergasungsverfahren werden bei Biomassen mit hohem Wassergehalten (mehr als 70 Gew.-% Wasser) nur sehr niedrige Wirkungsgrade erzielt [2]. Abb. 1: Schematische Darstellung des Prozesses der Wasserstofferzeugung in überkritischem Wasser am Beispiel der Anlage VERENA. Bei diesem Prozess wird das nasse Edukt (Biomasse) nach einer geeigneten Vorkonditionierung (Zerkleinerung, Konzentrationseinstellung, Zusatz von katalytisch aktiven Salzen) mit einer Hochdruckpumpe auf Betriebsdruck gebracht. Da es sich um ein flüssiges wässriges Gemisch handelt, ist der erforderliche Energieaufwand gering. Das komprimierte Gemisch wird über einen Wärmetauscher und einen extern beheizten Vorwärmer dem Reaktor zugeführt. Dort entsteht nach kurzen Verweilzeiten ein gasförmiges Produkt, hauptsächlich Wasserstoff, Methan und Kohlendioxid.

Danach wird das Reaktionsprodukt dem Hauptwärmetauscher zur Eduktaufheizung zurückgeführt. Schließlich werden die Gase vom wässrigen Effluent separiert und das Kohlendioxid in einem Hochdruckwäscher vom Produktgas getrennt.

Dieses recht einfache Prozessschema wurde in der ersten Pilot-Anlage für den Prozess umgesetzt (s. Abb. 1 – Seite 9).

(Fortsetzung auf Seite 9)



(Fortsetzung von Seite 8)

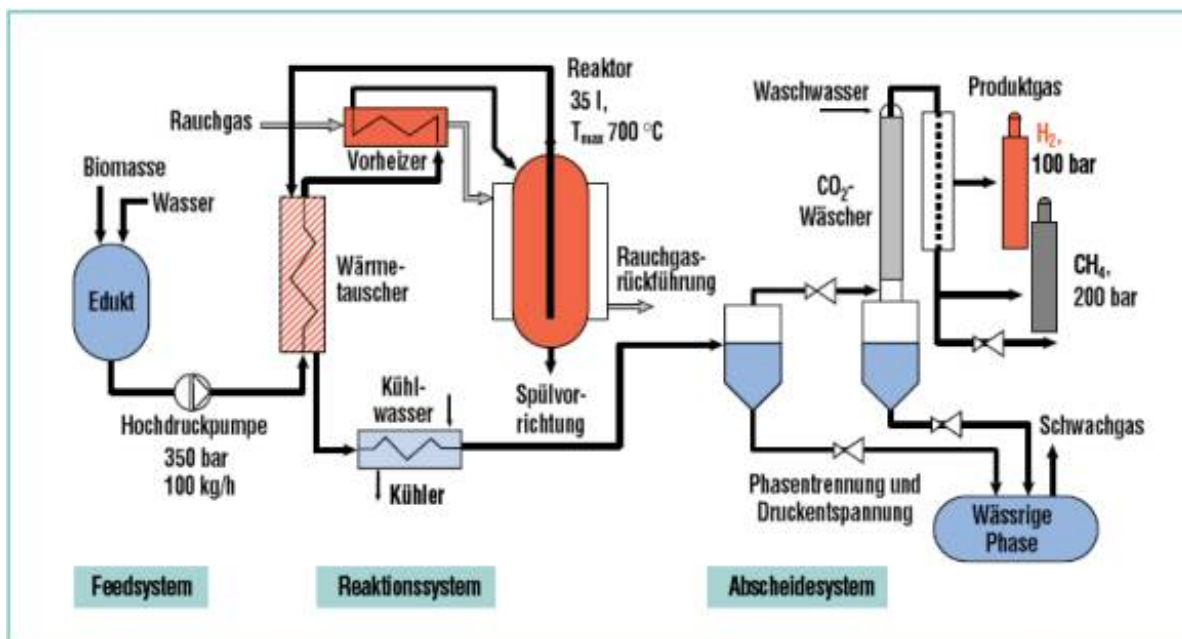


Abb. 1: Schematische Darstellung des Prozesses der Wasserstoffherzeugung in überkritischem Wasser am Beispiel der Anlage VERENA.

### Edukte

Das Spektrum potentieller Edukte für die Wasserstoffproduktion aus nasser organischer Materie ist breit (s. Tab. 1).

Abfallbiomasse	Organische Abfälle	Kraftstoffe	Energiepflanzen
Landwirtschaft (Gewächshausabfälle, Gülle, Trester) Getränkeindustrie Lebensmittelindustrie	Industrie (Pharma, Chemie, Papier) Klärschlamm	Bioalkohol BCO Holzessig	Mais Raps Algen
<b>Projekte:</b>	WINEGAS	CatLiq	ReFuelNet

Tab. 1: Potentielle Edukte für die Vergasung in überkritischem Wasser. Die farbig unterlegten Edukte wurden im Rahmen externer Kooperationen untersucht.

Aus wirtschaftlicher Sicht sind Abfallbiomasse und organisch belastete Abwässer oder Schlämme aus industriellen und landwirtschaftlichen Produktionsprozessen, typischerweise aus der Lebensmittelproduktion, am interessantesten. Bei dieser bisher nicht genutzten Biomasse handelt es sich überwiegend um nasse Biomasse mit einem Wasseranteil von über 50 %, meist über 80 %. Oft fallen für diese Reststoffe Entsorgungskosten an. Nasse Biomasse kann zwar getrocknet und dann mit Hilfe eines konventionellen Verfahrens verbrannt oder vergast werden, allerdings ist die Trocknung bei hohem Wassergehalt mit erheblichen Kosten verbunden.

Der Anbau von Energiepflanzen könnte, nach einer entsprechenden steuerlichen Förderung, dazu beitragen, die Menge an regenerativ erzeugter organischer Materie signifikant zu stei-

(Fortsetzung auf Seite 10)

(Fortsetzung von Seite 9)

gern und gleichzeitig der europäischen Agrarwirtschaft eine Perspektive zu geben. Pflanzliche Biomasse, so auch Energie-Pflanzen, werden 1-2 Mal pro Jahr geerntet, die energetische Nutzung der Biomasse soll aber möglichst gleichmäßig über das ganze Jahr verteilt sein. Das Institut für Nutzpflanzenkunde der Universität Kassel hat das Konzept der Feuchtkonservierung der geernteten Biomasse in Silos vorgeschlagen. Im Rahmen des vom BMBF geförderten Kompetenznetzwerkes *ReFuelNet* wurde Maissilage als Edukt für den Prozess der Konversion in überkritischem Wasser ausgewählt.

Auch das verfahrenstechnisch verwandte Reforming ( $H_2$ -Erzeugung) von biogenen Kraftstoffen in überkritischem Wasser, wie z. B. wasserreiche Fraktionen von Pyrolyseöl (BCO), könnte sich im Hinblick auf die Wasserstoffherzeugung als vorteilhaft erweisen. Der Wasserstoff kann für die Verstromung z. B. in Brennstoffzellen und/oder für die Synthesechemie eingesetzt werden.

### Wasserstoffgewinnung aus biomassestämmigen Alkoholen und Säuren

Wasserlösliche und chemisch reaktive Edukte aus regenerativen Quellen können bei kurzen Verweilzeiten vollständig in energiereiches Brenngas umgewandelt werden [3]. Der dafür erforderliche verfahrenstechnische Aufwand ist relativ gering. Solche Ausgangsstoffe sind z. B. Bio-Ethanol, das durch Fermentation von Kohlenhydraten in großen Mengen verfügbar ist, und ein biomassestämmiges Pyrolyseprodukt, der so genannte Holzessig. Holzessig entsteht als Nebenprodukt bei der Holzkohleherstellung und besteht zu etwa 70 % aus Wasser, in dem etwa 12 % organische Säuren sowie Holzteer und geringe Mengen von Methanol und Aceton gelöst sind.

Die hydrothermale Umsetzung von Ethanollösungen (14 Gew.-%) ergab bereits bei Verweilzeiten von 15 s einen Umsatz von nahezu 100 % und einen Wasserstoffanteil im Rohproduktgas von 50 % (s. Abb. 2).

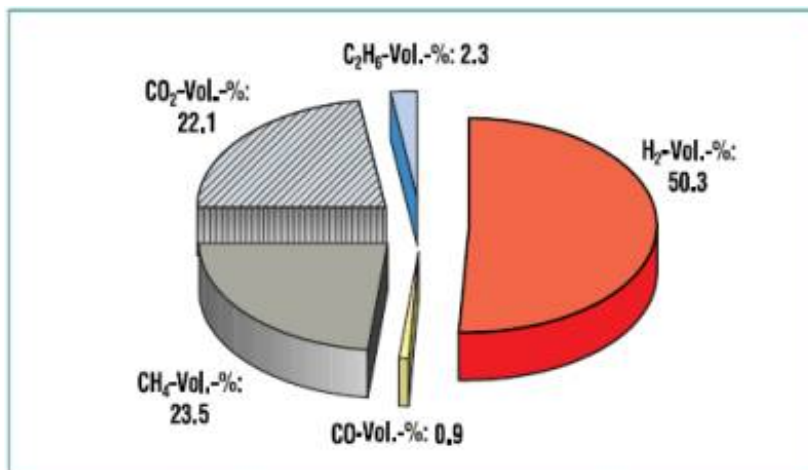


Abb. 2: Gaszusammensetzung bei der hydrothermalen Vergasung von verdünntem Ethanol (14 Gew.-%). Experimentelle Bedingungen: 600 °C, 250 bar, mittlere Verweilzeit 15 s, Zusatz von 100 ppm Kalium (als Carbonat), Umsatz > 99%.

Die erforderliche Reaktionstemperatur lag bei 600 °C, der Druck bei 25 MPa;  $K_2CO_3$  wurde dem Edukt zugesetzt um die Rußbildung effektiv zu unterdrücken [4].

Holzessig wird bei Temperaturen oberhalb 600 °C ebenfalls nahezu vollständig in Gas umgewandelt. Ergebnisse aus Laborversuchen bei 650 °C für verschiedene Ausgangskonzentrationen zeigen, dass der Gehalt an nicht umgesetzter Organik (Rest-TOC) im wässrigen Effluent in

(Fortsetzung auf Seite 11)

(Fortsetzung von Seite 10)

allen Fällen bei maximal 1 % der Eingangskonzentration liegt. Eine genauere Untersuchung der einzelnen Komponenten der Eingangslösungen und des wässrigen Auslaufs zeigte, dass alle organischen Bestandteile nahezu komplett abgebaut werden. Phenole werden bis zu einer Restmenge von 160 ppm umgesetzt (s. Tab. 2)

Somit wurde der experimentelle Nachweis erbracht, dass sich Wasserstoff aus Ethanol- und Holzessig-Lösungen in einem Prozessschritt herstellen lässt.

### Reaktionsmechanismen

Um aus nasser Biomasse verschiedenster Zusammensetzung möglichst viel Wasserstoff gewinnen zu können, ist es zunächst notwendig, die wichtigsten chemischen Abläufe zu kennen und zu verstehen, um die Reaktion anschließend optimieren zu können. Hierzu wurden Experimente in verschiedenen Reaktoren mit Modellsubstanzen und Biomasse durchgeführt. Dabei wurden in der Produktmischung Schlüsselsubstanzen, i. d. R. typische Zwischenprodukte, identifiziert, anhand derer das chemische Geschehen nachvollzogen werden kann. Alle Schlüsselsubstanzen zusammengenommen bilden einen vereinfachten Reaktionsmechanismus (s. Abb. 3).

	Verdünnter Holzessig	Umsatz [%]
TOC	28190 mg/l	99,4
Ameisensäure	2,27 g/l	97,9
Essigsäure	31,9 g/l	99,98
Formaldehyd	871 mg/l	100
Phenole	1070 mg/l	85

Tab. 2: Zusammensetzung der wässrigen Phase und Umsatz der einzelnen Komponenten bei der hydrothermalen Vergasung von verdünntem Holzessig bei 650 °C und 25 MPa unter Zusatz von K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>; [K] = 100 mg/l.

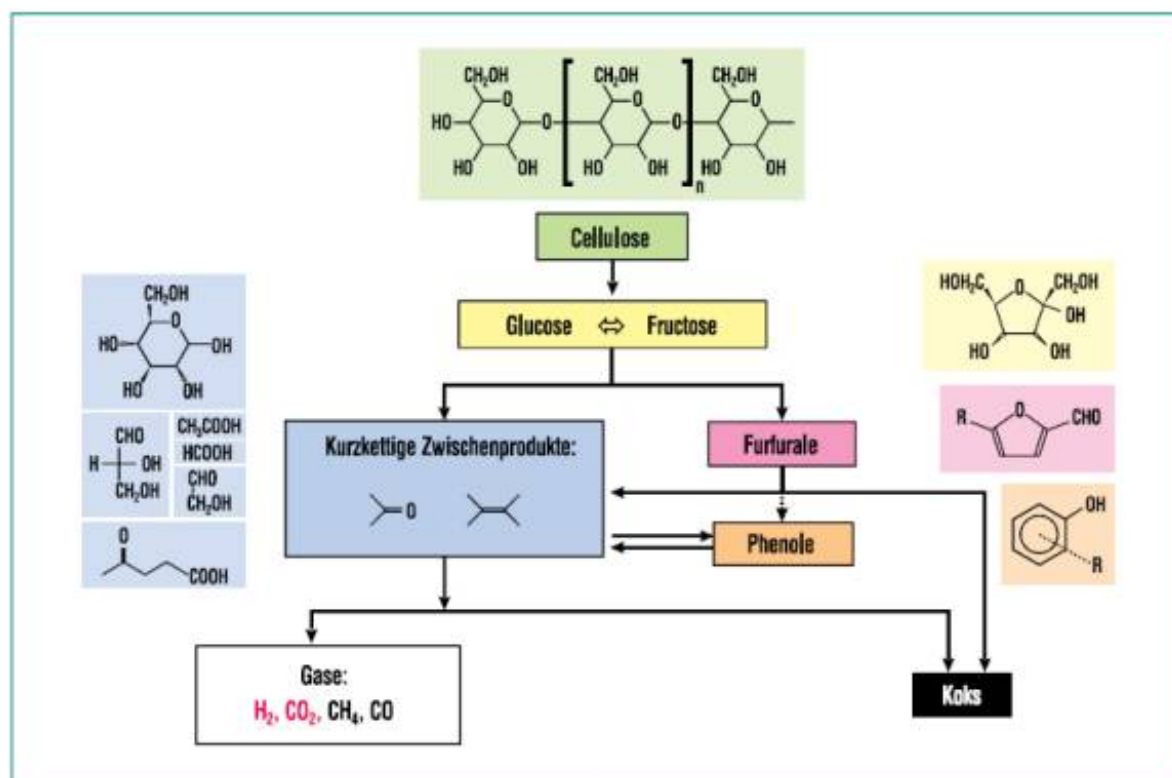


Abb. 3: Vereinfachtes Reaktionsnetzwerk der Biomasseumsetzung in überkritischem Wasser.

Eine Besonderheit nasser Biomasse ist, dass sie neben Cellulose und Hemicellulose im Gegensatz zu holzartigen Biomassen kein Lignin enthält, dafür aber einen sehr viel höheren Salzgehalt besitzt. Entsprechend wurde bei den vorliegenden Arbeiten ein besonderes Au-

(Fortsetzung auf Seite 12)

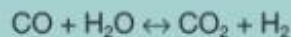
(Fortsetzung von Seite 11)

genmerk auf den Einfluss von Salzen auf den Abbau von Cellulose – als Hauptbestandteil der Biomasse – gelegt.

Der erste Reaktionsschritt ist die sehr schnelle Hydrolyse [5,6] von Cellulose zu Glucose. Diese, bzw. die daraus gebildete Fructose, kann sich in kleinere Moleküle aufspalten oder durch Wasserabspaltung Furfurale bilden. Die Furfural-Bildung sollte möglichst verhindert werden, da Furfurale leicht polymerisieren und die so gebildeten Feststoffe, z. B. Koks nur langsam oder gar nicht weiterreagieren. Die Spaltung in kleine Moleküle ist dagegen erwünscht, führt sie doch letztlich zur Bildung von Gasen. Ein kleiner Teil dieser kurzkettigen Zwischenprodukte reagiert zu Phenolen. Auch diese können unter den Bedingungen der hydrothermalen Vergasung umgesetzt werden [7], sie sind allerdings weit weniger reaktiv als andere Zwischenprodukte.

Experimente mit der Modellsubstanz Glucose zeigen eine starke Erhöhung der Wasserstoffausbeute bei Zusatz von Alkalisalzen (hier  $\text{KHCO}_3$  und  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , [8-10]) bei gleichzeitiger Verminderung der unerwünschten Furfural-, Koks- und  $\text{CO}$ -Bildung. Dies ist eine Folge der Katalyse der Wassergas-Shift-Reaktion durch Alkalisalze [11,12]. Hierdurch wird nicht nur unmittelbar der Wasserstoffgehalt erhöht und der  $\text{CO}$ -Gehalt erniedrigt, sondern durch den hierbei gebildeten aktiven Wasserstoff werden wahrscheinlich auch andere Reaktionen beeinflusst, so dass letztendlich Spaltungsreaktionen gefördert und die Gasausbeute erhöht wird.

Wassergas-Shift-Reaktion:



Wie sieht es nun bei echter Biomasse aus? Bei den vorliegenden Arbeiten wurde ein industriell hergestelltes Nahrungsmittel aus Karotten und Kartoffeln, mit kontrollierter und konstanter Zusammensetzung (Babybrei der Firma Hipp, Summenformel  $\text{CH}_{1,87}\text{O}_{0,98}\text{N}_{0,02}\text{S}_{0,001}$ ) als standardisierte Ausgangssubstanz benutzt. Ein Vergleich zwischen Glucose mit  $\text{K}_2\text{CO}_3$  und dieser Biomasse zeigt in etwa die selbe Gasausbeute und -zusammensetzung (s. Abb. 4).

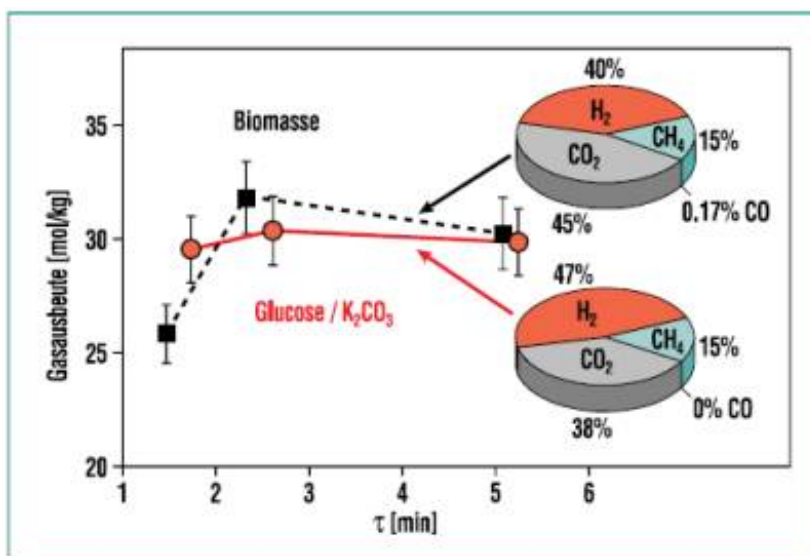


Abb. 4: Gasausbeute als Funktion der Reaktionszeit sowie Gaszusammensetzung nach 5 min. Reaktionszeit bei der Umsetzung von Biomasse und Glucose unter Zusatz von  $\text{K}_2\text{CO}_3$  (kont. Rührkessel, ca. 5 % Trockenmasse, 500 °C, 30 MPa; 0,5 % (g/g)  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ).

(Fortsetzung auf Seite 13)

(Fortsetzung von Seite 12)

Ursache hierfür ist der relative hohe Salzgehalt der Biomasse (Kaliumgehalt 1241 mg/kg), der eine ähnliche Wirkung hat, wie der  $K_2CO_3$ -Zusatz auf die Umsetzung von Glucose. Ein Vergleich von Experimenten in verschiedenen Reaktoren zeigt außerdem, dass möglichst schnelles Aufheizen die Gasausbeute erhöht und die Koksbildung unterdrückt.

## H<sub>2</sub> aus Maissilage

Das Edukt Maissilage bedarf einer mechanischen Vorzerkleinerung über ein Dispergierwerkzeug. Die Faserlänge wird dadurch reduziert und beträgt maximal wenige mm. Die Eduktkonzentration liegt bei bis zu 20 Gew.-%. Die Versuche mit Maissilage bestätigen die Machbarkeit der Herstellung von Wasserstoff aus Biomasse mit hoher Ausbeute [13]. Die Variation der Temperatur zwischen 300 °C und 700 °C zeigt, dass erst ab einer Reaktionstemperatur von 550 °C der Kohlenstoff-Vergasungsumsatz 50 % überschreitet. Vollständige Vergasung wird erst bei einer Reaktionstemperatur oberhalb 650 °C erreicht. Wasserstoff mit über 50 Vol.-% ist die Hauptkomponente des brennbaren Teils des Produktgases (ohne CO<sub>2</sub>) und Methan mit etwa 40 Vol.-% ist ein nutzbares Nebenprodukt des Prozesses.

Untersuchungen zum Einfluss der mittleren Verweilzeit auf den Vergasungsumsatz ergaben, dass bereits kurze Zeiten (im sec Bereich) im Hochtemperaturteil der Anlage (600-700 °C) ausreichen, um Vergasungsumsätze über 90 % zu erreichen. In Abb. 5 sind die Ergebnisse von 36 unabhängigen Experimenten zusammengefasst.

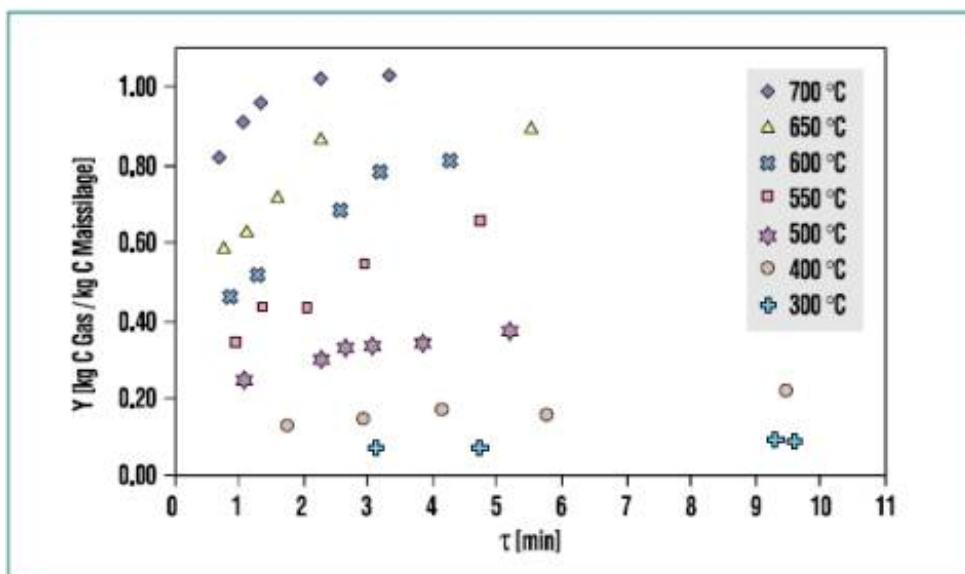


Abb. 5: Kohlenstoffvergasungsumsatz als Funktion der mittleren Verweilzeit und der maximalen Reaktionstemperatur (Edukt ist 5 Gew.-% Maissilage).

Die angegebene mittlere Verweilzeit berücksichtigt dabei auch das Volumen des Vorwärmers und des Kühlers und ist somit erheblich länger als die Aufenthaltszeit in der Reaktionszone. Der Ausdruck:

$$y = 10^2 \cdot \exp\left(\frac{-47.9 \text{ kJ}}{R \cdot T [\text{K}]}\right) \cdot \tau + 10^{-2.8} \cdot \exp\left(6.1 \cdot 10^{-3} \cdot T [\text{K}]\right)$$

(Reaktionsordnung Null)

ermöglicht die Voraussage des Kohlenstoff-Vergasungsumsatzes (y) bei gegebener Reaktionstemperatur und Verweilzeit, gilt allerdings nur für kurze Verweilzeiten. Die Variation des

(Fortsetzung auf Seite 14)

(Fortsetzung von Seite 13)

Druckes hat nur geringen Einfluss auf die Reaktion.

Kaliumsalze spielen eine wichtige Rolle bei der Erhöhung des Vergasungsumsatzes, wie schon im Kapitel Reaktionsmechanismen erwähnt. Die Maissilage enthält etwa 500 ppm  $K^+$ . Diese Menge ist ausreichend, weitere Erhöhung bewirkt keine signifikante Veränderung in der Produktzusammensetzung.

### VERENA

Ziel der Arbeiten mit der Pilot-Anlage VERENA (s. Abb. 6) ist die Demonstration des Prozesses und die Messung der notwendigen Daten um Massen- und Energie-Bilanzen für die Anwendung des Prozesses auf verschiedene Edukte (Biomassen) zu erstellen [14].

Der erste Test-Betrieb der Anlage VERENA begann Ende 2002, bis Frühjahr 2005 wurden etwa 600 Stunden Versuchszeit verwirklicht. Dabei wurde Wasserstoff erzeugt, und somit die Funktion des Prozesses in einem repräsentativen Maßstab demonstriert. Mit Hilfe der Messdaten wurden die verfahrenstechnischen Berechnungsmethoden für die Auslegung der Ausrüstungen experimentell überprüft und in ihre Anwendbarkeit voll bestätigt. Dies betrifft insbesondere den Wärmeeintrag in das Reaktionsmedium, der mit Hilfe von dimensionslosen Kennzahlen (Reynolds, Nußelt), berechnet worden ist. Somit ist eine wichtige Voraussetzung für eine zukünftige Maßstabsvergrößerung erfüllt.

Der thermische Wirkungsgrad der Anlage VERENA wurde in Experimenten mit verdünnten Methanollösungen bestimmt (s. Abb. 7).



Abb. 6: Vorwärmer (oben links) und Reaktor der Anlage VERENA.

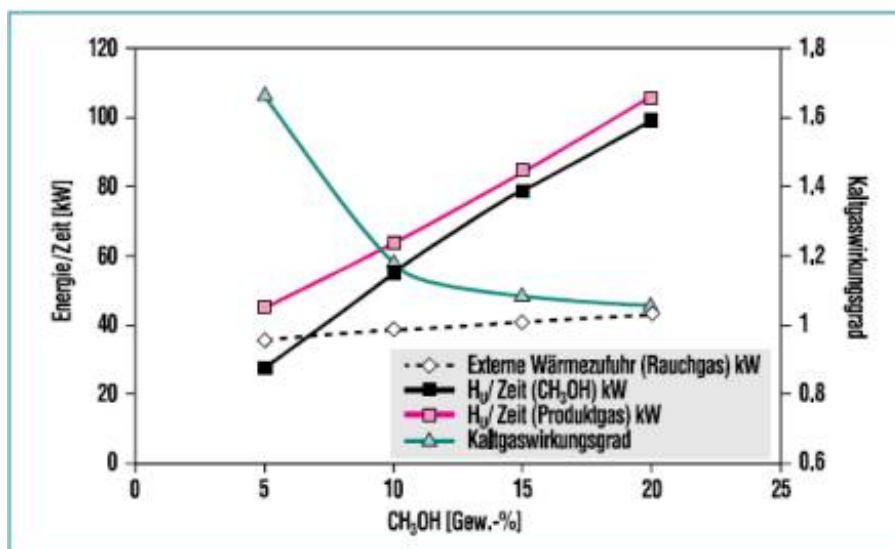


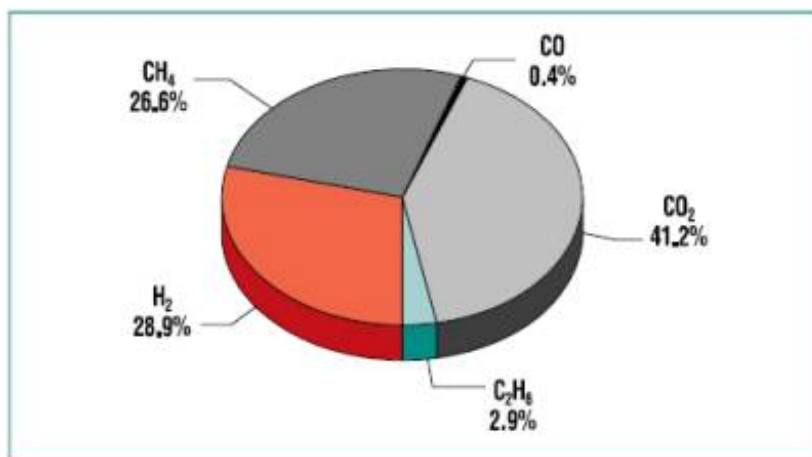
Abb. 7: Versuchsdaten-basierte Auswertung der wichtigsten Energieflüsse in der Anlage VERENA ( $H_u$  = unterer Heizwert).

(Fortsetzung auf Seite 15)

(Fortsetzung von Seite 14)

Dadurch werden mit Kohlenstoffkonzentrationen im Edukt, die auch mit Biomasse angestrebt werden, möglichst genaue Daten zur Energiebilanz gewonnen. Der Kaltgaswirkungsgrad wurde nach der Formel  $\eta_{\text{KG}} = (\text{Energieinhalt Produktgas}) / (\text{Energieinhalt Edukt})$  berechnet.

Aufbauend auf den Laborversuchen wurde auch in der VERENA eine leichte Pyrolyseöl-Fraktion (Holzessig, 10 Gew.-% organische Materie, Gesamtmenge 500 kg, Durchsatz 50 kg/h, Reaktionstemperatur 620 °C) zu einem Brenngas mit den Hauptkomponenten H<sub>2</sub> und Methan umgesetzt. Der Kohlenstoff-Vergasungsumsatz lag bei 97 % und der Kaltgaswirkungsgrad bei 2,13. Die Gaszusammensetzung ergab wieder ein wasserstoffreiches Produktgas. Nach der CO<sub>2</sub>-Abtrennung wird eine Wasserstoffkonzentration von 50 Vol.-% erwartet (s. Abb. 8).



**Abb. 8: Produktgaszusammensetzung aus der Vergasung einer 10 Gew.-% Holzessig-Lösung. Eduktumsatz 50 kg/h, Produktgasumsatz 4 Nm<sup>3</sup>/h.**

Das Abwasser konnte direkt in die biologische Stufe der Kläranlage eingeleitet werden.

Nachdem das Feedsystem der Anlage VERENA für den Betrieb mit faserigen Edukten ertüchtigt worden ist, wird als nächstes die Wasserstoffherzeugung aus Maissilage im Pilotmassstab demonstriert.

### **CO<sub>2</sub>- und Wasserstoffabtrennung**

Der hohe Prozessdruck von über 20 MPa ermöglicht eine einfache Abtrennung des Kohlendioxids durch prozessintegrierte Druckwasserwäsche ohne Zusatz von basischen Verbindungen oder energieaufwendiges Kühlen wie bei anderen gängigen Verfahren. Bei diesen hohen Drücken ist die Löslichkeit von Kohlendioxid in Wasser bei Umgebungstemperatur wesentlich höher als die Löslichkeit der anderen Prozessgaskomponenten Wasserstoff und Methan. Die Kohlendioxidabtrennung erfolgt dabei ohne Verlust im Druckniveau.

In die Pilotanlage VERENA ist eine einstufige Gaswäsche in Form einer Gegenstrom Füllkörperkolonne integriert. Erste Ergebnisse, die während Versuchskampagnen zur Biomassevergasung gemessen wurden, haben gezeigt, dass ein Teil des CO<sub>2</sub> bei der Phasentrennung im Hochdruckbereich bereits im Prozesswasser gelöst und abgeführt wird. Bis zu 99 % des verbleibenden CO<sub>2</sub> konnten bei Gasflüssen von 200 NI/h abgetrennt werden.

Für die weiteren systematischen Untersuchungen wurde die Druckwasserwäsche vom Rest der Anlage abgekoppelt und mit einer Testgasmischung (52 % H<sub>2</sub>, 27 % CO<sub>2</sub>, 20 % CH<sub>4</sub> und 1 % C<sub>0</sub>) aus Druckflaschen beschickt. Die Gasmenge wurde über einen Massendurchfluss-

(Fortsetzung auf Seite 16)

(Fortsetzung von Seite 15)

regler genau eingestellt. Bei 10 MPa Druck werden bereits 99 % des ursprünglich im Prozessgas enthaltenen Kohlendioxids ausgewaschen. Die Wasserstoff- und Methanverluste betragen dabei nur 5 bzw. 10 %. Nach der absorptiven Abtrennung des CO<sub>2</sub> besteht das unter einem Systemdruck von 20 bis 25 MPa stehende Produktgas hauptsächlich aus H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> sowie geringen Anteilen an C<sup>+</sup>-Alkanen. Für die Abtrennung und somit Herstellung von technisch reinem Wasserstoff bieten sich Membranverfahren an. Die H<sub>2</sub>-Abtrennung stellt für Membranen eine geradezu ideale Trennaufgabe dar, denn H<sub>2</sub> permeiert im Vergleich zu anderen Gasen sehr viel besser. Hierdurch resultieren sowohl hohe Selektivitäten als auch Flüsse verglichen mit anderen Gasen [15]. Dabei wird die Druckdifferenz über die Membran als Triebkraft für die Gastrennung ausgenutzt. Die Gastrennung wird unter Systemdruck durchgeführt. Nach der CO<sub>2</sub>-Abtrennung ist mit einem H<sub>2</sub>-Gehalt mit 50 bis 70 Vol.-% im Produktgas zu rechnen. Systemdrücke von 20 bis 25 MPa entsprechen Partialdrücken von 10 bis 17,5 MPa als nutzbare Druckdifferenz. Dies bedeutet, dass H<sub>2</sub> mit einem Druck von ca. 10 MPa als technischer Wasserstoff zur Verfügung gestellt werden kann.

### Erreichter Stand

Die experimentelle Untersuchung des Prozesses hat die Machbarkeit, die chemische und energetische Effizienz sowie folgende Punkte im Einzelnen bestätigt:

- Wasserstoff kann aus nicht getrockneter Biomasse mit hoher Ausbeute und geringen CO-Gehalten in einem Prozessschritt erzeugt werden.
- Es wird wenig Teer und Koks gebildet, die wesentlichen Reaktionspfade wurden identifiziert.
- H<sub>2</sub> kann unter Druck gewonnen werden. Es fällt keine Kompressionsarbeit für die Verdichtung von H<sub>2</sub> an. Das CO<sub>2</sub> ist leicht abtrennbar.
- Eine hohe Raum-Zeit-Ausbeute ergibt sich aus der Anwendung eines hohen Prozessdruckes und aus der hohen Reaktivität von Biomasse.
- Die Produktgasreinigung ist einfach, weil die Heteroatome in der wässrigen Lösung verbleiben

### Weiteres Vorgehen

Zur Absicherung der kommerziellen Relevanz werden, basierend auf Marktrecherchen und Studien, Erfolg versprechende Anwendungen identifiziert und in Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen und der Industrie im Rahmen konkreter Projekte verfolgt. Dazu müssen, neben der Bewertung der Verfahrenseffizienz, mittelfristig eine Reihe chemischer Grundlagen und ingenieurtechnischer Fragestellungen, insbesondere bezüglich des Kernstücks des Prozesses, der hydrothermalen Vergasung, intensiv und eduktbezogen bearbeitet werden. Die angestrebte Bearbeitungstiefe soll letztlich eine kommerzielle Umsetzung auf der Basis einer ingenieurtechnisch ausgelegten Pilotanlage für ausgewählte Edukte erlauben.

### Danksagung

Die Autoren möchten sich beim BMBF für die Finanzierung der Anlage VERENA bedanken. Den beteiligten Mitarbeitern des Instituts gilt unser besonderer Dank.

(Fortsetzung auf Seite 17)



(Fortsetzung von Seite 16)

## Literatur

- [1] N. Boukis, A. Kruse, U. Galla, V. Diem, E. Dinjus, *Forschungszentrum Karlsruhe, Nachrichten, Jahrgang 35 3/2003, 99-105*
- [2] N. Boukis, U. Galla, V. Diem, P. D'Jesús, E. Dinjus, *Chem. Eng. Trans., (2004) Vol. 4, 131-136*
- [3] N. Boukis, V. Diem, W. Habicht, E. Dinjus, *Ind. Eng. Chem. Res. (2003) Vol. 42, 728-735*
- [4] V. Diem, N. Boukis, E. Hauer, E. Dinjus, *Chem. Eng. Trans., (2004) Vol. 4, 99-104*
- [5] M. Sasaki, B. Kabyemela, R. Malaluan, S. Hirose, N. Takeda, T. Adschiri, K. Arai, *J. Supercrit. Fluids 13 (1998) 261 - 268*
- [6] M. Sasaki, T. Adschiri, K. Arai *AIChE Journal 50 (2004) 192 - 202*
- [7] A. Kruse, D. Meier, P. Rimbrecht, M. Schacht *Ind. Eng. Chem. Res 39 (2000) 4842 - 4848*
- [8] A. Sinag, A. Kruse, V. Schwarzkopf, *Chemie Ingenieur Technik 75 (2003) 1351-1355*
- [9] A. Sinag, A. Kruse, J. Rathert, *Ind. Eng. Chem. Res 43 (2004) 502 - 508.*
- [10] A. Sinag, A. Kruse, V. Schwarzkopf, *Ind. Eng. Chem. Res 42 (2004) 3519 - 3521*
- [11] D.C. Elliott, L.J. Sealock, *Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Develop. 22 (1983) 426 - 431*
- [12] M. Watanabe, T. Sato, H. Inomata, R.L. Smith Jr., K. Arai, A. Kruse, E. Dinjus, *Chem.Rev.; (2004)*
- [13] P. D'Jesús, N. Boukis, B. Kraushaar-Czarnetzki, E. Dinjus *Chem. Eng. Trans. (2005), 6, 61-66*
- [14] N. Boukis, U. Galla, V. Diem, E. Dinjus *Science in Thermal and Chemical Biomass Conversion, 30 August to 2 September 2004 Vancouver Island, BC, Canada*
- [15] T. Peters, M. Kraume, *C.I.T. (2005). 77, 473-485*

Ende des Beitrags aus der Publikation ISSN 0948-0919 - Nachrichten, Energieträger Wasserstoff, Jahrgang 37, 3/2005. Der Abdruck erfolgt mit freundlicher Genehmigung des Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Postfach 3640 · 76021 Karlsruhe

## Nachwort

Dieser Beitrag bestätigt (erneut), was wir auch schon mit anderen Beiträgen aufgezeigt haben: Aus feuchter und trockener Biomasse kann (Bio-)Wasserstoff mit hoher Ausbeute und geringen CO-Gehalten in einem Prozessschritt erzeugt werden. Dabei wird wenig Teer und Koks gebildet.

H<sub>2</sub> kann unter Druck gewonnen werden, wodurch keine Kompressionsarbeit für die Verdichtung von H<sub>2</sub> anfällt. Das CO<sub>2</sub> ist leicht abtrennbar. Entstehendes Methangas muss ausgefiltert und in Wasserstoff umgewandelt werden.

Eine hohe Raum-Zeit-Ausbeute ergibt sich aus der Anwendung eines hohen Prozessdrucks und aus der hohen Reaktivität der (nassen) Biomasse. Dabei ist die Produktgasreinigung einfach, weil die Heteroatome in der wässrigen Lösung verbleiben.

Das alles sind hervorragende Ansätze, um so schnell wie möglich mit solchen Anlagen in die dezentrale Biowasserstoffherzeugung einzusteigen und damit die Abkehr und Unabhängigkeit von den Primärstoffen Erdöl und Erdgas wie auch von deren Erzeugerländern zu erreichen.

Hier sind die Politiker – parteiübergreifend (!), aber auch die Führungskräfte aus Industrie und Wirtschaft gleichermaßen gefordert.

Die Zeit ist reif, es gilt zu Handeln.

Wir bedanken uns für die Überlassung der Abdruckrechte des Beitrags beim Forschungszentrum Karlsruhe GmbH - <http://www.fzk.de>

**Die Technik ist vorhanden – jetzt muss sie angewendet werden!**

## Lautlos über den Wolken Torsten Pörschke

### Dem Süden entgegen

Ein leichtes Kribbeln im Bauch ist schon da. Die Menschenschlange am Schalter wird kürzer. Jetzt sind wir an der Reihe. Flugticket vorzeigen und weiter geht's zum Shuttlebus. Es dauert nur ein paar Minuten, dann laufen wir die Gangway nach oben. Hinein in die Maschine. Hoffentlich geht das alles gut. Bald sitzen wir recht bequem auf unseren Plätzen und schauen aus dem Fenster. Jetzt kann der Urlaub beginnen. Das Flugzeug rollt langsam Richtung Startbahn. Ein kurzer Stop und die Turbinen fangen an zu brüllen. Die Urgewalt der Triebwerke ist förmlich zu spüren. Der Pilot löst das Bremssystem, die Maschine gewinnt an Geschwindigkeit und schließlich kommt dieses merkwürdige Gefühl im Bauch. Es gibt keinen Bodenkontakt mehr. Auf einmal fühlt sich alles so leicht an. Endlich haben wir die Reiseflughöhe erreicht und dürfen die Sicherheitsgurte lösen. Ein wenig Entspannung ist auf den Gesichtern meiner Nachbarn zu erkennen. Jetzt macht sich die trockene klimatisierte Luft an Bord schon bemerkbar. Die Stewardessen beginnen mit dem Austeilen von ersten Erfrischungen.

### Ein Blick hinter die Kulissen

Ohne elektrische Energie geht in Verkehrsflugzeugen nicht viel. Die Klimaanlage, die Beleuchtung, Bordküchen und die Technik im Cockpit benötigen Strom, um arbeiten zu können. Die installierte Leistung an Bord bewegt sich so zwischen 500 und 1.000 kW. In der Luft nutzen Generatoren die Antriebsenergie der Triebwerke, am Boden erzeugt eine mit Kerosin betriebene Gasturbine die erforderliche Energie. Der elektrische Wirkungsgrad liegt so zwischen 15 bis 20 Prozent.

Hier liegt ein gewaltiges Einsparpotential. Deshalb möchten die weltweit führenden Passagierflugzeugbauer Airbus und Boeing den Betriebsstrom für die Maschinen künftig unter Verwendung von Brennstoffzellen decken. Untersucht werden für diese Zwecke PEFC und SOFC. Zunächst muss aus dem Kerosin mittels Reformer ein wasserstoffreiches Gas hergestellt werden. Die PEFC benötigt anschließend noch einen aufwendigen Reinigungsprozess des Gases, damit sie zuverlässig betrieben werden kann, während die SOFC darauf verzichten kann. Das Plus der PEFC liegt in für eine einfache Handhabung niedrigen Arbeitstemperaturen (90 Grad Celsius) und der schnellen Betriebsbereitschaft. Die SOFC hingegen hat Entwicklungspotential hinsichtlich der zusätzlichen Verwendung der Abwärme (800 Grad Celsius), lässt sich aber am besten nur im Dauerbetrieb einsetzen. Die "Vorwärmzeiten" betragen noch einige Stunden. Bei den elektrischen Wirkungsgraden können Werte von 35 bis 70 Prozent erreicht werden. Brennstoffzellen arbeiten nahezu geräuschlos und erzeugen als Abfallprodukt Wasser. Dieses könnte als Brauchwasser an Bord eine Verwendung finden und vor allem beim Start Gewicht sparen helfen. Während des Fluges können die Wassertanks dann kontinuierlich aufgefüllt werden. Die entstehende hohe Abwärme der SOFC dürfte eine Verwendung zur Klimatisierung der Kabine und zur Enteisierung der Tragflügel finden.

### Brennstoffzellen lernen fliegen

Zunächst werden einmal kleine Brennstoffzellen einen kleinen Teil der gesamten Stromversorgung übernehmen. Später dann sollen sie anstelle der kleinen Gasturbine im Heck des Flugzeuges als APU (Auxiliary Power Unit) Verwendung finden und in der Luft die komplette Versorgung mit elektrischer Energie übernehmen. Dann könnten die Luftschadstoff- und Lärmbelastungen auf den Flughäfen sinken und die Fluggesellschaften in größerem Umfang Kerosin sparen. Bis dahin ist noch einiges an Forschungs- und Entwicklungsarbeit zu leisten. Bisherige Brennstoffzellen wiegen bei Leistungen zwischen 670 und 1.000 kW immer noch um ca. 3,2 Tonnen. Das ist zu schwer, um damit wirtschaftlich im Flugverkehr eingesetzt werden zu können.

(Fortsetzung auf Seite 19)

(Fortsetzung von Seite 18)

Die europäische Union hat mit den Industriepartnern Airbus France, Diehl Avionik Systeme, Dassault Aviation, Germanischer Lloyd, Thales AES, IRD Fuel Cell A/S und Air Liquide von 2005 bis 2007 das Projekt CELINA durchgeführt, das sich mit der Integration von Brennstoffzellen an Bord einer neuen Generation von Verkehrsflugzeugen beschäftigte. Dabei wurden folgende Forderungen aufgestellt. Das spezifische Gewicht soll auf 1 kg/kW sinken, die BZ soll 60.000 Betriebsstunden mit Wartung erreichen, die Beschaffungskosten unter 500 Euro/kW liegen und das System im Temperaturbereich von minus 72 Grad Celsius bis plus 55 Grad Celsius zuverlässig arbeiten.



Beispiel einer Brennstoffzelle im Flugzeug

Erste Schritte auf dem Weg zu einer praktischen Anwendung wurden bereits im Jahr 2006 gemacht. Das von der Europäischen Union geförderte Projekt "Power Optimized Aircraft" führte zur Erprobung einer bei der DLR selbst gebauten Brennstoffzelle. Hierbei handelte es sich um eine SOFC mit einer Leistung von 20 kW. Diese wurde aus einem am Forschungszentrum Jülich entwickelten Brennstoffzellenstapel und einem vom Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE bereitgestellten Kerosin-Reformer, einschließlich Wärmeübertrager und Restgasbrenner, zusammengebaut. Die DLR und die Firma Liebherr testeten gemeinsam mit den Fraunhofer-Forschern das System zunächst am Boden bei stationären Betriebszuständen und schnellen Lastwechseländerungen des Reformers bei konstanter Leistung der SOFC. Als Brennstoff kam entschwefeltes Kerosin Jet A-1 zu Einsatz. Die Reformeranlage erzeugte 10 bis 45 NI/min Synthesegas. Nicht umgesetztes Brenngas aus der SOFC wurde in einem Porenbrenner abgebrannt und die dabei entstehende Wärme für den Betrieb der BZ genutzt. Daran anschließend finden jetzt Neigungs-, Vibrations-, Beschleunigungs-, Unterdruck- und Klimatests statt. ISE entwickelte gleichzeitig dazu zwei Verfahren zur Entschwefelung von Kerosin, um den zukünftigen Einsatz von Brennstoffzellen möglich zu machen.

Um die Technologie voranzutreiben, wurde bei Airbus Deutschland mit Unterstützung des BMWi das Projekt ELBASYS im Rahmen des Forschungsprogramms Lufo IV initiiert. In der ersten Stufe

(Fortsetzung auf Seite 20)

(Fortsetzung von Seite 19)

von April bis November 2007 wurde ein bereits vorhandenes Brennstoffzellensystem (NT-PEFC) mit separaten Wasserstofftanks in den Airbus 320 D-ATRA der DLR eingebaut und mit Testausrüstung versehen. Die zweite Stufe von Juli 2007 bis Oktober 2008 beinhaltet die weitere Erprobung der von der Firma Michelin bereitgestellten NT-PEFC mit einer Leistung von 20 kW. Sie soll neben Strom und Wärme auch sauerstoffarme Luft zur Inertisierung von Treibstofftanks und Brauchwasser für die Bordversorgung bereitstellen. Zunächst wurde mit der BZ nur ein standby-System an Bord des Flugzeuges mit Energie versorgt, seit Februar 2008 auch eine hydraulische Umwälzpumpe, die für die Steuerung des Flugzeuges benötigt wird. Bei Lastvielfachen unter 3g arbeitet die BZ schon zuverlässig.

Die österreichische Firma alp2s hat mit Airbus ein umfangreiches Kompensationsgeschäft abgeschlossen, in dessen Folge eine flugtaugliche Brennstoffzelle entwickelt werden soll. Ein erstes SOFC-Modul wurde bereits im Oktober 2003 in Linz vorgestellt. An die Eigenschaften der Brennstoffzelle werden besondere Bedingungen gestellt. Sie soll mit handelsüblichen Kerosin mit hohem Schwefelgehalt betrieben werden können. Eine einwandfreie Funktion in Betriebshöhen von 0 bis 14.000 m (Seehöhe), einem Luftdruck von 1/5 des Bodendruckes und bei auftretenden Lastvielfachen während bestimmter Flugmanöver ist unerlässlich. Gleichzeitig wird eine hohe Lebensdauer (20.000 Betriebsstunden) und eine kurze Startzeit gefordert. Die Abwärme von bis zu 700 Grad Celsius möchte man als Prozesswärme nutzbar machen, der elektrische Wirkungsgrad soll bis zu 70 Prozent betragen. Ein flugfähiger Prototyp wird für 2009/2010 erwartet und alp2s rechnet mit einem Einsatz in Serienmaschinen ab 2012/2015.

### **Elektrifizierung der Bordsysteme**

Das Notstromaggregat besteht heute bei Verkehrsflugzeugen aus einem zweiflügeligen Windrad. Es wird bei Bedarf am Flügel des Flugzeuges ausgeklappt. Allerdings verschlechtert es die ansonsten guten Segeleigenschaften der Maschinen. Sollten einmal alle Triebwerke an Bord gleichzeitig ausfallen, kann das Flugzeug ohne dieses Windrad durchaus Strecken von 100 bis 200 km zurücklegen. Wird die Bordversorgung über Brennstoffzellen sichergestellt, dann erübrigt sich das Windrad. Gleichzeitig kann die brand- und explosionshemmende Wirkung der Abluft der Brennstoffzelle genutzt werden. Insgesamt gesehen kommt es zu weiteren Sicherheitsgewinnen in der Luftfahrt.

Heute noch vorhandene hydraulische und pneumatische Verbraucher können mittelfristig durch elektrische Verbraucher ersetzt werden. Das Schlagwort der Branche dazu ist das "more electric aircraft". So wird auch über den Wegfall des Zapfluftsystems an den Triebwerken nachgedacht, das die energieintensive Klimaanlage versorgt. Dadurch verringert sich der Energieverbrauch der Flugzeuge. Brennstoffzellen an Bord können als "Kraftwerk" durchaus 10 Prozent und mehr Kerosin einsparen.

Erste vorbereitende Entwicklungen münden bereits in konkrete Vorhaben. Das bereits erwähnte Projekt ELBASYS beinhaltet den Bau und die Integration einer neuen NT-PEFC mit einer Leistung von 50 kW. Die BZ soll die elektrische Energie für das Ein- und Ausfahren des Bugfahrwerks der Erprobungsmaschine bereitstellen.

### **Blauer Himmel über uns**

Bereits im Jahr 1937 soll der erste Jet mit Wasserstoff in einem Zusatztank getestet worden sein. Entwickelt hatte das der deutsche Flugzeugingenieur Hans von Ohain. Die US Air Force testete 1957 im Kalten Krieg Wasserstoff auf ihren B 57- Canberra-Bombern. Schließlich sollte auch in der Zivilluftfahrt die Stunde des neuen Treibstoffes kommen. Am 15. April 1988 hob eine Tupolev

(Fortsetzung auf Seite 21)

(Fortsetzung von Seite 20)

lew TU-155 (auf Basis TU-154) mit drei Triebwerken zu ihrem ersten 21 Minuten dauernden Probeflug ab. Dabei wurde eines der drei Triebwerke (im Leitwerk) mit Flüssigwasserstoff (GH<sub>2</sub>) und später auch mit Flüssigerdgas (LNG) betrieben. Weitere Arbeiten zum Wasserstoffantrieb begannen ab 1990 durch russische und deutsche Firmen. Im Blickpunkt standen die Modelle Tupolev TU-156 (auf Basis TU-154), Dornier 328 Jet und Airbus A 310.

Die Arbeiten am Airbus-Projekt "Cyroplane" ab dem Jahr 2000 zeigten, dass aus Sicherheits- und Isolationsgründen erheblich verstärkte Tanks in die Flugzeuge eingebaut werden müssen. Dadurch würde das Gewicht eines mit Wasserstoff-Turbinen angetriebenen Flugzeuges um bis zu 25 Prozent steigen und die Reichweite sich um 8 bis 15 Prozent verringern. Zwar ist der gewichtsspezifische Energiegehalt von Wasserstoff 2,8-mal höher als der bei Kerosin, das benötigte Volumen für die gleiche Energiemenge jedoch 4-mal höher. Daraus ergaben sich Platzprobleme, die durch eine Platzierung der Wasserstofftanks auf dem Rücken des Flugzeuges gelöst werden sollten.

Bei dem Einsatz von Wasserstoff in Düsentriebwerken könnten neue Umweltprobleme entstehen. Sollten die üblichen Flughöhen beibehalten werden, würde der kondensierende Wasserdampf der Triebwerke den Treibhauseffekt noch verstärken. Deshalb sollte die Flughöhe auf unter 8.000 m (Troposphäre) begrenzt werden. Ob sich die Luftverkehrsgesellschaften freiwillig an solche Regelungen halten, steht auf einem anderen Blatt. Allerdings sollten alle ein Interesse daran haben. Die Alternative würde im Sinne des Klimaschutzes vielleicht in einer Einschränkung des Luftverkehrs insgesamt liegen. Damit wären dann auch unsere tollen Urlaubsflüge nicht mehr drin. Die Luftverkehrsgesellschaften suchen fieberhaft nach einer umweltverträglicheren Lösung. Diese Jahr noch wird eine Maschine der Air New Zealand mit einem Gemisch von Kerosin und aus Meeresalgen hergestellten Biotreibstoff starten, Virgin Airlines hat bereits einen solchen Kraftstoff dieses Jahr getestet. Möglicherweise gelingt es bald, die Maschine komplett mit regenerativ erzeugtem flüssigem Treibstoff fliegen zu lassen. Das könnte zunächst erst einmal eine elegante Zwischenlösung sein, bis der Luftverkehr dann endgültig hinsichtlich Lärm und Schadstoffen umweltfreundlich wird.

Seit 2003 arbeitet der Flugzeugbauer Boeing an einem Flugzeug mit Brennstoffzellenantrieb. Basis dafür ist ein Motorsegler der Dimona-Serie des österreichischen Herstellers Diamond Aircraft Industries. An dem Projekt sind die Firmen Intelligent Energy (GB), Sener (Spanien), Aerlyper (Spanien) und Advanced Technology Products (USA) sowie die Polytechnischen Universitäten Madrid und Katalonien beteiligt. Der Jungfernflug fand Ende 2007 statt. Die Maschine ist mit einer Geschwindigkeit von 100 km/h deutlich langsamer als sein Pedant mit 115-PS-Verbrennungsmotor, der 261 km/h schafft. Eingebaut ist eine NT-PEFC, die über einen Elektromotor einen Propeller antreibt. Grundsätzlich beweist diese Versuchsmaschine, dass auch der Hauptantrieb von Flugzeugen durch Brennstoffzellen ersetzt werden kann. Bisher wurden maximale Flugzeiten von ca. 1 Stunde erreicht. Weiterführende Projekte beinhalten die Verwendung von neuen Drucktanks (700 statt 350 bar) und andere Verbesserungen. Man rechnet bei den nächsten Entwicklungen mit 3 bis 4 Stunden Flugzeit.

Europäische Flugzeugbauer wollen da nicht zurückstehen und bauen seit April 2007 an einem Motorsegler mit dem Namen "Hydrogenius". Auch hier gibt es noch Gewichtsprobleme mit dem Tank, die man aber in den Griff bekommen will. Der Demonstrator soll spätestens im Jahr 2011 abheben. Die DLR wird mit der ANTARES 20 E der Lange Aviation GmbH bis 2017 umfangreiche Flugerprobungen mit der Brennstoffzelle als Hauptantrieb durchführen.

(Fortsetzung auf Seite 22)

(Fortsetzung von Seite 21)

### **Der neue Traum vom Fliegen**

Bisher glaubt man bei Boeing und Airbus, dass die Kombination Brennstoffzellen und Wasserstoff nur die Bordstromversorgung in größeren Maschinen und den Hauptantrieb in kleineren Flugzeugen ersetzen könnte. Hier spielen sicher nicht nur Überlegungen zum Masse-/Leistungsverhältnis eine Rolle, sondern auch Gedanken zur Sicherheit im Luftverkehr. Allerdings sollten sich die Hersteller und die Luftverkehrsgesellschaften daran erinnern, dass die Umstellung des Hauptantriebes von Kolbenmotoren auf Turbinenantrieb ebenfalls eine tief greifende Veränderung war, die entsprechendes Engagement erforderte.

Mit der Entwicklung leistungsstarker leichter BZ-Systeme, Elektromotoren und Speichertanks (Lebensdauer heute bereits 15 Jahre !) steht in der Luftfahrt möglicherweise auch eine Renaissance der großen Propellermaschinen bevor. Um konkurrenzfähig gegenüber dem Jetantrieb zu sein, müssten solche Flugzeuge dann in den hohen Unterschallbereich vordringen. Grundsätzlich ist dies möglich, wie die weltweit schnellste bisher gebaute Propellermaschine, die TU-95/142 beweist. Exemplare dieses Typs erreichten bis zu 930 km pro Stunde.

Der Fluglärm würde bei Verwendung von Brennstoffzellen als Hauptantrieb bis auf die Propellergeräusche entfallen und die Schadstoffemissionen gegen null gehen. Das dürfte auch die Anwohner von Großflughäfen freuen. Der spezifische Energieverbrauch pro Passagier und Kilometer wird ebenfalls unschlagbar sein. Allein diese Eigenschaft dürfte dazu führen, dass Maschinen dann rund um den Globus nonstop fliegen werden. Der Einsatz von Wasserstoff in Flugzeugen führt, wie entsprechende Tests der NASA bewiesen haben, eher zu einem Sicherheitsgewinn gegenüber dem Einsatz von Kerosin. Die Vorbehalte der Luftfahrt mit Wasserstoff, die noch immer mit der Katastrophe des Luftschiffes "Hindenburg" in Lakehurst (USA) im Jahr 1937 verbunden werden, haben ihre Ursachen in einer falschen Darstellung der damaligen Unglücksursachen. Nicht der Wasserstoff selbst war an dem Brand Schuld, sondern die elektrostatische Aufladung der Außenhaut, die durch die Verwendung neuer nicht voll erprobter Materialien hervorgerufen wurde. Auch bei einer Befüllung der Tragzellen mit Helium wäre damals die Hülle des Luftschiffes in Brand geraten.

Prinzipiell hat die US Space Agency bereits in einer Studie vor 25 Jahren die generelle Realisierbarkeit von Wasserstoff auf Flughäfen festgestellt. Auch ein so genannter Mischbetrieb während der Umstellungsphase bei den Fluggesellschaften (kerosinbetriebene und wasserstoffbetriebene Maschinen) wird für machbar gehalten. Bei der Verwendung von flüssigem Wasserstoff werden keine signifikanten Probleme im Flughafenumfeld gesehen. Biowasserstoff wird die Luftfahrt revolutionieren und auch künftig Reisen über alle geographischen Hindernisse auf der Erde ermöglichen.

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)

## Impressum

Herausgeber/Verantwortlich

Manfred Richey

Im Wasserfall 2

D-72622 Nürtingen

Telefon: 07022 - 46210

Web: www.biowasserstoff-magazin.de

E-Mail: 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.

**Mitstreiter / Mit-Autoren gesucht!**

**Stein um Stein***Stein um Stein baut man ein Haus**Stein um Stein entstehen Bioenergie-Dörfer**Stein um Stein wächst die Lawine der erneuerbaren Energien.**Einmal angestoßen, rollt sie unaufhaltsam, wird größer und mächtiger.**Eine Lawine reißt alles mit sich und zerstört.**Doch diese Lawine bringt Neues und Gutes hervor:**Unabhängigkeit von Primärenergie,**Unabhängigkeit von Importen und damit**Freiheit von Abhängigkeiten und**dem Einfluss fremder Mächte auf uns.**Verringerung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes und**Schutz der Umwelt - für eine bessere Zukunft.**Zerstört werden die alten Strukturen und Abhängigkeiten - und das ist gut so.**Helfen auch Sie mit, die Lawine auszulösen:**Lesen -**Denken -**Weitersagen -**Handeln -**Druck machen...**... den Politikern und Verantwortlichen!***In eigener Sache**

Auch die sechste Ausgabe unseres Biowasserstoff-Magazins soll wachrütteln, Möglichkeiten und Wege zeigen, wie man durch den **Umstieg auf moderne und zukunfts-trächtige Energien, wie Bio-Wasserstoff, den CO<sub>2</sub>-Ausstoß drastisch verringern, neue Arbeitsplätze schaffen und preiswerte Energie für Alle bereitstellen könnte.**

Viele Wege können zum selben Ziel führen. Aber ist nicht der kürzeste und direkte Weg der beste? Vor allem, wenn es um unsere Zukunft geht, sollten wir uns nicht verzetteln.

**Der schnelle Einstieg in die dezentrale (Bio-)Wasserstoffwirtschaft ist machbar** und würde Unabhängigkeit von Erdöl, Erdgas, Uran und auch von den Erzeugerländern bringen. Umweltschutz, geringeren CO<sub>2</sub>-Ausstoß und neue, zukunfts-trächtige Arbeitsplätze – direkt vor Ort – gibt es noch dazu.

**Warum also zögern und warten die Verantwortlichen der Politik, Industrie und Wirtschaft noch?**

Sie klammern sich fest an Atomkraftwerken, wollen neue Kohlekraftwerke bauen und an alten Monopolen festhalten – zum Schaden und Nachteil des ganzen Volkes. **Sind die Politiker nicht angetreten, alles zum Nutzen des Volkes zu tun?** Die einzigen Vorteile liegen bei einigen raffgierigen Managern, den ‚Heuschrecken‘, die – ohne jede Skrupel und ohne jede Rücksicht – an veralteten Technologien aus dem vorigen Jahrhundert und an ihren Quasi-Monopolstellungen festhalten. Mit massiver Lobbyarbeit werden Politiker bearbeitet, damit ja die ‚richtigen‘ Entscheidungen getroffen werden. Wenn es dann geklappt hat, bekommen diese Politiker (später) hochdotierte Posten im Aufsichtsrat einflussreicher Konzerne.

Wir müssen es schaffen, diesen Teufelskreis zu durchbrechen. Einige, meist kleine Gemeinden/Kommunen haben das schon begriffen und sind auf dem richtigen Weg. **Bio-Energiedörfer entstehen** und die Dorfbewohner haben umweltfreundliche und preiswerte Energie. Das wird Schule machen und immer mehr Menschen werden erkennen, dass dies der richtige Weg in eine bessere Zukunft ist. Wir werden auch dieses Thema aufgreifen und darüber berichten.

**Von unten nach oben funktioniert es offensichtlich besser**, als von oben nach unten. **Heizöl, Gas, Treibstoff und Strom werden immer teurer** – und die Politiker basteln an Lösungen mit Kohlekraftwerken und Laufzeitverlängerung von Atomkraftwerken, anstatt die neuesten Technologien schnell auf den Weg zu bringen. Zaghafte und unter Druck wird dann ein Programm zur Förderung von Brennstoffzellenantrieben für Autos, Busse und Schiffe auf den Weg gebracht. Und wo bleibt der Rest? Womit heizen wir in Zukunft unsere Wohnungen, womit kochen wir und woher kommt der Strom? Auch hier wären Förderprogramme sinnvoll, die den Einstieg in die Biowasserstoff-Wirtschaft schnell voran bringen.

Nürtingen, im März 2008 - Manfred Richey

**Wenn die Politik versagt, sollten die Menschen wieder auf die Straße gehen: „Wir sind das Volk!“**