

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 164 (2013)

Heft: 12

Artikel: Stand der Technik und Trends bei der Erzeugung von Strom und Treibstoffen aus Holz

Autor: Biollaz, Serge

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1097641>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 02.05.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Stand der Technik und Trends bei der Erzeugung von Strom und Treibstoffen aus Holz

Serge Biollaz Paul Scherrer Institut (CH)*

State of the art and trends in generation of electricity and fuels from wood

Advanced conversion processes such as gasification technology for biomass have been under development for the last 30 years. First commercial plants went into operation. Over this period, motivation for biomass gasification has changed repeatedly. At first, production of high-temperature heat was the major motivation, later generation of electricity or combined heat and power (CHP). During the last ten years production of liquid and gaseous biofuels via gasification has been intensely studied and developed, which has increased the demands on the quality of syngas. This paper focuses on gasification development within Europe. Selected examples give an impression of current status and expected developments of gasification technologies for the production of electricity, liquid or gaseous biofuels. The examples make clear that there is still a considerable potential for innovation. Therefore, in coming years further technological breakthroughs can be expected. This development is expected to be supported by the implementation of the European Industrial Bioenergy Initiative (EIBI) and the planned European Public Private Partnership of bio-based industries ("Bridge"). It will be necessary to simultaneously advance fundamentally different technological options (e.g. enzyme- and thermochemical-based processes) and to perform intensive broad-based research to increase the efficiency of processes and to optimize the yields. For the market introduction of large-scale biomass gasification plants, i.e. of at least 50 MW_{Wood} power production, framework conditions have to be adapted in order to reduce commercial risk for investors. Biomass gasification can make a significant contribution for reduction of CO₂ and the use of non renewable energy sources. It has to be understood as an integral part of an overall energy system.

Keywords: biomass gasification, electricity, liquid fuels, hydrogen, biomethane

doi: 10.3188/szf.2013.0398

* CH-5232 Villigen PSI, E-Mail serge.biollaz@psi.ch

U nabhängig von der Endnutzung der Bioenergie und der Umwandlungstechnologie sind hohe Wirkungsgrade und möglichst tiefe Investitions- und Betriebskosten entscheidend für den weiteren Ausbau der energetischen Biomassenutzung. Bei steigenden Preisen für die Primärenergie (Biomasse) werden hohe Wirkungsgrade noch wichtiger. Die Vergasungstechnologie für Biomasse wurde die letzten 30 Jahre kontinuierlich weiterentwickelt, und erste kommerzielle Anlagen sind in Betrieb. Über diesen Zeitraum hat die Motivation für die Biomassevergasung wiederholt geändert. Zuerst stand die Erzeugung von Hochtemperaturwärme im Vordergrund, später die Stromerzeugung (reine Stromerzeugung, Wärme-Kraft-Kopplung). Seit zehn Jahren wird die Erzeugung von flüssigen und gasförmigen Biotreibstoffen über die Vergasung intensiver untersucht und entwickelt, womit die Anforderungen an die Gasqualität gestiegen sind. Die Vergasertechnologie für die Treibstoffherstellung ist technisch

anspruchsvoller als für die Stromerzeugung und vergleichbar mit der Kohlevergasungstechnologie. Die Vielfalt der Einsatzmöglichkeiten der Vergasung, die historischen Entwicklungen, die technischen Herausforderungen sowie die verschiedenen lokalen Marktbedürfnisse haben dazu geführt, dass bis heute sehr unterschiedliche Reifegrade bei den verschiedenen Vergasungstechnologien erreicht wurden.

Die ehrgeizigen Ausbaupläne für Bioenergie in Europa (Alakangas & Panoutsou 2012, RHC-TP 2010) und weltweit (IEA 2011, IEA 2012) machen deutlich, dass zahlreiche und sehr unterschiedliche Technologien benötigt werden, um die zukünftigen Bedürfnisse zu befriedigen. In Abbildung 1 sind beispielhaft die Ausbaupläne für Europa dargestellt, wie sie von der Renewable Heating and Cooling Technology Platform (RHC-TP) entwickelt wurden.

Eine letztes Jahr veröffentlichte Potenzialstudie für 2020 kam zum Schluss, dass die notwendigen Biomasseressourcen in Europa grundsätzlich

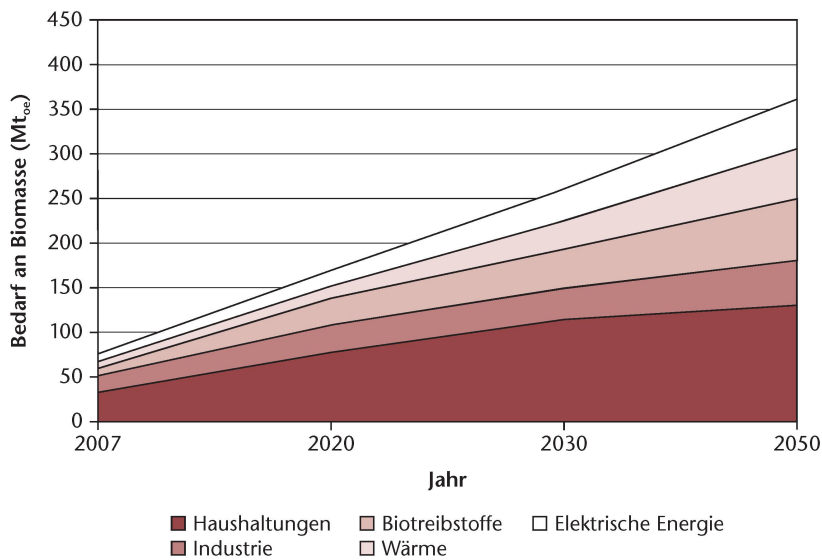


Abb 1 Bioenergienutzung im Jahr 2007 und Ausbaupläne bis zum Jahr 2050 in Europa in Millionen Tonnen Öläquivalent (Mt_{oe}; Alakangas & Panoutsou 2012, RHC-TP 2010, verändert). Die Bioenergie wird von den Haushaltungen zur Wärmeerzeugung genutzt, die Industrie verwendet dieselbe mehrheitlich zu diesem Zweck.

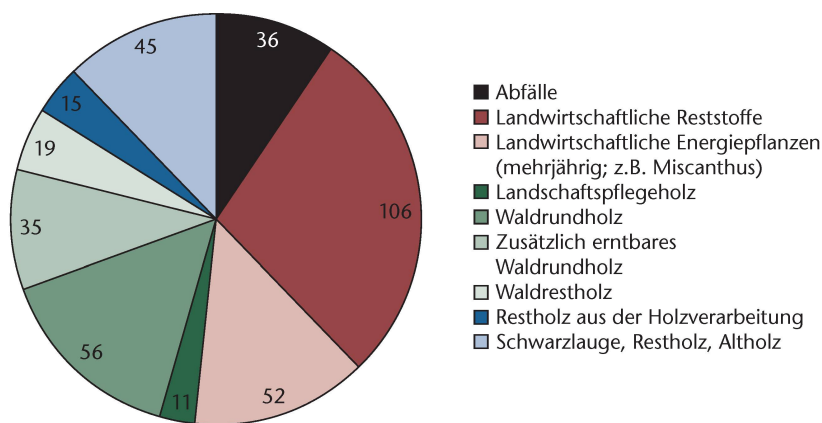


Abb 2 Zusammensetzung in Millionen Tonnen Öläquivalent (Mt_{oe}) des für das Jahr 2020 auf total 375 Mt_{oe} (15 600 PJ) geschätzten Biomassepotenzials in Europa (Nachhaltigkeitsszenario; Böttcher et al 2012, Alakangas & Panoutsou 2012, verändert). Nicht in der Grafik abgebildet sind die einjährigen landwirtschaftlichen Energiepflanzen (z.B. Mais, Raps), weil deren Beitrag im dargestellten Nachhaltigkeitsszenario 0 Mt_{oe} beträgt.

vorhanden sind. So schätzen Böttcher et al (2012; Abbildung 2) das Biomassepotenzial für die energetische Nutzung für das Jahr 2020 auf etwa 375 Mt_{oe}. Für die Holznutzung stützt sich diese Arbeit im Wesentlichen auf eine Veröffentlichung von Mantau et al (2010). Diese Studie berücksichtigt sowohl die energetische als auch die stoffliche Nutzung von Holz. Über 40% dieses technischen Potenzials ist holzartige Biomasse. Es stellt sich damit weniger die Frage der grundsätzlichen Nutzungskonkurrenz, sondern vielmehr die Frage, wie die lokal verfügbaren Biomasseressourcen optimal genutzt werden können. Die vielfältigen Optionen der Bioenergie sollten deshalb als Bestandteil eines Gesamt(energie)-systems verstanden werden. Die Biomassevergasung kann aufgrund ihrer Möglichkeiten einen wichtigen Beitrag leisten.

Dieser Beitrag fokussiert auf die Vergaserentwicklung in Europa. Ausgewählte Beispiele vermitteln einen aktuellen Eindruck vom Stand und von den zu erwartenden Entwicklungen von Vergasungsanlagen zur Herstellung von Strom und flüssigen beziehungsweise gasförmigen Biotreibstoffen. Im Vordergrund stehen Wirbelschicht- und Flugstromvergasungsverfahren. Je nach Verwendung des Gases aus der Biomassevergasung können die Anforderungen bezüglich Druck, Temperatur, Gasqualität und Leistungsbereich sehr unterschiedlich sein. Kleinanlagen haben eine Brennstoffleistung von 1 MW_{th}, der höhere Leistungsbereich beginnt im Bereich von 50 MW_{th} und geht bis 400 MW_{th}. Der eingesetzte Brennstoff beziehungsweise die eingesetzte Brennstoffpalette kann ebenfalls einen wesentlichen Einfluss auf die Auslegung und den Betrieb des Vergasers haben. Es ist somit zu erwarten, dass sich sehr unterschiedliche Vergasungssysteme auf dem Markt durchsetzen werden.

Stromerzeugung

Stand der Entwicklung

Für die Wirtschaftlichkeit von Verstromungsanlagen für trockene Biomasse sind geringe Brennstoffkosten, hohe elektrische Wirkungsgrade, eine hohe Auslastung der Anlage und geringe Investitionskosten entscheidend. Der erzielbare elektrische Wirkungsgrad hängt stark von der eingesetzten Technologie ab. Hohe elektrische Wirkungsgrade, d.h. mindestens 25%, können fast nur über Vergasungsprozesse erreicht werden. Solche Wirkungsgrade können in konventionellen Verstromungsanlagen mit Verbrennung und der Stromerzeugung über einen Dampfprozess nur bei grossen Brennstoffleistungen (einige 10 MW_{th}) erzielt werden, wie dies zum Beispiel im Holzheizkraftwerk Aubrugg bei Zürich der Fall ist. In Abbildung 3 sind die erwarteten elektrischen Wirkungsgrade von holzbasierten Stromerzeugungssystemen dargestellt. Die Nettowirkungsgrade realisierter Anlagen, d.h. abzüglich Stromeigenbedarf, liegen im Erwartungsbereich. Es wird unterschieden nach Systemen zur Wärme-Kraft-Kopplung (WKK) und zur reinen Stromproduktion. Mit Ausnahme der Dampfkraftwerke erfolgt die dargestellte Stromerzeugung via Vergasungsprozesse.

Die Wirtschaftlichkeit von Verstromungsanlagen ist in der Regel neben Brennstoffpreis, Betriebskosten und Stromerlös auch davon abhängig, dass sehr grosse Wärmemengen zu ökonomisch attraktiven Bedingungen abgesetzt werden können. Diese Randbedingung reduziert die Anzahl der infrage kommenden Standorte erheblich. Diese Beobachtungen wurden bestätigt durch eine kürzlich veröffentlichte Studie im Auftrag des Bundesamts für Energie (BFE), in der eine Standortevaluation für Holz-WKK

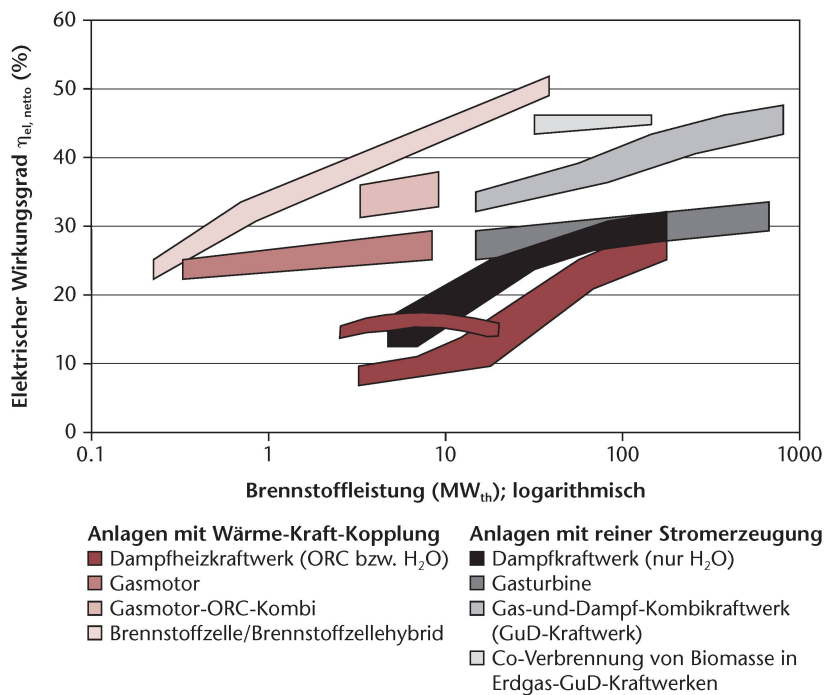


Abb 3 Elektrische Wirkungsgrade von biomasse- respektive holzbasierten Stromerzeugungssystemen (bestehende Technologien und erwartete Wirkungsgrade für neue Technologien).

bei bestehenden Holzenergieanlagen in der Schweiz durchgeführt wurde (Keel 2013).

Ein Beispiel für die Steigerung des elektrischen Wirkungsgrades bei einem konventionellen Wasserdampfprozess ist die neue Anlage in Lahti (Finnland). Seit dem Frühjahr 2012 ist dort eine 160-MW_{th}-Anlage in Betrieb, welche aus sortierten Industrie- und Haushaltsabfällen (Plastik, Restholz, Altholz) Strom und Wärme erzeugt (Isaksson 2012). Die Besonderheit dieser Anlage ist, dass die Biomasse in zirkulierenden Wirbelschichtvergasungsanlagen (2 × 80 MW_{th}) bei 900 °C vergast wird. Die Wirbelschicht bildet sich durch die Fluidisierung von Bettmaterial mit Vergaserluft. In diese heisse Wirbelschicht wird die Biomasse eingebracht; diese wird innerhalb von Minuten vollständig zu einem brennbaren Produktgas abgebaut. Anschliessend wird das Produktgas bei 400 °C gereinigt. Mit diesem Gas wird ein Dampfkessel befeuert. Dank dem Umstand, dass alle problematischen Stoffe (Chlor, Alkalien, Schwefel) aus dem Produktgas entfernt sind, können im Dampfprozess höhere Dampfparameter gefahren werden (121 bar, 540 °C), wodurch ein elektrischer Wirkungsgrad von 31% sowie ein Wärmewirkungsgrad von 56% erwartet werden. Die Erfahrungen aus dem ersten Betriebsjahr haben die Erwartungen bestätigt. Ende 2012 ist die weltweit grösste einlinige Biomassevergasungsanlage mit der gleichen Technik mit 140 MW_{th} in Betrieb gegangen (Honkola 2013).

Um bei deutlich kleineren Anlagen (einige MW_{th}) einen vergleichbaren Wirkungsgrad zu erreichen, muss das Produktgas aus der Vergasung direkt über einen Verbrennungsmotor verstromt werden

(Abbildung 3). Anfang der 1990er-Jahre wurde dazu am Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften der Technischen Universität Wien ein richtungweisendes thermochemisches Vergasungsverfahren entwickelt: die Dampfvergasung von Biomasse in der Zweibettwirbelschicht. Dabei kann der feste Brennstoff innerhalb einer speziell ausgeführten Wirbelschichtapparatur bei 850 °C in ein hochwertiges, stickstoffreies Produktgas (Synthesegas) umgewandelt werden. Die Technologie der Wirbelschicht-Dampfvergasung erntete durch die Inbetriebnahme der ersten grösseren kommerziell betriebenen Demonstrationsanlage in Güssing mit 8 MW_{th} im Jahr 2001 weltweite Anerkennung. Für die Umwandlung von Holzhack-schnitzeln sind in Österreich mittlerweile drei Wirbelschichtanlagen zur Wärme-Kraft-Kopplung im industriellen Massstab gebaut worden (Güssing, 8 MW_{th}; Oberwart, 9 MW_{th}; Villach, 15 MW_{th}). In Schweden (Göteborg, 32 MW_{th}) und in Deutschland (Senden, 14 MW_{th}) sind derzeit zwei weitere Anlagen in Bau beziehungsweise in der Phase der Inbetriebnahme (Pröll & Pfeiffer 2012).

Bei der Vergasung werden somit heute in der Praxis elektrische Wirkungsgrade von 30% bis 35% erreicht. Ebenfalls konnte in den letzten Jahren eine Auslastung von 7000 bis 8000 Stunden pro Jahr erreicht werden. Um die Wirtschaftlichkeit weiter zu verbessern, sind bei allen Anlagen weitere Betriebsoptimierungen Gegenstand laufender Arbeiten.

Im Leistungsbereich <250 kW_{el} gibt es bereits in grösseren Stückzahlen in Betrieb stehende Vergasungssysteme, die im Herstellwerk vorgefertigt und soweit möglich beim Lieferanten getestet werden. Die Anlagen werden mit standardisierten Brennstoffen betrieben. Mit dieser Entwicklung hin zum standardisierten Produkt «Holzgas-WKK» können die technischen Risiken für den Betreiber deutlich vermindert werden.

Trends bei der Weiterentwicklung

Im Umsetzungsplan der European Industrial Bioenergy Initiative (EIBI) werden für die Wertschöpfungskette «Vergasung zur Stromerzeugung» elektrische Wirkungsgrade von über 45% angestrebt (EIBI 2010). Wie aus Abbildung 3 erkennbar ist, kommt dazu nur eine beschränkte Anzahl von technischen Lösungen infrage, so biomassebasierte Gas-und-Dampf-Kombikraftwerke (GuD-Kraftwerke), die Co-Verbrennung von Biomasse in Erdgas-GuD-Kraftwerken und Systeme auf Grundlage von Brennstoffzellen. Beim Ansatz mit Brennstoffzellen wird vergaste Biomasse als brennbares Gas einer Brennstoffzelle zugeführt und in Strom und Wärme umgewandelt. Dieses System hat gute Aussichten, um bereits bei kleiner Leistung höchste Wirkungsgrade zu erreichen (Nagel 2008). Die Brennstoffzellentechnologie ist heute noch nicht wirtschaftlich verfügbar. Hinzu

kommt, dass die Anforderungen an die Gasqualität zu wenig klar sind, da diese insbesondere auch von der Brennstoffzellentechnik abhängen (SOFC, MCFC, HT-PEMFC). Verschiedene Forschungsgruppen arbeiten auf dem Gebiet der Integration von Biomassevergasung und Brennstoffzelle. In den nächsten Jahren sind belastbare Resultate zu erwarten. Dazu sind Tests von mehreren Tausend Stunden erforderlich. Dies macht eine gute Zusammenarbeit von Vergaser- und Brennstoffzellenspezialisten unabdingbar, um die (Weiter-)Entwicklungskosten in Grenzen zu halten.

Beim Lösungsansatz der Co-Verbrennung von vergaster Biomasse in einem Erdgas-GuD-Kraftwerk wird das Produktgas dem Erdgas beigemischt oder direkt in separaten Brennern in der Gasturbine verfeuert. Bei diesem System wird die gleiche Biomassemenge wie in grossen konventionellen Verstromungsanlagen umgesetzt, der erzielbare elektrische Wirkungsgrad ist jedoch mit etwa 45% deutlich höher. Dieser Lösungsansatz verspricht geringe spezifische Kosten und ermöglicht es, neben Holz auch technisch anspruchsvollere Brennstoffe wie Gras oder Stroh energetisch zu nutzen (Judex 2010). Bei diesem Lösungsansatz ist interessant, dass bestehende Erdgas-GuD-Kraftwerke nachgerüstet werden können, womit relativ schnell die Produktionskapazität für elektrische Energie aus Biomasse ausgebaut werden kann. Angesichts der Vorteile bei der Co-Verbrennung erscheinen ausschliesslich mit Holzgas befeuerte GuD-Kraftwerke als unwahrscheinlich.

Auch die bestehende Vergasertechnologie hat Weiterentwicklungspotenzial für die Stromerzeugung. So wird, aufbauend auf der Zweibettwirbelschichttechnologie der TU Wien, ein System entwickelt, welches den Einsatz einer breiten Brennstoffpalette, ein qualitativ höherwertiges Produktgas, eine erhöhte Gesamteffizienz und die bestmöglichen Voraussetzungen für grössere Anlagenleistungen gewährleistet (Pröll & Pfeiffer 2012). Die Zwischenergebnisse sind vielversprechend und übertreffen die Erwartungen (Schmid et al 2011). Belastbare Resultate im Pilotmassstab sind in den nächsten Jahren zu erwarten.

Ein weiteres Beispiel für die Weiterentwicklung der Zweibettwirbelschichttechnologie für WKK ist die Milena-Technologie des holländischen Energieforschungsinstituts ECN (van der Meijden 2010), mit welcher in den nächsten Jahren eine erste kommerzielle Anlage von 10 MW_{th} errichtet werden soll.

Erzeugung von flüssigen Biotreibstoffen

Konventionelle Vergasung

In der Europäischen Union (EU) wurden ehrgeizige Ziele für erneuerbare Energien im Mobilitätssektor definiert. Bis zum Jahr 2020 sollen bis zu 10%

des Treibstoffverbrauchs durch Biotreibstoffe der 1. und 2. Generation abgedeckt werden (EU-Richtlinie 2009/28/EG). Bei der 1. Generation Biotreibstoffe wird die Frucht von Pflanzen zur Treibstoffproduktion genutzt, zum Beispiel Raps, Zuckerrüben oder Mais. Für die Bereitstellung von Biotreibstoffen der 2. Generation, auch als «advanced biofuels» bezeichnet, kommen verholzte Rohstoffe wie Stroh oder Holz zum Einsatz. Um die 10% zu erreichen, braucht es eine installierte Kapazität von 2 GW_{Treibstoff} (EIBI 2010). Damit kann eine Biotreibstoffmenge von 17.5 TWh pro Jahr bereitgestellt werden. Diese Kapazitäten sind heute bei Weitem nicht vorhanden. Als Technologien stehen Ethanol der 2. Generation (Holzverzuckerung) sowie Biotreibstoffe, die aus einem Synthesegas erzeugt werden, im Vordergrund.

Um die ehrgeizigen Ziele zu erreichen, kann auf keinen technischen Lösungsansatz verzichtet werden. Wichtig ist, dass innerhalb eines vernünftigen Zeitraums die aussichtsreichsten Verfahren identifiziert werden, die technische Machbarkeit der ausgewählten Verfahren in Demonstrationsanlagen nachgewiesen wird sowie mittels Flaggschiffprojekten die wirtschaftliche Machbarkeit bestätigt wird. Gemäss dem EIBI-Umsetzungsplan aus dem Jahr 2010 (EIBI 2010) muss mit wenigen sehr grossen Anlagen (>100 MW_{Treibstoff}) oder mit einer sehr grossen Anzahl von dezentralen kleinen Anlagen die angestrebte Produktionskapazität erreicht werden können.

Zur beschriebenen Entwicklung kommt eine weitere, politische Entwicklung hinzu. Seit wenigen Jahren ist die Diskussion im Gang, Biotreibstoffe auch im Luftverkehr einzusetzen. Der Grund ist, dass die Luftfahrtindustrie zunehmend unter Druck steht, Massnahmen einzuleiten, um ihre CO₂-Emissionen nicht weiter ansteigen zu lassen oder in Zukunft deutlich zu senken. In Europa wurde deshalb im Juni 2011 der «Biofuel Flight Path 2020» lanciert. Dieser stellt eine gemeinsame Initiative der europäischen Luftfahrtindustrie, der Biotreibstoffindustrie sowie der Europäischen Kommission dar und hat zum Ziel, bis 2020 eine jährliche Produktionskapazität von 2 Millionen Tonnen Biokerosin aufzubauen. Dazu sind rund neun Bioraffinerien mit einer Verarbeitungskapazität von je 1.2 Millionen Tonnen Biomasse pro Jahr notwendig, bei einer Anlagenleistung von je etwa 300 MW_{Treibstoff} und Investitionen im Umfang von rund 3 Milliarden Euro.¹ Biokerosin kann unter anderem über die Vergasung hergestellt werden (Maniatis et al 2011).

Verschiedene Industriekonsortien haben in den letzten Jahren Verfahren zur Bereitstellung von

¹ CONSTANTINESCU T (2012) The Biofuels Flight Path. http://ec.europa.eu/energy/technology/events/doc/20120320_summary.pdf (1.11.2013).

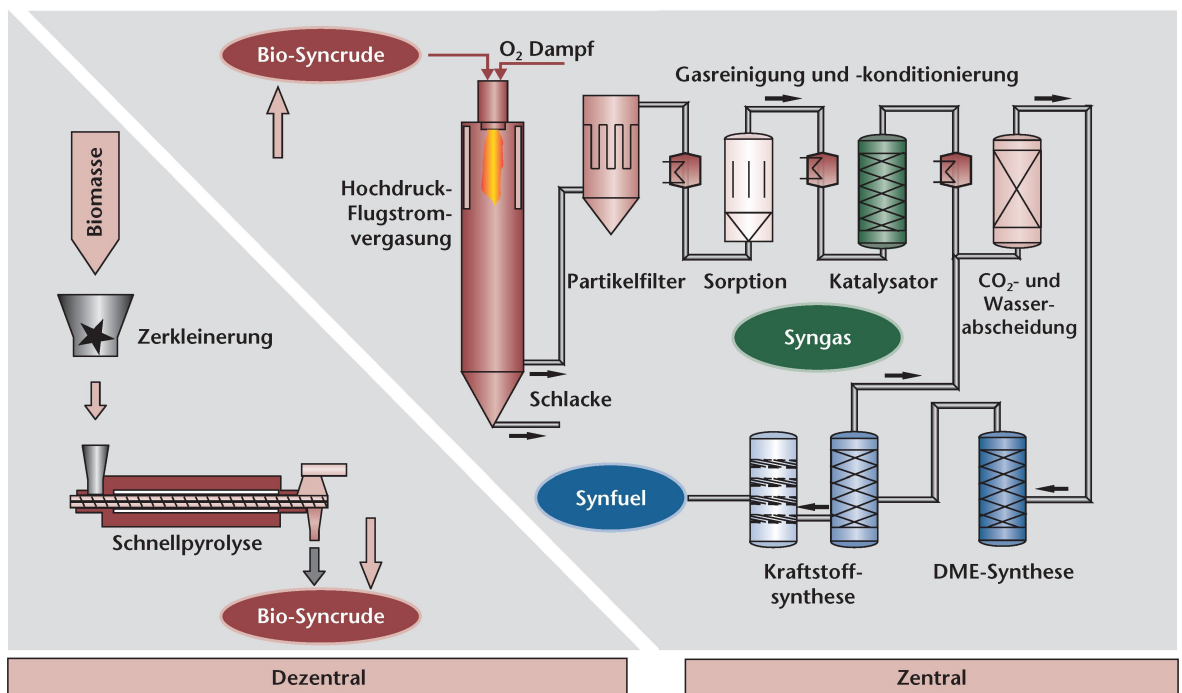


Abb 4 Verfahrensschema des Bioliq-Prozesses (Dinjus & Dahmen 2012, verändert). In der ersten Stufe (links) wird ein Bio-Syncrude erzeugt (Gemisch von Pyrolyseöl und Koks), der in einer zweiten Stufe (rechts) zum sogenannten Syngas (Synthesegas) vergast wird. In der Synthese werden Treibstoffe erzeugt (Synfuel).

flüssigen Biotreibstoffen aus Synthesegas entwickelt. Grundsätzlich kommen die Flugstrom- oder die Wirbelschichtvergasung infrage. Bei der Flugstromvergasung wird bei Temperaturen von 1200 bis 1400 °C die Biomasse innerhalb weniger Sekunden vergast. Einer der Vorteile der Flugstromvergasung ist, dass das Synthesegas üblicherweise bei hohem Druck vorliegt, der für die nachgeschalteten Syntheseprozesse sowieso erforderlich ist. Der hohe Druck von 25 bis 80 bar erfordert jedoch ein Brennstoffbeschickungssystem, das bei diesem Druck zuverlässig arbeitet. Für die Kohlevergasung wurden solche Beschickungssysteme entwickelt, und sie werden in der Praxis zum Beispiel von Siemens eingesetzt.² Die Biomasse kann über die sogenannte Torrefizierung in einen Brennstoff umgewandelt werden, der sich vergleichbar wie Kohle handhaben lässt (Kiel 2012). Die technische Machbarkeit der Verfahrenskette Torrefizierung–Flugstromvergasung–Synthese von flüssigen Biotreibstoffen soll unter anderem mit dem «BioTfuel»-Projekt in Frankreich nachgewiesen werden (Viguié 2013).

Eine alternative Vorbehandlung der Biomasse zur Torrefizierung ist die Pyrolyse. Dieser Weg wird mit dem Bioliq-Prozess verfolgt, der in Abbildung 4 dargestellt ist. In der ersten Stufe wird in dezentralen Anlagen <50 MW_{th} ein Bio-Syncrude erzeugt (Gemisch von Pyrolyseöl und Koks), der in einer zweiten Stufe in zentralen Flugstromvergasungsanlagen vergast wird.³ Die komplette Prozesskette wurde in den letzten Jahren im Pilotmasstab am Karlsruher Institut für Technologie errichtet und befindet sich derzeit in der Phase der Inbetriebnahme.

Alternativ zur Flugstromvergasung kommt die Wirbelschichtvergasung zur Erzeugung von flüssigen Treibstoffen infrage. Nachteilig ist, dass im Synthesegas aus der Wirbelschichtvergasung erhebliche Mengen an Methan und höheren Kohlenwasserstoffen enthalten sind. Um möglichst hohe Wirkungsgrade zu erreichen, sind diese Gasanteile in Wasserstoff und Kohlenmonoxid umzuwandeln. Die Verfahrenskette der Wirbelschichtvergasung–Gasaufbereitung–Synthese von flüssigen Biotreibstoffen wurde beispielsweise in Varkaus (Finnland) im Pilotmasstab demonstriert (Jokela 2011). Aufbauend auf diesen Erfahrungen wurde das Design für eine erste kommerzielle Anlage festgelegt.

Unkonventionelle Vergasung

Es gibt mehrere Ansätze der unkonventionellen Vergasung zur Erzeugung von flüssigen Biotreibstoffen. Ein neuer, besonders interessanter Ansatz wird mit dem IH2-Prozess verfolgt, der am Gas Technology Institute (GTI) entwickelt wurde. Über einen mehrstufigen Prozess soll eine breite Palette von Biomassesortimenten in ein Benzin-Diesel-Gemisch umgewandelt werden. Neben Holz sollen landwirtschaftliche Reststoffe und Algen verarbeitet werden können. Im ersten thermochemischen Umwandelungsschritt wird bei moderaten Drücken und Temperaturen die trockene Biomasse katalytisch in ei-

² METZ T (2012) Siemens Kohlevergasungstechnologie – Syngas für Second Generation Fuels. 1. Nürnberger Fach-Kolloquium «Methanisierung und Second Generation Fuels», Nürnberg 29./30.5.2012

³ www.bioliq.de/55.php (17.11.2013)

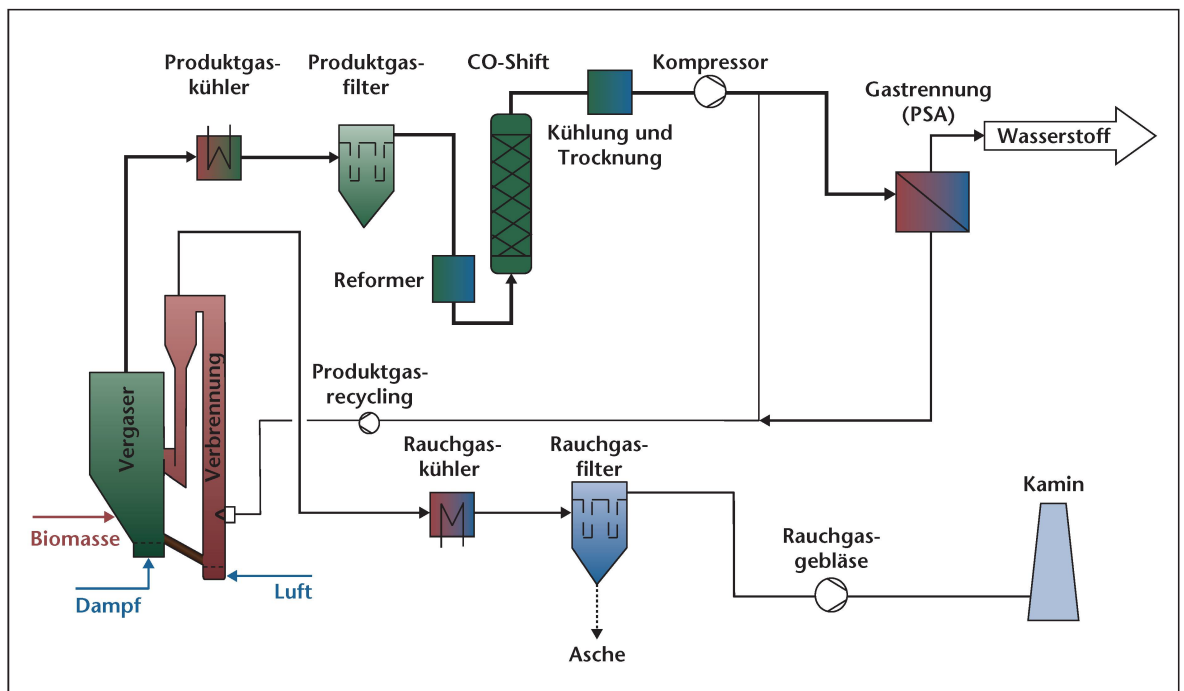


Abb 5 Verfahrensschema für die am OMV-Standort Schwechat (Österreich) geplante Biowasserstoffanlage. Die Brennstoffwärmeleistung beträgt 50 MW, die Wasserstoffleistung 30 MW (Aichernig et al 2012).

ner Wirbelschichtanlage mit Wasserstoff vergast. Im zweiten Schritt wird aus dem Zwischenprodukt des Vergasers in einem Festbett das Benzin-Diesel-Gemisch synthetisiert. Die kommerziellen Anlagen sollen entweder in Erdö Raffinerien integriert werden oder eigenständige Anlagen sein. Die von den Entwicklern betrachtete Leistungsgröße für den IH₂-Prozess beträgt 2000 Tonnen Biomasse absolut trocken (atro) pro Tag (Marker et al 2012). Für Holz entspricht dieser Brennstoffmassenstrom einer Leistung von rund 400 MW_{th}.

Ethanol der 2. Generation (Holzverzuckerung)

Neben thermochemischen Prozessen über die Vergasung gibt es auch biochemische Prozesse zur Erzeugung von flüssigen Treibstoffen. Im Vordergrund stehen Verfahren zur Erzeugung von Ethanol aus Lignozellulose. In derzeitigen biotechnologischen Verfahren wird die Biomasse zunächst thermochemisch vorbehandelt. Im nächsten Schritt spalten Enzyme die Zellulose zu Einfachzuckern, welche Mikroorganismen zu Ethanol vergären. Für eine kommerzielle Nutzung ist es notwendig, diesen Prozess stark zu vereinfachen und kostengünstiger zu machen. Ligninreiches Holz lässt sich biotechnologisch allerdings schlecht in Ethanol umwandeln. Im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms «Ressource Holz» (NFP66) wird ein vereinfachtes, integriertes Verfahren zur Gewinnung von Ethanol aus vorbehandelter Lignozellulose untersucht. Die Forscher erweitern das eingesetzte mikrobielle Konsortium mit Lignin abbauenden Pilzstämmen und untersuchen, ob sich da-

durch Ausbeute und Reaktionsrate verbessern und der Energieverbrauch im Vorbehandlungsschritt reduzieren lässt (Studer 2012).

Erzeugung von gasförmigen Biotreibstoffen

Wasserstoff

Wasserstoff wird heute hauptsächlich über die Dampfreformierung von Erdgas hergestellt. Dabei wird aus Methan und Wasserdampf mithilfe eines Katalysators bei 900 °C ein Gemisch von Wasserstoff und Kohlenmonoxid erzeugt. Über eine nachgeschaltete Wassergas-Shiftreaktion wird das Kohlenmonoxid in Wasserstoff umgewandelt. Das erzeugte Kohlendioxid und der Restwasserdampfgehalt müssen in einem letzten Schritt aus dem Rohwasserstoff abgeschieden werden.

Anstelle von Erdgas kann Synthesegas aus der Biomassevergasung eingesetzt werden. Grundsätzlich kommt die Flugstrom- oder die Wirbelschichtvergasung infrage. Der Vorteil der Flugstromvergasung ist in diesem Fall, dass bereits sämtliches Methan nicht katalytisch abgebaut ist. Bei der Wirbelschichtvergasung muss der hohe Methananteil zusätzlich abgebaut werden.

Der erzeugte reine Biowasserstoff kann direkt als gasförmiger Biotreibstoff eingesetzt werden (Verbrennungsmotor, Brennstoffzelle). Da heute Erdö Raffinerien grosse Mengen an fossilem Wasserstoff verarbeiten (Entschwefelung, Konversion schwerer Rohölkomponenten), kann in der Raffinerie über

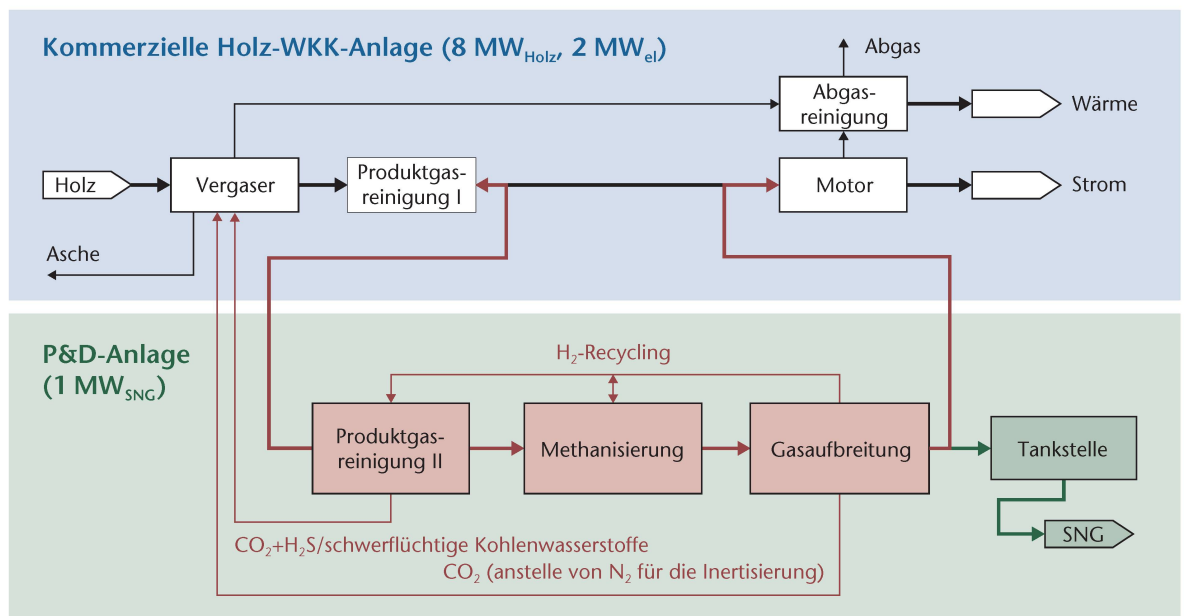


Abb 6 Verfahrenschema der 1-MW_{SNG}-Pilot- und Demonstrationsanlage in Güssing (Seiffert et al 2009). SNG: synthetic natural gas (Biomethan).

Biowasserstoff sehr effizient erneuerbare Energie in den fossilen Treibstoff eingebracht werden.

Das am weitesten fortgeschrittene Vorhaben zur Erzeugung von Wasserstoff aus Biomasse war das mittlerweile sistierte Projekt der Firma OMV. Am Raffineriestandort Schwechat (Österreich) war eine Anlage mit 50 MW_{th} geplant, um fossilen Wasserstoff zu ersetzen. Das Verfahrenskonzept ist in Abbildung 5 dargestellt. Bei der Vergasung sollte das in Güssing eingesetzte Verfahren der TU Wien (Aichernig et al 2012) verwendet werden. Mit dem Verfahren wurde ein Wirkungsgrad in der Umwandlung von Biomasse zu Wasserstoff von 60% angestrebt. Zusätzlich sollten 18% als Fernwärme nutzbar sein.

Synthetisches Erdgas

In den letzten zehn Jahren hat das Interesse an der Bereitstellung von synthetischem Erdgas (synthetic natural gas, SNG; Biomethan) aus Holz in verschiedenen europäischen Ländern zugenommen, da in der EU eine Steigerung des erneuerbaren Erdgases auf bis zu 10% im Jahr 2030 angestrebt wird. Besonders in Ländern, in welchen die Erzeugung von Methan durch Vergärung Tradition hat, wird die Weiterentwicklung von Schlüsseltechnologien zur Umwandlung von Holz in SNG aktiv gefördert. Dazu gehören einerseits die Vergasung und andererseits die Methanisierung. Bei der Methanisierung wird aus Wasserstoff und Kohlenmonoxid bei Temperaturen von 300 bis 450 °C über einen katalytischen Prozess Methan erzeugt. Es gibt eine grosse Anzahl von möglichen Methanisierungsverfahren (Kopyscinski et al 2010). Bei herkömmlichen Verfahren mit Festbettreaktor sind die Anforderungen an die Qualität des Produktgases sehr streng. Insbesondere müssen ein stöchiometrisches Gemisch von Wasserstoff und

Kohlenmonoxid ($\text{CO} + 3 \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$) eingestellt und Olefine (vor allem Ethylen, C_2H_4) entfernt beziehungsweise umgewandelt werden. Diese Anforderung der konventionellen Festbettmethanisierung erschwert die thermoökonomische Optimierung von Vergasung, Gasreinigung und Methanisierung, da das Produktgas aus den infrage kommenden Wirbelschichtvergäsern neben Kohlenmonoxid und dem gewünschten Methan auch grössere Mengen Ethylen enthält. Ein am Paul Scherrer Institut entwickeltes und patentiertes Methanisierungsverfahren wandelt in einer Wirbelschichtanlage das Produktgas aus der Holzvergasung in ein Gemisch von Methan, Ethan, Kohlendioxid, Wasserstoff und Dampf um. Das Verfahren wurde im Teilstrom der Vergasungsanlage in Güssing im 1-MW_{SNG}-Massstab errichtet und erfolgreich betrieben (Seiffert et al 2009). In Abbildung 6 ist das Verfahrensschema der Pilot- und Demonstrationsanlage dargestellt.

Es gibt eine grössere Anzahl von Forschungs-, Pilot- und Demonstrationsprojekten in Europa zur Umwandlung von Biomasse in SNG (Biollaz & Schildhauer 2012). Das in der Praxisumsetzung am weitesten fortgeschrittene ist das «Gothenburg Biomass Gasification»-Projekt in Göteborg, Schweden.⁴ An einem Hafenstandort wird zurzeit eine 20-MW_{SNG}-Anlage gebaut (Inbetriebnahme geplant auf Ende 2013), die auf einer Koppelung der klassischen Zweibettwirbelschichttechnologie der TU Wien (Repotec GmbH, Metso) mit einer Festbettmethanisierung von Haldor-Topsoe A/S basiert. In einer zweiten Ausbaustufe soll eine 80-MW_{SNG}-Anlage gebaut werden. Als Brennstoffe sind lokal anfallendes Waldenergieholz und Restholz aus der Holzverarbeitung, aber

⁴ <http://gobigas.goteborgenergi.se/En/Start> (31.10.2013)

auch Importe aus den Baltischen Staaten vorgesehen. Ziel ist ein Wirkungsgrad in der Umwandlung von Holz zu SNG von 65% und ein Gesamtwirkungsgrad inklusive Abwärmenutzung von über 90%.

Die bereits beschriebenen Weiterentwicklungen der Vergasertechnologie werden auch für die Erzeugung von SNG interessant sein (Schmid et al 2011, van der Meijden 2010). Eine weitere interessante Variante der Zweibettwirtschichtvergasung basiert auf dem sogenannten Heatpipe-Reformer. Im Gegensatz zu den Entwicklungen der TU Wien und von ECN erfolgt der Wärmetransport über Heatpipes und nicht über das Bettmaterial. Damit kann der Vergasungsdruck unabhängig von der Brennkammer eingestellt werden. Im Rahmen des EU-Projektes «CO₂ free SNG» wurde ein Konzept für eine kommerzielle Anlage mit 50 MW_{th} entwickelt (Karl 2013).

Ausblick

Die Erwartungshaltung in Bezug auf die Bereitstellung von Biotreibstoffen der zweiten Generation ist hinsichtlich Mengen, Preisen und Nachhaltigkeit unverändert hoch. In Europa wurde mit dem EIBI-Umsetzungsplan (EIBI 2010) sowie den Ende 2011 verabschiedeten, ehrgeizigen Leistungskenngrößen (Setis 2011) ein Rahmen geschaffen, der sich positiv auf die weitere Entwicklung der Biomassevergasung auswirken sollte. Ende 2012 wurde von der NER300-Initiative⁵ eine Liste von acht förderwürdigen Biomasse-Flaggschiffprojekten veröffentlicht.⁶ Diese Projekte sollen insgesamt mit rund 600 Millionen Euro unterstützt werden und bis Ende 2016 in Betrieb gehen. Von diesen acht Projekten sind vier Biomassevergasungsprojekte zur Erzeugung von Biomechan, Methanol oder Diesel. Zwei Projekte haben die Erzeugung von Bioethanol aus Lignozellulose zum Ziel. Als Rohstoffe sollen landwirtschaftliche Reststoffe (z.B. Stroh) oder Energiepflanzen verarbeitet werden. Holz kommt nicht zum Einsatz. Zur Stromerzeugung über Biomassevergasung wurden keine Projekte eingereicht.

Zur Förderung der nächsten Generation von EIBI-Biomassetechnologien erfolgte Anfang 2013 eine europäische Ausschreibung für Pilot- und Demonstrationsanlagen.⁷ Das Besondere an dieser Ausschreibung ist, dass die beteiligten EU-Länder und die assoziierten Mitgliedsländer (u.a. die Schweiz) sich vorgängig über die Prioritäten einig werden müssen und später die bewilligten Projekte über die gesamte Projektlaufzeit auch im direkten Vergleich bewertet werden sollen.

Aufgrund der Erfahrungen der letzten Jahre sollen die Aktivitäten zur Erforschung, Entwicklung und Demonstration fortschrittlicher Verfahren im Rahmen des europäischen Forschungsprogramms «Horizon 2020» weiter verstärkt werden. Insbeson-

dere soll im Rahmen einer Public-Private-Partnership eine gemeinsame Technologieinitiative («Bridge»)⁸ gestartet werden, damit die Grundlagen für eine europäischen Bioindustrie geschaffen werden.

Um das erwartete Potenzial zu verwirklichen und die Wettbewerbsfähigkeit von Europas gesamter biobasierter Industrie sowie deren Wertschöpfungsketten auf globalen Märkten zu sichern, sind aus Sicht der Europäischen Kommission und der Industrie folgende Schwierigkeiten zu überwinden (Europäische Kommission 2013):

- Biomasse als Ausgangsstoff muss in Europa auf nachhaltige Weise bezogen werden.
- Die Akteure entlang der Wertschöpfungsketten (einschliesslich Land- und Forstwirtschaft, Industriezweige und Abfallentsorgungsunternehmen) müssen Kooperationen eingehen, damit die Ressourceneffizienz verbessert wird.
- Es müssen neue Verfahren entwickelt werden, um die Biomasse in normierte Produkte umzuwandeln. Dazu wird es erforderlich sein, grundlegend unterschiedliche technologische Optionen (z. B. enzymbasierte und thermochemische Prozesse) gleichzeitig voranzubringen und dazu intensive, breit gefächerte Forschung zu betreiben, um die Effizienz der Prozesse zu steigern und den Ertrag zu optimieren.
- Es sind erhebliche Investitionen in den Ausbau von Technologie und Infrastruktur vonnöten, um die bestehenden biobasierten Industriezweige (z.B. Zellstoff und Papier, Biotreibstoffe, Stärke, chemische Industrie) zu modernisieren und neue, skalierbare und integrierte Bioraffineriemodelle zu entwickeln.
- Die erfolgreiche Einführung neuer biobasierter Produkte erfordert die Entwicklung von Normen sowie von Kennzeichnungs- und Zertifizierungssystemen, ebenso die Akzeptanz der Kunden. Die Preise sollten die externen Kosten angemessen widerspiegeln, und die Verbraucher sollten in der Lage sein, eine Produktauswahl in voller Sachkenntnis zu treffen.

Die geplante gemeinsame Technologieinitiative wird sich schwerpunktmässig mit der Umwandlung nicht essbarer Teile von Pflanzen wie Holz und biologisch abbaubarer Abfälle in biobasierte Produkte sowie Biotreibstoffe und Biobrennstoffe befassen.

Noch nicht sichergestellt ist die Finanzierung der breiten Markteinführung von neuen Biomassetechnologien im grossen Leistungsbereich, inklusive

5 Finanzierungsprogramm der Europäischen Kommission für Demonstrationsprojekte zur Kohlenstoffabscheidung und -speicherung und innovative Technologien im Bereich erneuerbare Energien

6 Medienmitteilung der Europäischen Kommission vom 18.12.2012: «Klimapolitik: Kommission vergibt 1,2 Mrd. EUR als Starthilfe für 23 innovative Projekte für erneuerbare Energien». http://europa.eu/rapid/press-release_IP-12-1385_de.htm (31.10.2013).

7 <http://erantestf.net> (31.10.2013)

8 <http://bridge2020.eu> (31.10.2013)

der Biomassevergasungstechnologien. Dies ist vor allem eine Aufgabe von Politik und Finanzindustrie. Es zeigt sich, dass für die Finanzindustrie Investitionen in Windkraft- oder Solaranlagen wesentlich einfacher und sicherer sind und damit nur sehr zurückhaltend in Biomasseanlagen investiert wird.⁹ Entsprechend wird unter anderem von den Akteuren des Biofuels Flight Path gefordert, dass die politischen Entscheidungsträger die Rahmenbedingungen schaffen, dank welchen das kommerzielle Risiko für Investoren reduziert wird (Maniatis 2011). Diese Forderung ist technologieunabhängig und besonders in der Phase der Markteinführung neuer Technologien verständlich. In den Energiesektoren «Biowärme» und «Biostrom» wurde in der Vergangenheit gezeigt, wie die Markteinführung neuer Technologien mit entsprechenden Massnahmen unterstützt werden kann. Das deutsche Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien vom 25. Oktober 2008 (EEG, BGBl. I S. 2074, FNA 754-22) ist ein Beispiel für den Sektor Biostrom (DBFZ 2012).

Die Erfahrung der letzten Jahre zeigt, dass es ohne vertieften Dialog zwischen den Entscheidungsträgern aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft kurzfristig nicht zu einer breiten Markteinführung von fortschrittlichen Technologien (z.B. Vergasertechnologien) kommen wird. Dabei ist die Markteinführung für die jeweilige Technologie beziehungsweise den jeweiligen Technologiecluster umso schwieriger, je grösser die geografischen Räume sind, in welchen sich die politischen Entscheidungsträger einig werden müssen. Diejenigen Technologien werden auf dem Markt erfolgreich sein, die robust und zuverlässig funktionieren, preiswert sind und sich nahtlos in die bestehende Energieinfrastruktur integrieren lassen. Die vorgestellten Beispiele zeigen, dass es mehrere Biomassevergasungstechnologien gibt, welche diese Anforderungen erfüllen beziehungsweise erfüllen können. In den nächsten Jahren ist mit weiteren technologischen Durchbrüchen zu rechnen. Noch offen ist die Frage, welche dieser Technologien direkt in der Schweiz realisiert werden. Grundsätzlich ist denkbar, dass nur die Sekundärenergien wie Strom, SNG und flüssige Treibstoffe importiert werden. Dies ist unter anderem der Ansatz in den Modellrechnungen von Prognos (2012) für flüssige Treibstoffe im Szenario «Neue Energiepolitik», welche das BFE für die Energiestrategie 2050 in Auftrag gegeben hat. Es gilt somit in Zukunft, die Entwicklungen in Europa weiter aktiv zu beobachten, internationale Zusammenarbeit einzugehen sowie darauf aufbauend für die Schweiz anwendbare Lösungsansätze zu identifizieren und umzusetzen. ■

Eingereicht: 31. Juli 2013, akzeptiert (mit Review): 11. November 2013

⁹ SCHREURS J (2012) Where are the banks? http://ec.europa.eu/energy/technology/events/doc/20120320_summary.pdf (1.11.2013).

Literatur

- AICHERNIG C, RAUCH R, LICHTSCHEIDL J (2012) BioH2-4Refineries. Erzeugung von Wasserstoff für Raffinerien über Biomassevergasung. www.klimafonds.gv.at/assets/Uploads/5BioH2-4RefineriesRepotec.pdf (1.11.2013).
- ALAKANGAS E, PANOUTSOU C (2012) How much biomass demand can be met by 2020? www.biofuelstp.eu/biomass-workshop/pdf/alakangas-panoutsou.pdf (1.11.2013).
- BIOLLAZ S, SCHILDHAUER T (2012) Methan aus Holz in Europa – Technologiebeurteilung aus Schweizer Sicht. *Aqua Gas* 92 (9): 64–68.
- BÖTTCHER H, FRANK S, ELBERSEN B, ALEXOPOULOU E (2012) Deliverable 3.5: Biomass availability & supply analysis. Laxenburg: International Institute for Applied Systems analysis. 18 p. www.biomassfutures.eu/public_docs/final_deliverables/WP3/D3.5%20Summary.pdf (1.11.2013).
- DBFZ (2012) Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse. Endbericht zur EEG-Periode 2009 bis 2011. Leipzig: Deutsches Biomasse-Forschungszentrum. 120 p.
- EIBI (2010) Boosting the contribution of Bioenergy to the EU climate and energy ambitions. Implementation Plan 2010–2012. Gülzow: European Industrial Bioenergy Initiative. http://ec.europa.eu/energy/technology/initiatives/doc/implementation_plan_2010_2012_eii_bioenergy.pdf (1.11.2013).
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (2013) Vorschlag für eine Verordnung des Rates über das Gemeinsame Unternehmen «Biobasierte Industriezweige». Brüssel: Europäische Kommission, COM (2013) 496 final. 53 p.
- HONKOLA T (2013) Industrial gasification demonstration plants by Metso. www.ffrc.fi/FlameDays_2013/Presentations/Honkola.pdf (1.11.2013).
- IEA (2011) Technology roadmap: Biofuels for transport. Paris: International Energy Agency. 56 p.
- IEA (2012) Technology roadmap: Bioenergy for heat and power. Paris: International Energy Agency. 68 p.
- ISAKSSON J (2012) Kymijärvi II – Waste gasification plant. www.vtt.fi/files/download/lahti_stream/D54_Proceedings_of_the_seminar.pdf (1.11.2013).
- JOKELA V (2011) NSE Biofuels Oy Wood Based BTL Diesel Development 2007–2011. www.ieatask33.org/app/webroot/files/file/minutes_and_presentations/Pitea_Oct2011/Workshop/V_Jokela_NSE_gasification.pdf (1.11.2013).
- JUDEX J (2010) Grass for power generation. Extending the fuel flexibility for IGCC power plants. Zürich: ETH Zürich, Dissertation. 237 p. doi: 10.3929/ethz-a-006032252
- KARL J (2013) Biomass heat pipe reformer – design and performance of an indirectly heated steam gasifier. *Biomass Conv Bioref*. doi: 10.1007/s13399-013-0102-6
- KEEL A (2013) Standortevaluation Holz-WKK; Überprüfung bestehender Holzenergieanlagen auf die zukünftige Möglichkeit der Stromerzeugung. Bern: Bundesamt Energie. 100 p.
- KIEL J (2012) Torrefaction: Fundamentals, processes, and potential for biomass – supplementation or competition to wood pellets? www.holzenergie-symposium.ch/Dokumente/Tg-band12HES.pdf (1.11.2013).
- KOPYSZCINSKI J, SCHILDHAUER T, BIOLLAZ S (2010) Production of synthetic natural gas (SNG) from coal and dry biomass – a technology review from 1950 to 2009. *Fuel* 89: 1763–1783.
- MANIATIS K, WEITZ M, ZSCHOCKE A, EDITORS (2011) 2 million tons per year – a performing biofuels supply chain for EU aviation. Brussels: European Commission. 27 p.
- MANTAU U ET AL (2010) EUwood – Real potential for changes in growth and use of EU forests. Hamburg: Univ Hamburg. 160 p.
- MARKER T ET AL (2012) Biomass to gasoline and diesel using integrated hydrolysis and hydroconversion. Illinois: Gas Technology Institute. 123 p. doi: 10.2172/1059031

- NAGEL F (2008)** Electricity from wood through the combination of gasification and solid oxide fuel cells. Zürich: ETH Zürich, Dissertation. 352 p. doi: 10.3929/ethz-a-005773119
- PROGNOS (2012)** Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050. Bern: Bundesamt Energie. 904 p.
- PRÖLL T, PFEIFFER C (2012)** G-volution: ein innovatives Zweibett-wirbelschichtsystem zur Dampfvergasung von Biomasse. www.klimafonds.gv.at/assets/Uploads/Broschren/Science-Brunch-Broschren/11bioenergieklimaschutz.pdf (1.11.2013).
- RHC-TP (2010)** Biomass for heating & cooling, vision document. Brussels: Renewable Heating & Cooling Technology Platform. 20 p.
- SCHMID J ET AL (2011)** G-volution. Biomasse-Dampfvergaser der zweiten Generation. Wien: Techn Univ Wien. 38 p.
- SEIFFERT M ET AL (2009)** Bio-SNG. Demonstration of the production and utilization of synthetic natural gas (SNG) from solid biofuels. Leipzig: Deutsches Biomasse-Forschungszentrum. 52 p.
- SETIS (2011)** Key performance indicators for the EIBI. Brussels: European Commission. 8 p.
- STUDER M (2012)** Einstufige Fermentation von Holz zu Ethanol in einem Membran-Biofilm-Reaktor. www.nfp66.ch/D/projekte/holz_als_rohstoff_fuer_verwertbare_chemische_substanzen/einstufige-fermentation-von-holz-zu-ethanol-in-einem-membran-biofilm-reaktor/Seiten/default.aspx (11.11.2013).
- VAN DER MEIJDEN CM (2010)** Development of the MILENA gasification technology for the production of Bio-SNG. Eindhoven: Techn Univ Eindhoven, Dissertation. 206 p.
- VIGUIÉ JC (2013)** BioTfuel Project: Targeting the development of second-generation biodiesel and biojet fuels. Oil Gas Sci Technol. 12 p. www.ifpenergiesnouvelles.com/content/download/71465/1526940/file/DP_Biotfuel_VA.pdf (17.11.2013).

Stand der Technik und Trends bei der Erzeugung von Strom und Treibstoffen aus Holz

Fortschrittliche Umwandlungsprozesse wie die Vergasungstechnologie für Biomasse wurden die letzten 30 Jahre kontinuierlich weiterentwickelt. Erste kommerzielle Anlagen sind in Betrieb gegangen. Über diesen Zeitraum hat sich die Motivation für die Biomassevergasung immer wieder geändert. Zuerst stand die Erzeugung von Hochtemperaturwärme im Vordergrund, später die Stromerzeugung und die Wärme-Kraft-Kopplung. Seit zehn Jahren wird die Erzeugung von flüssigen und gasförmigen Biotreibstoffen über die Vergasung intensiver untersucht und entwickelt, womit die Anforderungen an die Gasqualität gestiegen sind. Dieser Beitrag fokussiert auf die Vergaserentwicklung innerhalb von Europa. Ausgewählte Beispiele vermitteln einen aktuellen Eindruck vom Stand und von den zu erwartenden Entwicklungen von Vergasungsanlagen zur Herstellung von Strom und flüssigen oder gasförmigen Biotreibstoffen. Die Beispiele machen deutlich, dass noch ein erhebliches Innovationspotenzial besteht. In den nächsten Jahren ist somit mit weiteren technologischen Durchbrüchen zu rechnen. Diese Entwicklung wird voraussichtlich verstärkt durch den Umsetzungsplan der Europäischen Industrieinitiative für Bioenergie (EIBI) und die in Europa geplante Public-Private-Partnership der biobasierten Industriezweige («Bridge»). Es wird erforderlich sein, grundlegend unterschiedliche technologische Optionen (z.B. enzymbasierte und thermochemische Prozesse) gleichzeitig voranzubringen und dazu intensive, breit gefächerte Forschungsarbeiten durchzuführen, um die Effizienz der Prozesse zu steigern und den Ertrag zu optimieren. Für eine breite Markteinführung von grossskaligen Biomassevergasungsanlagen, d.h. mit einer Leistung von mindestens 50 MW_{Holz}, sind jedoch zusätzlich politische und finanzielle Rahmenbedingungen zu schaffen, um das kommerzielle Risiko für Investoren zu mindern. Die Biomassevergasung kann aufgrund ihrer technischen Möglichkeiten einen wichtigen Beitrag leisten zur Reduktion von CO₂ sowie von nicht erneuerbaren Energieträgern und ist als wichtiger Bestandteil eines Gesamtenergiesystems zu verstehen.

Etat de la technique et tendances nouvelles dans la production d'électricité et de carburants à partir du bois

Des procédés de production avancés, tels que la technologie de la gazéification de la biomasse, sont en développement continu depuis les 30 dernières années. Les premières installations commerciales sont en service. Au cours de cette période, la motivation pour la gazéification de la biomasse a changé à plusieurs reprises. Tout d'abord, la production de chaleur à haute température avait la priorité, puis vint la production d'électricité ou la cogénération (production combinée de chaleur et électricité). Depuis dix ans, la production de biocarburants liquides et gazeux par gazéification a été étudiée et mise au point de façon intensive, ce qui a accru les exigences sur la qualité du gaz de synthèse. Cet article se concentre sur le développement de la gazéification de la biomasse en Europe. Quelques exemples donnent une idée de la situation actuelle et des développements attendus pour les installations de gazéification, soit pour la production d'électricité, des biocarburants ou des biocarburants liquides et gazeux. Les exemples montrent clairement qu'il existe encore un potentiel d'innovation considérable. Dans les années à venir, on peut s'attendre à de nouvelles percées technologiques. Ce développement devrait être renforcé par la mise en œuvre de l'Initiative industrielle européenne sur la bioénergie (EIBI) et par un partenariat public-privé prévu dans le secteur industriel européen des bioproduits («Bridge»). Il sera nécessaire de mener des recherches intensives sur des options technologiques fondamentalement différentes (par exemple, les procédés à base d'enzymes ou thermochimiques), d'accroître l'efficacité des procédés et d'optimiser les rendements. Pour l'introduction sur le marché de la gazéification de la biomasse à grand échelle, soit un rendement d'au moins 50 MW_{bois}, il est toutefois nécessaire de créer de plus des conditions politiques et financières, afin de réduire le risque commercial pour les investisseurs. En raison de leurs capacités techniques, la gazéification de la biomasse peut apporter une contribution importante à la réduction du CO₂ ainsi que des sources d'énergie non renouvelables, et fait partie importante d'un système global d'énergie.