

Biomasse leistet einen wichtigen Beitrag zur Energiewende:

Designer-Kraftstoffe aus biogenen Resten



In der Karlsruher bioliq-Pilotanlage werden umweltverträgliche, vollsynthetische Kraftstoffe („Designer-Kraftstoffe“) aus biologischen Reststoffen gewonnen.

In biostämmigen Kraftstoffen steckt ein großes Potential: Schon heute ersetzen sie an vielen Stellen fossile Energieträger und leisten damit einen wichtigen Beitrag zum Mix aus erneuerbaren Energien. Ein wichtiger Aspekt zur Herstellung hochwertiger Biokraftstoffe ist auch die Umsetzung des Biokraftstoffquotengesetz, das von den Mineralöl-Unternehmen durch Zumischung geeigneter Biokraftstoffe eingehalten werden muss. Technische, ökologische und ökonomische Vorteile für moderne Mobilitätskonzepte bieten vor allem BTL-Kraftstoffe (Biomass-to-Liquid) der 2. Generation: Durch den Einsatz von Biomasse oder Restbiomasse zum Beispiel auch aus der Papierindustrie können umweltverträgliche und effiziente Treibstoffe für eine saubere Verbrennung hergestellt werden.

Biomasse oder Restbiomasse, unter bestimmten Bedingungen auch aus der industriellen Produktion der Papierwirtschaft, kann schon heute einen wichtigen Anteil dazu beisteuern, den stetig steigenden Bedarf an Kraftstoffen möglichst nachhaltig zu decken. Im ‚bioliq‘-Verfahren, das am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) entwickelt wird, entstehen im Pilot-Maßstab Kraftstoffe vor

allem aus lignozellulosereicher Restbiomasse, die auf die Bedürfnisse kommender Motorgenerationen zugeschnitten werden können. Dabei kommt der Einsatz von Restbiomasse der gesellschaftlichen Diskussion entgegen: Gesonderte extra Anbauflächen für Nahrungs- und Futtermittelbau zur Kraftstoffherstellung gelten als Verschwendung und geraten ethisch oft in Verruf.

Fossile Energieträger sind nach wie vor die dominante Basis der heutigen Energieversorgung. Auch wenn die Prognosen über den Zeitraum ihrer vollständigen Ausbeutung deutlich voneinander abweichen, so besteht an deren langfristiger Verknappung grundsätzlich kein Zweifel. Lösungen für eine nachhaltige, erneuerbare Energieversorgung bekommen deshalb neue politische und wirtschaftliche Impulse. Wie man regelmäßig an Hand der Preisentwicklungen für Erdöl, Gas oder Strom aufzeigen kann, sind oft schon kleine Schwankungen im Marktgefüge dafür verantwortlich, Energie in großem Umfang zu verteuern und die Energie-Produkte zu schwankungsanfälligen Gütern zu machen - mit entsprechenden Folgen für Weltwirtschaft, für die Industrienationen und letztendlich auch für den Endverbraucher. Die konsequente Nutzung erneuerbarer Energieträger kann diese Unsicherheiten reduzieren und zusätzlich einen Beitrag zur verbesserten Emission von Kohlendioxid (CO₂) leisten. Obwohl im Rahmen der Energiewende bereits verschiedene Konzepte für eine nachhaltige Energieversorgung im Bereich Strom und Wärme realisiert wurden und z. B. Wasserkraft, Geothermie, Solarenergie und Windkraft primär schon zu deren Erzeugung eingesetzt werden, stellt vor allem die umfassende Nutzung von Biomasse zur Herstellung vollsynthetischer, qualitativ hochwertiger und nachhaltiger Kraftstoffe eine besondere Herausforderung an Forschung & Entwicklung dar.



Für Altholz (oben) gelten dieselben Bedingungen wie für Altpapier, Pappe und Kartonagen bezüglich unerwünschter Fremdstoffe. Stroh (unten) ist sehr gut für die Synthese zu Kraftstoffen geeignet.



Mit der neuen Karlsruher Pilotanlage am KIT soll die Industrietauglichkeit des bioliq-Verfahrens unter Beweis gestellt werden.

Obwohl die pflanzliche Biomasse nicht fossilen Ursprungs ist, kann sie für eine energetische Nutzung aufbereitet und anschließend heizwertreich verwertet werden. Biomasse nimmt dabei als Energierohstoff eine Sonderstellung ein: Als einzige erneuerbare Kohlenstoffquelle hat Biomasse nicht nur eine besondere Bedeutung für die Herstellung von Kraft- und Brennstoffen, sondern auch für die Produktion typischer organischer Grundchemikalien in der chemischen Industrie. Biomasse und Restbiomasse sind deshalb mittlerweile zu sehr begehrten Einsatzstoffen geworden. Da pflanzliche Biomasse der Biosphäre entnommen wird, muss durch die wachsende Nachfrage des „Energierohstoffs“ auch beachtet werden, dass eine langfristige Entnahme mit allen Aspekten einer nachhaltigen Produktion verträglich sein muss. Darüber hinaus berührt die Nutzung von Biomasse als Energierohstoff viele sozioökonomische Aspekte, da für Acker-, Grünland- und Forstwirtschaft in ihrer neuen Rolle als Lieferant oder Verarbeiter von Energiepflanzen neue Logistik-, Einkommens- und Arbeitsstrukturen aufgebaut werden müssen.

Die großtechnische, hochwertige Nutzung von Biomasse ist komplex und aufwändig, da Biomasse in großer biologischer Vielfalt auftritt und die Heterogenität der Inhaltsstoffe das Netzwerk chemischer Reaktionen auch unterschiedlich beeinflusst, was verfahrenstechnisch genau gesteuert werden muss. Zudem erfordern Festbrennstoffe generell einen größeren verfahrenstechnischen Aufwand als Gas oder Öl. Die möglichst vollständige stoffliche und energetische Verwertung der Biomasse ist dabei immer im Fokus. Im Karlsruher bioliq-Verfahren werden vorwiegend trockene, an Lignozellulose reiche Restbiomassen wie Holz, Stroh oder sonstige biogene Reststoffe verwendet, die bestimmte technische Anforderungen erfüllen. Dies sind u. a. pflanzliche Biomassen, die sowohl über den geeigneten Heizwert als auch einen eher geringen Stickstoff- sowie Aschegehalt und entsprechende Anteile an Lignozellulose verfügen.

DAS KARLSRUHER BIOLIQ-VERFAHREN

Die Herstellung und Veredlung zu BTL-Kraftstoffen der 2. Generation aus Biomasse bzw. biogenen Reststoffen gliedert sich in fünf Haupt-Prozess-Schritte:

1. Schnellpyrolyse

Die trockene Biomasse wird zerkleinert und bei Umgebungsdruck unter Luftausschluss in einem Doppelschnecken-Mischreaktor mit heißem Sand als Wärmeträger gemischt. Die pyrolytische Umsetzung der Biomassepartikel bei rund 500 °C sowie die Kondensation der Pyrolysedämpfe erfolgen innerhalb von Sekunden. Je nach Betriebsbedingungen und abhängig von der eingesetzten Biomasse entsteht zu 40 bis 70 % ein flüssiges Kondensat (Pyrolyseöl) und zu 15 bis 40 % Pyrolysekoks. Den Rest bildet ein nicht kondensierbares Pyrolysegas, dessen Verbrennungswärme zum Aufheizen des Sandes oder zur Trocknung und Vorheizung der Edukte verwendet werden kann. In der Pilotanlage werden durch Schnellpyrolyse 500 kg/h (2 Megawatt) Biomasse zu bioliq-Syncrude umgesetzt.

2. Energieverdichtung: Herstellung des bioliq-Syncrude

Pyrolysekoks und Pyrolyseöl werden zu einer Suspension (bioliq-Syncrude) vermischt. Die Größenverteilung der Kokspartikel ist wichtig: Nur bei genügend kleiner Größe entsteht eine langzeitstabile Mischung, die während der Vergasung schnell und effizient umgesetzt werden kann. Die Schnellpyrolyse ermöglicht ein für die Suspension ideales Mischungsverhältnis von Pyrolysekondensaten zu Pyrolysekoks, was bei der Weiterverarbeitung zur Optimierung der Ausbeute beiträgt.

3. Flugstromvergasung

Der bioliq-Syncrude wird im Flugstromvergaser mit technischem Sauerstoff zerstäubt und bei über 1200 °Celsius zu einem teerfreien, methanarmen Rohsynthesegas umgesetzt. Der eingesetzte Vergasertyp eignet sich besonders für die ascherreiche Biomasse. Die heiße Asche schlägt sich als flüssige Schlacke an einem speziellen Kühlschirm nieder und läuft aus dem Reaktor nach unten ab. Der Prozess erfolgt unter Drücken, die von der nachfolgenden Synthese bestimmt werden; der bio-

liq-Pilotvergaser ist für 5 Megawatt (1 t/h) und zwei Druckstufen von 40 und 80 bar ausgelegt. Fischer-Tropsch-Synthesen erfordern meist Prozessdrücke bis zu 30 bar, Methanol- oder Dimethylether-Synthesen (DME) bis zu 80 bar.

4. Gasreinigung und -konditionierung

Bei der Reinigung des Rohsynthesegases werden alle Partikel, Alkalisalze, H₂S, COS, CS₂, HCl, NH₃ und HCN entfernt, um eine Vergiftung der Katalysatoren während der Kraftstoff-Synthese zu vermeiden. In der Pilotanlage kommt eine innovative Heißgasreinigung zum Einsatz, in der Partikelfiltration, Schadstoffabbau und -adsorption bei 500 °Celsius erfolgen.

5. Kraftstoff-Synthese

Kraftstoffe aus Synthesegas sind Stand der Technik: Durch die Fischer-Tropsch-Synthese werden aus Steinkohle jährlich mehrere Millionen Tonnen Kraftstoff produziert. Auf diese Weise kann z. B. aus sieben Tonnen Stroh eine Tonne Biokraftstoff synthetisiert werden. Ca. 40 % der in der Biomasse enthaltenen Energie verbleiben im Produkt. Als Nebenprodukte entstehen Wärme und Strom, mit denen sich der Energiebedarf des Gesamtprozesses decken lässt. Auch die Methanol- und Dimethylether-Synthese sind in der Größenordnung vieler Millionen Tonnen pro Jahr eingeführte Verfahren. Durch neue Katalyseverfahren können verschiedene, umweltverträgliche Biokraftstoffe („Designer-Kraftstoffe“) in großen Mengen hergestellt werden. In der bioliq-Pilotanlage werden deshalb innovative Ansätze zur Prozessverkürzung umgesetzt wie die einstufige DME-Synthese, nach der direkt die Kraftstoffsynthese erfolgt.

Der Aufbau der Pilot-Anlage am KIT Campus Nord wird vom Bund (BMELV) und vom Land Baden Württemberg gefördert. Die Gelder des Bundes werden durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) bereitgestellt. Daneben sind an der Gesamtrealisierung noch das KIT und zahlreiche Industriepartner (Air Liquide Global E&C Solutions, CAC, MUT und MAT) beteiligt.

Grundsätzlich ist aber das Einsatzspektrum an biogenem Einsatzstoff fast unbegrenzt. Vor allem Holzreste erfüllen viele dieser Anforderungen. Da Holz für die Papierherstellung ein sehr wichtiger Rohstoff ist und Altpapier als Rohstoff an Bedeutung gewinnt, kann auch grundsätzlich diskutiert werden, ob sich Papierreste bzw. Altpapier und Altpapierpappe sowie Kartonagen zur Verwendung im bioliq-Verfahren eignen. Da Altpapier bereits einmal zu Papier verarbeitet wurde, kann es aus unterschiedlichen Papiersorten bestehen, die sich ursprünglich aus sehr heterogenem Biomaterial zusammensetzen können und eine Reihe an Zusatzstoffen enthalten, was für den Einsatz im bioliq-Verfahren genauer und differenzierter betrachtet werden muss.

Papier wird zum größten Teil heutzutage aus Holz in Form von Holzstoff, Halbzellstoff oder Zellstoff hergestellt. Dabei

spielen auch die Härte des Holzes und die Faserbildung eine wichtige Rolle, denn nicht jedes Holz, bzw. jede Holzeigenschaft ist auch für jede Papierart gleich gut geeignet. Die längeren Fasern von Nadelhölzern wie Fichte, Tanne, Kiefer und Lärche verfilzen leichter und ergeben beispielsweise eine höhere Festigkeit des Papiers. Laubhölzer wie Buche, Pappeln und Birke verfügen über kürzere Fasern und werden unter anderem auch mit Nadelholz-Zellstoff gemischt, um die Festigkeit des Papiers zu beeinflussen. Sehr kurzfasrige Harthölzer werden hauptsächlich für hoch ausgestützte Spezialpapiere verwendet. Schnellwüchsige Hölzer wie beispielsweise Pappeln kommen dem hohen Holzbedarf der Papierindustrie sehr entgegen, obwohl deren Verwendung eher weniger reißfestes und auch voluminöseres Papier hervorbringt. Schnellwüchsige Pflanzen und Hölzer weisen einen hohen Aschegehalt auf, was sich während der



Schon bald keine Zukunftsmusik mehr: Treibstoff wird direkt und umweltgerecht aus pflanzlicher Biomasse bzw. Restbiomasse gewonnen.

Flugstromvergasung im dritten Verfahrensschritt des bioliq-Verfahrens als vermehrte Schlackebildung bemerkbar macht. Vor der Flugstromvergasung wird die Restbiomasse zunächst mittels Schnellpyrolyse zu einem energiereichen Zwischenprodukt (Biosyncrude) umgesetzt. Hier hat sich im Rahmen verschiedener Untersuchungen im bioliq-Verfahren ergeben, dass beispielsweise beim Einsatz von Altpapierschnipseln und losem Papier diese im heißen Gasstrom bestenfalls teilpyrolysiert werden können und die Umsetzung zum Biosyncrude („Biorohöl“, energiereiches Zwischenpro-

dukt aus dem bioliq-Verfahren) nur unzureichend geschieht. Kartonageschnipsel weisen, je nach Teilchendesign u. U. bei der Pyrolyse eine bessere Performance auf, da sie auch schwerer und voluminöser als Altpapierschnipsel sind. Beim gezielten Einsatz von Papier- und Pappereststoffen im bioliq-Verfahren müsste vor der Pyrolyse beispielsweise eine entsprechende Vorbehandlung stattfinden, z. B. durch Pressung bzw. Pelletierung des Einsatzstoffes. Für eine gute Pyrolyseperformance ist auch das Teilchendesign, also das Länge-Breiten-Verhältnis der Pellets entscheidend.

Eine weitere Problematik für den Einsatz von Altpapier bzw. Pappe und Kartonagen im bioliq-Verfahren sind die verschiedenen Zusatzstoffe, die bei der Veredlung der Papiersorten verwendet werden. Lösungsmittel, Pigmente, Leime etc. tragen eine Reihe von chemischen Verbindungen und evt. auch unerwünschte Metalle in den thermochemischen Prozess ein, was sowohl während des Prozesses als auch im Endergebnis unerwünschte Resultate hervorbringen kann.

Doch trotz aller Herausforderungen geben die Ergebnisse der bioliq-Versuchsanlage auf dem Gelände des KIT sehr viel Anlass zu Optimismus, dass eines Tages der biogene Anteil an Treibstoffen zu einer weiteren Unabhängigkeit von fossilen Rohstoffen beitragen kann.

Das Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Am 1. Oktober 2009 wurde das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) als Zusammenschluss des Forschungszentrums Karlsruhe und der Universität Karlsruhe gegründet. Im KIT vereinen sich die Missionen der beiden Vorläufer-Institutionen: einer Universität in Landeshoheit mit Aufgaben in Lehre und Forschung und einer Großforschungseinrichtung der Helmholtz-Gemeinschaft mit programmorientierter Vorsorgeforschung im Auftrag des Staates.

Das Institut für Katalysatorforschung und -Technologie (IKFT) trägt mit seinen Arbeiten im Wesentlichen zum HGF-Programm „Erneuerbare Energie“ und „Rationelle Energieumwandlung und Nutzung“ des Forschungsbereichs ENERGIE bei. Übergeordnetes Ziel der Arbeiten sind zukunfts-fähige Beiträge zur effizienten Nutzung fossiler und rezenter Kohlenstoffträger.

Institut für Katalysatorforschung und -Technologie am Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
D-76344 Eggenstein-Leopoldshafen
www.kit.edu, www.ikft.kit.edu, www.bioliq.de

Autoren



Prof. Dr.-Ing. Jörg Sauer
Fon +49 721 608-22401
j.sauer@kit.edu

Prof. Dr.-Ing. Jörg Sauer studierte Chemieingenieurwesen an der Universität Erlangen-Nürnberg, promovierte an der Universität Karlsruhe (TH) und wurde 2012 Professor im Fachbereich Chemieingenieurwesen. Er wurde nach langjährigen Tätigkeiten im Bereich F&E bei Degussa AG und als Abteilungsleiter Reaktionstechnik bei Evonik an die TH Karlsruhe berufen und übernahm die Leitung des Instituts für Katalysatorforschung und -Technologie am KIT.



Christina Ceccarelli
Fon +49 721 608-22614
christina.ceccarelli@kit.edu

Dipl.-Ing. Christina Ceccarelli studierte Chemieingenieurwesen in Darmstadt und absolvierte ein Journalistik-Studium an der Freien Journalisten Schule in Berlin. Nach einigen Jahren Tätigkeit in Industrie und Wirtschaft als Marketing Communication Manager Public Relations für Wissenschaft und Technik übernahm sie 2009 in der bioliq-Projektleitung am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) den Bereich Marketing & PR.