

Session III
Neue Forschungs- und
Entwicklungs-Ansätze
für die Kraftstoffherstellung aus
erneuerbaren Ressourcen

Pyrolyseöle als Zwischenprodukte bei der Kraftstofferzeugung

Zusammenfassung

D. Meier
BFH - Institut für Holzchemie
und chemische Technologie
des Holzes,
d.meier@holz.uni-haburg.de

Die Qualitätsanforderungen an das Gas, das für die Synthese von Methanol oder Fischer-Tropsch Kohlenwasserstoffe gestellt werden, sind besonders hoch. Daher müssen Vergasungstechniken für Biomasse so gestaltet sein, dass die geforderten Gasreinheiten erhalten werden. Neue Verfahren werden derzeit im Labor- (AER-Verfahren) und Pilotmaßstab (Druckvergasung im Flugstromreaktor) erprobt. Beide Reaktortypen benötigen allerdings flüssige Brennstoffe (Pyrolyseöle), die durch Flash-Pyrolyse von Biomasse erzeugt werden können. Die Entwicklung von größeren Pyrolyseanlagen schreitet voran. Auch im Technikumsmaßstab werden neue Reaktoren entwickelt.

Einleitung

Die fossilen Energieträger Erdgas, Erdöl und Steinkohle bilden heute, neben der Kernenergie, die Säulen unserer Energie- und Transportwirtschaft. Seit mehreren Jahren werden neue Konzepte auf Basis erneuerbarer Rohstoffe zur Erzeugung von Treibstoffen für Kraftfahrzeuge verfolgt und beforscht. Die Gründe hierfür sind vielfältig und bekannt:

- Verringerung der Abhängigkeit von Rohstoffländern mit labilen politischen Systemen
- Umsetzung von Richtlinien der UNO und der EU zum Klimaschutz und zum nachhaltigen Wirtschaften
- Förderung der regionalen Energieversorgung

Damit alternative Treibstoffe ein großes Markteinführungspotential bekommen, müssen sie mit den vorhandenen fossilen Energieträgern kompatibel sein, d.h. sie sollten sich in die bestehende Verteilungsstruktur über das Tankstellennetz einpassen können und mit den fossilen Kohlenwasserstoffen chemisch mischbar sein, so wie es beim Bio-Diesel (RME) bereits der Fall ist.

Brennstoffzellen auf Methanol- oder Wasserstoffbasis sowie Wasserstoff als Motorentreibstoff stehen zwar auf den Entwicklungsprogrammen fast aller Automobilhersteller, doch erfordert ihre Einführung den Aufbau einer neuen, sehr kostenintensiven Infrastruktur, um die Verteilung zum Endverbraucher zu ermöglichen.

Kompatible regenerative Kraftstoffe wie Methanol und Kohlenwasserstoffe aus der Fischer-Tropsch Synthese lassen sich aus Synthesegas herstellen, das zuvor durch Vergasung von Biomasse gewonnen werden kann. Allerdings stellen die Syntheseverfahren sehr hohe Anforderungen an die Gasreinheit. Störstoffe wie Teer, Stickstoff, CO₂ und Katalysatorgifte müssen entfernt werden. Beim Vergasen fester Biomasse ist die geforderte Gasqualität nicht ohne hohen Reinigungsaufwand zu erzielen.

Alternative Verfahren, wie z.B. der Druckvergaser oder das AER-Verfahren, die wesentlich bessere Gasqualitäten liefern, benötigen flüssige oder pastöse Einsatzstoffe. Aus diesem Grunde muss Biomasse in möglichst hohen Ausbeuten verflüssigt werden, was durch Flash-Pyrolyseverfahren ermöglicht wird.

Aktuelle Entwicklungen bei der Biomasse-Verflüssigung

Flash-Pyrolyse

Flash-Pyrolyse ist ein Mitteltemperatur-Prozess (ca. 475 °C), in dem Biomasse unter Sauerstoffausschluss sehr schnell erhitzt wird. Die freigesetzten, vorwiegend primären Pyrolyseprodukte kondensieren nach schneller Abkühlung zu einer rötlich-braunen Flüssigkeit, die etwa die Hälfte des Heizwertes eines konventionellen Heizöles besitzt. Flash-Pyrolyse ist ein Verfahren, bei dem nicht die Ausbeute an Holzkohle, sondern die an flüssigen Produkten maximiert wird. Die wesentlichen Merkmale der Flash-Pyrolyse sind:

- sehr hohe Aufheiz- und Wärmeübertragungsraten, die eine kleine Partikelgröße (ca. 2-3 mm) erfordern
- gute Temperaturkontrolle im Bereich von ca. 475 °C
- schnelles Abkühlen und Abscheiden der Produkte zur Vermeidung von Sekundärreaktionen, die zu Ausbeute- und Qualitätsverlusten der Pyrolyseöle führen.

Das Hauptprodukt "Bio-Öl" wird in Ausbeuten von ca. 75 % (bezogen auf trockenen Rohstoff) gewonnen. Zusätzlich entstehen als wertvolle Nebenprodukte Holzkohle (10-15 %) und Gas (15-20 %), die zur Erzeugung von Prozessenergie eingesetzt werden, so dass – außer Asche – kein Abfall anfällt [1].

Technologien

Wirbelbettreaktoren: Stationäre und zirkulierende Sand-Wirbelschichtreaktoren sind die gebräuchlichsten Verfahren, da sie hohe Wärmeübertragungsraten bei kurzer Verweilzeit ermöglichen. Nachteilig ist der hohe Mahlaufwand für die Biomasse, weil für das Einsatzgut eine Partikelgröße von 2-3mm erforderlich ist. Bis auf eine kommerziell betriebene

Anlage mit einer Durchsatzleistung von 45 t/ato Biomasse für die Herstellung von Flüssigrauch in Kanada werden alle weiteren Anlagen im Pilotmaßstab betrieben. In Europa gibt es derzeit 4 Pilotanlagen mit Wirbelschichttechnologie:

1. Fortum, Finnland, 500 kg/h
2. Wellman, England, 250 kg/h
3. BTG, Holland, 250 kg/h
4. ENEL, Italien, 650 kg/h

Die finnische Anlage befindet sich auf einem Raffineriege-lände von Fortum und ist für die Herstellung von Pyrolyseöl aus forstlichen Abfällen, inkl. Rinde und Nadeln vorgesehen. Das Bio-Öl soll als Ersatz für leichtes Heizöl zur Wärmege-winnung eingesetzt werden. Bislang verliefen alle Versuche nach Plan.

Die englische Anlage der Fa. Wellman ist nicht in Betrieb. Hohe Umweltauflagen der Genehmigungsbehörden haben bislang die Inbetriebnahme verhindert.

Die holländische Anlage der Biomass Technology Group (BTG) ist betriebsbereit und wird für Pilotversuche einge-setzt. Die Anlagenkonzeption unterscheidet sich wesentlich von den übrigen Wirbelschichtreaktoren, denn der Sand wird mechanisch durch einen konusförmigen, drehenden Reaktor und nicht durch ein gasförmiges Medium fluidisiert.

Eine weiterer Reaktor mit mechanischer Fluidisierung wird derzeit am Forschungszentrum Karlsruhe gebaut. Er beruht auf dem LR-Doppelschneckenreaktor (LR=Lurgi-Ruhrgas), in dem der Wärmeträger Sand durch zwei gleichlaufende Doppelschnecken mit der Biomasse vermengt und axial befördert wird. Im Kreuzstrom werden die Produktgase abgezogen und das Öl auskondensiert.

Ablative Pyrolyse

Bei der ablativen Pyrolyse gibt es keinen fluidisierten Wärmeträger. Biomasse wird direkt an einer heißen Kontaktfläche geschmolzen. Dazu muss eine Relativbewegung zwischen Heißmedium und Biomasse erfolgen, um hohe Abschmelzraten zu gewährleisten. Der entstehende Flüssigkeitsfilm verdampft sofort und kann als Pyrolyseöl auskondensiert werden. Bei diesem Verfahrensprinzip ist eine Zerkleinerung nicht mehr zwingend erforderlich, allein die Reaktorgeometrie entscheidet über die Größe der Biomassepartikel.

Bislang werden ablativ Reaktoren nur im Labormaßstab betrieben. Bei den Anlagen der Aston Universität, Birmingham, [2] und des CNRS, Nancy, [3] wird die Biomasse relativ zur Reaktorwand bewegt. Der Aston Reaktor benutzt eine horizontale Heißeisbe, auf der die Biomasse über einen sich drehenden Flügelrotor geschoben wird. CNRS benutzt einen Zyklonreaktor, der allerdings mit kleinen Partikelgrößen betrieben werden muss. Die Fa. PYTEC, Lüneburg, betreibt einen Reaktor mit vertikaler Heißeisbe, die sich dreht und gegen die bis zu vier massive Holzlatten (Fläche 10x47 mm) über pressluftgesteuerte Zylinder angedrückt werden. Hier sind Abschmelzraten zwischen 2 und 5,5 mm/s sind bei Anpressdrücken zwischen 30 und 50 bar erzielt worden.

Direkte Verflüssigung

Neben der Flash-Pyrolyse, die ein Öl mit einem etwas höheren Heizwert wie Biomasse liefert, wird an der Hochschule für angewandte Wissenschaft (HAW) in Hamburg an der direkten Verflüssigung von Biomasse zu energetisch höherwertigen Ölen gearbeitet [4]. Kernstück des DoS-Verfahrens ist ein thermochemischer Umwandlungsprozess unter erhöhtem Druck bei Temperaturen zwischen 350 und

500°C, bei dem aus hochmolekularen organischen Substanzen durch Crack- und Veredelungsreaktionen, ggf. unterstützt durch Katalysatoren, auf direktem Wege, d. h. ohne Umweg über die Vergasung, flüssige Produkte hoher Veredelungsstufe erzeugt werden. Es werden weder Fremdstoffe als Reaktanden noch thermische Fremdenergie benötigt, wobei Abwasser intern vollständig zur Prozess-Wasserstoffproduktion verwendet wird. Dadurch ist der Prozess vollkommen autark und abwasserfrei. Der thermische Gesamtwirkungsgrad liegt bei über 70%, bezogen auf den Heizwert des Einsatzstoffes.

Verwendung von Pyrolyseölen

Pyrolyseöle sind dunkelbraune, stechend nach Räuchergut riechende Flüssigkeiten mit speiseölähnlicher Viskosität um 0.1 Pas bei 20°C, aber einer hohen Dichte um 1.200 kg/m³. Pyrolyseöle sind mit Wasser, aber nicht mit Heizöl mischbar. Beim Destillieren verbleibt etwa die Hälfte als fester, koksartiger Rückstand. Der typische Wassergehalt liegt zwischen 15 und 30%, der Rest ist ein Vielstoffgemisch aus organischen sauerstoffhaltigen Verbindungen: organische Säuren, Pyrolyselignin, Aldehyden, Ketonen, Alkoholen, Phenolen etc. Der Heizwert schwankt je nach Ausgangsmaterial und Herstellungsbedingungen zwischen etwa 15 und 20 MJ/kg [5].

Die spröden Pyrolysekokse haben je nach Aschegehalt einen Heizwert zwischen 30+ (Holzkohle) und ~20-MJ/kg, eine hohe Porosität von 50 bis 80% und daher eine geringe Schüttdichte von unter 200 bis 400 kg/m³. Die wahre C-Dichte des massiv gestörten Graphitgitter liegt um 1.500 kg/m³. Sie lassen sich mit geringem Aufwand zu feinem Kokspulver vermahlen.

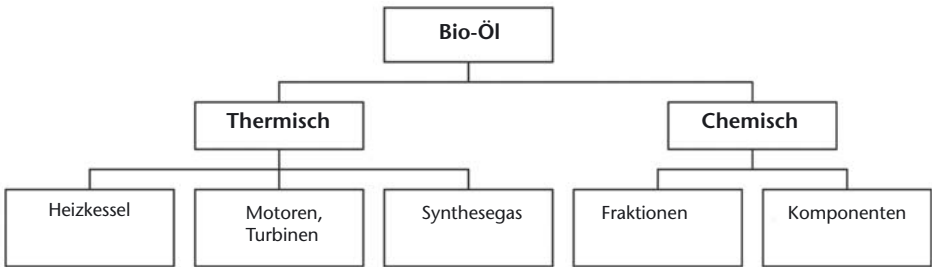


Abbildung 1:
Verwertungspfade für
Pyrolyseöle

Abb. 1 zeigt die prinzipiellen Verwertungsalternativen für Pyrolyseöle.

Wichtig bleiben die dualen Pfade, die sowohl eine thermische als auch eine chemische – oder auch eine parallele – Nutzung zulassen.

Die direkte Nutzung von Pyrolyseölen in Brennern oder Motoren setzt gewisse Qualitätsanforderungen voraus, die bisher nicht immer eingehalten werden konnten. Das hat vielerlei Gründe und beruht auf im Wesentlichen auf der Art des Einsatzstoffes und auf den Methoden zur Abscheidung von Feststoffen und der Kondensation der flüssigen Produkte während des Pyrolyseprozesses.

Wird allerdings Pyrolyseöl als Zwischenprodukt für die Synthesegasherstellung eingesetzt, so sinken die Qualitätsanforderungen beträchtlich. Jüngste Arbeiten berichten von der erfolgreichen Flugstrom-Druckvergasung einer Bio-Öl/Holzkohle/Asche Mischung in der 2 MW-Anlage der Firma BBP, Freiberg, Sachsen [6]. Die Slurries wurden aus Produkten der kommerziellen Buchenholzpyrolyse nach dem Degussa-Verfahren durch Einrühren von 20 bis 26 Gew. % feingemahlenem Holzkohlestaub (Hu 31 bis 32 MJ/kg) in Rohteer (Hu 19 MJ/kg, Dichte 1.184 kg/m³,

Viskosität (20 °C) 0,16 Pas) hergestellt. Um auf der Vergaserinnenwand einen für Stroh charakteristischen Schlackepelz zu erzeugen, wurden noch 3% Strohasche und 0,3% KCl zugesetzt; mit der Koksasche ergeben sich insgesamt rund 4% Asche. Die Slurry-Heizwerte lagen im Bereich von 21 bis 22 MJ/kg; die Viskosität bei Zimmertemperatur von 2 bis 5 Pas war bei 80 °C über 10 mal kleiner, die Dichte lag um 1.250+ kg/m³. Die Slurries wurden mit einem konstant geregelten Fluss von 0,35 t/h durch eine Exzentrerschneckenpumpe in den Vergaser dosiert und dort mit reinem Drucksauerstoff in einem speziellen Brennerkopf pneumatisch zerstäubt. Bei 26 bar Betriebsdruck konnten mit λ -Werten zwischen 0,5 und 0,4 Vergasertemperaturen zwischen ca. 1.600 und 1.300 °C eingestellt und problemlos gefahren werden. Bei einer Gasverweilzeit von 4 bis 5 Sekunden konnte in allen Fällen ein C-Umsatz von deutlich über 99% erreicht werden, bei hohen Temperaturen >99,9%. Der Betrieb war stabil. Die Volumenzusammensetzung des trockenen und inertgasfreien (aus Betriebsgründen ~10 Vol% N₂) Syngases beträgt etwas über 50% CO, knapp 30% H₂ und 15 bis 20% CO₂. Das Rohgas ist praktisch teerfrei, die CH₄-Gehalte liegen bei ≤ 0 %. Mit dieser Versuchskampagne wurde erstmals gezeigt, dass auch extrem hoch beladene Slurries aus Biomasse-Pyrolyseprodukten mit reinem Sauerstoff in einem Flugstromvergaser bei hohen Temperaturen umgesetzt werden können.

Literatur

- [1] Bridgwater, A.V., D. Meier and D. Radlein (1999)
An overview of fast pyrolysis of biomass
Organic Geochem. 30, 1479-1493
- [2] G. V. C. Peacocke, A. V. Bridgwater, (1996)
Ablative fast pyrolysis of biomass for liquids: results and analysis, in: Bridgwater, A. V.; Hogan, E. N. (eds.), *Bio-Oil Production & Utilization, Proceedings of the 2nd EU-Canada Workshop on Thermal Biomass Processing*; CPL Press, Newbury, UK, 35-48.
- [3] J. Lédé, (2000)
The cyclone: a multifunctional reactor for the fast pyrolysis of biomass. *Ind. Eng. Chem. Res.* 39, 893-903
- [4] Th. Willner, G. Brunner (1994)
Umwandlung von Holz unter dem Einfluß von Wasserstoff und Wasser unter höheren Drücken, *Chem. Ing.Tech.* 1994, 66, 72-74
- [5] Oasmaa, A. and D. Meier (2002)
Analysis, characterisation and test methods of fast pyrolysis liquids, in: *Fast Pyrolysis of Biomass: A Handbook*, Vol. 2 (ed. A.V. Bridgwater), CPL Press, Newbury, UK, 23-40
- [6] Henrich, E., E. Dinjus und D. Meier (2002)
Flugstromvergasung von flüssigen Pyrolyseprodukten bei hohem Druck: Ein neues Konzept zur Biomassevergasung, *DGMK Tagungsbericht 2002-2 Beiträge zur DGMK-Fachbereichstagung "Energetische Nutzung von Biomassen"*, 22.-24. April 2002 in Velen/Westf. 95-102

Wasserstofferzeugung durch hydrothermale Vergasung

Zusammenfassung

Das Potenzial des Prozesses liegt in der technischen Möglichkeit aus wasserreicher Restbiomasse mit guter energetischer Effizienz Wasserstoff bzw. Synthesegas zu produzieren. Dies wurde bereits im Pilot-Maßstab am Beispiel Methanol demonstriert. Die potenziellen Vorteile des Prozesses der Biomassevergasung in überkritischem Wasser lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- guter thermischer Wirkungsgrad auch bei wasserreichen Edukten
- hoher Umsatz
- hohe Wasserstoffausbeute
- sauberes Produktgas
- H₂-Hochdruckspeicher leicht realisierbar
- sehr geringe Kompressionsarbeit
- integrierte einfache CO₂-Abtrennung möglich
- hohe Raum-Zeit-Ausbeute

Einführung

Überkritisches Wasser als Reaktionsmedium wird im ITC-CPV seit Anfang der 90er Jahre intensiv untersucht [1, 2, 3, 6, 8, 9]. Aufbauend auf den Erfahrungen mit dem SCWO-Prozess (SuperCritical Water Oxidation [8]) wird seit 2000 ein neues Verfahren in überkritischem Wasser untersucht und entwickelt (SuperCritical Water Gasification, SCWG). Ohne Zusatz von Sauerstoff reagieren dabei organische Substanzen mit überkritischem Wasser ($T > 374\text{ °C}$, $p > 221\text{ bar}$). Kohlenstoff wird zu CO₂ oxidiert und Wasserstoff wird

B. Boukis,
V. Diem,
U. Galla,
P. D'Jesus und
E. Dinjus
Forschungszentrum
Karlsruhe, Institut für
Technische Chemie (ITC)
nikolaos.boukis@
itc-cpv.fzk.de

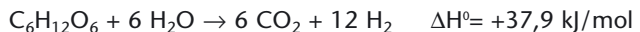
sowohl aus den organischen Substanzen als auch aus dem Wasser freigesetzt [4-7].

Der neue Prozess zielt auf die effektive stoffliche und energetische Nutzung nasser Biomasse ab. Ein großer Teil der Restbiomasse fällt als nasses Edukt an, das bis zu 95 % Wasser enthält und derzeit trotz vorhandenen Potentials kaum energetisch genutzt wird. Mit den konventionellen Vergärungsverfahren werden bei hohen Wassergehalten nur noch sehr niedrige Wirkungsgrade erzielt.

Das vorrangige Ziel der hier dargestellten Arbeit ist es, in effektiver Weise Wasserstoff zu erzeugen und damit einen Beitrag zur Bereitstellung von Wasserstoff als Basis für zukünftige Energieerzeugung und als Chemierohstoff aus nicht fossiler Quelle zu leisten. Das wasserstoffreiche Produktgas ist, nach entsprechender Konditionierung, zur Verstromung oder für chemische Synthese von Kraftstoffen geeignet [3].

Laboruntersuchungen

Um die chemischen Reaktionen organischer Materie mit Wasser zur Wasserstoffherstellung zu ermöglichen, werden Temperaturen von nur 600-700 °C bei Drucken von 250 bar benötigt. Unter diesen Bedingungen reagiert z.B. Glukose nach der Brutto-Gleichung:



Überraschend bei Versuchen mit Methanol war, dass die chemische Reaktion, ohne Einsatz eines zusätzlichen Katalysators, bei Verweilzeiten von wenigen Sekunden abläuft. Auch bei hohen Methanolkonzentrationen bis zu 64 Gew. % wurden Umsätze von mehr als 97 % erzielt,

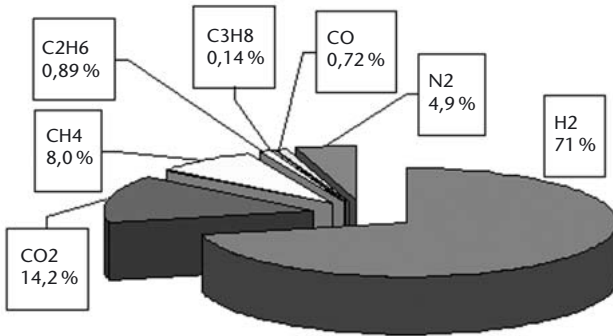


Abbildung 1:
 Gaszusammensetzung
 (in Vol%) bei der Verga-
 sierung in überkritischem
 Wasser (Einwaage
 260 mg getrockneter
 Trauben Trester, $p=25$
 MPa, $T=650\text{ }^{\circ}\text{C}$, t_{Heiz}
 25 min, kohlenstoffhalti-
 ger Rückstand <5%)

der Wasserstoffanteil im erzeugten Gas betrug mehr als 60 Vol. % [1, 2].

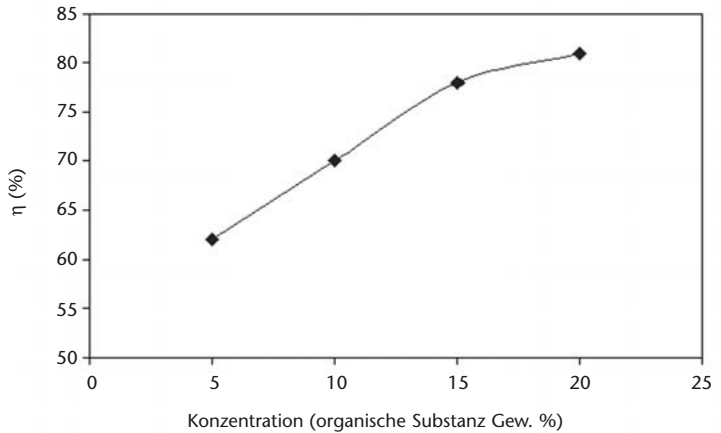
Bei Temperaturen um $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ wurde stark mit Wasser verdünnte pflanzliche Restbiomasse untersucht. Die Experimente zeigten Kohlenstoffumsätze bis über 95%, den Hauptbestandteil des Produktgases bildete Wasserstoff (>70 Vol. %), (s. Abb. 1). Die Heteroatome (N, S) in der Biomasse verlassen mit der wässrigen Phase den Prozess.

Vergasungsverfahren

Das Edukt Biomasse wird nach einer geeigneten Vorkonditionierung mit einer Hochdruck-Dosierpumpe auf den Betriebsdruck gebracht. Da es sich um ein flüssiges wässriges Gemisch handelt, ist der erforderliche Energieaufwand gering. Das komprimierte Gemisch wird einem Wärmetauscher, Vorwärmer und Reaktor zugeführt. Dort entsteht nach kurzen Verweilzeiten ein gasförmiges Produkt, hauptsächlich Wasserstoff und Kohlendioxid; Kohlenmonoxid und Methan sind Nebenprodukte.

Abbildung 2:
Thermischer Wirkungsgrad η als Funktion der Konzentration. Berechnung mit dem Prozesssimulationsprogramm CHEMCAD.

Parameter:
 $CH_3OH + H_2O = CO_2 + 3H_2$,
 100 kg/h Edukt,
 Rauchgastemperatur - Vorwärmer 950 °C,
 Reaktoreintrittstemperatur 650 °C, Rauchgasabwärme, nach dem Reaktor, 570 °C, 60% Nutzung für Dampferzeugung, sonstiger Eintrag 3,6 kWe.



Danach wird das Reaktionsprodukt in den Hauptwärmtauschanger zur Eduktaufheizung zurückgeführt. Schließlich werden die Gase vom wässrigen Effluent separiert und das Kohlendioxid in einem Hochdruckwäscher vom Wasserstoff getrennt.

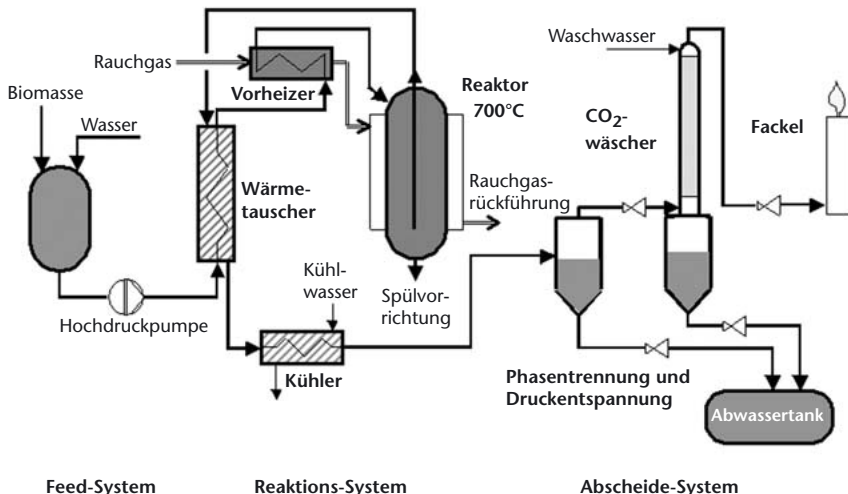
Das Verfahrensprinzip wurde über eine Prozesssimulation mit dem Programm CHEMCAD auf Plausibilität und eventuelle Schwachpunkte untersucht. Das Ergebnis bestätigt das Verfahrensprinzip und liefert, einschließlich der CO_2 -Abtrennung über Hochdruckwasser-Waschkolonne, hohe thermische Wirkungsgrade für wasserreiche Edukte. Beispielsweise liefert die Umsetzung von 20 kg/h organischer Materie und 80 kg/h Wasser Wasserstoff mit einem Energieinhalt (Brennwert) von rund 159 kWth. *Abb. 2* veranschaulicht die hohe Effizienz des Verfahrens für das Beispiel Reformieren von verdünnten Methanollösungen.

Pilot-Anlage VERENA

Wichtige Einflussgrößen (Verweilzeiten in den verschiedenen Temperaturbereichen des Reaktionssystems und das Oberflächen-Volumen-Verhältnis) konnten in den Laborversuchen nicht realisiert werden und sollen in der Pilot-Anlage VERENA untersucht werden. Hauptziel der Untersuchungen ist die verfahrenstechnische Optimierung und die Gewinnung aussagekräftiger Daten zur Erstellung von Massen- und Energiebilanzen.

Die Versuchsanlage zur energetischen Nutzung agrarwirtschaftlicher Stoffe, VERENA (s. Abb. 3), wurde aufgrund der guten Laborergebnisse und den Erfahrungen mit der SCWO-Pilot-Anlage konzipiert und gebaut. Die VERENA ist weltweit die erste komplett ausgestattete kontinuierliche Anlage für den Prozess der Biomassevergasung in überkritischem Wasser.

Abbildung 3:
Vereinfachtes
Prozessschema der
Pilotanlage VERENA



Bei einem Durchsatz bis zu 100 kg/h wasserhaltigem Edukt (Reaktorvolumen von 35 l) kann die Anlage bis zu einer maximalen Reaktortemperatur von 700 °C und einem Druck bis zu 350 bar betrieben werden.

Der erste Test-Betrieb der Anlage VERENA begann Ende 2002; bis Frühjahr 2003 wurden 240 Stunden Betriebszeit verwirklicht. Experimentiert wurde hauptsächlich mit Methanollösungen bei einer maximalen Reaktionstemperatur von 660 °C (280 bar Druck). Versuchsparameter waren: Fahrweise des Hauptwärmetauschers, Durchsatz und Methanolkonzentration. Die wesentlichen Ergebnisse sind:

- Es wurde ein wasserstoffreiches (bis über 80 Vol. %) Produktgas erzeugt.
- Der thermische Wirkungsgrad des Hauptwärmetauschers lag bei etwa 80 %.
- Der Methanolumsatz betrug >90 %.
- Der Betrieb verlief ohne Störungen. Die Anlage war problemlos bedienbar.

Die vorläufige Energiebilanz des Versuchsbetriebs zeigt die *Abb. 4*. Aus der Messung von Volumenstrom und Gaszusammensetzung errechnet sich für das Produktgas eine thermische Ausgangsleistung (Heizwert) von 39 kW für den Eduktumsatz von 5 kg/h organisches Material und 95 kg/h Wasser.

Die Abgaswärme kann zur Dampferzeugung und die im Effluent anfallende Wärme als Warmwasser genutzt werden. Demnach kann auch bei sehr verdünnten Edukten mit einem thermischen Wirkungsgrad von etwa 60 % gerechnet werden.

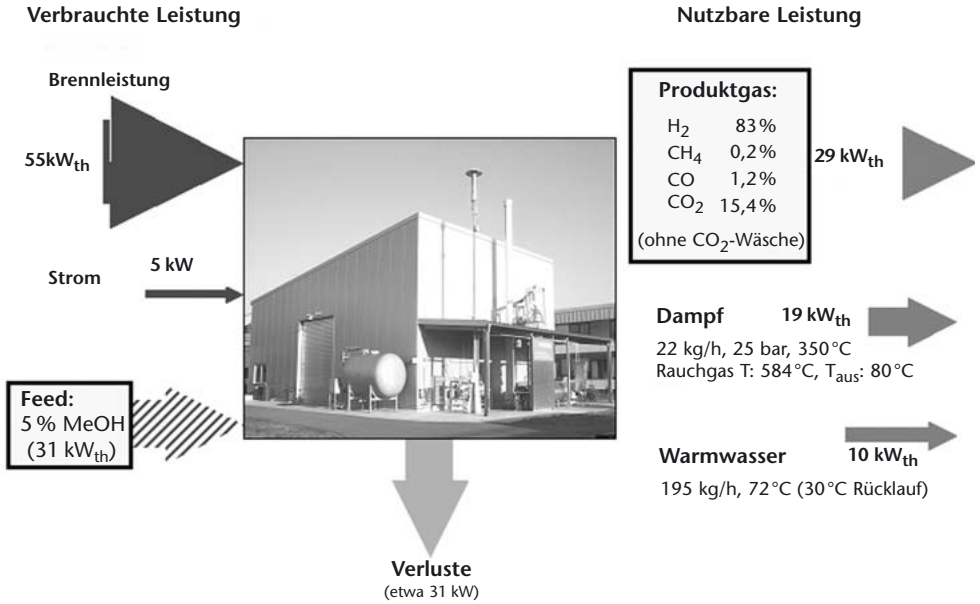


Abbildung 4:
Auswertung einiger
Versuchsdaten der Anlage
VERENA. Durchfluss
100 kg/h, 5 Gew. %
Methanol, $p=280 \text{ bar}$

Arbeiten im Rahmen des Netzes Erneuerbare Energieforschung: Regenerative Kraftstoffe "ReFuelNet"

Wasserstoffherzeugung aus Mais-Silagen und aus Pyrolyseölen

Die Gaserzeugung mit Ganzpflanzennutzung wird am Beispiel Maissilage untersucht; diese wurde vom Projektpartner INK/Universität Kassel zur Verfügung gestellt. Es hatte sich in den zurückliegenden Untersuchungen gezeigt, dass die wässrigen Suspensionen der zerkleinerten Mais-Silage zur Sedimentation neigten. Dies konnte durch Zusatz von Suspenderhilfen (z.B. 3 bis 5 Gew. % Maisstärke) unterdrückt werden.

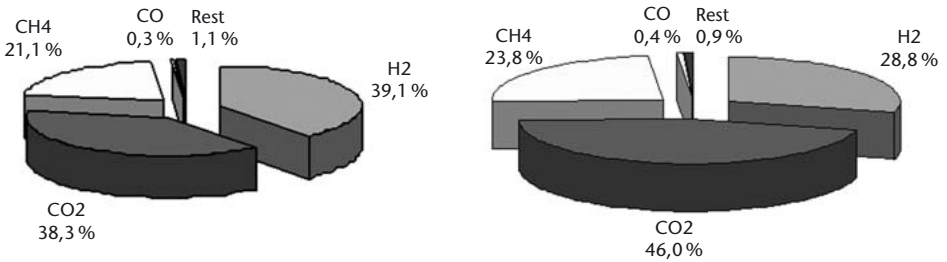


Abbildung 5:
Gaserzeugung aus
Mais-Silage
(erste Ergebnisse bei
700 °C, 25 MPa, 5% TS,
Verweilzeit 3 min,
C-Bilanz 101%)

Schon die ersten Messungen belegen die prinzipielle Machbarkeit der Wasserstofferzeugung aus energiereichen Pflanzen unter Ausnutzung der gesamten Pflanze (s. Abb. 5 und 6). Ziele der weiteren Untersuchungen sind die Verbesserung der Kohlenstoffbilanzierung, die weitere Unterdrückung von Rückständen und die Reduktion der Methankonzentration zugunsten von Wasserstoff.

Abbildung 6:
Gaserzeugung aus
pflanzlicher Biomasse
(erste Ergebnisse bei
700 °C, 25 MPa, 10%
TS, Verweilzeit 4 min,
C-Bilanz 110%)

Zusammensetzung der untersuchten Holzessigfraktion	
Wassergehalt	67,4 Gew.-%
Ascheanteil	<0,05 Gew.-%
C-Gehalt	10,0 Gew.-%
H-Gehalt	2,9 Gew.-%
N-Gehalt	0,1 Gew.-%
O-Gehalt	19,6 Gew.-%
S-Gehalt	<0,05 Gew.-%
Brennwert (Ho)	3940 kJ/kg
Unterer Heizwert	1650 kJ/kg
pH	2,1

Pyrolyseöle fallen in Qualitäten mit stark variierendem Wassergehalt an. Diese Untersuchungen laufen in Zusammenarbeit mit der BFH. Die ersten Versuche zur Wasserstoffzeugung sind mit einer wasserreichen Fraktionen (Holzessig) durchgeführt worden.

Holzessig besteht zu 75 % aus Wasser, zu 12 % aus Essigsäure und Homologen, zu 2 % aus Methanol und zu 1 % aus Aceton und Methylacetat. Die restlichen 10 % entfallen auf gelösten Holzteer.

Erste Versuche zur Gaserzeugung aus Holzessig verliefen viel versprechend. In *Abb. 7* wird die Produktzusammensetzung eines Versuchs bei 600 °C und 250 bar gezeigt; der Wasserstoffanteil betrug 37 %, Methan 27 %. Betrachtet man die Kohlenstoffbilanz, so befinden sich 87 % des eingesetzten Kohlenstoffs im Produktgas und 0,5 % im Effluent. Im Effluent waren keine Schwermetalle nachweisbar.

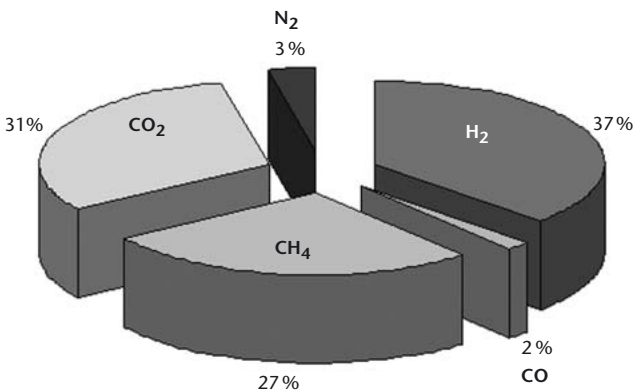


Abbildung 7:
Zusammensetzung des Produktgases beim Reformieren einer verdünnten Holzessigprobe (etwa 10 Gew.-% organischer Anteil) bei 600 °C. Die Versuchsdauer betrug 50 h.

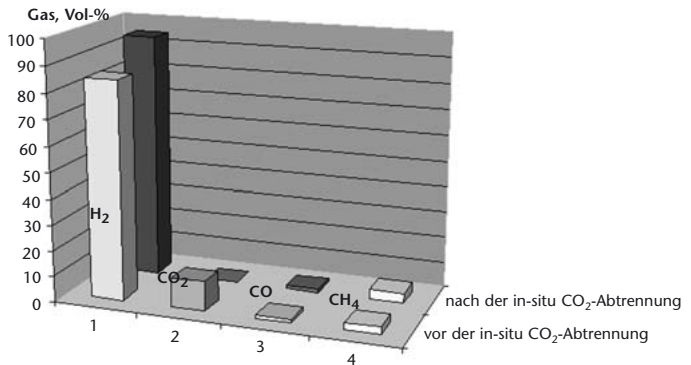
Der Kohlenstoffgehalt der wässrigen Phase liegt bei 151 ppm (TOC), siehe auch die nebenstehende Tabelle. Auch die schwer abbaubaren Phenole sind zu 85 % abgebaut worden. Essig- und Ameisensäure sind nahezu vollständig umgewandelt worden.

	Edukt verdünnter Holzessig	Produkt
TOC	31145 ppm	151 ppm
Ameisensäure	2,27 g/l	48 ppm
Essigsäure	31,9 g/l	6 ppm
Formaldehyd	871 mg/l	0 ppm
Phenole	1070 ppm	160 ppm

In-situ Abtrennung von CO₂

Abbildung 8:
Gaszusammensetzung
vor und nach der inte-
grierten CO₂-Wäsche mit
Hochdruckwasser.
Gasstrom von 200 l/h bei
einem Waschwasserfluss
von 20 l/h und einem
Druck 100 bar.

Experimente zur Wasserstoffanreicherung durch prozessin-
tegrierte CO₂-Wäsche mit Hochdruckwasser wurden in der
Pilotanlage VERENA durchgeführt. Im Abscheidesystem ist
eine im Gegenstrom betriebene Washkolonne integriert.
Als Waschflüssigkeit dient Wasser.



Literatur

- [1] Boukis N., Diem V., Habicht W., Dinjus E.
Ind. Eng. Chem. Res.; Vol. 42, 728-735, 2003
- [2] V. Diem, N. Boukis, W. Habicht, and E. Dinjus
The Catalytic Influence of the Reactor Material on the Reforming of Methanol in Supercritical Water
Proceedings of the 6th International Symposium on Supercritical Fluids, (International Society for the Advancement of Supercritical Fluids, Chairmen: G. Brunner, I. Kikic, M. Perrut), Tome 2, 28-29-30 April, 2003
- [3] Boukis, N.; Kruse, A.; Galla, U.; Diem, V.; Dinjus, E.
Biomassevergasung in überkritischem Wasser
Forschungszentrum Karlsruhe, Nachrichten, Jahrgang 35 3/2003, 99-105
- [4] Xu, X.; Matsumura, Y.; Stenberg, J.; Antal, M. J., Jr.
Ind. Eng. Chem. Res. 1996, 35(8), 2522
- [5] Antal M.J., Allen S. G., Schulman D., Xu X., Divilio R.J.,
Ind. Eng. Chem. Res. 2000, 39, 4040-4053
- [6] Schmieder, H.; Abeln, J.; Boukis, N.; Dinjus, E.; Kruse, A.; Kluth, M.; Petrich, G.; Sadri, E.; Schacht M.,
J. Supercrit. Fluids 2000, 17, 145
- [7] Modell M., Fundamentals of Thermochemical Biomass Conversion, 95, Eds. R.P., Milne T.A., Mudge L.K., Elsevier, Amsterdam, 1985
- [8] Schmieder H.; Abeln J. (1999). Supercritical Water Oxidation: State of the Art, Chem. Eng. Technol., 11, 903
- [9] Schmieder H.; Boukis N.; Dinjus E.; Kruse A. (2000). Hydrothermale Vergasung von Biomasse und organischen Abfällen. DGMK-Fachbereichstagung "Energetische und stoffliche Nutzung von Abfällen und Biomassen" 10-12 April 2000 in Velen/Westfalen, Deutschland, 47

H₂-reiches Synthesegas aus Biomasse: Der AER-Prozess

Zusammenfassung

U. Zuberbühler,
M. Specht,
A. Bandi,
T. Marquard-
Möllenstedt,
ZSW
ulrich.zuberbuehler@
zsw-bw.de

Die Bereitstellung von Regenerativen Kraftstoffen aus Biomasse wird in einem zukünftigen Energiesystem mit dezentralen Energieerzeugungs- und Nutzungsstrukturen eine wichtige Rolle übernehmen. Neben dem Einsatz von Brenngasen bei der Kraft-Wärme-Kopplung (vorwiegend mit Verbrennungskraftmaschinen) erfordert vor allem die Erzeugung hochwertiger Synthesegase aus Biomasse für einen Einsatz zur Kraftstoffherzeugung und in Brennstoffzellen neue, zukunftsweisende Technologien. Bislang erfolgt die Erzeugung von H₂-reichem Synthesegas in der Regel durch die Vergasung der Biomasse mit nachfolgender Gasreinigung, wobei der erzielbare H₂-Anteil im Produktgas im Wesentlichen durch das Verfahren bestimmt wird. Je nach Vergasungsverfahren muss das erzeugte Produktgas zur Kraftstoffsynthese von Verunreinigungen, Inertgas und dem bei der Vergasung gebildetem CO₂ befreit werden. Hierbei eröffnet der AER-Prozess (Absorption Enhanced Reforming) die Möglichkeit das CO₂ bereits bei der Produktgaserzeugung (in-situ) zu absorbieren, wodurch höhere Wasserstoffanteile erzielt werden und die Gasreinigung erheblich vereinfacht wird.

Einleitung

Bei der thermochemischen Umwandlung fester Biomasse werden eine Vielzahl von Verfahren je nach Prozessbedingungen und Prozessführung unterschieden, wobei zur Synthesegaserzeugung hauptsächlich die Vergasung eingesetzt wird. Die wichtigsten Einflussgrößen sind dabei Temperatur,

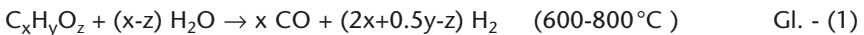
Druck, Verweilzeit, das Vergasungsmittel und die Art der Energiezufuhr. Bei der Vergasung wird zwischen autothermen Verfahren, bei denen ein Teil des Einsatzstoffs partiell mit Luft oder Sauerstoff zur Wärmeerzeugung oxidiert wird, und den allothermen Verfahren, bei denen die Wärmezufuhr von außen erfolgt oder durch einen Wärmeträger eingekoppelt wird, unterschieden. Das entstehende Produktgas setzt sich aus den Hauptkomponenten H_2 , CO , CO_2 , CH_4 , N_2 sowie Verunreinigungen wie z.B. Teere, Partikel, Schwefel-, Halogen- und Alkali-Verbindungen zusammen. Bei der Vergasung holzartiger, trockener Biomasse mit Luft entsteht ein Produktgas, welches etwa zur Hälfte aus inertem N_2 besteht, was sich für nachfolgende Anwendungen aufgrund des hohen Inertgasanteil ungünstig darstellt. Durch die Verwendung von Wasserdampf oder Sauerstoff als Vergasungsmedium kann der inerte N_2 -Anteil vermieden werden. Durch hohe Vergasungstemperaturen wie beispielsweise bei der Sauerstoff-Flugstromvergasung kann ein relativ hoher H_2 -Anteil im Produktgas von ca. 40% erzielt werden. Nachteilig ist hierbei der Sauerstoffbedarf, das hohe Temperaturniveau (1200-1600 °C) sowie der hohe CO_2 -Anteil von ca. 20-30%. Vorteilhaft sind ein weitgehend teerfreies Gas und die inerte schmelzflüssige Asche.

Eine weitere Möglichkeit zur Erzeugung von H_2 -reichem Synthesegas besteht bei mehrstufigen thermochemischen Umwandlungsverfahren in der Kombination aus Niedertemperaturvergasung bzw. Pyrolyse und einer Wasserdampfreformierung, wo bereits entstandene gasförmige Kohlenwasserstoffverbindungen mit Wasserdampf zu H_2 und CO reagieren. Die für die endotherme Wasserdampfreformierung benötigte Energie muss analog der Vergasung durch partielle Oxidation oder von außen über Wärmetauscher oder Wärmeträger zugeführt werden.

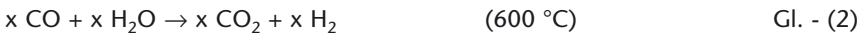
Grundlagen des Absorption Enhanced Reforming (AER)-Prozesses

Der Absorption Enhanced Reforming (AER)-Prozess kann vereinfacht durch die Kombination der Wasserdampfreformierung (Gl. 1) mit Shift-Reaktion (Gl. 2) und Hochtemperatur CO₂-Absorption (Gl. 3) zur Summenformel aus Gl. 4 zusammengefasst werden. Als CO₂-Absorptionsmittel dient Calciumoxid, wie es in den untenstehenden idealisierten Summenformeln vereinfacht beschrieben ist. Das bei der thermochemischen Biomasseumwandlung entstehende gasförmige CO₂ wird absorbiert und als Feststoff (CaCO₃) gebunden, womit das chemische Gleichgewicht aus Gl. 4 in Richtung H₂ verschoben wird. Die bei der exothermen Absorption freigesetzte Energie steht direkt der endothermen Reformierung zur Verfügung.

Wasserdampfreformierung von Biomasse idealisiert dargestellt:



+ Shift-Reaktion:



+ Hochtemperatur CO₂ Absorption:



= AER-Prozess:



Der Gesamtprozess ist in *Abb.1* schematisch dargestellt, wobei die oben aufgeführten Hauptreaktionen in einem Prozessschritt (AER-Reaktor) stattfinden. Das zur CO₂-Absorption eingesetzte CaO wird als Calciumcarbonat (CaCO₃) zusammen mit evtl. nicht vollständig umgesetztem Kohlenstoff in einem separaten Prozessschritt regeneriert und kann erneut zur CO₂-Absorption eingesetzt wer-

den. H_2 -reiches Synthesegas und CO_2 (je nach Verfahrenstechnik in aufkonzentrierter Form bzw. zusammen mit dem Abgas der Regenerierung) fallen als separate Fraktion in getrennten Reaktoren an, was einen erheblichen Vorteil gegenüber gebräuchlichen Verfahren darstellt.

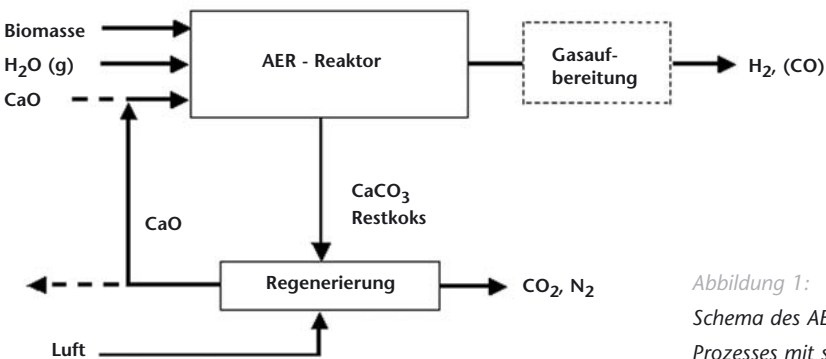


Abbildung 1:
Schema des AER-
Prozesses mit separater
Regenerierung

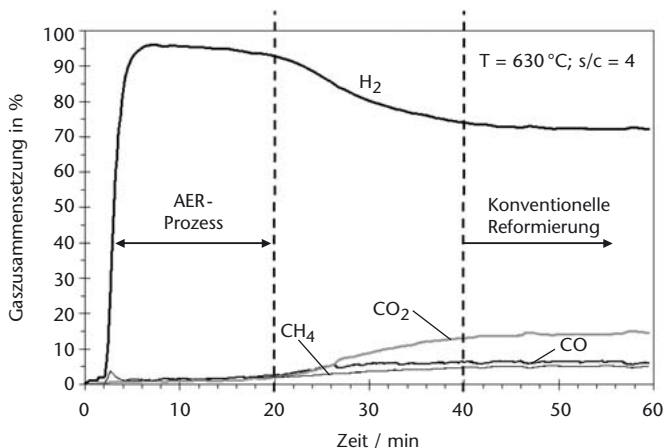
Versuchsergebnisse

Da Biomasse in ihren physikalisch/chemischen Eigenschaften eine ganze Bandbreite unterschiedlichster Einsatzstoffe beinhaltet, wurden die grundlegenden Untersuchungen des AER-Prozesses zunächst mit dem einfachen gasförmigen Kohlenwasserstoff Methan (CH_4) durchgeführt. Dazu wurde ein Versuchsstand mit zwei elektrisch beheizten Festbettreaktoren eingerichtet, die abwechselnd beladen und regeneriert werden können. Die beiden Reaktoren mit ca. 250 ml Schüttvolumen können mit unterschiedlichen Gasen beaufschlagt werden. Das zur Hochtemperatur- CO_2 -Absorption verwendete Absorbens CaO liegt in seiner natürlichen Form nicht als Reinsubstanz, sondern z.B. als Dolomit $CaMg(CO_3)_2$ vor. Gebrannter Dolomit aus je ca.

50% CaO und MgO mit einer Körnung von 2-3 mm zeigte beim Materialscreening gute Absorptionseigenschaften. Schüttungen aus Absorbermaterial und einem Ni-haltigen Katalysator wurden mit einem Gasgemisch aus CH₄ und Wasserdampf beaufschlagt. Wasserdampf wurde im Überschuss zugegeben, so dass ein molares s/c-Verhältnis (steam/carbon) von 3-4 vorlag. Nach dem Reaktor wurde die Gaszusammensetzung kontinuierlich bestimmt. Exemplarisch ist in *Abb. 2* die Produktgaszusammensetzung bei der absorptionsunterstützten Reformierung von CH₄ abgebildet.

Bei einer Reaktortemperatur von 630 °C am Eintritt der Festbett-schüttung aus einer Mischung aus gebranntem Dolomit und Katalysator wurden in den ersten 20 min H₂-Konzentrationen größer 90% im trockenen Produktgas erzielt. Nach weiteren 20 min ist die Absorptionskapazität des Dolomits erschöpft und es stellt sich die typische Produktgaszusammensetzung einer konventionellen Reformierung ein. Üblicherweise wird die Reformierung von CH₄ in Temperaturbereich von 850-950 °C an einem

Abbildung 2:
Gaszusammensetzung bei der absorptionsunterstützten Reformierung von Methan (Festbett-schüttung aus Ni-Kat und gebranntem Dolomit)



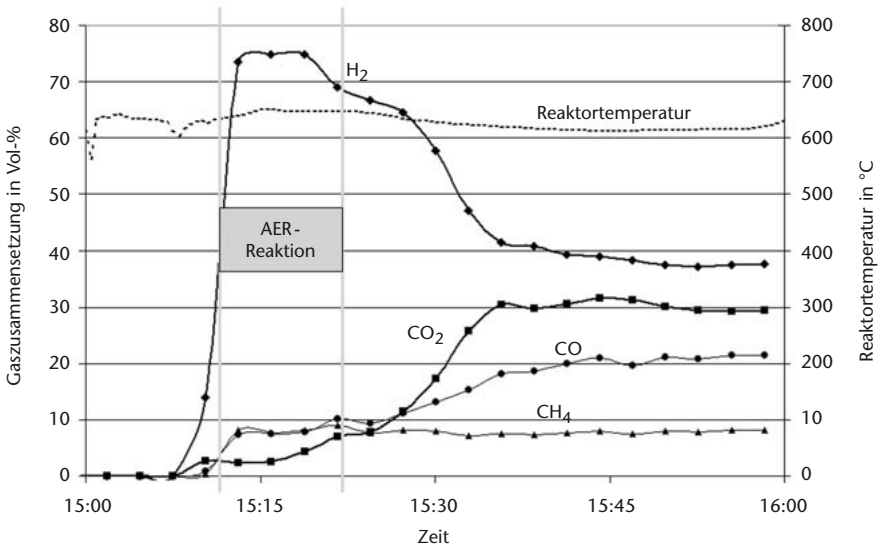
Ni-Katalysator durchgeführt. Die Hochtemperaturabsorption findet jedoch im Temperaturbereich von 600-700°C statt. Die Kombination aus Reformierung und CO₂-Absorption muss deshalb in einem Temperaturfenster stattfinden, das beide Reaktionen ermöglicht. Hilfreich ist hierbei die Verwendung eines Katalysators, der die Reformierung bei entsprechend niedrigerer Temperatur ermöglicht.

Analog der Durchführung des AER-Prozesses mit CH₄ kann an den Versuchsreaktoren auch mit höheren Kohlenwasserstoffen gearbeitet werden, sofern diese leicht verdampfbar sind. Ergebnisse für Ethanol und Phenol liegen vor und zeigen ein ähnliches Verhalten wie die absorptionsunterstützte CH₄-Reformierung aus *Abb. 2*.

Für die Untersuchungen des AER-Prozesses beim Einsatz von Biomasse wurden zwei Lösungsansätze verfolgt. Da feste Biomasse nicht ohne weiteres direkt im Festbettreaktor umgesetzt werden kann, wurde hier Bio-Pyrolyseöl, häufig auch als BCO (Bio-Crude-Oil) bezeichnet, das in seiner Elementarzusammensetzung holzartige Biomasse gut repräsentiert, verwendet. BCO ist im Vergleich zu fester holzartiger Biomasse eine relativ homogene, gut dosierbare Flüssigkeit, neigt aber bereits bei Temperaturen unter 100°C zur Polymerisation und kann nicht verdampft werden. Kleine Mengenströme, wie sie für den Versuchsbetrieb benötigt werden (100-250 ml/h), können nicht mit Druckdüsen zerstäubt werden, weshalb hier eine Ultraschallzerstäubung verwendet wurde. Das Gemisch aus zerstäubtem BCO und Wasserdampf wurde mit einem Wasserstoffbrenner auf Reaktionstemperatur erhitzt und über die Festbettschüttung geleitet. Im trockenen Produktgas wurden analog der CH₄-Reformierung H₂-Konzentrationen >90% gemessen. Die Anwendbarkeit des AER-Prozesses auf Biomasse in Form von BCO konnte nach-

gewiesen werden, jedoch kam es in der Festbettschüttung zu Kohlenstoffablagerungen, die im Prozess nicht umgesetzt wurden. Parallel zu den Laboruntersuchungen im Festbettreaktor wurden am Institut für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen AER-Versuche in einem Wirbelschichtreaktor durchgeführt, wobei auch Feststoffe umgesetzt werden können. Eingesetzt wurde holzartige Biomasse und BCO. Der zeitliche Verlauf der Produktgaszusammensetzung in *Abb. 3* zeigt deutlich die charakteristischen Eigenschaften des AER-Prozesses. Nach einer anfänglichen H_2 -Konzentrationen über 70% fällt diese nach einer Beladung des CO_2 -Absorbents auf ca. 40% ab, wobei die Anteile der Komponenten CO_2 und CO deutlich zunehmen.

Abbildung 3:
Produktgaszusammensetzung bei der absorptionsunterstützten Biomasse-Reformierung im Wirbelschichtreaktor (Holzpellets; $T = 650\text{ }^\circ\text{C}$; $s/c = 2,5$)

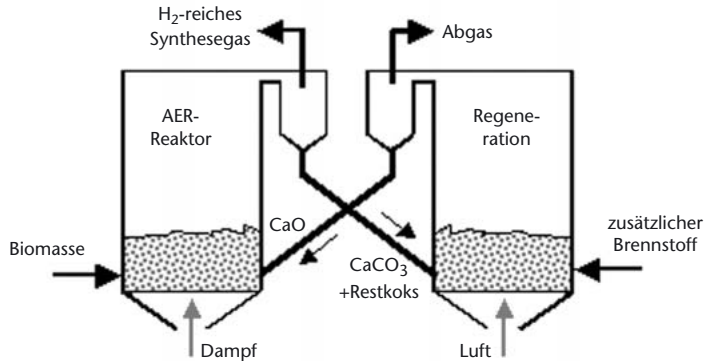


Technische Realisierung des AER-Prozesses

Für die technische Realisierung des AER-Prozesses kommen mehrere Reaktorkonzepte in Betracht. Für gasförmige und flüssige Kohlenwasserstoffe kann mit mehreren Festbettreaktoren, die zyklisch beladen und wieder regeneriert werden, ein quasi kontinuierlicher Prozess realisiert werden. Die Umsetzung fester Biomasse kann im Wirbelschichtreaktor erfolgen, wobei das üblicherweise verwendete Bettmaterial Quarzsand durch ein Absorbens teilweise oder ganz ersetzt wird. Mit zwei gekoppelten Wirbelschichtreaktoren, wie sie bereits bei der allothermen Wasserdampfvergasung von Biomasse eingesetzt werden [3, 4], kann eine kontinuierliche Regenerierung des CO_2 -Absorbens realisiert werden (und entsprechend eine kontinuierliche Erzeugung des H_2 -reichen Produktgases).

Bei der skizzierten Anwendung zweier kommunizierender Wirbelschichten, wie es in *Abb. 4* angedeutet ist, fungiert das eingesetzte Bettmaterial als CO_2 -Absorbens und gleichzeitig als Wärmeträger vom Verbrennungsreaktor (Regeneration) in den Vergasungsreaktor (AER-Reaktor). Um im Vergasungsreaktor eine CO_2 -Absorption zu ermöglichen, muss dieser bei für die Wasserdampfvergasung verhältnismäßig niedriger Temperatur betrieben werden, was ein katalytisch aktives Bettmaterial erfordert. Die Realisierung des Gesamtprozesses stellt erhebliche Anforderungen an das Bettmaterial bezüglich katalytischer Aktivität, CO_2 -Absorption sowie an die thermische und mechanische Stabilität. Bekannte, natürliche Materialien für die Hochtemperatur CO_2 -Absorption, wie z.B. das bereits erwähnte Dolomit, weisen nicht die nötige Stabilität und Zyklusfestigkeit für den Wirbelschichteinsatz auf. Andere thermisch

Abbildung 4:
Kopplung zweier
Wirbelschichtreaktoren
zur technischen
Umsetzung des AER-
Prozesses für Biomasse
mit kontinuierlicher
Betriebsweise. Das
Verfahren ist analog
zur allothermen
Wasserdampfvergasung
von Battelle [3] und der
Technischen Universität
Wien [4]



und mechanisch stabile Materialien zeigen wiederum nicht die nötigen Absorptionseigenschaften. Derzeit wird in mehreren Projekten intensiv an Materialforschung und Prozessoptimierung gearbeitet, um die Voraussetzungen für eine technische Realisierung des AER-Prozesses für feste Biomasse zu schaffen.

Ausblick

Das AER-Verfahren kann bei der Biomassekonversion in Synthesegas für chemische Prozesse oder für die Brennstoffzellenanwendung eingesetzt werden. Die CO_2 -Absorption kann vorteilhaft mit Prozessschritten bei der Biomassekonversion wie z.B. der Reformierung kombiniert werden und so, in-situ, ohne weitere Prozessschritte, wesentlich zur Produktgasverbesserung beitragen. Mit gasförmigen oder gut verdampfenden Einsatzstoffen kann bei der AER-Reformierung ein Festbettreaktor eingesetzt werden. Für flüssige und feste Biomasse mit hohen Anteilen an festem Kohlenstoff sind Reaktorkonzepte wie z.B. der Wirbelschichtreaktor besser geeignet. Zur technischen Realisierung des AER-Prozesses kommen Anwendungen wie z.B. die Zweibettwirbelschicht in Betracht, wo im ersten Wirbelbett die

sorptionsunterstützte Vergasung/Reformierung und im zweiten die Verbrennung von Restkoks inklusive der Regeneration stattfindet.

Literatur

- [1] Specht M., Bandi A., Baumgart F., Marquard-Moellenstedt T., Textor O., Weimer T. (2000): "Enhanced Reforming Reaction for Hydrogen Production from Carbonaceous Feedstock" in "Hydrogen Energy Progress XIII", Z.Q. Mao, T.N. Veziroglu (Eds.), pg. 1203
- [2] Specht M., Baumgart F., Marquard-Möllenstedt T., Sichler P. (2002): "Hydrogen/Syngas Generation by Simultaneous Steam Reforming and Carbon Dioxide Absorption" in "Gasification – The Clean Choice for Carbon Management", Noordwijk, NL
- [3] Paisley M.A., Overend R.P. (2002): "The SilvsGas" Process from Future Energy Resources – A Commercialization Success", 12th European Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry, and Climate Protection, June 17-22, 2002, Amsterdam, Netherlands
- [4] Hofbauer H., Rauch R. (2002): "Zweibett-Wirbelschichtvergasung in Güssing (A) mit 2MWe/4,5MWt – Konzept, Betriebserfahrungen und Wirtschaftlichkeit" in 7. Holzenergie Symposium, 18. Okt. 2002, S. 151-163, ETH Zürich, Schweiz

Die dargestellten Arbeiten wurden vom bmbf und der EU finanziell unterstützt.

Fischer-Tropsch Synthese von Kohlenwasserstoffen ausgehend von Biomasse – In-situ H₂O-Abscheidung und Verbesserung der Kohlenstoff-Nutzung

Zusammenfassung

D. Unruh,
M. Rohde,
G. Schaub
Universität Karlsruhe (TH),
georg.schaub@ciw.uni-
karlsruhe.de

Hochwertige Kohlenwasserstoff-Kraftstoffe können aus Biomasse über den Weg der Vergasung und Fischer-Tropsch Synthese hergestellt werden (z.B. schwefel- und aromatenfreier Diesel-Kraftstoff). Diese mehrstufige Umwandlung bedeutet im Vergleich zur Gewinnung entsprechender Kraftstoffe aus Erdöl einen erhöhten technischen, energetischen und ökonomischen Aufwand. Die erzielbare Ausbeute an C₅₋₂₀ ist wesentlich bestimmt durch die erforderliche Ausschleusung von CO₂ zur Erhöhung des H₂/CO-Verhältnisses im Synthesegas, den Energiebedarf und die erreichten Umsätze und Selektivitäten bei den einzelnen Verfahrensstufen.

Die Umsetzung von CO₂ bei der Fischer-Tropsch Synthese könnte die Ausbeute erhöhen, wenn ausreichend H₂ zur Verfügung steht und das CO₂ am Katalysator zu CO umgewandelt werden kann. Ein laufendes Forschungsvorhaben im Rahmen des Netzwerkes ReFuelNet behandelt die Anwendung einer H₂O-selektiven keramischen Membran als eine neuartige Methode die Umsetzung von CO₂ bei der Fischer-Tropsch Synthese zu verbessern. Ein mathematisches Modell des katalytischen Festbettreaktors mit integrierter Membran wurde entwickelt, um den Effekt der

in-situ H₂O-Entfernung quantitativ zu ermitteln. Das Ergebnis von Modellrechnungen zeigt, dass die Entfernung von H₂O aus der Reaktionsmischung durch eine Membran den CO₂-Umsatz erhöht. Erste Ergebnisse von Permeationsexperimenten werden diskutiert.

Einleitung

Die Erzeugung von synthetischen Kohlenwasserstoffen aus Biomasse über den Weg der Vergasung und Fischer-Tropsch Synthese (FTS) ist ein möglicher Weg flüssige Kraftstoffe aus biogenen Rohstoffen herzustellen. Anreiz ist dabei, fossile Rohstoffe zu substituieren und gleichzeitig höchste Kraftstoff-Qualitäten zu erzeugen, wobei die erzeugten Kraftstoffe gute Entwicklungsperspektiven für die Motortechnik und zur heutigen Verteilungs-Infrastruktur passen. Da Biomasse geographisch gleichmäßiger verteilt ist als fossile Rohstoffe, eröffnet dieser Weg neue Möglichkeiten zur Versorgungssicherheit für organische Kohlenstoff-Träger zur Stützung von Land- und Forstwirtschaft sowie zur Minderung fossiler CO₂-Emissionen.

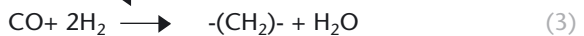
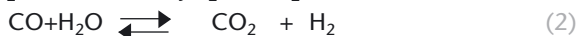
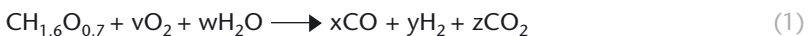
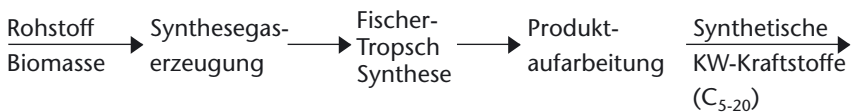
Die vorliegende Arbeit zeigt aktuelle F&E-Forschungsansätze auf und stellt Ergebnisse aus einem laufenden Forschungsvorhaben im Rahmen des Netzwerkes Re-FuelNet zum Thema Anwendung einer H₂O-selektiven Membran zur Verbesserung von Produktausbeute und Kohlenstoff-Nutzung vor.

Fischer-Tropsch Synthese und Biomasse als Rohstoff

Kohlenwasserstoff-Kraftstoffe werden heute weltweit in großen Mengen durch Raffination aus Erdöl gewonnen (Otto-Kraftstoff: ca. 950 Mio. t/a, Dieselmotorkraftstoff: ca. 600 Mio. t/a).

Sie können aber auch aus anderen organischen Kohlenstoffhaltigen Rohstoffen synthetisch hergestellt werden. Anreize dafür sind (a) die gezielte Formulierung der synthetisierten Kraftstoffe im Hinblick auf eine optimale motorische Verbrennung (z.B. niedrigste Schwefel- und Aromaten-Gehalte), (b) die Nutzung preiswerter Rohstoffe (z.B. Erdgas an entlegenen Stellen der Erde), (c) die Nutzung nicht-fossiler biogener Rohstoffe. Die Kohlenwasserstoff-Synthese erfolgt über die Zwischenstufe Synthesegas ($H_2/CO/CO_2$) und erfordert damit eine mehrfach chemische Umsetzung des Kohlenstoffs. Praktische Erfahrungen liegen vor mit den Rohstoffen Kohle [1, 2, 4] und Erdgas [8]. Das aktuelle Interesse an Erdgas liegt darin begründet, dass große Mengen an abgelegenen Stellen der Erde sowie als Erdöl-Begleitgas auftreten, die sich für eine Veredelung in hochwertige flüssige und damit leichter transportierbare Produkte anbieten sowie damit dem nutzlosen Abfackeln entgehen können. Das Interesse an Biomasse richtet sich auf das Potential zur Minderung fossiler CO_2 -Emissionen.

Abbildung 1:
Fließbild für die Umwandlung von Biomasse in flüssige Kohlenwasserstoff (KW)-Kraftstoffe



Das Gesamtverfahren zur Herstellung synthetischer Kohlenwasserstoffe besteht aus den drei Schritten Synthesegas-erzeugung, Fischer-Tropsch Synthese und Produktaufarbeitung (Abb. 1).

Biomasse wird wie Kohle durch Vergasung in Synthesegas umgewandelt, das sich nach Reinigung und Konditionierung in einer katalytischen Synthese zu langkettigen Kohlenwasserstoffen umsetzt (Fischer-Tropsch Synthese). Die Gasreinigung beinhaltet die Abscheidung von Verunreinigungen wie Halogen-, Alkali-, N-, S-Verbindungen, flüchtige organische Komponenten, Partikel. Die Gaskonditionierung beinhaltet meist die Einstellung des erforderlichen H_2/CO -Verhältnisses durch CO-Konvertierung. Der chemische Mechanismus der Fischer-Tropsch Synthesereaktion (Polymerisation) führt hauptsächlich zu langkettigen, gering verzweigten Kohlenwasserstoff-Molekülen. In der Produktmischung finden sich unterschiedliche Kettenlängen, deren Verteilung mit dem charakteristischen Reaktionsparameter Kettenwachstumswahrscheinlichkeit korreliert.

Die Wachstumswahrscheinlichkeit kann durch Katalysatorwahl (Kobalt, Eisen, mit Promotoren) und Synthesebedingungen (vor allem Temperatur, Synthesegas-Zusammensetzung, Druck) eingestellt werden. Die primären Fischer-Tropsch Syntheseprodukte werden nachfolgend im Sinne hoher Kraftstoff-Ausbeuten und -Qualitäten chemisch aufgearbeitet (z.B. Hydrocracken, Isomerisieren, d.h. Verfahren der Erdölverarbeitung).

Auf Grund der Besonderheit des chemischen Synthesemechanismus zu hauptsächlich unverzweigten Kohlenwasserstoff-Molekülen [7] eignet sich das Produkt vor allem als hochwertiger Dieseldieselkraftstoff mit hoher Cetanzahl und extrem niedrigen Gehalten an Schwefel und Aromaten. Produktmischungen können darüber hinaus maßgeschneidert werden im Hinblick auf Dampfdruck, Siedeverläufe u.a. unter Anwendung der hochentwickelten Erdöl-Raffinerieverfahren.

Aktuelle F&E-Forschungsansätze zum Gesamtverfahren beziehen sich auf folgende Bereiche: a) Entwicklung und Identifizierung geeigneter Vergasungsverfahren, entsprechend den besonderen Eigenschaften verschiedenartiger Biomassen, b) Gasreinigung und -konditionierung, insbesondere Abscheidung biomassespezifischer Verunreinigungen (Teer, Alkalimetalle u.a.), c) Festlegung günstiger Baugrößen, d) Ausnutzung von Vereinfachungs- und Kostensenkungspotentialen. Für den Schritt der Fischer-Tropsch Synthese stehen die Anpassung an das biomassespezifische Synthesegas und die Erhöhung von Produktausbeute und Kohlenstoff-Nutzung im Vordergrund.

Ausbeuten und Wirkungsgrad – Grenzen und Potenziale

Die erzielbaren Ausbeuten und Wirkungsgrade bei der Umwandlung von Biomasse in synthetische Kohlenwasserstoffe sind wesentlich bestimmt durch (a) die erforderliche Ausschleusung von CO_2 zur Einstellung eines stöchiometrisch günstigen H_2/CO -Verhältnisses im Synthesegas, (b) den Energiebedarf der einzelnen Verfahrensstufen und (c) die dort erreichten Umsätze und Selektivitäten. *Abb. 2* zeigt die wichtigsten bestimmenden Faktoren für die Ausbeuten an gewünschten Kraftstoff-Produkten im Siedebereich $\text{C}_5\text{-C}_{20}$ sowie stöchiometrische Gleichungen für die Umwandlungen. Unter der Annahme eines (als sehr günstig anzusehenden) Wirkungsgrades von 50% [9] wird nur 40% des in der Biomasse enthaltenen Kohlenstoffs zu Kohlenwasserstoff umgesetzt, der Rest bildet CO_2 . Entsprechend können aus einer Tonne Holz (mit 60 Gew% organischer Substanz) 135 kg Dieselkraftstoff erzeugt werden. Stöchiometrisch ist eine Situation denkbar (wenn der Energiebedarf nicht aus Biomasse gedeckt werden muss), in der nur 30% des Kohlenstoffs als CO_2 verloren geht (*Gleichung (2) in Abb. 2*),

Synthesegas- erzeugung	Fischer- Tropsch Synthese	Produkt- aufarbeitung
O ₂ -Verbrauch (T) Umsatz C	Selektivität (α) Umsatz CO (+CO ₂)	Selektivität Hydrocracken Hydroisomerisieren u.a.
Beispiel η _{Hu} = 50 %		
CH _{1,6} O _{0,7} + 0,45 O ₂ → 0,4 -(CH ₂)- + 0,6 CO ₂ + 0,4 H ₂ O		(1)
Ideal:		
CH _{1,6} O _{0,7} → 0,7 -(CH ₂)- + 0,3 CO ₂ + 0,1 H ₂ O		(2)
(CH _{1,6} O _{0,7} + 0,90 H ₂ → 1 -(CH ₂)- + 0,7 H ₂ O)		(3)
20 MJ/kg (waf)	44 MJ/kg	Heizwert

um den Sauerstoff der Biomasse auszuschleusen. Zur Erzielung eines maximalen Kohlenstoff- Nutzungsgrades ist stöchiometrisch außerdem eine Einkopplung von externem Wasserstoff denkbar (Gleichung (3) in Abb. 2). Als Quellen kommen dazu Erdgas mit seinem hohen H-Gehalt sowie nicht-fossil erzeugter Wasserstoff infrage. In diesem Fall kann die in Abb. 1 gezeigte CO-Konvertierung zu CO₂ entfallen. Die Umsetzung des bei der Vergasung gebildeten CO₂ zu Kohlenwasserstoffen und deren Intensivierung ist Gegenstand des hier beschriebenen Forschungsvorhabens.

Abbildung 2:
Bestimmende Faktoren
für die Ausbeute an
Kohlenwasserstoff-
Kraftstoffen (C₅-C₂₀)
hergestellt aus Biomassen

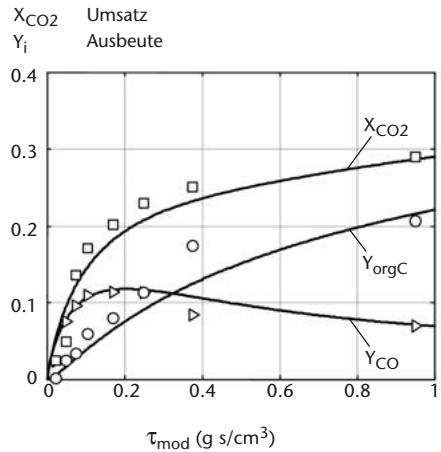
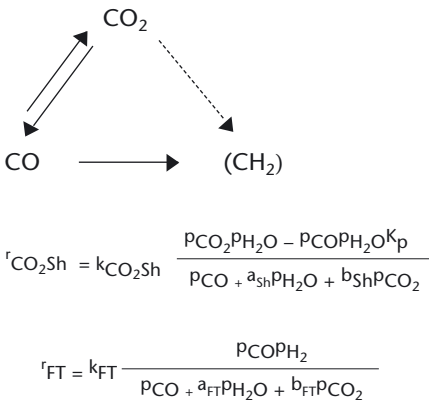
Rechnerische Simulation mit einem mathematischen Reaktormodell

Die hydrierende Umsetzung von CO₂ unter FT Bedingungen ist möglich, wird jedoch von der Wahl des Katalysators stark beeinflusst. Nach heutiger Kenntnis zeigt Eisen die günstigsten Eigenschaften für eine Umsetzung von CO₂ zu langkettigen Kohlenwasserstoffen. Ergebnisse aus experi-

mentellen Untersuchungen in Labor-Festbettreaktoren mit Fe/Al₂O₃/Cu/K-Katalysatoren führten zu einem Reaktions-Netzwerk und einem formalkinetischen Reaktionsmodell (*Abb. 3*), [5]. CO₂ wird in einem ersten Schritt zu CO reduziert (gleichgewichtsbegrenzt mit kinetischer Kontrolle), das nachfolgend entsprechend der FT Reaktion zu Kohlenwasserstoff umgesetzt wird (mit kinetischer Kontrolle), entsprechend Reaktion (2) rückwärts und Reaktion (3) in *Abb. 1*. Diese Reaktionsfolge erlaubt höhere Gesamt-CO₂-Umsätze als die CO₂-Konvertierungsreaktion allein. Die reaktionskinetische Analyse von Versuchen mit H₂/CO₂-Synthesegasen führte zu einem System von Geschwindigkeitsgleichungen und -konstanten, die gemessene Umsatz- und Ausbeute-Zeitverläufe für eine Folgereaktion widerspiegeln. Die Anwendung dieses Modells auf Messungen mit H₂/CO/CO₂-Synthesegasen zeigte eine sehr gute Übereinstimmung [6].

Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass mit Fe als Katalysator unter günstigen Bedingungen aus CO₂ dieselben organischen Produkte hergestellt werden können wie aus CO. Mit Kobalt-Katalysatoren jedoch, die keine oder eine niedrige CO₂/CO-Konvertierungsaktivität bei Fischer-Tropsch Temperaturen besitzen, wird aus CO₂-haltigen Synthesegasen nahezu ausschließlich CH₄ gebildet.

Zur Verbesserung der CO₂-Umsetzung bei der Fischer-Tropsch Synthese dienen (a) eine Erhöhung der Temperatur (zur Verschiebung des Konvertierungs-Gleichgewichtes zur Seite des CO), (b) Entfernung des CO (durch Fischer-Tropsch Reaktion) und des H₂O (z.B. mit einer H₂O-selektiven Membran), beides ebenfalls zur Verschiebung des Konvertierungs-Gleichgewichtes auf die Seite des CO (Reaktion (2) in *Abb. 1*).



Laborreaktor: Fe/Al₂O₃/Cu/K, T = 300 °C, p = 10 bar, y_{H₂}/y_{CO}/y_{CO₂} = 0,75/0/0,25, τ_{mod} = m_{Fe}/V_{n ein}
 Quelle: Riedel et al. 2001

Die in-situ Abscheidung von H₂O hat neben den genannten Gleichgewichtseffekten auf die CO₂/CO-Konvertierungsreaktion in Anwesenheit von Fe-Katalysatoren weitere positive Effekte: (a) Minderung der kinetischen Hemmung der Fischer-Tropsch Reaktion durch H₂O, (b) höhere Partialdrucke der Reaktanten, (c) höhere Verweilzeiten, (d) langsamere Katalysatordeaktivierung infolge Reoxidation durch H₂O.

Mit 1D- und 2D-Modellen des Labor-Festbettreaktors (Reaktionskinetik basierend auf [5] wurden die begrenzenden Faktoren für eine Membran-Anwendung studiert [10]. Der Transport durch die Membran ist durch eine einfache lineare Geschwindigkeitsgleichung beschrieben, mit der Permeanz von H₂O (und H₂) als charakteristischer Membran-Eigenschaft. In der idealisierten Rechnung sind die Partialdrucke der permeierenden Komponenten auf der Permeatseite zu Null gesetzt, entsprechend einem hohen Spülgasstrom. Die differenziellen

Abbildung 3:
 Umsetzung von CO₂
 bei der Fischer-Tropsch
 Synthese, reaktions-
 kinetische Auswertung
 von Versuchen im
 Festbettreaktor mit
 Fe-Katalysator,
 Netzwerk Folge- und
 Parallelreaktionen

Massenbilanzen für das 1D- sowie das diskretisierte 2D-Modell werden numerisch durch einen Runge-Kutta Algorithmus gelöst.

Zur Verbesserung der CO_2 -Umsetzung bei der Fischer-Tropsch Synthese dienen (a) eine Erhöhung der Temperatur (zur Verschiebung des Konvertierungs-Gleichgewichtes zur Seite des CO), (b) Entfernung des CO (durch Fischer-Tropsch Reaktion) und des H_2O (z.B. mit einer H_2O -selektiven Membran), beides ebenfalls zur Verschiebung des Konvertierungs-Gleichgewichtes auf die Seite des CO (*Reaktion (2) in Abb. 1*).

Die in-situ Abscheidung von H_2O hat neben den genannten Gleichgewichtseffekten auf die CO_2/CO -Konvertierungsreaktion in Anwesenheit von Fe-Katalysatoren weitere positive Effekte: (a) Minderung der kinetischen Hemmung der Fischer-Tropsch Reaktion durch H_2O , (b) höhere Partialdrucke der Reaktanten, (c) höhere Verweilzeiten, (d) langsamere Katalysatordeaktivierung infolge Reoxidation durch H_2O .

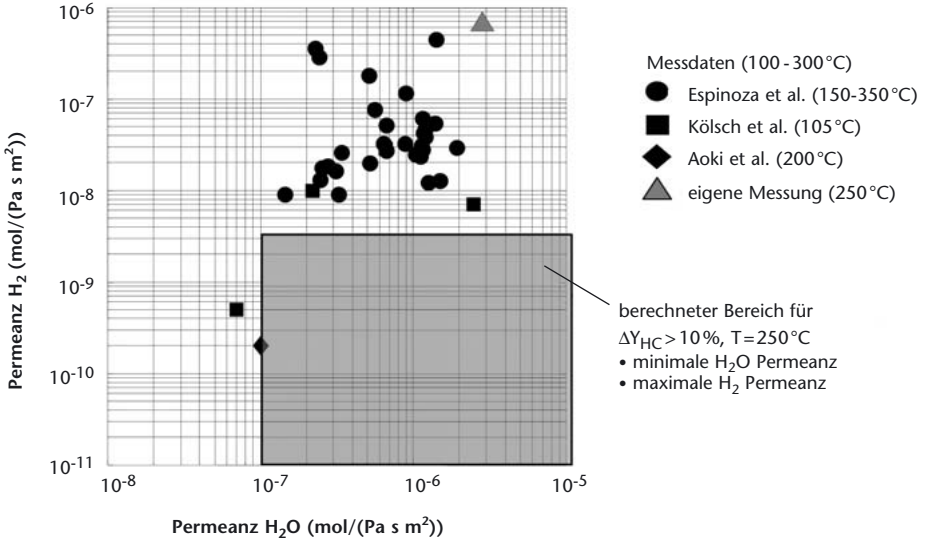
Mit 1D- und 2D-Modellen des Labor-Festbettreaktors (Reaktionskinetik basierend auf [5]) wurden die begrenzenden Faktoren für eine Membrananwendung studiert [10]. Der Transport durch die Membran ist durch eine einfache lineare Geschwindigkeitsgleichung beschrieben, mit der Permeanz von H_2O (und H_2) als charakteristischer Membran-Eigenschaft. In der idealisierten Rechnung sind die Partialdrucke der permeierenden Komponenten auf der Permeatseite zu Null gesetzt, entsprechend einem hohen Spülgasstrom. Die differenziellen Massenbilanzen für das 1D- sowie das diskretisierte 2D-Modell werden numerisch durch einen Runge-Kutta Algorithmus gelöst.

Das Ergebnis der Simulationsrechnungen zeigt die Permeanz H_2O , Selektivität H_2O , Temperatur und Gas-Verweilzeit als wesentliche positive Einflussgrößen für den CO_2 -Umsatz. Zum Beispiel verbessert eine selektiv wirkende Membran mit guter Permeanz H_2O (10^{-7} mol/(Pa s)) bei einer Verweilzeit von 2 (gs)/ cm^3 den CO_2 -Umsatz von -40% (Bildung) auf +40%. Bei 350 °C beträgt der Umsatz CO_2 bereits 100% unter diesen Bedingungen ($y_{\text{H}_2}/y_{\text{CO}}/y_{\text{CO}_2}$: 0,7/0,17/0,12, $A_{\text{mem}}/V_{\text{Katbett}}$: 850 m^2/m^3 , $p=10$ bar). Entsprechende Rechnungen wurden mit variierten Permeanzen H_2 (d.h. für eine nicht-ideal selektive Membran) durchgeführt.

Messungen mit einer H_2O -selektiven Membran

In parallelen Experimenten wurden Werte für die Permeanz von einzelnen Schlüsselkomponenten (H_2O , H_2 u.a.) durch eine hydrophile keramische Membran [3] gemessen, zunächst unter Bedingungen ohne chemische Reaktion [10]. *Abb. 4* zeigt eigene Messungen bei 250 °C und verschiedene Messungen aus der Literatur bei verschiedenen Temperaturen (Einzeltage) sowie einen simulierten Bereich für die Fischer-Tropsch Synthese mit Fe/ Al_2O_3 /Cu/K-Katalysator [11].

Das unterlegte Feld zeigt einen Bereich von Permeanzen, bei denen die Ausbeuten an Kohlenwasserstoffen um mindestens 10% erhöht sind, gegenüber dem Fall ohne Membran. Der Vergleich zeigt, dass mit den bisher untersuchten Membranen keine Vorteile bezüglich CO_2 -Umsatz und Kohlenwasserstoff-Ausbeute zu erwarten sind, da die H_2O -Selektivität zu gering (bzw. die H_2 -Permeanz zu hoch) ist. Die höchste zulässige H_2 -Permeanz für diese Bedingungen ist nach der Rechnung 3×10^{-9} mol/(Pa s m^2). Die bisher untersuchten Membranen zeigen befriedigende H_2O -Permeanzen, jedoch zu hohe H_2 -Permeanzen. Bei diesen Rech-



Laborreaktor, $y_{\text{H}_2}/y_{\text{CO}}/y_{\text{CO}_2} = 0,67/0,33/0$, $p=10$ bar, $m_{\text{kat}} = 2$ g, $V = 1.07$ cm^3/s , Formalkinetik: Riedel et al. 2001 [5]

Abbildung 4:
Vergleich von Messdaten zur Membran-Permeanz und simulierter Bereich für die Fischer-Tropsch Synthese mit Fe/Al₂O₃/Cu/K-Katalysator

nungen wurde jedoch eine maximale Triebkraft für den Transport durch die Membran angenommen, sowohl für H₂O und H₂ (entsprechend hohem Spülgasstrom).

Ausblick

Die durchgeführten Untersuchungen legen nahe, dass die Anwendung einer H₂O-selektiven Membran für die in-situ H₂O-Abscheidung die CO₂-Umsetzung in der Fischer-Tropsch Synthese positiv beeinflusst. Die bisher untersuchten Membranen zeigen jedoch noch keine ausreichenden Selektivitäten. Einerseits sind die H₂O-Permeanzen ausreichend hoch, andererseits jedoch geht zuviel H₂ durch die Membran verloren. Die weiteren Arbeiten im laufenden

Forschungsvorhaben werden die Anforderungen an Membranen für verschiedene Bedingungen quantitativ formulieren. Angesichts laufender Entwicklungsarbeiten zu neuartigen H₂O-selektiven Membranen an verschiedenen Stellen besteht die Aussicht, dass verbesserte Membranen den Fischer-Tropsch Prozess im Sinne erhöhter Kohlenwasserstoff-Ausbeuten attraktiver machen können.

Für das Gesamtverfahren Biomasse-Umwandlung zu synthetischen Kohlenwasserstoffen sind die Erfolgsaussichten wesentlich bestimmt durch die Erzeugungskosten. Wegen des höheren verfahrenstechnischen Aufwandes werden synthetische Kraftstoffe zwangsläufig teurer sein als heutige Kraftstoffe aus Erdöl. Im Hinblick auf die Vereinfachungs- und Kostensenkungspotentiale erscheint es aus heutiger Sicht naheliegend, Forschung und Entwicklung zu betreiben und die technische Machbarkeit zu demonstrieren. Die Übertragbarkeit von Erfahrungen aus der Technik für Erdgas, heute in bestimmten Situationen bereits wettbewerbsfähig, ist ein großer Vorteil. Wegen der sehr guten Qualität und Integrierbarkeit in heutige Infrastruktur und Motortechnik könnten synthetische Kohlenwasserstoffe einen sinnvollen Beitrag leisten erschöpfliche fossile Rohstoffe zu ergänzen und zu ersetzen.

Literatur

- [1] Cronjé J.H., Schulz H., Fischer-Tropsch Synthese, in: Ullmann's Enzyklopädie der Technischen Chemie, 4. Aufl. (1978), Band 14, S. 329-355
- [2] Dry M.E., High Yield, High Quality Diesel from Fischer-Tropsch, Coal Conversion Conference Pretoria (Südafrika) 1982, Tagungsband S. 760-774
- [3] Kölsch P., Noack M., Caro J., Weh L., Keramische Zeitschrift 51 (1999) S. 112
- [4] Makino E., Fischer-Tropsch Synthesis, in: Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Sixth Edition (2003) Vol. 8, S. 651-664
- [5] Riedel T., Schaub G., Jun K.-W., Lee K.-W., Kinetics of CO₂ Hydrogenation on a K-Promoted Fe-Catalyst, Ind. Eng. Chem. Res. 40 (2001) S. 1355-1363
- [6] Rohde M., Unruh D., Schaub G., Fischer-Tropsch Synthesis with CO₂-containing Syngas from Biomass – Kinetic Analysis of Fixed Bed Reactor Model Experiments, Proceedings 7th International Conference on CO₂ Utilization, Seoul, October 2003
- [8] Schulz H., Short History and Present Trends of Fischer-Tropsch Synthesis, Appl. Cat. A: General 186 (1999), S. 3-12
- [9] Thackeray F., Fischer-Tropsch Gas-to-Liquids, Prospects and Implications, SMI Publ. Ltd., London 2000

- [10] Tijmensen M.J.A., Faaij A.P.C., Hamelinck C.N., van Hardeveld M.R.M., Exploration of the Possibilities for Production of Fischer-Tropsch-Liquids and Power via Biomass Gasification, *Biomass & Bioenergy* 23 (2002), S. 129-152 (2)
- [11] Unruh D., Rohde M., Schaub G., In-situ Removal of H₂O during Fischer-Tropsch Synthesis – A Modelling Study, Proc. International Conference “Chances for Innovative Processes at the Interface between Refining and Petrochemistry”, Berlin, Oktober 2002, DGMM-Tagungsbericht 2002-4, S. 287-294
Unruh D., Rohde M., Schaub G., Improving Carbon Utilization in Biomass Conversion to Synthetic Hydrocarbons via Fischer-Tropsch Synthesis, *Studies in Surface Science and Catalysis*, Elsevier, in Vorbereitung

Abendvortrag

Arbeitsplätze der Zukunft. Neues kommunales Energiekonzept mit Wärme und Kraft(stoff) aus Biomasse

R. Koch
Europäisches Zentrum
für erneuerbare Energie
Güssing GmbH
r.koch@eee-info.net

Die Stadt Güssing ist Bezirksvorort einer Region mit ca. 27.000 Einwohnern. Laut Statistik war 1988 diese Region die ärmste Region Österreichs. Die Gründe dafür waren:

- 50 Jahre Grenzregion am eisernen Vorhang zu Ungarn
- keine größeren Gewerbe- oder Industriebetriebe, dadurch wenig Arbeitsplätze in der Region
- 70% Wochenpendler nach Wien
- hohe Abwanderungsrate
- klein strukturierte landwirtschaftliche Flächen
- keine Verkehrsinfrastruktur (Eisenbahn, Autobahnverbindung)

Zusätzlich zu diesen Problemen gab es eine starke Kapitalabwanderung aus der Region durch Energiezukäufe (Öl, Strom, Kraftstoffe).

Die vorhandenen Ressourcen der Region (z.B. 45% Waldanteil) wurden kaum mehr genutzt, was zu großen Durchforstungsrückständen in der Forstwirtschaft und zur Verödung der landwirtschaftlichen Flächen führte.

Der Bezirk Güssing war auf dem bestem Wege zu einer sterbenden Region zu werden. Eine kleine Gruppe in Güssing erkannte diese Gefahr und begann ein Modell auszuarbeiten, mit der Zielsetzung zuerst die Stadt Güssing und dann in weiteren Schritten die gesamte Region durch ein-

heimische, nachwachsende und damit erneuerbare Energieträger zu versorgen. Dieses Modell umfasste die Bereiche Wärme, Kraftstoff und Strom.

1990 gelang es im Gemeinderat von Güssing, einen Grundsatzbeschluss zu erreichen: 100prozentiger Ausstieg aus der fossilen Energieversorgung.

13 Jahre später spricht man bereits vom wichtigsten Beschluss des Gemeinderates aller Zeiten. In der Verantwortung der Stadt lag auch der Beginn der ersten Umsetzungsmaßnahmen des Energiekonzeptes: Energieeinsparung. Alle im Gemeindezentrum befindlichen Objekte und Anlagen wurden energetisch optimiert mit dem Ergebnis, dass die Ausgaben für Energie im Gemeindebudget halbiert wurden.

Die ersten "Umwelterfolge" waren ein Grund und Ansporn am Konzept "Energieautarke Stadt" konsequent weiter zu arbeiten und weitere Projekte umzusetzen. So gelang es rasch eine Biodieselanlage zu errichten, 2 Nahwärmenetze in Ortsteilen von Güssing zu installieren und den Gemeinderat zu überzeugen, auch die Stadt Güssing mit Fernwärme aus Holz zu versorgen. Eine unglaubliche Leistung, wenn man bedenkt, dass diese Anlage damals die größte Biomasseanlage Österreichs war und auch heute noch zu den drei größten Anlagen zählt. Um das Projekt finanzieren zu können waren hunderte Termine bei Land, Bund und vor allem auch direkt in Brüssel notwendig. Es gelang Vadasz auch den Gemeinderat zu bewegen, Haftungen für diese Anlage zu übernehmen um so die Ausfinanzierung zu ermöglichen.

Ein Projekt dieser Dimension erforderte auch eine professionelle Holzlogistik. Um sicherzustellen, dass nur Waldhack-

gut aus der Region verwendet wird, wurde gemeinsam mit dem Burgenländischen Waldverband eine Holzherstellungskette aufgebaut und über langfristige Verträge abgesichert. Eine unglaublich wichtige Organisation für die nachhaltige Bewirtschaftung des burgenländischen Waldes, wie sie heute vorhanden ist, wurde damals gegründet. Durch die Infrastruktureinrichtung "Fernwärme" wurde plötzlich die "Grenzstadt" Güssing interessant als Betriebsstandort. Durch ein spezielles Betriebsansiedlungsprogramm gelang es Vadasz in den letzten 6 Jahren 50 neue Betriebe mit mehr als 500 neuen Arbeitsplätzen in Güssing anzusiedeln. Damit wurde die Stadt zum Zentrum Österreichs in Bereichen Parkettherstellung (die 2 größten Parketthersteller Österreichs haben ihren Produktionsstandort in Güssing), Laubholz Trocknung und Umwelttechnologien.

Gestärkt durch die erzielten Erfolge wurde intensiv am utopisch erscheinenden Projekt "Biomassevergasung aus Holz zum Zweck der Stromerzeugung" gearbeitet. 3 Jahre und unzählige Reisen zu diversen Behörden, Förderstellen usw. wurden mit einem weltweit einzigartigen Projekt – dem Biomasse Kraftwerk Güssing – belohnt.

Heute kommen 300-400 Besucher pro Woche nach Güssing um diese Demonstrationsanlagen der erneuerbaren Energien zu bestaunen. Ein eigener Ökoenergetourismus-zweig wurde damit aufgebaut. Jetzt gibt es in Güssing 2 Hotels. Die Nächtigungszahlen wurden in den letzten 5 Jahren von 1.000 auf 18.000 pro Jahr gesteigert. Da die Besucherzahlen monatlich steigen, wird diese Bettenkapazität in Güssing in den nächsten 2 Jahren verdreifacht. Der Ökoenergetourismus ist einer der wichtigsten Zweige in der Stadt Güssing geworden. Netzwerke mit der Kultur und dem Sport (Run-in-the-sun – Ökoenergiemarathon) wurden aufgebaut. Viele Urlauber wollen jetzt in der

umweltfreundlichsten Region Österreichs ("NEWS") Erholung finden.

Mit dem Bau des Kraftwerks wurde auch das Ziel energieautark zu sein erreicht. In Güssing wird im Bereich Wärme-Kraftstoff und Strom in der Jahresbilanz mehr Energie aus regionalen Rohstoffen erzeugt als die Stadt braucht. Eine gewaltige regionale Wertschöpfung wurde dadurch erreicht. Innerhalb von 15 Jahren gelang es, die einst ärmste Region in einen hohen Lebensstandard und eine große Lebensqualität zu bringen. Durch Kooperation mit den regionalen Schulen werden die Jugendlichen bereits in der Schulzeit mit dem Thema "Umwelt" konfrontiert um dann auch nach Schulabschluss hochwertige Arbeitsplätze vorzufinden.

Ausgehend von diesen Projekten war es nahe liegend, eine europaweite Koordinationsstelle für erneuerbare Energie in Güssing einzurichten, das "Europäische Zentrum für Erneuerbare Energie Güssing" (EEE).

Das EEE ist bereits in Fachkreisen zu einer Institution herangereift. Mit Partnern aus ganz Europa werden nachhaltige, regionale Konzepte zur Nutzung erneuerbarer Energieträger entwickelt.

Fast automatisch hielt die nationale und internationale Forschung in Güssing Einzug. Forschungsschwerpunkte wie Wasserstoff, Brennstoffzelle, Methanherzeugung, Treibstoffherzeugung, Kühlung über Fernwärme usw. mit großen europäischen Konzernen wie VW, Daimler Chrysler, Volvo, Renault, Edf, BP usw. haben dazu geführt, dass die besten Wissenschaftler Europas nach Güssing kommen, wo sie optimale Rahmenbedingungen für Ihre Arbeiten vorfinden. Der Stadt Güssing gelang es gemeinsam mit dem Land



Burgenland, in Güssing ein Technologiezentrum mit dem Schwerpunkt Umwelttechnologie zu errichten. In einem einzigartigen Netzwerk zwischen Forschung, Entwicklung, Dienstleistung und Umsetzung werden Produkte nach ganz Europa exportiert.

Das EEE versteht es auch ausgezeichnet, hochrangige Gäste in Güssing persönlich zu betreuen. Aus den vielen Highlights internationaler Konferenzen ragen 2 österreichische Biomassetage, eine OECD-Konferenz und eine UNIDO-Konferenz heraus.

Damit ist gewährleistet, dass die maßgeblich injizierte Bewegung einer nachhaltigeren und kreislauforientierteren Energieversorgung in alle Welt getragen wird und Güssing zum "Mekka" der erneuerbaren Energie wurde.