

Biokraftstoffe der zweiten Generation: Herstellungsoptionen, Stand der Technik, Effizienz, Kosten

Jörg Bohlmann, Fichtner GmbH & Co. KG

Was sind Biokraftstoffe der zweiten Generation?

Bereits heute werden signifikante Mengen an Biokraftstoffen eingesetzt. Dies geschieht entweder in reiner Form als Biodiesel oder aber als Beimischung von z.B. biogenem ETBE zu Ottokraftstoffen, wobei das aus Bioethanol gewonnene ETBE als Antiklopfmittel dient. In beiden Fällen jedoch handelt es sich um Biokraftstoffe der ersten Generation.

Von „Zweiter Generation“ wird in der Regel dann gesprochen, wenn der Herstellungsprozess die Verwertung von Ganzpflanzen möglich macht und damit zu erhöhten Nutzungsgraden und Erträgen führt. Biokraftstoffe der zweiten Generation sind noch nicht am Markt verfügbar.

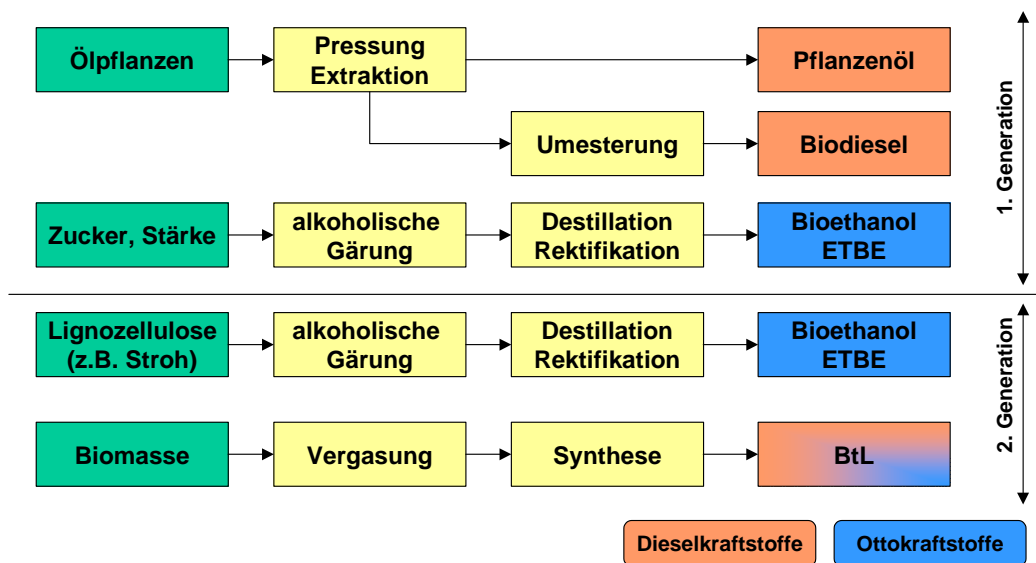


Abbildung 1: Systematik Biokraftstoffe

Derzeit existieren im Wesentlichen zwei in der Entwicklung fortgeschrittene und vielversprechende technische Ansätze:

- Bioethanol aus Lignozellulose (Holz, Stroh)
- Synthetische Biokraftstoffe (Biomass to Liquid, BtL).



Während sich der Bioethanol aus Lignozellulose nicht von anderem Bioethanol unterscheidet, sondern lediglich eine effizientere Nutzung der Biomasse verspricht, handelt es sich bei BtL um ein neues Produkt, das mit konventionellem Biodiesel nicht identisch ist. Es ist jedoch praktisch identisch mit anderen synthetischen Kraftstoffen, die aus Erdgas (Gas to Liquid, GtL) oder Kohle (Coal to Liquid, CtL) gewonnen werden.

Bioethanol kann sowohl zu ETBE verarbeitet als auch direkt dem Benzin beigemischt werden, wobei in Deutschland derzeit 5 % Zumischung akzeptiert werden. In Skandinavien haben „Flexible Fuel Vehicles“ inzwischen einen signifikanten Anteil am Neuwagenmarkt, die mit E85 (85 % Ethanol) betrieben werden können. BtL Diesel kann sowohl als Zumischung als auch als in reiner Form eingesetzt werden und erfordert keine Anpassung der Motoren; er weist vielmehr hinsichtlich Zündfähigkeit und Emissionsverhalten deutlich bessere Eigenschaften auf als konventioneller Diesel.

Eine von der FNR vorgenommene vergleichende Analyse verschiedener Biokraftstoffe hat diesbezüglich die in Tabelle 1 zusammengestellten Kennzahlen ergeben und bestätigt die Vorzüge von Kraftstoffen der zweiten Generation. Bei den Kennwerten von Ethanol aus Lignozellulose ist zu berücksichtigen, dass es eine Nutzung zusätzlich zu der Stärkevergärung darstellt bzw. eine Nutzung von Nebenprodukten der Lebensmittelerzeugung wie z.B. Stroh.

	Brutto- ertrag l EQ/ha	Netto- energie GJ/ha	CO₂ Einsparung t/ha
Biodiesel	1656	45	4
Bioethanol (Zucker)	4776	104	8,5
Bioethanol (Stärke)	2089	38	3,7
Bioethanol (Lignozellulose)	756	21	2,1
BtL	4558	138	12

Tabelle 1: Kennzahlen verschiedener Biokraftstoffe (Datenquelle: FNR)

Herstellung von Bioethanol aus Lignozellulose

Die derzeit in Betrieb befindlichen Bioethanolanlagen basieren auf der Vergärung von Stärke, Ethanol aus Brasilien wird aus Zuckerrohr gewonnen. Lignozellulose hingegen wird in konventionellen Anlagen nicht aufgeschlossen. Die Verfügbarmachung der Lignozellulose erfordert spezielle Enzyme und eine intensive Vorbehandlung, die es ermöglichen, die Zellulose in ihre Zuckerbestandteile aufzuspalten und diese dann zu Ethanol zu vergären. Dieser Verarbeitungsschritt stellt derzeit noch ein technische und wirtschaftliche Herausforderung dar.

Erste Versuchsanlagen existieren in Nordamerika, Skandinavien und demnächst in Spanien.

In Babilafuente in Spanien errichtet die Firma Abengoa eine Pilotanlage zur Produktion von Ethanol aus Stroh, die ca. 6300 t/a produzieren soll. Als Investitionskosten werden 11,8 M€ genannt, in Schweden betreibt ETEK bereits eine Anlage, in der seit 2005 ca. 180 t/a produziert werden können. Die erste Anlage dieser Art wurde von Iogen in Kanada errichtet und produziert ca. 5000 t/a.

Nach Angaben aus den USA betragen die Produktionskosten derzeit ca. 2,25 \$/Gallon, dies entspricht etwa 65 ct/l. Neben der Biomasse machen dabei die Kosten für die Enzyme zum Aufschluss der Zellulose einen wesentlichen Kostenfaktor aus, dies stellt auch ein wesentliches Hindernis für die Wettbewerbsfähigkeit, aber auch einen Entwicklungsschwerpunkt dar.

In Deutschland haben Volkswagen, Shell und Iogen angekündigt, die Produktion von Ethanol aus Lignozellulose in Deutschland zu untersuchen. Dennoch scheint der Schwerpunkt der Entwicklung in den zuvor genannten Ländern zu liegen. Vor diesem Hintergrund wird nachfolgend schwerpunktmäßig auf die BtL-Entwicklung eingegangen.

Herstellung von BtL

Die Herstellung von BtL kombiniert zwei dem Grunde nach seit Jahrzehnten bekannte Techniken: Die Holzvergasung und die Fischer-Tropsch Synthese. Die Holzvergasung wurde schon für Fahrzeugantriebe angesetzt, wobei das erzeugte Gas direkt dem Motor zugeführt wird. Ferner gibt es seit vielen Jahren sowohl Entwicklungen, Gas aus Biomasse in modernen Motoren zu verstromen oder aber als Brennstoff in anderen Feuerungen einzusetzen. Die Fischer-Tropsch Synthese (FT-Synthese) wurde in den 30er Jahren in Deutschland mit dem Ziel der Kohleverflüssigung entwickelt. Bei der BtL-Herstellung wird das erzeugte Gas einer Feinreinigung unterzogen und dann in dem katalytischen FT-Prozess zu langkettigen Kohlenwasserstoffen synthetisiert, welche zu Dieselkraftstoff aufbereitet werden sowie einer Naphta-Fraktion, aus der Benzin erzeugt werden kann. Die grundsätzlichen Prozessschritte einer BtL-Anlage sind in nachfolgender **Abbildung 2** zusammengestellt.

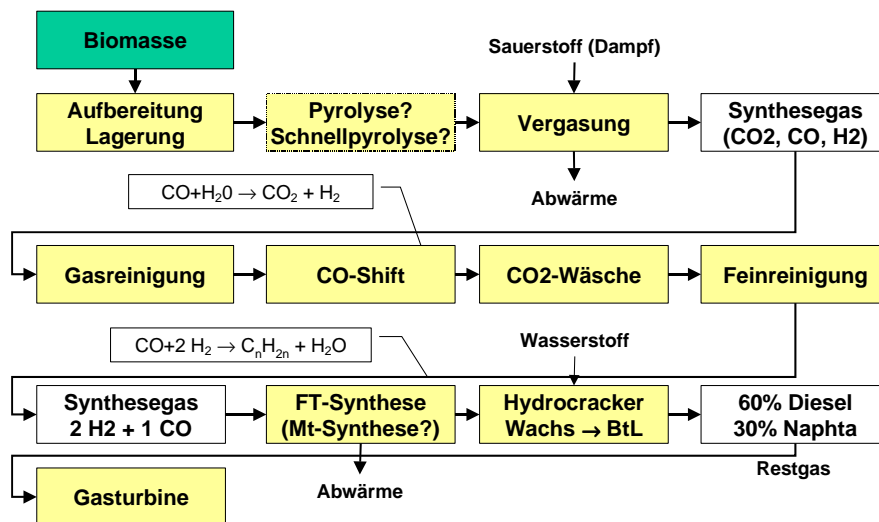


Abbildung 2: Prozessschritte der BtL-Herstellung

Hinsichtlich der Übertragbarkeit bestehender Erfahrungen auf den Anwendungsfall BtL bestehen folgende Problemfelder:

- Die Biomassevergasung wird bislang im kleinen Leistungsbereich von unter 1 MW bis zu ca. 100 MWth eingesetzt. Gerade die größeren dieser Anlagen erzeugen i.d.R. ein Brenngas, welches direkt einer nachgeschalteten Feuerung zugeführt wird und an dessen Reinheit keine besonderen Anforderungen gestellt werden. Für den Zweck der nachgeschalteten Synthese sind jedoch hochreine Gase erforderlich. Zur Gasreinigung kann auf aus anderen Anwendungsfällen bewährte Techniken zurückgegriffen werden. Die Vergasung erfordert jedoch eine Adaptierung an den Anwendungsfall sowie ein deutliches Upscaling. Als problematisch ist dabei bei Flugstromvergasern vor allem die Brennstoffzufuhr zu werten, bei Wirbelschichtvergasern die Gasqualität.

- Die Synthesetechniken selbst – im Wesentlichen FT-Synthese und Methanolsynthese – sind wiederum großtechnisch bewährt. An dieser Stelle steht man eher vor dem Problem des „Downscaling“, weil neue und geplante FT-Synthesen derzeit mit um Größenordnungen höheren Durchsätzen geplant werden, als diese im Zusammenhang mit der BtL-Herstellung diskutiert werden.

Neben der Limitierung, die sich aus den Erfahrungen mit der Biomassevergasung in großen Anlagen ergibt, ist die Verfügbarkeit einer ausreichenden Menge an Biomasse innerhalb eines Einzugsgebietes, welches den wirtschaftlichen Transport möglich macht, der zweite limitierende Faktor für die Größe einer BtL-Anlage.

Aktuelle BtL-Projekte

Bioliq

Einen Lösungsansatz für diese logistischen Probleme verspricht das bioliq-Verfahren des FZ Karlsruhe, welches in einem Folgevortrag noch detailliert dargestellt wird. Eine dezentrale Schnellpyrolyse erzeugt aus Biomasse ein energiereiches und transportfähiges Öl/Koks Gemisch (Slurry), welches dann in großen Zentralanlagen vergast und weiterverarbeitet werden kann. Neben diesem logistischen Vorteil ist festzuhalten, dass durch die Slurry das Problem der Brennstoffzufuhr in den Vergaser entschärft wird und für die Vergasung auf den großtechnisch bewährten GSP-Flugstromvergaser der Firma Future Energy zurückgegriffen werden kann. Als kritischer Verfahrensschritt ist die Schnellpyrolyse von verschiedenen Biomassen in Großanlagen zu sehen. Die großtechnische Machbarkeit ist noch nachzuweisen. Derzeit ist im FZK eine Versuchsanlage im Bau.

Choren

Die BtL-Technik der Firma Choren (Freiberg/Sachsen) kombiniert die eigene Carbo-V Vergasung mit der FT-Technologie des Choren-Gesellschafters Shell. Die Carbo-V Vergasung besteht aus einer autothermen Pyrolyse („Niedertemperaturvergasung“) und einer Flugstromvergasung der Pyrolyseprodukte Gas und Koks. Die Vergasung zeichnet sich durch ein praktisch teerfreies Gas und einen guten Kaltgaswirkungsgrad aus. Choren hat in Freiberg bereits eine 1 MW Versuchsanlage betrieben, in welcher die vollständige Prozesskette abgebildet wurde und der BtL-Kraftstoff („Sunfuel“) produziert wurde. Eine großtechnische Versuchsanlage mit ca. 45 MW (sog. Beta-Anlage) ist in Bau, mehrere Großanlagen mit ca. 500 MW befinden sich im Stadium der Projektentwicklung. Der Betrieb der Beta-Anlage wird die erste industrielle BtL-Produktion darstellen. Einen erfolgreichen Betrieb der Beta-Anlage vorausgesetzt, sollte der Übergang zu Großanlagen technisch beherrschbar sein. Die Pyrolyse-Komponenten werden kein deutliches Upscaling zulassen und müssen mehrlinig ausgeführt werden, die nachgeschalteten Komponenten sind hinsichtlich des Upscaling nicht kritisch. Insgesamt ist das Choren Verfahren dasjenige, welches der großtechnischen Reife derzeit am nächsten ist.

Freiberg

An der TU Bergakademie Freiberg verfolgt man ein BtL-Konzept, welches die Vergasung in einer druckaufgeladenen zirkulierenden Wirbelschicht mit einer Methanol-Synthese kombiniert. Der als „PHTW“ bezeichnete Vergaser, der perspektivisch zum Einsatz kommen soll, stellt eine Kombination dar von HTW (Hochtemperatur-Winkler Vergaser, Betriebserfahrungen in der Kohlevergasung, 140 MWth) und BGL (British-Gas Lurgi Vergaser, Betriebserfahrungen in der Abfall / Kohlevergasung Schwarze Pumpe). Es ist ein schmelzflüssiger Schlackeabzug vorgesehen. Es wird eine Engineering-Studie erstellt, an die sich bei entsprechenden Ergebnissen

die Realisierung einer 10 MWth Versuchsanlage anschließen soll. Das aus dem Synthesegas erzeugte Methanol kann zu synthetischem Kraftstoff weiterverarbeitet werden.

Ähnlich dem Konzept des FZK steht auch hier mit dem Methanol ein transportfähiger Energieträger zur Verfügung, der eine Dezentralisierung ermöglicht. Allerdings ist dazu kritisch anzumerken, dass mit Vergasung und Methanolsynthese in diesem Fall auch kapitalintensive Prozessschritte dem „dezentralen“ Teil zuzuordnen wären, wodurch das Einsparpotenzial deutlich geringer ist.

Cutec

Die Cutec GmbH in Clausthal-Zellerfeld betreibt eine 0,4 MWth Versuchsanlage, die aus einer Vergasung in einer atmosphärischen zirkulierenden Wirbelschicht mit Sauerstoff und Dampf besteht sowie aus einer FT-Synthese. Für die FT-Synthese findet ein Niedertemperatur Festbett-Reaktor Anwendung. Erste Mengen an BtL wurden in der Versuchsanlage produziert.

Güssing

In Güssing in Österreich betreibt die Biomasse Güssing GmbH eine von der Firma Repotec errichtete Wirbelschichtvergasung. Es handelt sich um eine Sonderform, in der eine allotherme Vergasung mit Wasserdampf als Vergasungsmittel möglich ist. Dies ermöglicht die Erzeugung eines wasserstoffreichen Gases, wie es für die FT-Synthese erforderlich ist. Die Anlage wurde 2000 / 2001 errichtet und hat eine Leistung von 8 MWth. Sie ist dafür ausgelegt, das Gas in einem Motor zu nutzen. Aus einem ausgekoppelten Teilstrom wurde jedoch auch schon BtL produziert.

Positiv am Beispiel Güssing sind die Betriebserfahrungen mit der Biomassevergasung, allerdings dürfte diese Bauform der Wirbelschicht im Upscaling limitiert sein, was bei Großanlagen einen wirtschaftlichen Nachteil darstellt. Dem steht der Vorteil gegenüber, keinen Sauerstoff als Vergasungsmittel zu benötigen. Die Anlage Güssing dient verschiedenen Forschungszwecken, ein ausdrückliches BtL-Projekt besteht derzeit nach unserer Kenntnis nicht.

Värnamo

In Värnamo wurde eine druckaufgeladene Wirbelschichtvergasung für Biomasse betrieben, die als IGCC Anlage konzipiert war. Die Anlage hat vor Stilllegung 8500 Betriebsstunden erreicht. Die Anlage wird derzeit umgebaut, mit Dampf und Sauerstoff als Vergasungsmittel soll ab 2008 BtL erzeugt werden.

Interessant an dem Vergasungskonzept ist die großtechnische Betriebserfahrung mit der Biomassevergasung unter Druck.

Kosten der BtL-Herstellung

Zum jetzigen Zeitpunkt gibt es noch keine belastbaren Erfahrungen hinsichtlich der Kosten einer BtL-Anlage. Eigene Schätzungen, die auf Literaturangaben und eigenen Erfahrungen mit Einzelkomponenten basieren, haben für eine Anlage mit einem Durchsatz von 1 Mio. Jahrestonnen an Biomasse Investitionen in der Größenordnung von 500 bis 600 M€ ergeben. Dieser Wert ist aber noch mit erheblichen Unsicherheiten behaftet und hängt insbesondere von folgenden Faktoren ab:

- Projektstruktur
- Standort / Standortintegration
- Angewandte Technik, Zahl der Produktionslinien

Insbesondere die Integration einer BtL-Anlage in einen chemischen oder petrochemischen Verbundstandort verspricht erhebliche Kostenvorteile. Die derzeit erreichbare Energieeffizienz, gerechnet als Hu des Produkts bezogen auf Hu der Biomasse, liegt im Bereich von 40 bis 45 %. Perspektivisch sollten höhere Werte erreichbar sein, wobei das Optimierungspotenzial eher im Bereich der Synthese als in der Vergasung zu sehen ist.

Nach überschlägigen Schätzungen würden diese Randbedingungen in Produktionskosten zwischen 0,80 und 1,00 €/l ab Werk resultieren. Der Wert hängt maßgeblich ab von den Biomassekosten frei Anlage, daneben sind Kapitalkosten und Prozesseffizienz die wesentlichen Einflussgrößen.