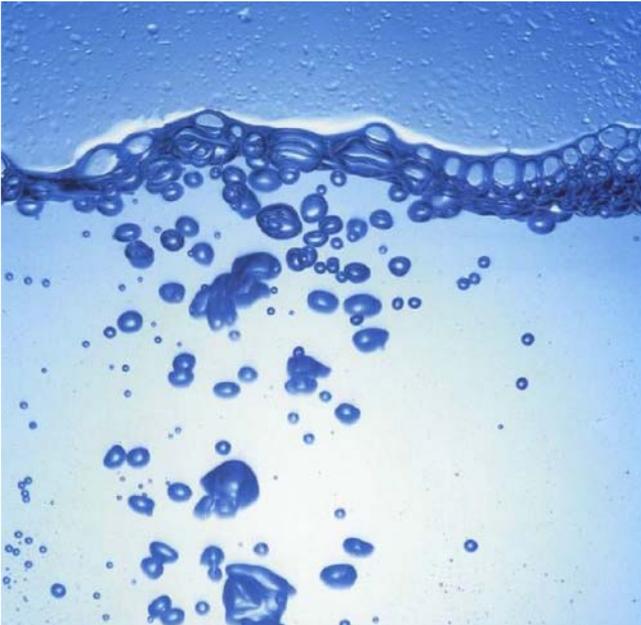




Zukunftsmarkt Synthetische Biokraftstoffe



Zukunftsmarkt Synthetische Biokraftstoffe

Fallstudie im Auftrag des Umweltbundesamtes
im Rahmen des Forschungsprojektes
Innovative Umweltpolitik in wichtigen Handlungsfeldern
(Förderkennzeichen 206 14 132/05)

durchgeführt

von

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe

Autor:

Gerhard Angerer

Impressum

Herausgeber: Umweltbundesamt (UBA)
Postfach 1406, 06844 Dessau-Roßlau
E-Mail: info@umweltbundesamt.de
www.umweltbundesamt.de

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Referat Öffentlichkeitsarbeit
11055 Berlin
E-Mail: service@bmu.bund.de
www.bmu.de

ISSN: 1865-0538

Projektbetreuung: Michael Golde
Umweltbundesamt (UBA)

Peter Franz
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)

Autor: Dr. Gerhard Angerer
(Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe)

Titelfotos: Q-Cells AG, BMU / Rupert Oberhäuser, ccvision GmbH

Stand: Dezember 2007

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
Summary	3
1 Einführung	5
2 Bedeutung synthetischer Biokraftstoffe	7
2.1 Die Technologie	9
2.1.1 Carbo-V® Prozess der Choren Industries GmbH	10
2.1.2 BIOLIQ-Prozess des Forschungszentrums Karlsruhe.....	12
2.1.3 HTW Vergasungstechnologie der Bergakademie Freiberg.....	15
2.1.4 Das CHRISGAS Projekt in Värnamo	17
2.1.5 Weitere Ansätze zur Entwicklung von BtL-Technologien	18
2.2 Nutzen für Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft	19
2.3 Wirtschaftliche Potenziale und Märkte	22
2.3.1 Das Biomassepotenzial in Europa	22
2.3.2 Globale Nachfrage nach BtL-Technologien	26
3 Internationaler Leistungsvergleich	28
3.1 Politiken und Rahmenbedingungen	30
3.2 Akteure.....	32
3.3 Innovationsindikatoren	33
3.4 Außenhandelsindikatoren	36
4 Schlussfolgerungen und Ausblick	40
4.1 SWOT Analyse für Deutschland und Europa	41
4.2 Perspektiven bis 2020	42
4.3 Handlungsempfehlungen und Forschungsbedarf.....	42
Literatur	46

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Carbo-V [®] Verfahren der CHOREN Industries GmbH (Grotelüschen 2007)	10
Abbildung 2-2:	Pyrolysestufe im BIOLIQ-Prozess des Forschungszentrums Karlsruhe (Dinjus 2007)	13
Abbildung 2-3:	Slurryherstellung (Dinjus 2007).....	14
Abbildung 2-4:	Im Bau befindliche Pilotanlage zur Slurryherstellung (Dinjus 2006).....	15
Abbildung 2-5:	HTW-Vergaser der Bergakademie Freiberg (Meyer 2006).....	16
Abbildung 2-6:	CHRISGAS Anlagenschaltbild (VVBGC 2007)	18
Abbildung 4-1:	Pestizideinsatz über Rapsfeld (Wüst 2007: 110)	44

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Biorohstoffe (EEA 2006)	24
Tabelle 2-2:	Bei nachhaltiger Bewirtschaft erschließbare Potenziale biogener Rohstoffe der EU-25 in PJ (EEA 2006: 52).....	24
Tabelle 2-3:	Aus dem Biomassepotenzial der EU-25 gewinnbare BtL- Kraftstoffe.....	25
Tabelle 3-1:	Patentanmeldungen am europäischen Patentamt im Zeitraum 1995 bis 2004 (Espace 2007)	35
Tabelle 3-2:	Außenhandelsstärke von Mitgliedsstaaten der EU und anderer Staaten im Kompetenzfeld BtL-Technologien 2004	38
Tabelle 3-3:	Außenhandelsstärke der EU im Vergleich zu anderen Ländern im Kompetenzfeld BtL-Technologien 2004	39

Abkürzungsverzeichnis

AIST	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (Japan)
atm	physikalische Atmosphäre (1 atm = 1,0325 bar)
Barrel	Volumeneinheit (1 Barrel = 159 l)
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BR	Brasilien (Länderkürzel)
BRICS	Brazil, Russia, India, China, South Africa
BtL	Biomass to liquid
CA	Kanada (Länderkürzel)
CCS	Combined combustion system
CEPI	Confederation of European Paper Industries
CH ₄	Methan
CN	China (Länderkürzel)
CO	Kohlenmonoxid
CO ₂	Kohlendioxid
CtL	Coal to liquid
DE	Deutschland (Länderkürzel)
DK	Dänemark (Länderkürzel)
DOE	United States Department of Energy
EEA	European Environmental Agency
ES	Spanien (Länderkürzel)
ETBE	Ethyl-Tertiär-Bythyl-Ether (Ethanolderivat)
Ethanol	C ₂ H ₅ OH
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe
FR	Frankreich (Länderkürzel)
FT	Fischer-Tropsch (Synthese)
FuE	Forschung und Entwicklung
FZK	Forschungszentrum Karlsruhe
g	Gramm
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik
GB	Großbritannien (Länderkürzel)
GLP	Gute landwirtschaftliche Praxis
GtL	Gas to liquid
H ₂	Wasserstoff
ha	Hektar
H ₂ O	Wasser(dampf)
HC	Kohlenwasserstoffe
HCCI	Homogeneous Charge Compression Ignition
HFRR	High Frequency Reciprocating Rig
HS	Harmonisiertes System zur Bezeichnung und Codierung der Waren
HTW	Hochtemperatur Winkler Verfahren
H _u	Unterer Heizwert
IFP	Institut Français du Pétrole (französisches Erdölinstitut)
IGCC	Integrated Gasification Combined Cycle

IT	Italien (Länderkürzel)
KN	Kombinierte Nomenklatur des Warenverzeichnisses der EU
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
l	Liter
JP	Japan (Länderkürzel)
MAFF	Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of Japan
MeOH	Methanol (Methylalkohol CH ₃ OH)
METI	Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan
Mol	Stoffmenge eines Moleküls, das seiner Molekülmasse in g entspricht (1 Mol H ₂ entspricht ca. 2 g, 1 Mol CO ca. 28 g)
MTBE	Methyl-Tertiär-Butyl-Ether
Mtoe	Millionen Tonnen Öläquivalent (1 Mtoe = 41,868 PJ)
MW _{el}	Megawatt elektrisch
MW _{th}	Megawatt thermisch
NL	Niederlande (Länderkürzel)
Nm ³	Normkubikmeter
NO _x	Stickstoffoxide (NO, NO ₂)
O ₂	Sauerstoff
PJ	Petajoule (10 ¹⁵ Joule)
RME	Rapsmethylester (Biodiesel)
RPA	Relativer Patent Anteil
SE	Schweden (Länderkürzel)
SITEC	Standard International Trade Classification
SMDS	Shell middle distillate synthesis
STEM	Schwedische Energie Agentur
SWOT	Strength, Weakness, Opportunities and Threats
t/a	Tonnen pro Jahr
TJ	Terajoule (10 ¹² Joule)
TNO	Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (Niederländische Organisation für Angewandte Naturwissenschaftliche Forschung)
TS	Trockensubstanz
UN	United Nations
US	United States of America (Länderkürzel)
USDA	United States Department of Agriculture
VDA	Verband der Automobilindustrie
WSG	Wassergas Shift Reaktion ("CO Shift")
ZA	Südafrika (Länderkürzel)

Zusammenfassung

Synthetische Biokraftstoffe zählen zusammen mit Bioethanol aus der Fermentation von Lignozellulose zu den Biokraftstoffen der zweiten Generation. Typisch für diese Biokraftstoffe ist, dass für ihre Herstellung die gesamte Pflanzenmasse genutzt wird, einschließlich der Zellulose, Hemizellulose und des Lignins. Dabei wird beim fermentativen Biomasseaufschluss als Produkt Ethanol erzeugt. Mit dem thermochemischen Biomasseaufschluss, den sogenannten BtL (Biomass-to-Liquid) Verfahren, werden synthetische Biokraftstoffe hergestellt. Dabei wird im ersten Verfahrensschritt das Kohlenwasserstoffgerüst biogener Rohstoffe thermisch zu Synthesegas aufgeschlossen. Synthesegas ist ein Gemisch aus Kohlenmonoxid (CO) und Wasserstoff (H₂). Der zweite Verfahrensschritt nutzt das gereinigte Synthesegas zur chemischen Kraftstoffsynthese. Dabei kann die Synthese maßgeschneidert gefahren werden, um Ottokraftstoff, Dieselkraftstoff oder Designerkraftstoffe für fortgeschrittene verbrauchs- und emissionsarme Motoren herzustellen.

Weltweit wird an mehreren Stellen an Verfahren zur Herstellung synthetischer Biokraftstoffe geforscht und entwickelt. Unbestrittener globaler Technologieführer ist die Choren Industries GmbH in Freiberg, Sachsen. Choren betreibt seit 1998 eine Pilotanlage zur Herstellung von synthetischen Biokraftstoffen. Zurzeit befindet sich ein Upgrade im Bau. Diese Anlage mit einer Kapazität von 15.000 t/a Biokraftstoff wird 2007 den weltweit ersten kommerziellen Betrieb aufnehmen. Sie verarbeitet jährlich 65.000 t Holz, darunter auch Altholz. Erzeugt wird ein hochwertiges Dieselprodukt, das unter dem Namen "SunDiesel" vermarktet wird und keine Anpassung von Motoren und Betankungstechnik erfordert.

Durch den thermochemischen Biomasseaufschluss der gesamten Pflanze lassen sich Biokraftstoffträge von 4.000 l Dieseläquivalent pro Hektar erzielen. Dies liegt fast um das 3-fache über dem Ertrag von Biodiesel aus Raps. Die Nutzung von synthetischen Biokraftstoffen führt im Vergleich zu petrostämmigem Diesel zu einer Minderung der CO₂-Emissionen um über 80 %. Trotzdem kann der Aufbau einer Industrie zur Herstellung synthetischer Biokraftstoffe nicht mit dem Klimaschutz begründet werden, denn die CO₂-Bilanz einer direkten Verbrennung von Biomasse ist günstiger. Die Bewertung der Umweltleistung und Nachhaltigkeit eines Prozesses ist allerdings mehrdimensional und kann sich nicht auf die CO₂-Bilanz allein stützen.

Die European Environment Agency (EEA) hat das bei nachhaltiger Bewirtschaftung zusätzlich erschließbare Biomassepotenzial in der EU-25 abgeschätzt. Danach könnten mit dem bis 2020 für die energetische Nutzung zur Verfügung stehenden Biomassepotenzial jährlich 121 Mio. t synthetische Biokraftstoffe hergestellt werden. Geht man

davon aus, dass bis 2020 durch die Verbesserung der Motoren der Kraftstoffbedarf um 20 % unter dem von 2004 liegt, dann würden potenziell gut 60 % des Diesel- und Ottokraftstoffbedarfs der EU-25 durch synthetische Biokraftstoffe gedeckt werden können. Diese Potenzialabschätzung unterstellt, dass das gesamte Biomassepotenzial für die Herstellung von synthetischen Biokraftstoffen genutzt wird. Dies ist keine realistische Vision. Choren Industries, der Marktführer bei der Kommerzialisierung der Technologie, geht davon aus, dass die erste großtechnische 200.000 t/a BtL Anlage 2012 die kommerzielle Produktion aufnehmen kann und bis 2020 45 bis 60 solche Anlagen in Europa realisierbar wären. Damit könnten 5 – 6 % des zu erwartenden Diesel- und Ottokraftstoffbedarfs durch synthetische Biokraftstoffe gedeckt werden, zu Produktionskosten unter 0,70 €/l Kraftstoff.

Die Bestrebungen Europas nach mehr Sicherheit bei der Energieversorgung treffen mit der Notwendigkeit zusammen, der Landwirtschaft Zukunftsperspektiven zu erschließen. Die massive Stützung der Nahrungsmittelproduktion aus dem EU-Haushalt gerät immer stärker in die Kritik. Mittelfristig ist der Transfer von Haushaltsmitteln aus der Landwirtschaft in die Forschung, Entwicklung und Bildung für die Zukunft Europas unverzichtbar. Dies wird einfacher, wenn die Landwirtschaft ihr notwendiges Einkommen ohne Subventionen selbst verdienen kann. Der ökologische Anbau von Energiepflanzen und die Bereitstellung von organischen Reststoffen aus ihrer Produktion können neben der Nahrungsmittelproduktion zu einem zweiten mächtigen Standbein für die Landwirtschaft werden. Der Export der BtL-Technologie in die Welt ist zugleich ein wirksamer Beitrag zur Bekämpfung der globalen Emissionen von Treibhausgasen.

Summary

Bioethanol produced by fermenting lignocellulosic biomass and synthetic biofuels are known as second generation biofuels. These biofuels are produced using the whole plant including cellulose, hemicellulose and lignin. Ethanol is the product of fermentative biomass conversion. Synthetic biofuels, the so-called BtL (biomass to liquid) processes, are produced using thermochemical biomass conversion. Here, in the first process step, the hydrocarbon structure of the biomass is converted to syngas, a mixture of carbon monoxide (CO) and hydrogen (H₂). The second process step uses the purified and conditioned syngas for chemical fuel synthesis. The outcome of the synthesis is gasoline, diesel, or tailor-made fuels for advanced fuel-efficient and low-emission engines.

R&D on synthetic biofuel processes is being conducted in several countries around the world, but the global technology leader is without doubt the German company, CHOREN Industries Ltd. in Freiberg, Saxony. Since 1998, CHOREN has been operating a pilot plant for the production of biofuels. At present this plant is being up-scaled and the first commercial production worldwide will start in 2007 with a capacity of 15,000 t/a biofuel. Annually 65,000 t of wood will be processed, including scrap wood. This will produce a high-quality diesel product, marketed under the brand name "SunDiesel". This product requires neither any modification to the diesel engine nor to the refueling technique.

Because the whole plant is processed, 4,000 l diesel equivalent can be obtained from one hectare of crop. This yield is almost three times that of biodiesel produced from rape. Compared with diesel produced from crude oil, synthetic biofuels reduce the CO₂ emissions by more than 80 %. Nevertheless, the establishment of a synthetic biofuels industry cannot be justified based on climate protection arguments, because the CO₂ balance of direct biomass combustion is more favourable. But assessing the environmental performance and sustainability of a process is a multidimensional approach which cannot be based on the CO₂ balance alone.

The European Environment Agency (EEA) assessed the additional biomass potential in the EU 25 which could be made available with environmentally-compatible cultivation. According to this study, until 2020 it would be possible to produce 121 million tons of synthetic biofuels annually with the biomass potential available for energy use. Assuming that the fuel consumption of automotive engines will be lowered by 20 % until 2020, then over 60 % of the diesel and gasoline consumption of the EU 25 could be met by synthetic biofuels. This assessment assumes that the total additional biomass potential will be used for the production of synthetic biofuels which is, of course, not a realistic

vision. CHOREN Industries, the leader in the commercialization of the technology, assumes that the first large industrial plant with a biofuel capacity of 200,000 t/a could start commercial operation in 2012, and that 45 to 60 of such plants could be constructed in Europe until 2020. This synthetic biofuel capacity could cover 5 - 6 % of the diesel and gasoline consumption expected at that time at production costs below 0.70 €/l.

Europe's efforts to reduce its dependency on imported energy coincide with the necessity to develop future prospects for agriculture. The extensive farming subsidies for food production are subject to heavy criticism. In the medium-term, transferring financial resources from agriculture to research, development and education will be indispensable for Europe's future. This will be easier to do if agriculture is able to earn the necessary income itself. Environmentally-compatible farming of energy crops and the provision of organic production residues could become a second powerful income source for agriculture. At the same time, the worldwide export of the BtL technology is an effective contribution to combating global greenhouse gas emissions.

1 Einführung

Der Umwelt- und Ressourcenschutz gewinnt national und international eine zunehmende Bedeutung. Damit verbunden wird sich die Nachfrage nach Umwelttechniken weltweit dynamisch entwickeln. Inzwischen hat sich aus dem Umwelt- und Ressourcenschutz auch ein maßgeblicher Treiber für Innovationen entwickelt. Umwelt- und Innovationspolitik wachsen dadurch immer stärker zusammen, moderne Umweltpolitik muss auch Innovationspolitik sein.

Um Wachstums- und Beschäftigungspotenziale zu mobilisieren ist es wichtig, Synergieeffekte zwischen der Verbesserung der Umweltsituation, der Schaffung zukunftsfähiger Arbeitsplätze und der Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit zu identifizieren und zu nutzen. Das Forschungsprojekt „Innovative Umweltpolitik in wichtigen Handlungsfeldern“ analysiert die Innovationsdynamik in wichtigen Handlungsfeldern systematisch und auf zusammenfassender Ebene. Diese Handlungsfelder bildeten die Basis, um elf Produktgruppen/Technologien auszuwählen, die in Fallstudien vertieft untersucht werden.

Jede Fallstudie enthält eine kurze Vorstellung der Grundlagen der entsprechenden Technologie. Anschließend folgt eine nähere Analyse des Zukunftsmarktes und seiner Innovationsdynamik. Besonderes im Blickpunkt stehen dabei die Entwicklung der Wettbewerbsfähigkeit deutscher und europäischer Unternehmen im internationalen Vergleich, ihr Umfeld sowie Ansatzpunkte für eine Stärkung des deutschen und europäischen Innovationssystems.

Innerhalb der Reihe: „Umwelt, Innovation, Beschäftigung“ sind Fallstudien zu den folgenden Themen erschienen: Solarthermische Stromerzeugung, CO₂-Abscheidung und Speicherung, Elektrische Energiespeicherung, Solares Kühlen, Energieeffiziente Rechenzentren, Biokunststoffe, Synthetische Biokraftstoffe, Hybride Antriebstechnik, Dezentrale Wasseraufbereitung und Regenwassermanagement, Nachhaltige Wasserwirtschaft und Nanotechnologie, Stofferkennung und –trennung.

In diesem Band werden die Ergebnisse der Fallstudie Synthetische Biokraftstoffe beschrieben. Kennzeichnend für solche Kraftstoffe ist, dass der Biomasseinput zunächst thermochemisch zu Synthesegas aufgeschlossen und das hochreine Synthesegas anschließend zu einem synthetischen Biokraftstoff konfektioniert wird. Als Oberbegriff für diese Verfahren hat sich "Biomass to Liquid" (BtL) eingebürgert.

In den folgenden Kapiteln wird zunächst kurz auf die Bedeutung von Biokraftstoffen eingegangen und es werden Definitionen der Biokraftstoffe gegeben. Anschließend

werden die heute verfolgten BtL-Technologielinien beschrieben und schließlich das durchaus erhebliche Biomassepotenzial Europas eingegrenzt. Der zweite Teil beschäftigt sich mit der Stellung der deutschen und europäischen Forschung und Entwicklung im globalen Kontext und gibt einen Überblick über die Politiken anderer Länder. Der Schlussteil fasst das Ergebnis dieses Vergleichs zusammen, gibt eine Perspektive für 2020 und weist auf einige Rahmenbedingungen hin, die bei der Ausgestaltung des Politikfelds als Teil einer ökologischen Industriepolitik beachtet werden sollten, damit das Ergebnis das Leitbild der nachhaltigen Entwicklung nicht konterkariert.

2 Bedeutung synthetischer Biokraftstoffe

Die Europäische Union, EU-25, verbrauchte 2004 240 Mio. t Kraftstoffe. Die mengenmäßig größten Verbraucher sind Deutschland mit 54 Mio. t, Frankreich mit 40 Mio. t, Großbritannien mit 38 Mio. t und Spanien mit 29 Mio. t (FNR 2006 a: 101). Die Deckung des Kraftstoffbedarfs der EU erfolgt zu 98 % durch importierte Rohstoffe. Die Verringerung dieser hohen Importabhängigkeit ist eine der großen Herausforderungen der Zukunft. Eine weitere Herausforderung ergibt sich durch den Klimaschutz. In der Zwischenzeit stammen 21 % der Klimagasemissionen in der EU aus dem Verkehrsbereich (EC 2006). Ohne signifikante Verminderung der CO₂-Emissionen aus dem Verkehrssektor sind die langfristigen Klimaschutzziele der Union nicht erreichbar. Motorische Maßnahmen allein werden aus heutiger Sicht nicht ausreichen.

Auf der anderen Seite besitzt die EU ein großes Potenzial an Biomasse in der Landwirtschaft, der Forstwirtschaft und an organischen Abfällen aus der Industrie und der kommunalen Abfallentsorgung. Dieses Potenzial kann genutzt werden, um die Abhängigkeit der Union von Energierohstoffimporten zu reduzieren und zugleich die globale Erwärmung der Erde, soweit diese anthropogen bedingt ist, zu bekämpfen. Ein Einstieg ist mit der Nutzung von Biokraftstoffen bereits gelungen. Der Verbrauch biogener Kraftstoffe der ersten Generation in der Union, das sind Bioöle, Biodiesel und Bioethanol, erreichte 2004 immerhin 2,3 Mio. t Biodiesel und 0,5 Mio. t Bioethanolprodukte, zusammen 2,8 Mio. t. Das entspricht 1,2 % des Kraftstoffverbrauchs. 68 % der Biokraftstoffproduktion der EU entfiel auf Deutschland, 14 % auf Frankreich, 8 % auf Spanien und 7 % auf Schweden.

Biodiesel wird durch die Umesterung von Pflanzenöl mit Methanol hergestellt. Dabei wird das im Rapsöl mit einem Anteil von etwa 10 % enthaltene Glycerin abgetrennt und durch petrostämmiges Methanol ersetzt. Es entsteht Rapsmethylester (RME). Bioethanol kann Ottokraftstoff entweder direkt zugemischt werden, wird aber in Europa vorwiegend zu Ethyl-Tertiär-Butyl-Ether (ETBE) weiterverarbeitet und zur Verbesserung der Klopfestigkeit beigemischt. Biostämmiges ETBE ersetzt dabei petrostämmiges Methyl-Tertiär-Butyl-Ether (MTBE).

Kennzeichnend für die Biokraftstoffe der ersten Generation ist, dass sie aus Saaten oder der Frucht von Pflanzen gewonnen werden. Wichtigster Grundstoff für Biodiesel sind ölhaltige Saaten, in Europa Raps. Grundstoff für Ethanolprodukte sind zuckerhaltige und stärkehaltige Landwirtschaftsprodukte, in Europa in erster Linie die Zuckerrübe, aber auch Weizen. Entsprechend gering ist die Hektarausbeute an Kraftstoffen. Dies verschlechtert die CO₂-Bilanz. Das Umweltbundesamt ist vor Jahren sogar von einer negativen Umweltbilanz der Biodieselnutzung ausgegangen und hat von seiner

Nutzung abgeraten. Die Nutzungskonkurrenz zwischen der Nahrungsmittelproduktion und der Herstellung von Biokraftstoffen der ersten Generation wird von Seiten der Ökologiebewegung kritisiert. Die Süddeutsche Zeitung bringt dies in ihrer Ausgabe vom 23.01.2007 in dem Beitrag "Fahren statt essen. Herstellung von Biosprit führt zu Tortilla-Krise in Mexiko" auf den Punkt. Dort wird die in den USA praktizierte Herstellung von Bioethanol aus Mais für die stark gestiegenen Maispreise in Mexiko verantwortlich gemacht, mit entsprechenden sozialen Auswirkungen auf die ärmsten Schichten der Bevölkerung, deren Grundnahrungsmittel Mais ist (Piper 2007).

Es gibt Bestrebungen durch den enzymatischen Aufschluss lignozellulosehaltiger Biomasse, wie sie beispielsweise in Stroh und Holz vorliegt, Zellulose und Hemizellulose, beides biogene Polysaccharide (Kohlenhydrate), als Rohstoffbasis für die Ethanolproduktion zu erschließen. Das in der Biomasse enthaltene Lignin, der Holzanteil, wird im Prozess energetisch genutzt. Mit der Nutzung der Lignozellulose wird die Rohstoffbasis drastisch verbreitert und der Konkurrenzkonflikt mit der Nahrungsmittelproduktion aufgelöst. Bisher gibt es noch keine kommerzielle Produktionsanlage. Weltweiter Technologieführer in dem Feld ist die kanadische LOGEN Corporation mit Sitz in Ottawa. Sie betreibt dort eine vorkommerzielle Demonstrationsanlage mit einem Ausstoß von 2300 t Ethanol pro Jahr (logen 2007). In Spanien hat die ABENGOA S. A. eine Demonstrationsanlage errichtet (Fialka 2006). In den USA dürfte die Kommerzialisierung von Ethanol aus Zellulose durch das von Präsident Bush angestoßene 2 Mrd. US \$ Kreditbürgschaftsprogramm für solche Produktionsanlagen starken Auftrieb erhalten. Es wurde vom US Department of Agriculture in der Zwischenzeit ergänzt und um weitere 1,6 Mrd. US \$ für Forschung und Entwicklung auf diesem Feld aufgestockt (USDA 2007).

Ein gravierendes Problem, welches die Zukunftsfähigkeit des herkömmlichen Biodiesels in Frage stellt, ergibt sich aus spezifischen Eigenschaften von Biodiesel. Nach der Dieselnorm EN 590 sollte die Schmierfähigkeit unterhalb des HFRR-Wertes von 460 μm liegen. HFRR (High Frequency Reciprocating Rig) ist ein definiertes Messverfahren für die Schmierfähigkeit einer Flüssigkeit. Der Wert in μm ist eine Maßzahl für den Abrieb. Je höher der Abrieb, desto geringer die Schmierfähigkeit. Biodiesel besitzt zwar eine höhere Schmierfähigkeit (Maierhofer 2005), trotzdem stellen die Hersteller von Hochdruckpumpen Schäden an ihren Aggregaten der neuesten Generation fest. Bosch, aber auch die japanischen Hersteller, verweigern deshalb die Freigabe für Biodiesel. Ursache der festgestellten Schäden könnte die deutlich höhere Viskosität von Biodiesel sein. High-Tech Hochdruckpumpen der neuesten Generation arbeiten auf einem Druckniveau von 2000 bar, um den Kraftstoff ultrafein zu vernebeln, Ausbrand und Wirkungsgrad zu verbessern und die Partikelbildung herabzusetzen. Im nächsten Entwicklungsschritt soll das Druckniveau auf 2400 bar angehoben werden. Bei solchen

Drücken sind zur Vermeidung von Leckagen engste Toleranzen zwischen den bewegten Teilen einzuhalten und es treten hohe Flächenpressungen auf. Dies kann bei einem höher viskosen Kraftstoff den Schmierfilm abreißen lassen, die Pumpe läuft trocken und wird zerstört. Moderne Hochdruckpumpen sind das zentrale Aggregat für die besonders kraftstoffsparenden und emissionsarmen Dieselmotoren der neuesten Generation. Sie sind ein Entwicklungsschritt auf dem Weg zum 120 g CO₂/km Verbrennungsmotor und unterbieten mit Partikelemissionen von 2 mg/km heute schon den ab 1.9.2014 geplanten Partikelgrenzwert der EURO 6 Norm von 5 mg/km bei weitem.

2.1 Die Technologie

Vor diesem Hintergrund sind die Biokraftstoffe der ersten Generation als Übergangslösung anzusehen, welche den synthetischen Biokraftstoffen und einer sich möglicherweise daran anschließenden Wasserstoffnutzung den Weg bereiten. Typisch für synthetische Biokraftstoffe ist, dass für ihre Herstellung nicht nur die Saat oder die Frucht genutzt wird, sondern die gesamte Biomasse, einschließlich der Zellulose, Hemizellulose und des Lignins. Sie werden auch als Biokraftstoffe der zweiten Generation bezeichnet. Ihre Raffination schließt im ersten Verfahrensschritt das Kohlenwasserstoffgerüst biogener Rohstoffe thermochemisch zu Synthesegas auf. Synthesegas ist ein Gemisch von Kohlenmonoxid (CO) und Wasserstoff (H₂). Der zweite Verfahrensschritt nutzt das gereinigte Synthesegas zur Kraftstoffsynthese. Dabei kann die Synthesemaßgeschneidert gefahren werden, um Ottokraftstoff, Dieselmotorkraftstoff oder Designerkraftstoffe für fortgeschrittene Motoren herzustellen.

So hergestellte Kraftstoffe werden als BtL (Biomass to Liquid) Kraftstoffe bezeichnet. Sie zeichnen sich durch zwei vorteilhafte Merkmale aus: Zum einen ist ihre Rohstoffbasis biogenen Ursprungs. Zum anderen besitzt die Technologie das Potenzial, Kraftstoffe mit spezifischen Eigenschaften zu synthetisieren, sogenannte Designerkraftstoffe. Dies ist von großer Bedeutung für die Fortentwicklung der heutigen Verbrennungsmotoren. Die Automobilindustrie arbeitet an neuen Verbrennungsverfahren, die das Potenzial haben, bei verbessertem Wirkungsgrad Near-Zero-Emission zu erreichen. Beim HCCI-(Homogeneous Charge Compression Ignition) Verfahren werden der umwelttechnische Vorteil des Ottomotors mit der Energieeffizienz des Dieselmotors kombiniert. Es ist ein Selbstzündermotor mit einem gleichmäßigen Verbrennungsstart im gesamten Brennraumvolumen. Bei Volkswagen läuft diese Entwicklung unter dem Begriff CCS (Combined Combustion System). Mit dem CCS Verbrennungsverfahren lassen sich nach Angaben von Volkswagen der Wirkungsgrad gegenüber Dieselmotoren um 8 Prozentpunkte steigern und die Emissionen von Partikeln und NO_x ohne Abgasnachbehandlung beinahe auf Null bringen (Steiger 2006). Solche Motoren sind mit

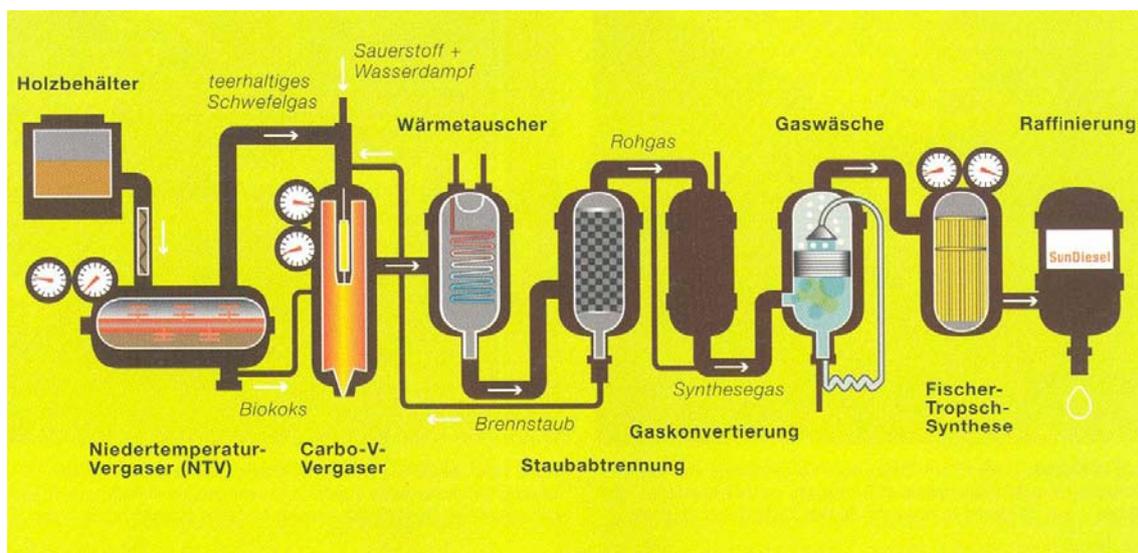
den heutigen Kraftstoffen nicht realisierbar. Sie benötigen einen auf das komplizierte Brennverfahren zugeschnittenen synthetischen Kraftstoff, der zugleich Merkmale von Diesel und Benzin aufweist (Honsig 2005).

Nach der oben gegebenen Definition zählt die Ethanolraffination aus Lignozellulose zwar zu den fortgeschrittenen Herstellungstechnologien, nicht aber zu den BtL-Verfahren. Denn die hergestellten Produkte sind Ethanol oder ETBE und eignen sich nicht für HCCI- oder CCS-Motoren. CtL- (Coal to Liquid) und GtL- (Gas to Liquid) Verfahren erlauben es dagegen Designerkraftstoffe für solche Motoren herzustellen, ihre Rohstoffbasis ist jedoch nicht biogenen Ursprungs sondern Kohle bzw. Erdgas.

2.1.1 Carbo-V[®] Prozess der Choren Industries GmbH

Weltweit wird an mehreren Stellen an BtL-Verfahren geforscht und entwickelt. Unbestrittener globaler Technologieführer ist zurzeit die CHOREN Industries GmbH in Freiberg, Sachsen. Choren betreibt seit 1998 eine Pilotanlage zur Herstellung von BtL. Die weltweit erste kontinuierliche Produktion von BtL gelang dieser α -Anlage 2003, seit dem 4. Quartal 2004 läuft der Prozess nach Angaben von Choren stabil. Zurzeit befindet sich ein Upgrade, die sogenannte β -Anlage, im Bau. Sie besitzt eine Kapazität von 15.000 t/a BtL, das sind 16,5 Mio. l/a, und soll im 3. Quartal 2007 den weltweit ersten kommerziellen Betrieb aufnehmen. Die Anlage wird jährlich 65.000 t Biomasse verarbeiten, insbesondere Holz, darunter auch Altholz. Erzeugt wird ein Dieselprodukt, das die Firma unter dem Namen "SunDiesel" vermarktet.

Abbildung 2-1: Carbo-V[®] Verfahren der CHOREN Industries GmbH (Grotelüschen 2007)



Die SunDiesel Erzeugung erfolgt in mehreren Prozessstufen. Die klein gehäckselte und getrocknete Biomasse wird aus dem Vorratsbehälter in den Niedertemperaturvergaser aufgegeben. Dort wird sie bei 400 – 500 °C mit Luft oder Sauerstoff zu einem teerhaltigen Gas und festen Kohlenstoff, dem Biokoks, verschwelt. Anschließend gelangt das Schwelgas in das Kernstück des Prozesses, den Carbo-V-Vergaser. In der Brennkammer des Vergasers wird das teerhaltige Schwelgas oberhalb von 1.400 °C in teerfreies Synthesegas umgewandelt. Unterhalb der Brennkammer wird in das heiße Gasgemisch der gemahlene Biokoks eingeblasen und vergast. Das heiße Gas wird anschließend sekundenschnell auf 800 °C abgekühlt und gelangt anschließend in den Rekuperator. Dort wird das teerfreie Syntheserohgas weiter abgekühlt und die frei werdende Wärme als Prozessdampf ausgekoppelt. Nach der Entstaubung und der Gaswäsche, in der Schwefel und Chlor abgeschieden werden, gelangt das gereinigte Synthesegas in den Fischer-Tropsch Reaktor. Das austretende Kohlenwasserstoffgemisch wird abgekühlt, das Synthesewasser abgetrennt und zum SunDiesel aufbereitet. Auch die anfallenden langkettigen Kohlenwasserstoffe, Wachs und Paraffine können durch Hydrocracking zu Kraftstoff verarbeitet werden.

Für die optimale Kraftstoffsynthese sollten im Synthesegas 2 Mol H₂ und 1 Mol CO in der Fischer-Tropsch Synthese vorhanden sein. Synthesegas aus Biomasse ist mit einem Verhältnis von etwa 1,6 wasserstoffarm. Der Wasserstoffanteil kann mit der Wassergas-Shift-Reaktion (WSG) katalytisch im Temperaturfenster von 250 – 450 °C erhöht werden. Dabei reagiert Wasserdampf mit CO im Synthesegas: $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$. Die Nutzung von CO im Synthesegas zur Erhöhung des Wasserstoffanteils wird in der Literatur auch als "CO-Shift" bezeichnet.

Die letzte Prozessstufe, die Raffination des Synthesegases zum Kraftstoff, wurde von Shell übernommen. Es handelt sich dabei um die erprobte Shell Middle Distillate Synthesis (SMDS) nach dem Fischer-Tropsch-Verfahren, das Shell in seiner Raffinerie Bintulu in Malaysia seit 1993 kommerziell nutzt. Shell erzeugt dort mit einer Jahreskapazität von 2 Mio. t aus Erdgas einen kristallklaren und beinahe geruchfreien GtL-Dieselmotorkraftstoff, der bei der Verbrennung deutlich geringere Emissionen von Schadgasen (NO, HC, CO) und Partikeln verursacht (Honsing 2005; Seyfried 2006). Shell hält eine Minderheitsbeteiligung an der CHOREN Industries GmbH, von der bekannt ist, dass sie unter 25 % liegt (Blades 2006). Volkswagen und DaimlerChrysler sind Teil der strategischen Allianz zwischen dem Anlagenbauer Choren, dem Mineralölkonzern Shell und der Automobilindustrie.

SunDiesel besitzt eine hohe Cetanzahl und damit ein gutes Zündverhalten. Dies kommt dem Ziel der Motorbauer nach einem simultanen Verbrennungsstart im gesamten Brennraumvolumen entgegen. SunDiesel lässt sich konventionellem Diesel in beliebigen Anteilen zumischen und kann ohne zusätzliche Investitionen im bestehenden Tankstellennetz europaweit und weltweit vertrieben werden. Shell mischt heute schon seiner Premium Dieselmarke "V-Power" 5 % GtL-Diesel zu.

Die Palette nutzbarer Biomasse ist nach Choren sehr breit. Voraussetzung ist relative trockene Biomasse mit einem Wassergehalt von 15 – 20 %. Biomasse mit höherem Wasseranteil muss vorgetrocknet werden. Dies verschlechtert die Energiebilanz, wenn nicht auf ungenutzte Abwärme oder regenerative Energie zurückgegriffen werden kann. Gegenwärtig werden Holz- und Altholz- Hackschnitzel eingesetzt, die im Trockenlager entfeuchtet werden.

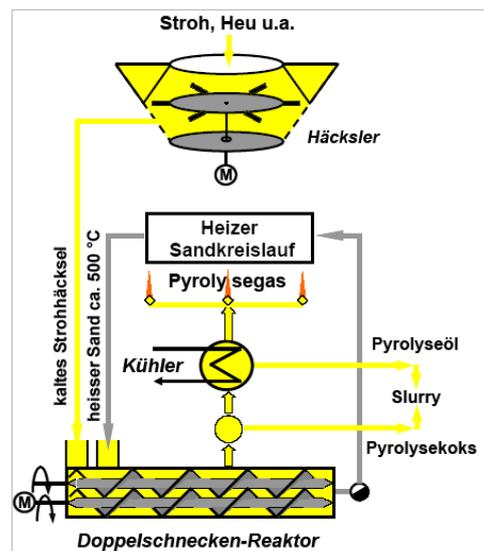
Die Investitionskosten der im Bau befindlichen Anlage betragen 50 Mio € (Grotelüsch 2007: 49). Als nächsten Schritt des up-scaling plant Choren eine großtechnische Anlage, die sogenannte Σ -Anlage, mit einer Verarbeitungskapazität von 1 Mio. t/a Biomasse und einem Ausstoß von 200.000 t/a SunDiesel. Auch die sogenannte BtL-Realisierungsstudie, an der unter der Projektleitung der Deutschen Energie-Agentur (dena) Choren, BP, Total, BASF, Opel, Audi, BMW, DaimlerChrysler, Ford, MAN, Volkswagen, der VDA und Lurgi mitgewirkt haben, geht von dieser Kapazität der ersten kommerziellen Anlagen aus. Bei der Einbindung einer solchen Anlage in einen bestehenden Raffineriestandort rechnet die Studie mit Investitionskosten von 500 Mio. €. Unter Ausschöpfung des technischen Optimierungspotenzials und bei langfristigen Lieferverträgen für die Biomasse, die es erlauben, Skaleneffekte bei der Produktion zu erzielen, wird mit Produktionskosten für den BtL-Kraftstoff von 0,70 €/l gerechnet. Unter Einrechnung der Kapitalkosten ergibt sich daraus ein Verkaufspreis ab Raffinerie von knapp 0,80 €/l (dena 2006). Damit läge bei einem Rohölpreis von 60 \$ pro Barrel und einem Dieselpreis ab Raffinerie von 0,38 €/l der Preis von BtL-Diesel um etwa 0,42 €/l über dem von konventionellem Diesel. Unter weniger günstigen Annahmen betragen die Mehrkosten 0,62 €/l. Diese gehen davon aus, dass die BtL-Anlage nicht an einen bestehenden Raffineriestandort eingebunden wird und sich Optimierungspotenziale bei der Produktausbeute, der Verfügbarkeit und den Biomassekosten nicht erschließen lassen.

2.1.2 BIOLIQ-Prozess des Forschungszentrums Karlsruhe

Ein weiteres Verfahren, das seine technische Erprobung im kontinuierlichen Betrieb noch vor sich hat, ist das Bioliq Verfahren, das im Forschungszentrum Karlsruhe entwickelt wird. Die prinzipiellen Verfahrensstufen, das sind die Verschmelzung, die Hoch-

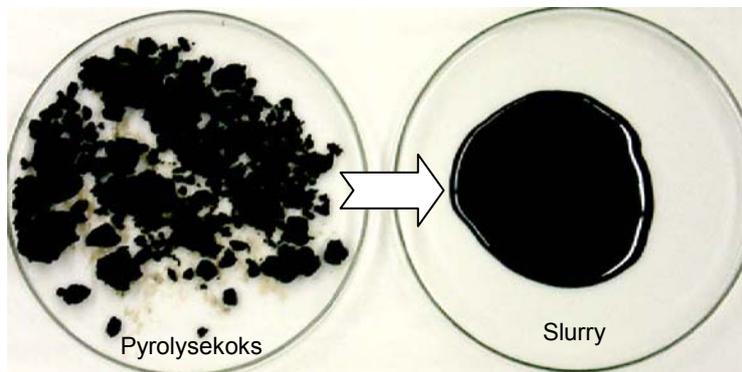
temperatur Flugstromvergasung, die Synthesegasreinigung und die Fischer-Tropsch Kraftstoffsynthese, entsprechen dem Choren Prozess. Die technische Realisierung und die Prozessführung sind unterschiedlich. Die erste Prozessstufe, die Pyrolyse der Biomasse, erfolgt in einem extruderähnlichen Doppelschneckenreaktor. Abbildung 2-2 zeigt die Pyrolysestufe des Verfahrens. Der pyrolytische Verfahrensschritt wird vom Entwickler als "Schnellpyrolyse" bezeichnet.

Abbildung 2-2: Pyrolysestufe im BIOLIQ-Prozess des Forschungszentrums Karlsruhe (Dinjus 2007)



Die trockene und gehäckselte Biomasse und 500 °C heißer Sand werden separat in den Reaktor aufgegeben und mit Hilfe der Schnecken durch den Reaktor transportiert. Der Sand überträgt auf dem Weg durch den Reaktor seine Wärme auf die Biomasse und verschwelt diese. Die Reaktionsprodukte, das sind Pyrolysekoks, Teerkondensat und Schwelgas, werden abgezogen. Der abgekühlte Sand wird über den Sandkreislauf in den Heizer zurücktransportiert und dort mit dem erzeugten Schwelgas wieder auf das ursprüngliche Temperaturniveau gebracht. Der Pyrolysekoks wird gemahlen, mit dem Teerkondensat, dem Pyrolyseöl, vermischt (Abbildung 2-3). Die entstehende Suspension, die Slurry, eine heizwertreiche Flüssigkeit, wird mit konventionellen Tankwagen zur Bioaffination gebracht. Mit der Slurry wird die volumetrische Energiedichte gegenüber Stroh um den Faktor 17 gesteigert.

Abbildung 2-3: Slurryherstellung (Dinjus 2007)



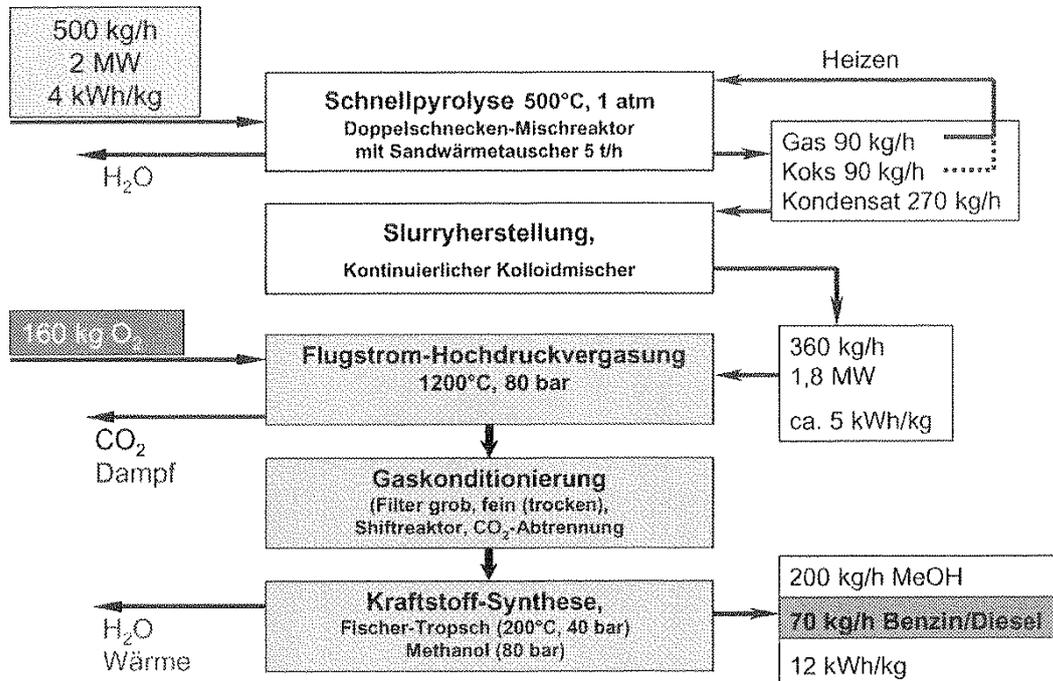
Bei der Bio Raffination wird aus der Slurry in einer Hochdruck Flugstromvergasung bei 30 – 100 bar und Temperaturen um 1200 °C Synthesegas erzeugt, das nach der Reinigung und der Anreicherung mit Wasserstoff über eine Fischer-Tropsch Synthese zum BtL-Kraftstoff raffiniert wird. Die Kostenschätzungen sind in der gegenwärtigen frühen Realisierungsphase noch wenig belastbar. Es wird von Produktionskosten von 0,90 €/kg (0,70 €/l) ausgegangen¹ (Dinjus 2007).

Das neuartige am BIOLIQ Konzept ist die räumliche Trennung der Verschwelung, der Schnellpyrolyse, von den sich anschließenden Verfahrensschritten. Dem liegt das Konzept zugrunde, die technisch vergleichsweise einfache Verschwelung und Slurry-Erzeugung dezentral am Ort der Biomasseernte anzusiedeln. Die energiereiche Slurry wird mit konventionellen Tankwagen zur Hochtemperaturvergasung und Kraftstoffsynthese in zentralen Anlagen transportiert. Dabei würden nach Einschätzung des Entwicklers drei zentrale Bio Raffinerien in Deutschland ausreichen, um das Bundesgebiet abzudecken. Für die dezentrale Slurry Erzeugung wird ein Einzugsbereich im Umkreis von 25 km vorgeschlagen (Dinjus 2007).

Nach der Klärung von Grundlagen im Labor und der Machbarkeitsprüfung im Technikummaßstab befindet sich eine Pilotanlage für die kontinuierliche Slurryherstellung mit einer Kapazität von 500 kg/h Biomasse im Bau. Einsatzmaterial ist Stroh. Sie soll 2007 in Betrieb genommen werden. Die weiteren Stufen, das sind die Synthesegas-erzeugung und die Kraftstoffsynthese, sollen in den Folgejahren errichtet werden.

¹ Vermutlich ohne Kapitalkosten und Raffineriemarge

Abbildung 2-4: Im Bau befindliche Pilotanlage zur Slurryherstellung (Dinjus 2006)



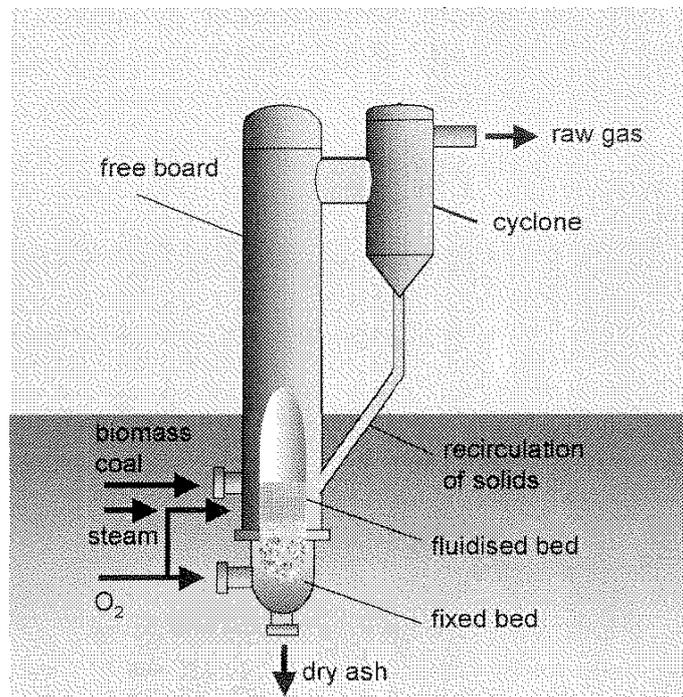
Die wirtschaftliche Tragfähigkeit dieses Konzepts hängt entscheidend davon ab, wie viele dezentrale (kleine) Verschmelungsanlagen benötigt werden, um die verfügbare und verwertbare Biomasse zu erfassen. Im Kostenvergleich zum zentralen Bioraffineriekonzept, wie es Choren verfolgt, ist zu beachten, dass auch dort ein Upscaling der Pyrolysestufe eine Erhöhung der Anzahl der Linien erfordert (dena 2006: 12). Dies dämpft die Degression der Produktkosten durch Upscaling. Die BtL-Realisierungsstudie, an der alle wichtigen Akteure beteiligt waren, kommt zu dem Ergebnis, dass "die technische Machbarkeit (von BtL, Anm. d. Verf.) nicht grundsätzlich in Frage steht" (dena 2006: 12). Bedauerlicherweise entziehen sich die Grundlagen dieser Einschätzung der Verifikation, weil die Industriepartner beschlossen haben, die vierteilige Langfassung des Ergebnisberichts unter Verschluss zu halten.

2.1.3 HTW Vergasungstechnologie der Bergakademie Freiberg

An der Technischen Universität Bergakademie Freiberg wird an einem Aggregat geforscht, das die Pyrolyse- und die Vergasungsstufe in einem neuartigen Vergaser konstruktiv vereint. Es handelt sich um eine Modifikation des Hochtemperatur-Winkler-Verfahrens (HTW) zur Synthesegaserzeugung aus Kohle der Rheinbraun AG, das bis 1997 in Betrieb war. Dieses Wirbelschichtverfahren wurde 1922 von Fritz Winkler entwickelt.

Der HTW-Vergaser der Bergakademie Freiberg kombiniert die Wirbelschicht mit einem darunter liegenden Festbettreaktor. Einsatzmaterial ist Biomasse, das in Form von Pellets oder Chips aufgegeben werden kann. Erzeugt wird Syntheserohgas, das nach der Reinigung und Konditionierung als Einsatzmaterial für die Kraftstoffraffination dient. Der Prozess arbeitet auf einem Betriebsdruck von 25 bar und einem Temperaturniveau von 900 – 950 °C. Die Kohlenstoffausbeute wird mit über 98 % angegeben.

Abbildung 2-5: HTW-Vergaser der Bergakademie Freiberg (Meyer 2006)



Zurzeit ist eine Technikumsanlage im Bau, die 2007 in Betrieb gehen soll (Meyer 2006) und die technische Erprobung des Vergasungskonzepts ermöglicht. Die Vision des Gesamtkonzepts sieht eine anschließende Methanolsynthese für die Kraftstoffraffination vor.

Für die Erzeugung von Kraftstoffen aus Synthesegas über den Methanolweg stehen wie beim Fischer-Tropsch-Prozess bewährte Anlagenkonzepte zur Verfügung. Beispielsweise das MtSynfuels[®]-(Methanol-to-Synfuels) Verfahren der Lurgi AG. Die Anforderungen an das Synthesegas bezüglich Reinheit und H₂- zu CO-Zusammensetzung (2 zu 1) sind dabei die gleichen wie bei beim alternativen Fischer-Tropsch-Prozess.

Die Entwicklung befindet sich noch im frühen Stadium des Basic engineering. Investoren für eine Pilotanlage werden gesucht.

2.1.4 Das CHRISGAS Projekt in Värnamo

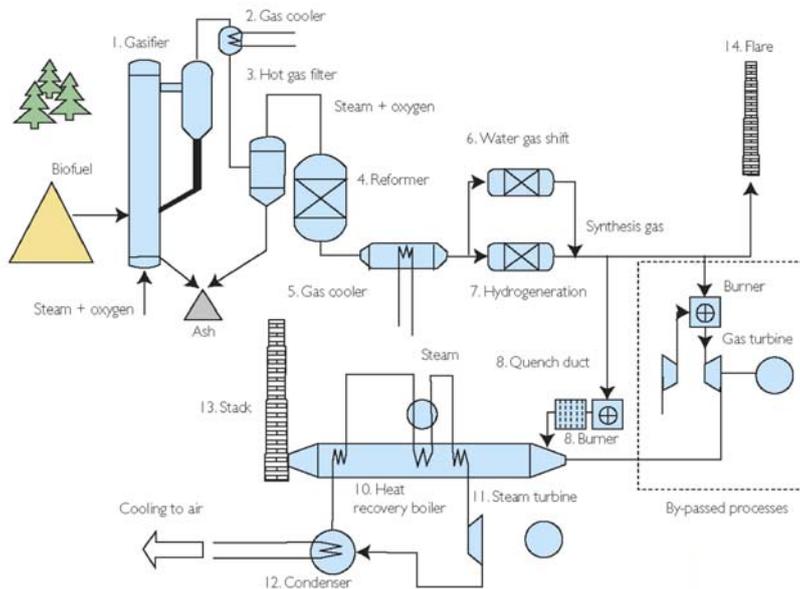
Das Växjö Värnamo Biomass Gasification Centre in Südschweden betrieb eine 18 MW_{th} Demonstrationsanlage zur Biomassevergasung für die Nutzung in einem IGCC-(Integrated Gasification Combined Cycle) Kraftwerk. Der Biomassevergaser arbeitete mit einer druckaufgeladenen zirkulierenden Wirbelschicht auf einem Druckniveau von 18 bar bei 950 -1000 °C. Das erzeugte Gas wurde in einer 4,2 MW_{el} Gasturbine verfeuert. Der angeschlossene Dampfkreislauf trieb eine 1,8 MW_{el} Dampfturbine. 9 MW_{th} wurden für die Fernwärmeversorgung von Värnamo ausgekoppelt. Nach dem gelungenen Nachweis der Machbarkeit eines Biomasse IGCC-Kraftwerks hatte die Pilotanlage ihre Mission erfüllt und wurde 1999 stillgelegt.

Nach einigen Realisierungsstudien zur Weiternutzung des gewonnen Know-hows in der Biomassevergasung bewilligte die Europäische Kommission 2004 aus dem 6. Forschungsrahmenprogramm 9,5 Mio. € für die Untersuchung der Machbarkeit einer Synthesegasherstellung aus Biomasse für die Kraftstoffsynthese. Das Projektkonsortium besteht aus heute 18 Partnern in 7 Mitgliedsstaaten. Mit der Förderung durch die Schwedische Energie Agentur (STEM) und den Leistungen der Industriepartner erreicht das Projektbudget 22,5 Mio. €. Eine Aufstockung um weitere 26,7 Mio. € wurde bei der STEM beantragt (Bengtsson 2006). Das Projekt, mit dem Akronym CHRISGAS, Clean Hydrogen-Rich Synthesis GAS, ist auf eine Laufzeit von 5 Jahren angelegt.

Ziel von CHRISGAS ist es, auf der 18 MW_{th} Anlage im kontinuierlichen Betrieb aus Biomasse ein wasserstoffreiches Synthesegas hoher Reinheit zu erzeugen, das sich für die Kraftstoffsynthese eignet. Es wird ein H₂ zu CO Mol-Verhältnis von 2 angestrebt. CHRISGAS soll den Grundstein für die Herstellung von Kraftstoffen aus Biomasse legen. Die Kraftstoffherstellung selbst ist jedoch nicht Teil des Projekts.

Als Biomasserohstoffe sollen Holz, Rinden, Stroh und ggf. auch landwirtschaftliche Rückstände wie Getreidehülsen, Sonnenblumenschalen und Weintraubenkerne genutzt werden. Das Synthesegas soll sich für die Herstellung von Dimethylether, Methanol und Fischer-Tropsch-Diesel eignen. Die Anlage kann 4 t/h Biomasse verarbeiten, das entspricht einer Kapazität von 32.000 t Biomasse jährlich (CHRISGAS 2007). Abbildung 2-6 zeigt das Schaltbild der Anlage. Nach dem Abschluss des Umbaus ist der Beginn des Testbetriebs für 2007 vorgesehen, der nach Plan 2009 abgeschlossen werden soll.

Abbildung 2-6: CHRISGAS Anlagenschaltbild (VVBGC 2007)



2.1.5 Weitere Ansätze zur Entwicklung von BtL-Technologien

In Güssing, Österreich, hat die REPOTEC Renewable Power Technologies Umwelttechnik GmbH eine Anlage zur Vergasung von Hackschnitzel errichtet, die von der heutigen Austrian Energy & Environment AG und dem Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Biowissenschaften der Technischen Universität entwickelt wurde. Es handelt sich um eine neuartige Kombination aus einer stationären Wirbelschicht für den Vergasungsteil und einer zirkulierenden Wirbelschicht für den Verbrennungsteil. Die Holzhackschnitzel werden mit Wasserdampf in den Vergaser aufgegeben und bei 850 °C zu einem Gasgemisch aus CO, H₂, CH₄ und CO₂ umgesetzt. Der unvergaste feste Biomasseteil gelangt über eine Rutsche in die Brennkammer und wird dort bei 900 – 930 °C vollständig verbrannt. Der Vergaser wird mit Wasserdampf, die Brennkammer mit Luft fluidisiert. In beiden Teilen zirkuliert als Bettmaterial Olivinsand, ein katalytisch aktives Eisen-Magnesium-Silikat. Der Sand gelangt zusammen mit dem Biokoks aus dem Vergaser in die Brennkammer, wird aufgeheizt, dann ausgetragen und wieder in den Vergaser zurückgeführt. Dort liefert es die benötigte Wärme für die Vergasung.

Die Anlage wurde 2001 in Betrieb genommen und liefert Energie für ein Gasmotor-Blockheizkraftwerk mit 2 MW_{el} und 4,5 MW_{th}. Laufende Forschungsarbeiten prüfen, ob sich durch eine Veredelung das erzeugte Produktgas für die BtL-Kraftstoffsynthese nutzen lässt (RENET 2007).

Auch an anderen Forschungseinrichtungen in Europa laufen experimentelle Grundlagenarbeiten zur Synthesegasherstellung aus Biomasse. So betreibt die Cutec GmbH in Clausthal-Zellerfeld eine Versuchsanlage, in der erste Mengen an BtL erzeugt wurden. Zum Einsatz kommt eine atmosphärische Wirbelschicht mit Sauerstoff und Dampf und eine Fischer-Tropsch-Synthese (Bohlmann, 2006).

Die TNO in Holland hält ein Patent mit dem Titel "Prozess zur Herstellung von Kraftstoffen ("liquid fuels") aus Biomasse" (TNO 2002). Es wurde im Jahre 2001 angemeldet. Geschützt wird ein Verfahren zur Herstellung einer energiereichen Slurry aus Biomasse. Damit soll der Energiegehalt von Biomasse erhöht und zu wirtschaftlichen Bedingungen transportierbar gemacht werden. Das Verfahren entspricht in seiner Intention dem BIOLIQ-Verfahren des Forschungszentrums Karlsruhe.

2.2 Nutzen für Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft

Nach vorliegenden Ökobilanzen führt die Nutzung von BtL-Kraftstoffen im Vergleich zu petrostämmigem Diesel zu einer Minderung der CO₂-Emissionen um etwa 80 % (FNR 2006 b: 172). Trotzdem kann die Nutzung von BtL nicht mit dem Klimaschutz begründet werden, denn die CO₂-Bilanz einer direkten Verbrennung von Biomasse ist günstiger. Die Bewertung der Umweltleistung eines Prozesses ist allerdings mehrdimensional und darf nicht auf einen singulären Parameter reduziert werden. Der klimatische Vorteil wird aufgezehrt, wenn dieser mit gesundheitsschädlichen Emissionen, beispielsweise Feinstaubemissionen, verbunden ist. Biomasse lässt sich in modernen KWK-Kraftwerken relativ sauber verbrennen. Problematischer ist die Verbrennung von Holz im Hausbrand. Gut eingestellte und gewartete Holzpelletsheizungen mit Umweltzeichen weisen mit einem Staubgrenzwert im Abgas von 30 mg/Nm³ zwar geringere Feinstaubemissionen auf als manuell beschickte Scheitfeuerungen (RAL 2006), die nach vorliegenden Untersuchungen wahre Staubschleudern sind (UBA 2006), erreichen aber bei weitem nicht die Werte von Öl- oder Gasheizkesseln.

Kennzeichnend für synthetische Biokraftstoffe ist, dass diese die gesamte Pflanze als Rohstoff nutzen. Dadurch lassen sich Biokraftstoffträge von 4000 l Dieseläquivalent pro Hektar erzielen. Dies liegt fast um das 3-fache über dem Ertrag von beispielsweise Biodiesel, mit einem Ertrag von 1400 l/ha bei der Nutzung von Raps als Rohstoffquelle. Die höhere Ausbeute verbessert die CO₂-Bilanz deutlich. Dagegen werden durch die Nutzung von Biodiesel die Emissionen von Treibhausgasen gegenüber petrostämmigem Diesel nach Angaben des Sachverständigenrats für Umweltfragen lediglich halbiert (SRU 2005:185). Andere Quellen kommen noch zu einer deutlich ungünstigeren Bilanz für Biodiesel.

Die Rohstoffbasis der BtL-Verfahren ist breit. Es lassen sich Abfälle aus der Land- und Forstwirtschaft, darunter Reststroh, Hölzer einschließlich Altholz, Energiepflanzen, tierische Reste und Biomüll nutzen. Diese Rohstoffbasis konkurriert nicht mit der Nahrungsmittelproduktion. Die Problematik dieser Konkurrenz wurde schon angesprochen. Allerdings zeigen sich auch bei der erweiterten Biomassenutzung bereits erste Konflikte mit etablierten Industrien. Mit einer Studie der Pyöry Forest Industry Consulting GmbH unterstreicht der europäische Papierverband CEPI (Confederation of European Paper Industries) seine Bedenken gegen den Ausbau der energetischen Biomassenutzung (Pöyry 2007; ENDS 2007).

Die Verringerung der Importabhängigkeit bei den petrostämmigen Rohstoffen ist ein wichtiges strategisches Ziel der EU und seiner Mitgliedsstaaten. Dieses Ziel kann durch den Ausbau der Biomassenutzung in Feuerungen zur Erzeugung von Wärme und Strom erreicht werden. Für die BtL-Produktion spricht aber, dass im Verkehrsreich, anders als bei der Raumheizung und der Stromerzeugung, andere regenerative Rohstoffressourcen für den Fahrzeugantrieb nicht vorhanden sind.

Die Bestrebungen nach mehr Autarkie bei der Energieversorgung treffen sich mit der Notwendigkeit, der Landwirtschaft Zukunftsperspektiven zu erschließen. Die massive Stützung der Nahrungsmittelproduktion aus dem EU-Haushalt gerät immer stärker in die Kritik. Mittelfristig ist der Transfer von Haushaltsmitteln aus der Landwirtschaft in die Forschung und Entwicklung für die Zukunft Europas essentiell. Dies wird einfacher, wenn die Landwirtschaft ihre notwendigen Erträge ohne Subventionen selbst verdienen kann. Der Anbau von Energiepflanzen und die Bereitstellung von organischen Reststoffen aus ihrer Produktion können neben der Nahrungsmittelproduktion zu einem zweiten Standbein für die Landwirtschaft werden. Dies ist besonders für Mitgliedsstaaten von großer Bedeutung, in denen die Landwirtschaftsindustrie große volkswirtschaftliche Bedeutung besitzt. Staatspräsident Chirac hat dies in seiner Rede auf dem Züchterforum in d'Auvergne am 5. Oktober 2006 wie folgt auf den Punkt gebracht:

"... Den landwirtschaftlichen Produkten, die nicht für den Nahrungsmittelverzehr geeignet sind, müssen wir unsere Aufmerksamkeit widmen, da diese naturgemäß erneuerbar sind. Ihre Potenziale sind immens. ...

Die Zeit nach dem (Erd)Öl kommt mit der Entwicklung von Biotreibstoffen. Dieses Feld muss sich unter Berücksichtigung der Umwelt entwickeln. Es muss sich in Frankreich entwickeln und mit französischen Produkten. Ich halte das Entwicklungsziel fest, bis 2015 einen Anteil an pflanzlichen Treibstoffen von 10 % zu erreichen. Dies ist möglich, wenn der Ertrag der Produktion pflanzlicher Kraftstoffe der ersten Generation verbessert wird, indem wir die Entwicklung von Kraftstoffen der zweiten Generation angehen. Ich beantrage deshalb unverzüglich die Förderung von zwei Pilotprojekten zur Nutzung von Biomasse für Kraftstoffe der zweiten Generation. Das ist eine sehr vielversprechende Technologie. ..." (Chirac, 2006).

Bemerkenswert ist die Forderung nach umweltschonendem Wirtschaften. Nichts würde der Sache mehr schaden, als ein Energiepflanzenanbau unter exzessivem Einsatz von Dünger und Pflanzenschutzmitteln. Der Anreiz, intensiv zu bewirtschaften ist gegeben, denn es kommt, anders als bei der Nahrungspflanzenproduktion, nicht auf die Qualität sondern auf die Höhe des Ertrags an. Außerdem stellen hier gesundheitsschädliche Rückstände aus Pflanzenschutzmitteln im Produkt ihre Vermarktbarkeit nicht in Frage. Mit welchen Instrumenten eine nachhaltige Bewirtschaftung sichergestellt werden kann, wird die Politik und die Landwirtschaft noch beschäftigen müssen. Die GAP- (Gemeinsame Agrarpolitik) Reform von 2003, die Umweltbelange integriert und Anreize für eine extensive Bewirtschaftung schafft, und die Kriterien der GLP (Gute landwirtschaftliche Praxis) können dafür einen Ansatzpunkt bilden.

Mit dem Energiepflanzenanbau sind Beschäftigungseffekte in der Landwirtschaft verbunden. Choren geht davon aus, dass die Biomasseversorgung für eine 200.000 t/ BtL-Anlage 700 Personen in der Landwirtschaft beschäftigt (Choren 2006). Das heißt, ein BtL-Anteil von 20 % am Kraftstoffbedarf der EU sichert 168.000 Personen in der Landwirtschaft Beschäftigung.

Es wurde schon erwähnt, dass die Fortentwicklung der Verbrennungsmotoren auf die Bereitstellung neuer Kraftstoffe angewiesen ist, wenn ein mehr als inkrementeller Entwicklungsschritt beim Kraftstoffverbrauch und den Emissionen von CO₂ und Schadstoffen angestrebt wird. Dies erfordert Kraftstoffe, die spezifisch auf die Anforderungen fortgeschrittener HCCI-Brennverfahren maßgeschneidert sind. Solche synthetischen Designerkraftstoffe können prinzipiell auch mit CtL aus dem Rohstoff Kohle, der in Europa reichlich verfügbar ist, hergestellt werden. BtL-Kraftstoffe haben aber bei identischen technischen Eigenschaften den Zusatznutzen, zum Klimaschutz beizutragen. Besonders im Verkehrsbereich ist der große Durchbruch beim Klimaschutz bislang nicht in Sicht. Der Handlungsdruck wächst angesichts der weiter steigenden Verkehrsleistungen.

Die Herstellung von reinem, wasserstoffreichem Synthesegas aus Biomasse kann als Hochtechnologie bezeichnet werden, denn der Prozess ist komplex und wird weltweit bisher nur in einer einzigen Pilotanlage kontinuierlich beherrscht. Das gleiche gilt für die Verbrennungsmotortechnik für Kraftfahrzeuge. Die Entwicklung von HCCI-Motoren dürfte sogar als Spitzentechnologie einzustufen sein. Über die Herstellung von Designerkraftstoffen aus Biomasse für solche Motoren wachsen die beiden Technologiefelder zusammen. Europa hat die Voraussetzungen, hier eine globale Spitzenstellung zu erringen, weil die europäische Industrie in der Fahrzeugtechnik eine globale Spitzenposition hält und Vorreiter bei BtL-Verfahren ist. Technologieführerschaft ist stets eine gute Grundlage für Exporterfolge. Das riesige Welthandelspotenzial in diesem Markt ist für die Wirtschaft interessant und schafft Beschäftigung.

Als Fazit lässt sich feststellen: Es sind eine Reihe von Synergien erkennbar, die mit der Nutzung der BtL-Technologie verbunden sind. Sie reichen vom Klimaschutz, der Zukunftssicherung der Landwirtschaft, über mehr Autarkie in der Energieversorgung, zur Führerschaft auf Hoch- und Spitzentechnologiefeldern.

2.3 Wirtschaftliche Potenziale und Märkte

Das wirtschaftliche Potenzial von BtL-Verfahren weist zwei Facetten auf. Zum Einen stellt sich die Frage nach dem Biomasseangebot in der EU und den einzelnen Mitgliedsstaaten. Dies entscheidet über die erreichbare Anlagenkapazität und den erreichbaren Autarkiegrad bei der Treibstoffversorgung. Zum anderen stellt sich die Frage nach dem Potenzial für den Export der Technologie in die Welt.

2.3.1 Das Biomassepotenzial in Europa

Die vorliegenden Abschätzungen des verfügbaren Biomassepotenzials und des erreichbaren Autarkiegrads durch BtL-Kraftstoffe kranken noch daran, dass Nutzungskonkurrenzen von Biomasserohstoffen unbeachtet bleiben. Lignozellulosehaltige Biomasse für BtL konkurriert mit der direkten energetischen Nutzung von Holz, der Papierherstellung, der Ethanolherstellung und der Nutzung von biogenem Synthesegas als Chemierohstoff, beispielsweise für die Herstellung von Kunststoffen, um nur einige zu nennen. Es macht im gemeinsamen Markt Europas auch wenig Sinn, das Biomassepotenzial eines einzelnen Mitgliedstaates zu betrachten. Es steht deshalb an, die vorliegenden Schätzungen zum Biomassepotenzial in Europa zusammenzuführen, Nutzungskonkurrenzen zu bewerten und konsistente Szenarien einer künftigen Biomassenutzung zu entwickeln. Erst eine solche europäische Gesamtschau unter Beachtung der Transportlogistik wird eine belastbare Einschätzung des realisierbaren Biomassepotenzials für BtL-Verfahren in den einzelnen Mitgliedsländern und der Union insgesamt ermöglichen.

Die im Dezember 2006 veröffentlichte Zusammenfassung der "BtL-Realisierungsstudie" weist für Deutschland ein heutiges Biomassepotenzial von 39,8 – 68,5 Mio. t Biomasse Trockensubstanz (TS) pro Jahr aus. Dies entspricht einem Energieinhalt von 719 – 1219 PJ/a (dena 2006). Eine Potenzialabschätzung der Europäischen Umweltagentur kommt zu einem Biomassepotenzial von rund 1100 PJ im Jahr 2010 (EEA 2006). Bei einem Umwandlungswirkungsgrad des BtL-Prozesses von 42 % und einem BtL-Heizwert (H_u) von 34,13 PJ/Mio. t (dena 2006) ließen sich daraus 13,5 Mio. t/a BtL-Kraftstoffe erzeugen. Das entspricht 25 % des deutschen Verbrauchs von Otto- und Dieselkraftstoffen im Jahr 2006 von 52,6 Mio. t (MWV 2007 a). Die BtL-Realisierungsstudie geht im "Biomasse-Hoch-Szenario" davon aus, dass sich die Bio-

masseernte auf 1850 PJ/a steigern ließe. Dieser Wert stimmt gut mit der Potenzialabschätzung der EEA überein, die von einem bis 2030 umweltverträglich erschließbaren Biomassepotenzial von 1809 PJ/a ausgeht (EEA 2006: 52). Daraus könnten 22 Mio. t/a BtL-Kraftstoffe hergestellt werden. Das entspricht gut 40 % des heutigen Verbrauchs an Otto- und Dieselmotoren. Diese Potenzialabschätzungen berücksichtigen keine Nutzungskonkurrenzen der Biomasse, sondern unterstellen, dass die gesamte Biomasse für die Kraftstoffherstellung eingesetzt würde.

Zum Biomassepotenzial Europas tragen neben Deutschland insbesondere die Mitgliedsstaaten mit starken Agrarindustrien, allen voran Frankreich und Polen, besonders bei. Die Europäische Umweltagentur hat die Potenziale in den Mitgliedsstaaten und für die EU-25 insgesamt untersuchen lassen. Als Biomasse einbezogen sind Energiepflanzen und Reststoffe aus der Land- und Forstwirtschaft sowie organische Abfälle aus der Industrie und den Haushalten.

Die in die Potenzialstudie einbezogene Biomasse schließt die heute für die Lebensmittelproduktion, die Holzverarbeitende Industrie und andere Nutzungen produzierten Rohstoffe biogenen Ursprungs *nicht* ein, sondern schätzt das zusätzlich gewinnbare Potenzial ab (Tabelle 2-1). Die zusätzliche Biomasseernte geht aber nicht bis zum technisch möglichen, sondern gibt das bei nachhaltiger Bewirtschaftung gewinnbare Potenzial wieder. Schutzgebiete und extensiv genutzte Landwirtschaftsflächen bleiben erhalten, mindestens 30 % der Ackerfläche bleiben dem ökologischen Landbau vorbehalten, beim Energiepflanzenbau werden umweltfreundliche Arten einbezogen. Unter diesen Annahmen kommt die Untersuchung für die EU-25 zu den in Tabelle 2-2 wiedergegebenen Rohstoffpotenzialen.

Tabelle 2-1: Biorohstoffe (EEA 2006)

Landwirtschaftliche Produktion	Forstwirtschaftliche Produktion	Abfälle aus Land- und Forstwirtschaft, Industrie, Gewerbe und Haushalten
<ul style="list-style-type: none"> ▶ Stauden ▶ Kurzumtriebspflanzen ▶ Grasschnitt ▶ Getreide und Zuckerrüben ▶ Ölpflanzen (Raps, Sonnenblumen etc.) ▶ Zusätzlicher Energiepflanzenanbau 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Rückstände der Stammholzernte (Äste, Stümpfe, Wipfel, Blätter, Wurzeln) ▶ Zusätzlicher Holzeinschlag bis zur maximalen nachhaltigen Bewirtschaftung 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Rückstände aus der Landwirtschaft (Stroh, Stiele, Pflanzenteile von Knollengewächsen, Astschnitt etc.) ▶ Stallmist ▶ Abfälle der Holzverarbeitung (Sägespäne, Hobelspane, Schleifstaub etc.) ▶ Abbruchholz aus Gebäuden ▶ Holzverpackungen und -paletten ▶ Holzabfälle aus Haushalten (Altmöbel etc.) ▶ Organische Siedlungsabfälle ▶ Klärschlamm ▶ Schwarzlauge aus der Zellstoffproduktion ▶ Abfälle der Nahrungsmittelproduktion

Tabelle 2-2: Bei nachhaltiger Bewirtschaft erschließbare Potenziale biogener Rohstoffe der EU-25 in PJ (EEA 2006: 52)

	Landwirtschaft	Forstwirtschaft	Abfälle	Gesamt
2010	1.959	1.779	4.157	7.895
2020	4.011	1.641	4.178	9.830
2030	5.962	1.633	4.275	11.870

Mit den oben genannten Basisdaten für den Gesamtwirkungsgrad des BtL-Prozesses und dem Heizwert der erzeugten Kraftstoffe ließen sich daraus in 2010 97 Mio. t BtL-Kraftstoff erzeugen. Bis 2030 ließe sich die Produktion auf 146 Mio. t BtL steigern. Wiederum als Potenzialabschätzung, ohne Beachtung von Nutzungskonkurrenzen.

Tabelle 2-3: Aus dem Biomassepotenzial der EU-25 gewinnbare BtL-Kraftstoffe

		2010	2020	2030
BtL-Kraftstoffmenge	Mio. t/a	97	121	146
	PJ/a	3.311	4.130	4.983
Endenergiebedarf des Verkehrssektors (EEA 2006)	PJ/a	16.019	17.220	17.455
Deckungsbeitrag durch BtL-Kraftstoffe	%	21	24	29

Legt man die Angaben der EEA-Studie für den Endenergiebedarf des Verkehrssektors zugrunde, die auch Kerosin für den Luftverkehr und Strom für die Schienenfahrzeuge enthält, dann ließen sich heute, genau gesagt 2010, 21 % des Endenergiebedarfs für den Verkehrssektor durch BtL abdecken. Bei Ausschöpfung des bis 2030 mit nachhaltiger Bewirtschaftung erschließbaren Potenzials würde der BtL-Deckungsbeitrag unter Berücksichtigung des steigenden Energiebedarfs des Verkehrs auf 29 % steigen.

Der Otto- und Dieselmotorkraftstoffbedarf der EU-25 einschließlich der Ethanolprodukte und von Biodiesel betrug 2004 240 Mio. t (FNR 2006 a: 101). Mit dem heutigen Biomassepotenzial aus nachhaltiger Bewirtschaftung könnten davon theoretisch 40 % durch BtL-Kraftstoffe gedeckt werden, wenn die Biomasse ausschließlich für diese Verwendung genutzt würde.

Welcher Anteil des Biomassepotenzials künftig tatsächlich für die Herstellung von BtL-Kraftstoffen genutzt wird, hängt von den politischen Zielen und der daraus abgeleiteten Ausgestaltung der politischen Rahmenbedingungen ab. Der Unterschied in den Herstellungskosten zwischen petrostämmigem Diesel und BtL-Diesel in optimierten Anlagen beträgt 0,42 €/l. Die Mineralölsteuer auf Diesel betrug im Oktober 2007 0,47 €/l und die Mehrwertsteuer 0,192 €/l (MWV 2007 b).

Es bleibt anzumerken, dass die Steuerbefreiung für BtL-Kraftstoffe 2015 ausläuft. Diese Befristung bietet keine ausreichenden Anreize für private Investitionen in Produktionsanlagen. Eine großtechnische Anlage mit einer Jahreskapazität von 200.000 t BtL könnte, wenn es gelingt das Basic Design 2007 abzuschließen, frühestens 2012 die kommerzielle Produktion aufnehmen. Die dann noch drei Jahre währende Steuerbefreiung für das hergestellte Produkt gewährt keine ausreichende Investitionssicherheit.

2.3.2 Globale Nachfrage nach BtL-Technologien

Die globale Nachfrage nach Kraftstoffen für den Verkehr ist mit der Entwicklung der BRICS-Staaten, allen voran China, stark im Steigen. Die Internationale Energie Agentur gibt den Weltbedarf an Kraftstoffen im Jahr 2002 mit 1737 Mtoe an. Bis 2010 wird eine Steigerung auf 2120 Mtoe, bis 2020 auf 2621 Mtoe und bis 2030 auf 3110 Mtoe erwartet (IEA 2004: 431).

Das globale Biomassepotenzial ist beträchtlich. Der jährliche, durch die Strahlungsenergie der Sonne induzierte Biomassenachwuchs, soll 50 Mrd. t Rohöleinheiten betragen (Choren 2007). Nur ein Bruchteil davon steht für die rohstoffliche Nutzung zur Verfügung. Das japanische National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) gibt das verwertbare globale Biomassepotenzial aus energetisch nutzbaren Pflanzen ("energy crops") sowie den Abfällen aus Land- und Forstwirtschaft mit 254.000 PJ an, das sind 6.000 Mtoe (AIST 2007). Gerechnet als Heizwert der Biomasse ohne Umwandlungsverluste.

Es scheint aus heutiger Sicht möglich, die großtechnische Herstellung von BtL-Kraftstoffen bis 2015 zu realisieren. Mit der gegenwärtig ins Auge gefassten Großanlagenkapazität von 200.000 t BtL-Kraftstoff pro Jahr würden etwa 1.200 Anlagen benötigt, um 2015 10 % des globalen Kraftstoffbedarfs zu erzeugen. Mit einem Investitionsaufwand von 500 Mio. € für eine Großanlage errechnet sich ein globales Marktpotenzial für die BtL-Technologie von 600 Mrd. €. Geht man davon aus, dass die europäische Industrie, die sich gegenwärtig in diesem Feld in der Rolle eines globalen Technologieführers befindet, 50 % des Markts erringen kann, entsteht ein Auftragspotenzial in Höhe von 300 Mrd. €. Mit Arbeitskosten von 20 % des Nachfragevolumens schafft dies einen Beschäftigungseffekt von 1 Mio. Personenjahre. In dieser Potenzialabschätzung sind Skaleneffekte durch den Serienbau von Anlagen und die Steigerung der Anlagenkapazität nicht eingerechnet.

Die Entwickler in Deutschland berichten übereinstimmend über das große Interesse Chinas an der Technologie. Angesichts der politischen Instabilitäten führender Erdöl produzierender Länder, steigender Rohölpreise, überraschend herbeigeführter Lieferstopps, kann davon ausgegangen werden, dass die künftige globale Nachfrage nach leistungsfähigen und wirtschaftlichen BtL-Technologien nicht auf China beschränkt bleibt.

Bei der Entwicklung des globalen Marktes ist zu berücksichtigen, dass BtL-Kraftstoffe mit Bioethanol konkurrieren, das beispielsweise in Brasilien in großen Mengen aus Zuckerrohr zu Kosten um 0,20 US \$/l Ethanol hergestellt wird, das sind 0,24 €/l BtL-

Äquivalent. Auch in den südlichen Provinzen Chinas dürften ähnliche Herstellungskosten erreichbar sein. Die Produktionskosten von Bioethanol aus Lignozellulose liegen deutlich höher. Sie sollen für großtechnische Anlagen, bezogen auf das Kraftstoffäquivalent, ähnliche Werte wie BtL-Verfahren erreichen (FNR 2006 a: 75). Die IOGEN Corporation, der Technologieführer beim Lignozelluloseaufschluss für die Ethanolgewinnung, gibt die Produktionskosten für kommerzielle Großanlagen mit 1,35 US \$ pro Gallone Ethanol an (Fialka 2006). Das entspricht 0,43 € pro Liter BtL-Äquivalent.

3 Internationaler Leistungsvergleich

1925 wurde am Kaiser-Willhelm-Institut für Kohleforschung in Mülheim an der Ruhr ein Verfahren zur Herstellung von flüssigen Kohlenwasserstoffen aus Kohle entwickelt. Es wurde nach den Erfindern Fischer und Tropsch (FT) benannt. Die FT-Synthese wurde in den dreißiger Jahren von der Ruhrchemie zur technischen Reife gebracht. Bis 1945 liefen in Deutschland 9 FT-Synthesenanlagen zur Herstellung von Motorenbenzin und Chemierohstoffen. Das Verfahren verlor mit dem Aufschwung der Petrochemie auf Erdölbasis an Bedeutung. 1962 wurde die letzte FT-Anlage in Deutschland stillgelegt (RÖMPP 2007).

Die FT-Synthese wird seit 1950 und bis heute kommerziell von der südafrikanischen Firma SASOL zur Herstellung von Kraftstoffen aus Kohle (Coal-to-Liquid - CtL) und Erdgas (Gas-to-Liquid – GtL) genutzt. Auch Shell gilt international als einer der Know-how-Träger der FT-Synthese zur Kraftstoffherstellung. Der Konzern betreibt im malaysischen Bintulu eine Raffinerie zur Herstellung synthetischer Kraftstoffe aus Erdgas (Gas-to-Liquid – GtL).

Die lange Geschichte der FT-Synthese macht klar, dass die eigentliche Herausforderung bei den BtL-Verfahren nicht bei der Kraftstoffsynthese liegt. Die innovative Leistung ist in der Vergasung der Biomasse zu sehen. Genau gesagt bei der kostengünstigen Herstellung eines reinen, wasserstoffreichen Synthesegases, aus dem in der anschließenden FT-Synthese ein hochwertiger Kraftstoff in hoher Ausbeute herstellbar ist. Die Beherrschung der Biomassevergasung öffnet zugleich den Weg für die Herstellung einer breiten Palette weiterer Chemierohstoffe aus dem gewonnenen biogenen Synthesegas. Sie kann mit Fug und Recht als eine Schlüsseltechnologie der Chemieproduktion aus nachwachsenden Rohstoffen angesehen werden.

Europa ist gegenwärtig eindeutig Technologieführer in der BtL-Technologie, innerhalb Europas Deutschland. In Deutschland entsteht zurzeit die weltweit erste kommerzielle BtL-Anlage. Sie wird in der zweiten Jahreshälfte 2007 den Betrieb mit dem Carbo-V[®] Vergasungsverfahren, dessen Grundlagen an der Bergakademie Freiberg entwickelt wurden, aufnehmen. Mit einem jährlichen Ausstoß von 15.000 t Diesel handelt es sich noch um eine Pilotanlage. Am Basic Design des nächsten Upscaling Schritts auf 200.000 t/a wird bereits gearbeitet (Rudloff 2007). Solche Anlagen könnten bis 2012 den kommerziellen Betrieb aufnehmen, wenn sie eine Finanzierung finden.

In den französischen staatlichen Forschungseinrichtungen arbeiteten im Januar 2007 etwa 20 Personen an BtL-Technologien (Lucchese 2007). Die Forschungsarbeiten wurden 2003 aufgenommen. Der noch geringe Personalstand bildet die Keimzelle für die weitere Entwicklung, die seit der schon zitierten Rede von Staatspräsident Chirac im Oktober 2006 (Chirac 2006) an Fahrt aufnehmen dürfte. Die französische Entwick-

lung setzt auf die allothermische Vergasung. Im Gegensatz zu den autothermischen Carbo-V[®]- und Bioliq-Verfahren wird die für den Prozess benötigte thermische Energie nicht dem eingesetzten Rohstoff Biomasse entnommen, sondern extern erzeugt. Dadurch kann die Kohlenstoff- und Wasserstoffausbeute und als Folge der spezifische Kraftstoffoutput drastisch erhöht werden. Als mögliche externe Energiequelle für die Biomassevergasung wird Nuklearenergie ins Auge gefasst. Die Vergasung der Biomasse soll mit Hilfe eines nuklear erhitzten Plasmas erfolgen. Nach Einschätzung französischer Forscher dürften solche Anlagen nicht vor 2015 - 2020 realisiert werden können (Lucchesse 2007; Burzinski 2007). Die Nutzung von Kernenergie bei der allothermischen Vergasung ist keine zwingende Option, das benötigte Plasma lässt sich problemlos auch mit anderen Energieträgern erzeugen. Die gewinnbaren Erkenntnisse aber, beispielsweise die erreichbare Steigerung der Biomasseausbeute, werden den Reifeprozess der BtL-Technologie zum großtechnischen, kommerziell konkurrenzfähigen Einsatz beeinflussen.

Die Entwicklung von BtL-Technologien wird innerhalb Europas noch in Schweden und Österreich vorangetrieben. Darüber wurde im Kapitel 2.1 berichtet. Dabei scheint insbesondere das CHRISGAS Projekt in Schweden über die Ressourcen zu verfügen, um zu einem kommerziell nutzbaren Verfahren zu führen.

Das US Department of Energy (DOE) hat ein "Biomass Program" aufgelegt, das auf breiter Front alle fortgeschrittenen Verfahren zur Gewinnung von Kraftstoffen, Chemikalien, Werkstoffen und Energie aus Biomasse fördert. Besondere Bedeutung scheint in jüngster Zeit die Gewinnung von Ethanol aus Lignozellulose durch Fermentation erlangt zu haben. Jedenfalls hat Präsident Bush am 23. Januar 2007 in seinem Bericht zur Lage der Nation 2 Mrd. US \$ an Kreditbürgschaften für den Bau von Anlagen zum Lignozelluloseaufschluss für die Kraftstoffgewinnung aufgelegt. Am 24. Januar 2007 hat das US Department of Agriculture (USDA) die Bereitstellung von weiteren 1,6 Mrd. US \$, mit dem Fokus auf "cellulosic energy research and production" angekündigt. Damit soll das von Präsident Bush vorgegebene Ziel unterstützt werden, bis 2017 durch Biokraftstoffe und Effizienzverbesserungen den Bedarf an petrostämmigen Kraftstoffen um 20 % zu vermindern (USDA 2007). Es kann davon ausgegangen werden, dass die massive finanzielle Förderung der Biokraftstoffe auch die US-Technologieentwicklung für den thermochemischen Biomasseaufschluss, also die BtL-Verfahren, pushen wird.

Die japanischen Aktivitäten zur Entwicklung von BtL-Verfahren scheinen wenig entwickelt. In der "Biomass Nippon Strategy", die am 27. Dezember 2002 von der japanischen Regierung verabschiedet wurde, nimmt BtL keine prominente Stellung ein (MAFF 2007). In einem BtL-Flyer des Biomass Technology Research Center, das zum National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) gehört, wird

nur vage über Strategien zur Herstellung von BtL-Diesel berichtet und festgestellt, dass in Europa solche Verfahren vorangebracht werden. Über konkrete technologische Ansätze in Japan findet sich nichts (Sakanishi 2006). Das gleiche gilt für die Informationen auf den Seiten "Biomass Energy" des Internetauftritts von AIST (Hashimoto, 2007).

3.1 Politiken und Rahmenbedingungen

Nach der gültigen Dieselnorm EN 590 darf petrostämmigem Diesel bis zu 5 Vol. % Biodiesel beigemischt werden. Die Norm EN 228 für Ottokraftstoffe erlaubt eine Beimischung von 5 Vol. % reinem Bioethanol, das Bioethanolderivat ETBE darf bis zu 15 Vol. % enthalten sein.

Deutschland

In Deutschland läuft die Steuerbefreiung für Biodiesel allmählich aus. Seit August 2006 sind 9 Cent/l an "Mineralölsteuer" zu entrichten, bis 2012 steigt die Besteuerung in Jahresschritten auf dann 45 Cent/l. Für Ethanol und BtL-Kraftstoffe bleibt die Steuerbefreiung bis 2015 erhalten. Die steuerlichen Anreize für die Nutzung von Biodiesel werden durch Beimischungsgebote abgelöst. Die Mineralölfirmen wurden verpflichtet, ab 1. Januar 2007 dem petrostämmigen Diesel 4,4 % Biodiesel beizumischen. Auch Ottokraftstoffe müssen ab diesem Zeitpunkt steigende Anteile von Ethanol oder Ethanolderivate (ETBE) enthalten. Die Beimischungsquote steigt von 1,2 % in 2007 in Jahresschritten bis 2010 auf dann 3,6 % an. Alle gesetzlichen Beimischungsquoten sind auf den Energieinhalt der Kraftstoffe bezogen. Die gültigen Kraftstoffnormen werden von den Beimischungsgeboten für Biotreibstoffe in Deutschland beachtet.

Das Beimischungsgebot kann auch mit BtL-Kraftstoffen erfüllt werden. Die Beimischungsgrenzen der Kraftstoffnormen gelten allerdings für BtL-Kraftstoffe nicht, denn sie können in höherer Qualität hergestellt werden als die konventionellen Kraftstoffe. So beträgt beispielsweise die Cetanzahl eines von Choren hergestellten BtL-Leichtdiesels 94, während konventioneller Diesel eine Cetanzahl von 53 aufweisen muss (Seyfried 2006: 48).

Europa

Die Biokraftstoffrichtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates 2003/30/EG von 2003 verpflichtet die Mitgliedsstaaten sicherzustellen, dass bis zum 31. Dezember 2005 der Energieinhalt der abgesetzten Biokraftstoffe mindestens 2 % der vermarkteten Kraftstoffe beträgt. Am 31. Dezember 2010 soll ein Anteil auf wenigstens 5,75 % erreicht werden (EP 2003). Das für 2005 gesetzte Ziel wurde verfehlt. In seiner Sitzung vom 15. Februar 2007 hat der Europäische Rat beschlossen, den Vorschlag

der Europäischen Kommission zu unterstützen, bis 2020 einen Anteil an Biokraftstoffen von mindestens 10 % für alle Mitgliedsstaaten bindend vorzuschreiben. In dem Vorschlag wurde ausdrücklich die Erwartung geäußert, dass bis dahin Biokraftstoffe der 2. Generation verfügbar sein werden (Council 2007: 3). Der Vorschlag Deutschlands, eine Quote von 12,5 % vorzuschreiben, wurde verworfen.

USA

Im Vergleich zu diesen moderaten Zielen der EU sind die Vorgaben der Bush-Regierung für die USA geradezu revolutionär. In seiner Rede zur Lage der Nation vom 23. Januar 2007 forderte Präsident Bush mit seiner "Twenty in Ten Initiative", den Verbrauch von petrostämmigem Benzin ("gasoline") bis 2017 um 20 % zu reduzieren. Ab 2017 sollen jährlich 35 Milliarden Gallonen Bioethanol erzeugt werden (USDA 2007; Whitehouse 2007). Das entspricht einem Äquivalent von 68 Mio. t Ottokraftstoff und über $\frac{3}{4}$ des Ottokraftstoffverbrauchs der EU-25 im Jahr 2004. Wie ernst dieses Ziel gemeint ist, zeigen die enormen Finanzmittel von insgesamt 3,6 Mrd. US \$, die für den Bau von Produktionsanlagen und für FuE bereitgestellt wurden. Sie stocken das schon länger laufende "Biomass Program" des Departments of Energy auf (DOE 2007 a, b).

Japan

Die japanische "Biomass Nippon Strategy" vom Dezember 2002 enthält zahlreiche Maßnahmen zur Förderung der Nutzung von Biomasse, einschließlich Produktion, Sammlung, Transport und Verarbeitung. Unter der Überschrift "Development of innovative conversion technologies" werden im "Specific action plan" auch "conversion of biomass into liquid fuels and/or industrial products" und "We will work on prototype equipment in line with highly advanced biomass conversion technology" als Ziele genannt. BtL-Kraftstoffe und spezifische Technologien ihrer Herstellung werden nicht angesprochen. Auch Vorgaben, bestimmte Nutzungsquoten zu erreichen, fehlen in dem Programm. Bei den Biokraftstoffen der zweiten Generation setzt Japan auf die Ethanolherzeugung aus Lignozellulose, wie ein Vertreter des Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) in einem Vortrag im Februar 2007 erläutert hat (METI 2007). Die japanische Politik muss vor dem Hintergrund gesehen werden, dass das Biomassepotenzial in dem hoch verdichtet besiedelten Japan sehr beschränkt ist. Japan besitzt gegenüber den USA und Europa einen deutlichen Standortnachteil bei der Erschließung von Biomasse für die nationale Energieversorgung.

Brasilien

Globaler Vorreiter bei der Nutzung von Biokraftstoffen ist Brasilien. Das Land produziert jährlich 15 Mio. m³ (12 Mio. t) Ethanolkraftstoffe aus Zuckerrohr. Seit 1980 wurde zur Verringerung der Abhängigkeit von Erdöl konsequent eine Bioethanolkraftstoff-

Industrie aufgebaut. Der Bioethanolanteil am gesamten Kraftstoffabsatz erreicht in der Zwischenzeit 44 % (Harms 2006). Bioethanol wird als Beimischung zu Benzin und in reiner Form angeboten. Die internationalen Automobilkonzerne bieten am brasilianischen Markt sogenannte FlexFuel-Fahrzeuge an, die mit beliebigen Anteilen von Benzin und Ethanol betrieben werden können. Kraftstoffsensoren in den Fahrzeugen passen die Motorsteuerung automatisch dem getankten Kraftstoff an. Mehr als 60 % der Neuzulassungen sind FlexFuel-Fahrzeuge. Die Herstellungskosten von Bioethanol aus Zuckerrohr liegen in Brasilien um die 0,20 US \$/l (FNR 2006). Über Vorhaben zur Entwicklung von Biokraftstoffen der zweiten Generation ist aus Brasilien nichts bekannt geworden.

Welt

Auf UN-Ebene haben sich Brasilien, China, Indien, Südafrika, die Vereinigten Staaten und die Europäische Union jüngst zu einer bemerkenswerten Allianz zusammengefunden und am 2. März 2007 das "International Biofuels Forum" gegründet. Es soll *"... contribute to creating a world market for alternative fuels, resulting in economic, social, and environmental benefits for developed and developing countries alike ..."*. Der brasilianische Vertreter in dem Forum hält als Fernziel, einen Anteil an Biokraftstoffen von 30 % am globalen Kraftstoffverbrauch, für machbar (UN 2007).

3.2 Akteure

Bei der Erschließung der Nutzung von BtL-Kraftstoffen ist die Zusammenarbeit mehrerer Akteursgruppen gefordert. Jede dieser Gruppen muss für sich eine Gewinnsituation erkennen, wenn die Entwicklung insgesamt vorangebracht werden soll. Dies macht eine Orchestrierung auf eine gemeinsame Strategie schwierig. Zunächst ist die Verfahrenstechnik gefordert, die risikobehaftete Investitionen in FuE und Anlagenbau tätigen muss. Die Land- und Forstwirtschaft muss ihre Produktion anpassen, um die benötigten Rohstoffe kosteneffizient und versorgungssicher bereitzustellen. Aufgabe der Mineralölwirtschaft ist die Distribution der erzeugten Biokraftstoffe. Die Automobilhersteller schließlich, sollen das Potenzial der BtL-Kraftstoffe nutzen und neue verbrauchs- und emissionsarme Verbrennungsmotoren auf den Markt bringen.

In dem Wechselspiel von Interessen bleiben Konflikte nicht aus. So mag der Mineralölwirtschaft die Auslastung und Refinanzierung ihrer Anlagen Sorge bereiten, wenn neue Bioraffinerien entstehen. Dieser ertragsstarke und finanzkräftige Wirtschaftszweig zeigt bisher ein sehr beschränktes BtL-Engagement. Bei den übrigen Akteursgruppen ist die Win-Win-Situation deutlicher erkennbar. Dies wurde in den vorangehenden Kapiteln schon angesprochen. Die Landwirtschaft sieht neue Absatzmärkte, der Automobilbau hofft, mit verbesserten Motoren aus der Kritik zu kommen und der Anlagenbau

erhält neue Aufträge. Die gegenwärtigen Pioniere auf Konzern- und Firmenebene wurden bei der Diskussion der Verfahren, Märkte und Potenziale in den vorangehenden Abschnitten genannt.

Neben den primären Akteursgruppen bestimmen die Banken und die Politik über die weitere Entwicklung. Die Risikokapitalfindung ist in Europa und Deutschland generell ein Problem. Hier kann die Politik nach dem schon angesprochenen Vorbild der USA durch Bürgschaftsangebote unterstützend eingreifen. Durch die Besteuerung hat es die Politik in der Hand, die höheren Produktionskosten von BtL-Kraftstoffen auszugleichen oder durch andere Maßnahmen sichere Absatzperspektiven zu schaffen. Sichere Absatzperspektiven sind für die Beherrschung des unternehmerischen Risikos und die Kreditfindung entscheidend.

3.3 Innovationsindikatoren

Eine Analyse von EP-Patenten ergab im Zeitraum 1995 bis 2004 keine signifikante Spezialisierung der EU-27 oder Deutschlands auf den Technologiefeldern zur Herstellung synthetischer Kraftstoffe. Die entwickelte Recherchestrategie schließt alle Verfahrensschritte ein. Das sind Biomassetrocknung, partielle Oxidation (Pyrolyse), Herstellung flüssiger Vorstufen, Synthesegasherstellung und -konditionierung, einschließlich der CO-Shift-Reaktion zur Wasserstoffanreicherung, Synthesegasreinigung und Kraftstoffsynthese.

Der Relative-Patent-Anteil (RPA²) ist ein Indikator für die Spezialisierung eines Landes auf einem bestimmten Technologiefeld. Innerhalb der EU besitzt Dänemark mit einem RPA von 79 eine hohe Spezialisierung in den Technologiefeldern (Tabelle 3-1). Auch bei den Niederlanden ist mit einem RPA von 19 noch eine gewisse Spezialisierung erkennbar. Für die EU-27 insgesamt bleibt der RPA mit 4 hinter dem der USA mit 10 zurück, liegt aber deutlich über dem von Japan mit -26. Auch ist Japan bei den Patenten in den Technologiefeldern zur Herstellung synthetischer Biokraftstoffe schwach vertreten. Eine hohe Spezialisierung auf dem Feld weist Südafrika mit einem RPA von

2 Der RPA (Relativer Patent-Anteil oder Revealed Patent Advantage) gibt die Spezialisierung eines bestimmten Landes im spezifischen Kompetenzfeld in Relation zu den Patentanteilen des Landes bei allen Patenten wieder. Ist der Patentanteil für das Kompetenzfeld überdurchschnittlich hoch, dann nimmt der RPA einen positiven Wert an. Dies bedeutet, dass innerhalb des betreffenden Landes überproportional viel im Kompetenzfeld patentiert wird und daher überdurchschnittliche nationale Kenntnisse bestehen. Für jedes Land i und jedes Kompetenzfeld j wird der RPA nach folgender Formel berechnet:

$$RPA_{ij} = 100 \cdot \tanh \ln \left[\left(\frac{p_{ij}}{\sum_i p_{ij}} \right) / \left(\frac{\sum_j p_{ij}}{\sum_{ij} p_{ij}} \right) \right]$$

96 auf. Auch bei Kanada ist eine deutliche Spezialisierung erkennbar. Allerdings ist die Anzahl der einschlägigen Patente beider Länder mit 35 und 83 niedrig, worunter die Aussagekraft leidet.

Die EU-25 hält weltweit fast die Hälfte der einschlägigen Patente, wovon über 40 % aus Deutschland kommen, gefolgt von Frankreich mit 15 % und Großbritannien mit 12 %. Auf die USA entfallen 34 % der weltweiten Patente im Technologiefeld, auf Japan 15 %, 4,5 % kommen aus anderen Ländern der Welt.

Die Anzahl der Patente an den Technologiefeldern des BtL-Verfahrens bestätigen die Stärke Deutschlands in dieser Technologie und sie lassen erkennen, dass Europa eine durchaus beachtliche globale Position errungen hat. Sie weisen auch darauf hin, dass die USA und nicht Japan als Technologiekonkurrent in dem Feld anzusehen ist. Während die Spezialisierung im Technologiefeld in den 10 Jahren zwischen 1995 und 2004 in Deutschland, der EU und Japan sich kaum verändert hat, ist bei den USA ein ansteigender Trend erkennbar.

Tabelle 3-1: Patentanmeldungen am europäischen Patentamt im Zeitraum 1995 bis 2004 (Espace 2007)

Region	Alle EP Patente			EP Patente auf den BtL-Technologiefeldern			TP / AP	RPA
	Welt	Region	Anteil Region = AP	Welt	Region	Anteil Region = TP		
DE	885.727	179.536	20,3%	3.651	761	20,8%	1,03	3
FR	885.727	64.841	7,3%	3.651	263	7,2%	0,98	-2
GB	885.727	50.987	5,8%	3.651	203	5,6%	0,97	-3
NL	885.727	27.157	3,1%	3.651	136	3,7%	1,21	19
IT	885.727	29.048	3,3%	3.651	123	3,4%	1,03	3
DK	885.727	7.236	0,8%	3.651	86	2,4%	2,88	79
SE	885.727	18.585	2,1%	3.651	39	1,1%	0,51	-59
ES	885.727	6.306	0,7%	3.651	19	0,5%	0,73	-30
EU-27	885.727	404.303	45,6%	3.651	1.731	47,4%	1,04	4
US	885.727	269.682	30,4%	3.651	1.226	33,6%	1,10	10
JP	885.727	167.605	18,9%	3.651	530	14,5%	0,77	-26
CA	891.974	15.263	1,7%	3.651	83	2,3%	1,32	27
ZA	885.727	1.234	0,1%	3.651	35	1,0%	6,88	96
CN	885.727	3.174	0,4%	3.651	17	0,5%	1,30	26
BR	885.727	1.149	0,1%	3.651	5	0,1%	1,06	5
Gesamt	885.727	862.410	97,4%	3.651	3.627	99,3%		

3.4 Außenhandelsindikatoren

BtL-Kraftstoffe werden noch nicht gehandelt. Die Analyse des Außenhandels beschränkt sich deshalb auf Komponenten der Produktionstechnologie, beispielsweise Synthesegaserzeuger, Destillations- und Rektifikationskolonnen und Gasreiniger. Dies sind zugleich die Komponenten, in denen das zentrale technologische Know-how für den Bau kommerzieller BtL-Raffinerien liegt.

Die Differenzierung der Außenhandelsstatistiken nach Warengruppen geht allerdings nicht so weit, dass sich Komponenten identifizieren ließen, die spezifisch für die Herstellung von BtL-Kraftstoffen gehandelt werden. Dies gilt für die KN-Systematik des Harmonisierten Systems zur Bezeichnung und Codierung der Waren (HS) auf europäischer Ebene ebenso wie für die SITEC Klassifikation der UN. Die im Außenhandel erfassten Komponenten werden deshalb für eine Vielzahl von Anwendungen eingesetzt. Dies ist bei der Interpretation der Ergebnisse zu beachten. Die ermittelten Spezialisierungen geben also die Stärke in einem technologischen Kompetenzfeld an, müssen aber nicht unbedingt auf die Handelsaktivitäten in einer spezifischen Anwendung zu treffen. Im vorliegenden Fall der Produktion von BtL-Kraftstoffen gehen diese Handelsaktivitäten gegen Null, weil sich gegenwärtig weltweit erst eine einzige kommerzielle Anlage im Bau befindet.

Die in der Außenhandelsanalyse festgestellten Spezialisierungen und Handelsanteile geben also die Stärken in einem statistisch erschließbaren Kompetenzfeld wieder. Es kann aber mit Recht geschlossen werden, dass eine Volkswirtschaft, die in einem Kompetenzfeld Stärke entwickelt hat, beste Voraussetzungen besitzt, spezifische Anwendungen innerhalb dieses Feldes zu bedienen. Es ist deshalb gerechtfertigt, wenn die methodische Vorgehensweise, aus der Stärke in einem Kompetenzfeld auf die Stärke in einer spezifischen Anwendung zu schließen, als "Potenzialansatz" bezeichnet wird. Diese Überlegungen gelten in analoger Weise für die Patentanalyse des vorangehenden Abschnitts.

Unter Anwendung des Potenzialansatzes wurde die COMTRADE Handelsstatistik der UN in der Fassung vom Dezember 2006 ausgewertet (UN 2006). Die Bedeutung eines Landes im Kompetenzfeld wird durch seinen Anteil am Welthandel in diesem Feld cha-

rakterisiert. Der RCA³ hingegen gibt die Spezialisierung im Außenhandel eines bestimmten Landes im spezifischen Kompetenzfeld wieder. Beide Indikatoren zusammen werden für die Charakterisierung der wettbewerblichen Position eines Landes im Kompetenzfeld herangezogen.

In Tabelle 3-2 sind die Außenhandelsanteile und RCA-Werte für einige Länder der Europäischen Union und wichtiger Konkurrenten zusammengestellt. Überraschend spezialisiert ist mit einem RCA von 64 der Außenhandel Dänemarks im Kompetenzfeld BtL-Technologien. Das heißt, das Verhältnis der Ausfuhren zu den Einfuhren im Kompetenzfeld BtL-Technologien ist mehr als doppelt so groß wie das Verhältnis der gesamten Ausfuhren zu den gesamten Einfuhren. Die in der Patentanalyse festgestellte technologische Spezialisierung Dänemarks wird also durch die Außenhandelsanalyse untermauert. Auch Großbritannien weist eine starke Spezialisierung in dem Feld auf. Deutschlands Spezialisierung liegt innerhalb der EU an dritter Stelle. Das Volumen seines Handels mit diesen Gütern übertrifft allerdings mit einem Welthandelsanteil von fast 19 % nicht nur die anderen Mitgliedsstaaten bei weitem, sondern schlägt sogar die USA, die einen Handelsanteil von knapp 16 % erreichen.

³ Der RCA (Revealed Comparative Advantage) gibt die Spezialisierung im Außenhandel eines Landes im spezifischen Kompetenzfeld wieder. Neben den Ausfuhren (*a*) berücksichtigt er auch die Einfuhren (*e*) des jeweiligen Landes und gilt insofern als umfassender Indikator der Außenhandelsposition. Positive Werte deuten auf eine starke internationale Wettbewerbssituation des jeweiligen Landes im betrachteten Kompetenzfeld hin. Für jedes Land *i* und jedes Kompetenzfeld *j* wird der RCA nach folgender Formel berechnet:

$$RCA_{ij} = 100 \cdot \tanh \ln \left[\frac{(a_{ij}/e_{ij})}{(\sum_j a_{ij} / \sum_j e_{ij})} \right]$$

Tabelle 3-2: Außenhandelsstärke von Mitgliedsstaaten der EU und anderer Staaten im Kompetenzfeld BtL-Technologien 2004

Land	$\frac{a_i}{e_i} / \left(\frac{\sum_j a_j}{\sum_j e_j} \right)$	RCA	Handelsanteil
Dänemark	2,1	64	1,6 %
Deutschland	1,6	41	18,9 %
Frankreich	0,9	-5	5,0 %
Großbritannien	2,0	59	6,5 %
Italien	1,2	16	3,4 %
Niederlande	1,1	10	2,2 %
Schweden	1,4	29	2,8 %
Spanien	0,5	-62	0,9 %
Brasilien	0,3	-86	0,3 %
China	0,4	-77	2,6 %
Japan	1,6	45	7,2 %
Kanada	0,4	-68	3,1 %
Südafrika	9,3	98	9,5 %
USA	1,9	56	15,8 %

Dieses Niveau am Welthandelsanteil hält Deutschland mit geringen Schwankungen seit 1991. Die USA dagegen sind bei den BtL-Technologien von einem Handelanteil von 28 % im Jahre 1990 zurückgefallen. Japan hat seinen Handelsanteil im Jahr 1990 von 15,5 % mehr als halbiert. Die Spezialisierung der USA übertrifft Deutschland ein wenig, Japan liegt gleichauf, allerdings auf einem deutlich niedrigeren Handelsvolumen im Kompetenzfeld.

Nicht überraschen kann die starke Position Südafrikas. Das Land setzt seit 1950 CtL- und GtL-Technologien ein. Das dabei gewonnene Know-how lässt sich offenbar global bestens vermarkten. Das Export- zu Import-Verhältnis mit dieser Technologie beträgt fast das Zehnfache gegenüber dem Verhältnis der gesamten Exporte zu den gesamten Einfuhren. Südafrikas Anteil am gesamten Welthandel liegt bei 0,5 %, erreicht aber im Kompetenzfeld BtL-Technologien unglaubliche 9,5 %. Dies ist ein überzeugender Beleg dafür, wie sich technologische Kompetenz in Geschäfte mit solchen Technologien

umsetzen lässt. Dabei hat Südafrika seinen hohen Welthandelsanteil von 7,3 % im Jahr 2000 sogar noch ausbauen können.

Tabelle 3-3 vergleicht den Außenhandel der EU-27 mit dem anderer Länder. Dabei wurde das Volumen des zwischenstaatlichen Handels in den 27 Staaten der EU aus dem gesamten Welthandelsvolumen herausgerechnet (abgezogen). Der Anteil des Handelsvolumens der EU im Kompetenzfeld liegt mit rund 29 % etwas über dem der USA mit gut 23 %. Dieses Niveau des Handelsvolumens hält das Staatenaggregat der EU-27 seit 1991. Die Spezialisierung der EU insgesamt entspricht in etwa der Deutschlands und bleibt ein wenig hinter Japan und deutlicher hinter den USA zurück.

Tabelle 3-3: Außenhandelsstärke der EU im Vergleich zu anderen Ländern im Kompetenzfeld BtL-Technologien 2004

Land	$\frac{a_j}{e_j} / \left(\frac{\sum_j a_j}{\sum_j e_j} \right)$	RCA	Handelsanteil ⁴
EU-27	1,5	37	28,7 %
Brasilien	0,3	-86	0,4 %
China	0,4	-77	3,9 %
Japan	1,6	45	10,7 %
Kanada	0,4	-68	4,6 %
Südafrika	9,3	98	14,1 %
USA	1,9	56	23,4 %

Als Ergebnis der Analyse der Außenhandelsstatistik lässt sich feststellen, dass Deutschland und die EU im Handel mit Gütern und Technologien, wie sie für Anlagen zur Herstellung von BtL-Kraftstoffen benötigt werden, weltweit gut aufgestellt sind und in den zurückliegenden Jahren im Vergleich zu den USA und Japan ihre Position im Wettbewerb ausbauen konnten. Strategische Allianzen bieten sich gegebenenfalls mit Südafrika an, wobei die weltweit operierende Holding Sasol Synfuels International (Pty) Ltd., Johannesburg, als Partner in Frage käme. Das Know-how des Unternehmens bei GtL- und CtL-Technologien kann bei der Kommerzialisierung von BtL-Verfahren hilfreich sein.

⁴ Anteil am Welthandel im Kompetenzfeld bereinigt um den zwischenstaatlichen Handel innerhalb der EU

4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Es wurde festgestellt, dass es für die Nutzung von BtL-Kraftstoffen eine Reihe von Argumenten gibt. Im Einzelnen sind dies die Zukunftssicherung der Landwirtschaft und ihre Fähigkeit, ohne Subventionen ein wirtschaftliches Auskommen zu finden, die Erhöhung der Autarkie Europas bei der Energieversorgung, der Ausbau der europäischen Technologieführerschaft bei der Herstellung von hochwertigem Synthesegas aus Biomasse, die Sicherung der Führungsrolle Europas in der Fahrzeugtechnik und der Klimaschutz.

Der Aufbau einer Industrie zur Herstellung von BtL-Kraftstoffen konkurriert mit der direkten energetischen Biomassenutzung in Feuerungsanlagen für die Erzeugung von Wärme und Strom, der Herstellung von Biogas, der Herstellung von Bioethanol aus Vorprodukten von Lebensmitteln wie Zuckerrohr, Zuckerrüben und Getreide sowie der Herstellung von Bioethanol aus Lignozellulose. Welcher dieser Wege in welcher Kombination der Beste ist, lässt sich nicht allgemein angeben, sondern hängt von den gesetzten politischen Prioritäten ab. Eine Politik, die den Klimaschutz zum Primat erhebt, erfordert andere Nutzungsvarianten nachwachsender Rohstoffe, als eine Umwelt-, Gesundheits-, Beschäftigungs- oder Wettbewerbspolitik. Die Herleitung konsistenter Szenarien für die Nutzung der vorhandenen und zusätzlich erschließbaren Biomasse unter verschiedenen Politikansätzen verbleibt eine wissenschaftliche Aufgabe der Zukunft.

Angesichts der angesprochenen ambitionierten Ziele der USA bei der Nutzung von Biokraftstoffen und den dafür bereitgestellten Milliardenbeträgen ist eine konzertierte europäische Strategie geboten. Die US-amerikanischen Anstrengungen scheinen (noch) auf die Bioethanolproduktion fokussiert. Dies ist die Chance der Europäer ihren Know-how-Vorsprung bei der Synthesegaserzeugung aus Biomasse weiter auszubauen. Die Beherrschung dieser Technologie zu wirtschaftlich konkurrenzfähigen Bedingungen ist der Schlüssel für eine hochwertige stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe, sei es für Kraftstoffe oder für chemische Grundstoffe.

4.1 SWOT Analyse für Deutschland und Europa

Die SWOT Analyse fasst die im Textteil diskutierten Fakten und Einschätzungen synoptisch und geordnet zusammen. Die antagonistische Gegenüberstellung von Stärken und Schwächen auf der einen Seite und der Chancen und Herausforderungen (Risiken) auf der anderen Seite, soll eine heuristische Einschätzung der Sinnhaftigkeit eines Engagements in die BtL-Technologie erleichtern.

Stärken	Chancen
<ul style="list-style-type: none"> • Deutschland und Europa sind Technologieführer bei der Synthesegasherstellung aus nachwachsenden Rohstoffen. • Die Akteursgruppen Anlagenbau, Landwirtschaft, Mineralölwirtschaft und Fahrzeugbau zählen zu den leistungsfähigsten Wirtschaftssektoren in Europa. • Europa verfügt über ein ausreichendes Biomassepotenzial und hat dadurch einen Standortvorteil gegenüber Japan. 	<ul style="list-style-type: none"> • Die Synthesegaserzeugung aus Biomasse ist die Schlüsseltechnologie für die hochwertige stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe, sei es für Kraftstoffe oder chemische Grundstoffe. • Technologieführerschaft bei der Synthesegaserzeugung aus Biomasse bildet eine gute Basis für das Exportgeschäft. • Die Energiepflanzenproduktion stärkt die Ertragskraft der Landwirtschaft. Die dadurch freiwerdenden Agrarsubventionen stehen für Zukunftsaufgaben in Forschung, Technologie und Bildung zur Verfügung. • BtL-Designerkraftstoffe ermöglichen mit HCCI-Verbrennungsmotoren epochale technologische Verbesserungen beim Kraftstoffverbrauch und bei den Abgasemissionen.
Schwächen	Herausforderungen
<ul style="list-style-type: none"> • Die Risikokapitalfindung für den Bau von kommerziellen BtL-Anlagen ist in Deutschland und Europa schwierig. • Die Orchestrierung der EU-Mitgliedsstaaten auf eine abgestimmte Strategie ist zeitaufwendig. • BtL-Kraftstoffe konkurrieren mit kostengünstiger herstellbarem Bioethanol aus Lebensmittelvorprodukten. Dies schmälert die Exportchancen der BtL-Technologie, insbesondere in die Entwicklungs- und Schwellenländer. • Die Hochtechnologie der Synthesegasherstellung aus Biomasse konkurriert mit der technisch einfachen direkten Nutzung ihres Energieinhalts in Feuerungsanlagen für die Wärme- und Stromerzeugung. 	<ul style="list-style-type: none"> • Die Orchestrierung der Akteursgruppen Anlagenbau, Landwirtschaft, Mineralölkonzern und Automobilhersteller ist ein Erfolgsfaktor. Die ertragsstarken und finanzkräftigen Mineralölkonzern müssen für ein entschiedenes Engagement in die BtL-Technologie noch gewonnen werden. • Die USA verfolgen eine ambitionöse Politik der Biokraftstoffnutzung. Die dafür bereitgestellten Mittel aus dem Staatsbudget werden die Technologieentwicklung pushen. • Die kommerziellen Erfolgsaussichten der verfolgten BtL-Technologielinien sind noch nicht einzuschätzen. Dies erfordert den Mut, zunächst Parallelentwicklungen zu verfolgen und, sobald erkennbar, die kommerziell weniger attraktiven aufzugeben.

4.2 Perspektiven bis 2020

Es wurde im Kapitel 2.3.1 festgestellt, dass aus dem im Jahre 2020 für die energetische Nutzung zur Verfügung stehenden Biomassepotenzial in Europa jährlich 121 Mio. t BtL-Kraftstoffe hergestellt werden könnten. Geht man davon aus, dass 2020 durch die Verbesserung der Motoren der Kraftstoffbedarf in der EU-25 um 20 % unter jenem von 2004 liegt, dann würden potenziell gut 60 % des Diesel- und Ottokraftstoffbedarfs durch BtL-Kraftstoffe gedeckt werden können. Zur Herstellung dieser Kraftstoffmenge wären 605 BtL-Raffinerien mit einer Kapazität von je 200.000 t/a erforderlich. Ein Ausstoß von 200.000 t/a entspricht der gegenwärtig angepeilten Kapazität der ersten Upscalingstufe auf großtechnische Produktionsanlagen.

Diese Potenzialabschätzung unterstellt, dass das gesamte Biomassepotenzial für die Herstellung von BtL-Kraftstoffen genutzt wird. Dies ist keine realistische Vision. Choren Industries, der globale Marktführer bei der Kommerzialisierung der BtL-Technik, geht davon aus, dass die erste großtechnische 200.000 t/a BtL-Anlage 2012 die kommerzielle Produktion aufnehmen kann und bis 2020 45 bis 60 solche Anlagen in Europa realisierbar wären (Rudloff 2007). Damit könnten im Jahr 2020 5 – 6 % des zu erwartenden Diesel- und Ottokraftstoffbedarfs in der EU-25 durch BtL-Kraftstoffe gedeckt werden. Dies scheint ein realisierbares Ziel, das allerdings einige Anstrengung abverlangen wird.

Die gelegentlich anzutreffende Skepsis, ob Europa als geeignete Region für eine breite Biomassenutzung anzusehen ist, hält einer kritischen Prüfung nicht stand. Das Biomassepotenzial Europas erlaubt es, einen wesentlichen Anteil seiner Energieversorgung darauf zu stützen, ohne den etablierten Industrien ihre Rohstoffbasis zu entziehen. Zwar verfügen die USA beim Biomassepotenzial über einen Standortvorteil, im Vergleich zu Japan ist Europa jedoch in einer günstigen Lage.

4.3 Handlungsempfehlungen und Forschungsbedarf

Eine Politik, die allein auf den Klimaschutz setzt, benötigt keine Hochtechnologie zur Herstellung von Synthesegas aus Biomasse. Sie kann mit der technisch einfachen Nutzung des Energieinhalts der Biomasse in Feuerungsanlagen auskommen. Ein solcher eindimensionaler Politikansatz wird allerdings weder auf nationaler noch auf europäischer Ebene verfolgt. Treten zum Klimaschutz weitere Politikziele hinzu, etwa die Lissabon Strategie der Europäischen Union, dann gewinnen BtL-Technologien an Boden. Dies auch deshalb, weil die Beherrschung der Synthesegasgewinnung aus Biomasse es als Schlüsseltechnologie erlaubt, zentrale chemische Grundstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen herzustellen.

Die weitere Förderung der BtL-Verfahren erscheint nach den durchgeführten Recherchen sinnvoll. Es ist noch nicht absehbar, welche Verfahrensalternative der Synthesegasherstellung aus Biomasse die besten kommerziellen Chancen hat. Dies wird sich im Verlauf der weiteren Technologieentwicklung und ihren semikommerziellen und kommerziellen Anwendungen Schritt für Schritt konkretisieren. Es wird empfohlen, die Verfahrensvarianten weiter zu fördern, im Zuge der Konkretisierung ihrer kommerziellen Chancen, dann auf die aussichtsreichen zu setzen.

Um sich im Bau von kommerziellen BtL-Anlagen zu engagieren, benötigen die Investoren sichere Absatz- und Ertragsperspektiven. Die Förderung von BtL-Kraftstoffen erfolgt in Deutschland gegenwärtig durch eine Mineralölsteuerbefreiung, die bis 2015 befristet ist. Angesichts eines Zeitraums von 5 Jahren für Planung und Bau von großtechnischen BtL-Raffinerien müssen den potenziellen Investoren von der Politik schon bald Perspektiven geboten werden, die den Absatz von BtL-Kraftstoffen nach 2015 sicherstellen, trotz ihrer höheren Produktionskosten im Vergleich zu petrostämmigen Produkten.

Es ist noch völlig offen, welche Bedeutung BtL-Kraftstoffe in einem zukünftigen Energiesystem einnehmen sollen und können. Es wird deshalb empfohlen, mit wissenschaftlichen Methoden konsistente Szenarien für die optimale Nutzung der vorhandenen und künftig erschließbaren Biomasse unter verschiedenen Politikansätzen zu entwickeln. Die Szenarien sollten alle sinnvollen und aussichtsreichen Biomassenutzungen von der einfachen Verbrennung, über die Erzeugung von Biogas und Biokraftstoffen, bis zur Herstellung chemischer Biogrundstoffe einschließen. Die Analyse wird als Entscheidungsgrundlage für eine tragfähige, zukunftssichere Politikgestaltung im Handlungsfeld Biomassenutzung benötigt.

Bei der Produktion von Energierohstoffen in der Landwirtschaft sind die bestehenden Anreize, durch exzessive Düngung und exzessive chemische Schädlingsbekämpfung Erträge und Erlöse zu steigern, nicht zu übersehen.

Abbildung 4-1: Pestizideinsatz über Rapsfeld (Wüst 2007: 110)



Hier ist es Aufgabe der Agrarpolitik, sichere Mechanismen und Kontrollsysteme zu entwickeln, die eine nachhaltige, ökologisch und hygienisch nicht zu beanstandende Bewirtschaftung der Anbauflächen von Energierohstoffen sicherstellen. Kritisch anzumerken ist, dass die in der Vergangenheit eingesetzten Instrumente diese Sicherheit nicht bieten.

BtL-Kraftstoffe haben den unschätzbaren Vorteil, in die bestehende Vertriebslogistik für Kraftstoffe zu passen und ohne zusätzliche Investitionen in die technische Ausrüstung der Tankstellen in den Markt eingeführt werden zu können. Im Gegensatz dazu erfordert die Nutzung von Biogas oder Wasserstoff solche Investitionen. Um eine breite Nutzung sicherzustellen, kann die Umrüstung nicht auf Inselösungen und einzelne Staaten begrenzt bleiben, sondern erfordert eine kontinentweite Umsetzung. Das kontinentale Tankstellennetz wird von den Mineralölkonzernen betrieben. Ihnen kommt bei der Entwicklung der BtL-Technologie eine wichtige Rolle zu. Sie sind aufgrund ihrer Finanzkraft und ihres Know-hows in der Lage, die Technologieentwicklung zu pushen. Die Mineralölkonzerne verstehen sich heute noch als Anbieter von *mineralischen* Ölprodukten. Hier muss ein Umdenken einsetzen, das, bei allen berechtigten Interessen am Investitionsschutz, eine Diversifikation ihrer Rohstoffbasis herbeiführt. Die Beteiligung von Shell an der Choren Industries GmbH und der kanadischen IOGEN Corporation (Gärtner 2007: 105; Braune 2004) kann dafür als Modell dienen. Bei der Orchestrierung der Akteursgruppen Landwirtschaft, Anlagenbau, Fahrzeugbau und Wissenschaft hat die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) unschätzbare Verdienste erworben. Nun verbleibt noch die Aufgabe, die Mineralölwirtschaft ins Boot zu holen und ihr Portfolio zu einer *Mineral- und Bioölgwirtschaft* fortzuentwickeln.

Schon um ein ernst zu nehmendes Gegengewicht zum ambitionierten ideellen und finanziellen Engagement der USA bei der Nutzung von Biokraftstoffen zu bilden, ist eine Bündelung der europäischen FuE Aktivitäten in dem Feld geboten. Ideal wäre eine Aufgabenteilung, welche auf das historisch gewachsene spezifische Know-how der einzelnen Mitgliedsstaaten aufsetzt. Als Beispiel kann das Engagement Frankreichs dienen, das sich den allothermischen Aufschluss von Biomasse zu Synthesegas als Entwicklungsaufgabe vornimmt. Die dabei gewinnbaren Erkenntnisse ergänzen das Know-how Deutschlands beim autothermischen Aufschluss sinnvoll und arbeitsteilig. Europa ist heute weltweit führend in der BtL-Technologie. Gelingt es, diesen Vorsprung zu halten oder auszubauen, wird sich dies, wie das Beispiel Südafrika überzeugend zeigt, im Exportgeschäft niederschlagen. Der Export der Technologie in die Welt ist zugleich ein wirksamer Beitrag zur Bekämpfung der globalen Emissionen von Treibhausgasen.

Literatur

- Bengtsson, Sune: Clean Hydrogen-rich Synthesis Gas. CHRISGAS Interime Report, Växjö University. Växjö, 13 October 2006
- Blades, Tom (Choren): SunDiesel von Choren. Der Weg zur industriellen Produktion. Vortrag "2nd Internationale BtL-Congress". Berlin, 12. Dezember 2006
- Bohlmann, Jörg (Fichtner GmbH & Co. KG): Biokraftstoffe der zweiten Generation. Herstellungsoptionen, Stand der Technik, Effizienz, Kosten. Tagung "Mobil mit Biomasse" im Mercedes-Benz Museum. Stuttgart, 27. September 2006
- Braune, Gerd: Kanadier stellen aus Stroh Treibstoff her. IOGEN gelingt die Zellulose-Ethanol-Produktion erstmals in industriellem Umfang. Handelsblatt vom 28. Mai 2004
- Burzinski, Jean-Pierre (IFP): L'avenir des Biocarburants la Stratégie de l'IFP (Französisches Erdölinstitut). Vortrag auf der Konferenz "Biokraftstoffe – Sachstand und Perspektiven". Französische Botschaft. Berlin, 17. Januar 2007
- Chirac: "Allocution du Président de la République lors du XVème Sommet de l'élevage à la Grand Halle d'Auvergne" vom 05. Oktober 2006. Übersetzung des Fraunhofer ISI.
- Choren: Biomasse - Definition und Potenzial. Choren Industries GmbH. http://www.choren.com/de/biomass_to_energy/biomasse-potenzial/. Freiberg 2007
- CHRISGAS: Imagebroschüre "CHRISGAS - Clean Hydrogen-rich Synthesis Gas". www.chrisgas.com. Växjö 2007
- Council: Council conclusion on energy for Europe. 2782nd Transport, Telecommunications and Energy Council meeting. Brussels, 15 February 2007
- dena: Biomass to Liquid – BtL Realisierungsstudie. Zusammenfassung. Deutsche Energie-Agentur GmbH. Berlin, Dezember 2006
- Dinjus, Eckhard (FZK): BIOLIQ - Synthesekraftstoff aus Biomasse. Das Karlsruher BtL-Verfahren. Vortrag auf der Konferenz "Biokraftstoffe – Sachstand und Perspektiven". Französische Botschaft. Berlin, 17. Januar 2007
- Dinjus, Eckhard (FZK): Stand des BIOLIQ-Verfahrens. Synthesegas aus Bioslurrys zur Kraftstoffsynthese. Vortrag "2nd Internationale BtL-Congress". Berlin, 12. Dezember 2006

- DOE: Biomass Program. <http://www1.eere.energy.gov/biomass/>. U.S. Department of Energy. Washington D.C. 2007 a
- DOE: DOE selects six cellulosic ethanol plants for up to \$ 385 million in Federal Funding. Funding to help bring cellulosic ethanol to market and help revolutionize industry. Press Release, United States Department of Energy, Office of Public Affairs. Washington D. C., February 28, 2007 b
- EC: An EU Strategy for Biofuels. Communication from the Commission. COM(2006) 34 final. Commission of the European Communities. Brussels, 08. February 2006
- EEA: How much bioenergy can Europe produce without harming the environment? EEA Report No. 7/2006. European Environment Agency. Kopenhagen 2006
- ENDS: Pulp and paper makers fire biomass warning. Ends Europe Daily, Issue 2251. London, 30 January 2007
- EP: Directive 2003/30/EC on the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transport. Europäisches Parlament. Brüssel, 8. Mai 2003
- Espace: DVD ESPACE ACCESS, Ausgabe Februar 2007. DVD ESPACE BULLETIN, Ausgabe Februar 2007. Europäisches Patentamt. München 2007
- Fialka, John J.; Scott Kilman: Big Players Join Race to Put Farm Waste Into Your Gas Tank. The Wall Street Journal, 29 June 2006
- FNR: Biokraftstoffe. Eine vergleichende Analyse. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. Gülzow 2006 a
- FNR: Marktanalyse Nachwachsende Rohstoffe. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. Gülzow 2006 b
- Gärtner, Markus: Tüfteln am Sprit der Zukunft. ADAC Motorwelt 4/2007. ADAC Verlag, München 2007
- Grotelüschen, Frank: Schnelles Wachstum. Technology Review, Heft 2, Februar 2007
- Harms, Thomas: Biokraftstoff ist kein Allheilmittel für die Umwelt. <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/0,1518,452010,00.html#>. Spiegel Online vom 06. Dezember 2006.
- Hashimoto, Keizo: Development of Biomass Utilization in Asia. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST). http://www.aist.go.jp/aist_e/aist_today/2006_21/biomass/biomass_06.html. Tokyo 2007
- Honsig, Markus: Der perfekte Kraftstoff. Technology Review, Heft 10, Oktober 2005.

IEA: World Energy Outlook 2004. International Energy Agency. Paris 2004

Iogen: Cellulose Ethanol Demonstration Facility. www.iogen.ca/company/facilities/index.html. Iogen Corporation, Ottawa, Kanada, 2007

Lucchese, Paul (CEA): New Technologies for Energy at CEA (Commissariat à l'Énergie Atomique). Second Generation Biofuels from Ligno-cellulose. Vortrag auf der Konferenz "Biokraftstoffe – Sachstand und Perspektiven". Französische Botschaft. Berlin, 17. Januar 2007

MAFF: Biomass Nippon Strategy. Decided at the Cabinet Meeting, Government of Japan, December 27, 2002. Ministry of Agriculture, Forest and Fisheries of Japan, Tokyo 2007

Maierhofer, Hubert: Biodiesel. Vortragsfolien. Centrales Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungs-Netzwerk (C.A.R.M.E.N.). Straubing 2005

METI: Biomass Policy in Japan. Proceedings International Biofuel Conference 2007, February 1 - 2, 2007, Tokyo. <http://www.nedo.go.jp/kokusai/kouhou/190201/1-1t.pdf>

Meyer, Bernd (Bergakademie Freiberg): HTW Gasification Technology for BtL-Fuels. Synthetic Biofuels - Techniques, Potenzials, Perspectives. Vortrag "2nd Internationale BtL-Congress". Berlin, 12. Dezember 2006

MWV: MWV aktuell. Der Informationsdienst für Wirtschaft und Politik. Nummer 1/07 vom 2. Februar 2007. Mineralölwirtschaftsverband e. V. Hamburg 2007 a

MWV: Zusammensetzung der Verbraucherpreise für Dieselmotorkraftstoff, Oktober 2007. http://www.mwv.de/cms/front_content.php?idcat=14&idcat=52. Mineralölwirtschaftsverband e. V. Hamburg 2007 b

Piper, Nikolaus: Fahren Statt essen. Süddeutsche Zeitung vom 23. Januar 2007, S 1. München 2007

Pöyry: Value Added Creation in the European Pulp & Paper Industry and Bio-energy Sector. Pöyry Forest Industry Consulting GmbH (PFIC). Freising 2007

RAL: Vergabegrundlage für Umweltzeichen. Holzpellettheizkessel. RAL-ZU 112. RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e. V. Sankt Augustin, April 2006.

RENET: Biomassevergasung und Biogastechnologie. Imagebroschüre des Renewable Energy Network Austria. Wien 2007

- RÖMPP: Online Lexikon Chemie. <http://www.roempp.com>. Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart 2007
- Rudloff, Matthias (Choren): Paving the way to large scale BtL production. Vortrag auf der Konferenz "Biokraftstoffe – Sachstand und Perspektiven". Französische Botschaft. Berlin, 17. Januar 2007
- Sakanishi, Kinya: Production of Synthetic Fuel from the Gasification of Woody Biomass. Biomass Technology Research Center of the National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST). http://www.aist.go.jp/aist_e/aist_today/2006_21/biomass/biomass_03.html. Tokyo 2006
- Seyfried, Frank (Volkswagen AG): Biokraftstoffe aus Sicht der Automobilindustrie. Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis, Nr.1, 15. Jg., April 2006, S 42 – 50. Forschungszentrum Karlsruhe
- SRU: Umwelt und Straßenverkehr. Sondergutachten des Sachverständigenrats für Umweltfragen. Nomos Verlagsgesellschaft, Baden-Baden 2005
- Steiger, Wolfgang (Volkswagen AG): Biokraftstoffe der 2. Generation und ihre strategische Bedeutung. Vortrag "2nd Internationale BtL-Congress". Berlin, 13. Dezember 2006
- TNO: Process for the production of liquid fuels from biomass. Patent WO 02/20699 A1. World Intellectual Property Organisation (WIPO). Publication date 14 March 2002
- UBA: Die Nebenwirkungen der Behaglichkeit: Feinstaub aus Kamin und Holzofen. Hintergrundpapier des Umweltbundesamts. Dessau 2006
- UN: United Nations Commodity Trade Statistics Database. Statistics Division. <http://comtrade.un.org/>. New York 2006
- UN: Press Conference Launching International Biofuels Forum. Press Release. United Nations, Department of Public Information, News and Media Division. New York, 2 March 2007
- USDA: USDA announces plan for \$ 1.6 billion investment in renewable fuels. United States Department of Agriculture. Press Release No. 0012.07 of January 24, 2007. Washington D. C. 2007
- VVBGC: Imagebroschüre "Växjö Värnamo Biomass Gasification Centre". www.vvbqc.com. Värnamo 2007

Whitehouse: 2007 State of the Union Policy Initiative. Twenty in Ten – Strengthening America's Energy Security. The White House, President George W. Bush. <http://www.whitehouse.gov/stateoftheunion/2007/initiatives/energy.html>. Washington D. C. 2007

Wüst, Christian: Erntedank im Autotank. Kraftstoff aus Biomasse kann Öl ersetzen – wenn bessere Technik zum Einsatz kommt. DER SPIEGEL, Heft 8 vom 17. Februar 2007

In der Reihe „Umwelt, Innovation, Beschäftigung“ sind bisher die folgenden Bände erschienen:

- 01/07 Wirtschaftsfaktor Umweltschutz: Vertiefende Analyse zu Umweltschutz und Innovation
- 02/07 Umweltpolitische Innovations- und Wachstumsmärkte aus Sicht der Unternehmen
- 03/07 Zukunftsmarkt Solarthermische Stromerzeugung
- 04/07 Zukunftsmarkt CO₂-Abscheidung und –Speicherung
- 05/07 Zukunftsmarkt Elektrische Energiespeicherung
- 06/07 Zukunftsmarkt Solares Kühlen
- 07/07 Zukunftsmarkt Energieeffiziente Rechenzentren
- 08/07 Zukunftsmarkt Biokunststoffe
- 09/07 Zukunftsmarkt Synthetische Biokraftstoffe
- 10/07 Zukunftsmarkt Hybride Antriebstechnik
- 11/07 Zukunftsmarkt Dezentrale Wasseraufbereitung und Regenwassermanagement
- 12/07 Zukunftsmarkt Nachhaltige Wasserwirtschaft und Nanotechnologie
- 13/07 Zukunftsmarkt Stofferkennung und -trennung

Alle Veröffentlichungen können kostenlos auf www.umweltbundesamt.de heruntergeladen werden.