Anna Besler, Andreas Harwardt,
Sven Kossack, Wolfgang Marquardt

Kraftstoffe der Zukunft
Der Exzellenzcluster „Maßgeschneiderte Kraftstoffe aus Biomasse“

Zukünftige Mobilitätssicherung mit dem Schwerpunkt ökologische Verträglichkeit erfordert neben der Entwicklung von batteriebetriebenen Elektroautos, Hybridantrieben und gasbetriebenen Motoren die Nutzung neuer umweltschonender flüssiger Kraftstoffe. Diese bieten, da sie als chemische Energieträger eine sehr viel höhere Energiedichte als Batterien aufweisen, weiterhin eine wichtige Basis zur Mobilitätssicherung. Die entscheidenden Fragen sind daher: Wie sieht der Kraftstoff der Zukunft aus? Wie kann seine Effizienz durch eine neue Motorentechnologie weiter gesteigert werden? Wie kann er aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden? Mit diesen und ähnlichen Fragestellungen beschäftigt sich die Aachener Verfahrenstechnik, kurz AVT, im Exzellenzcluster „Maßgeschneiderte Kraftstoffe aus Biomasse“ („Tailor-Made Fuels from Biomass - TMFB“) gemeinsam mit Partnern aus den Naturwissenschaften und der Verbrennungstechnik.

Der Begriff „Maßgeschneiderte Kraftstoffe“ bezieht sich darauf, dass sie speziell für den Einsatz in zukünftigen Motoren mit Niedertemperatur verbrennung zugeschnitten werden. Es wird also nicht versucht, die heute verbreiteten Kraftstoffe auf Grundlage biogener Rohstoffe herzustellen, sondern gänzlich neue Kraftstoffkomponenten zu entwickeln. Durch eine genaue Abstimmung zwischen Kraftstoff und Motor lassen sich Schadstoffemissionen verringern und der Wirkungsgrad steigern. Dass diese Herangehensweise erfolgversprechend ist, konnten bereits umfangreiche Versuche am Lehrstuhl für Verbrennungskraftmaschinen zeigen: Es wurde eine Kraftstoffmischung identifiziert, die zu signifikant niedrigeren Schadstoffemissionen führt. Um die Anzahl der teuren und zeitaufwändigen Versuche zu verringern, entwickelt die AVT modellgestützte Berechnungsverfahren zur Identifizierung von geeigneten Kraftstoffkomponenten.

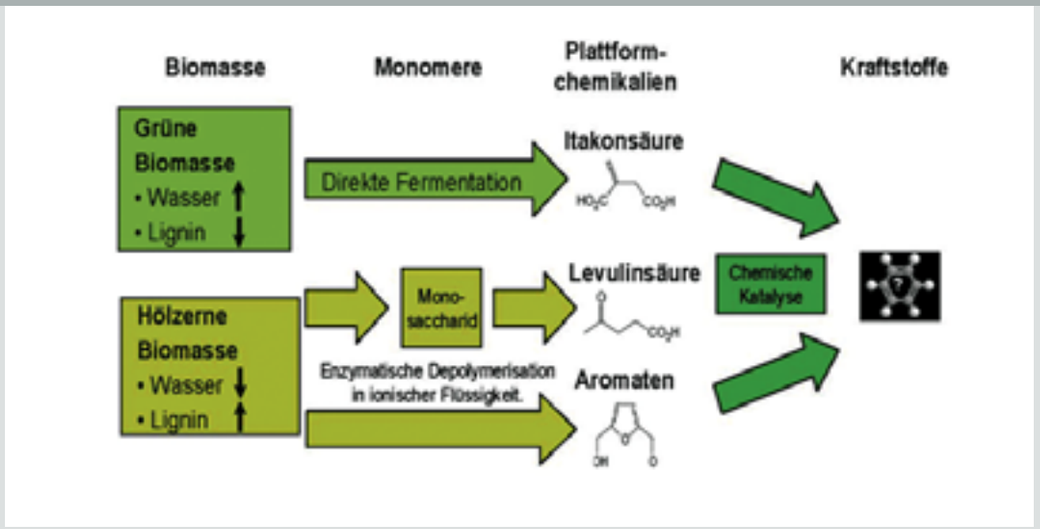

Bild 1: Verfahrensschema des „Tailor-Made Fuels from Biomass“-Prozesses zur Herstellung von Kraftstoffen aus Biomasse.

Auch für die chemische Industrie bedeutet die Umstellung auf den Rohstoff Biomasse erhebliche Veränderungen. Anstatt, wie in der Petrochemie üblich, komplexe Moleküle aus kleinen Bausteinen aufzubauen, wird die vorhandene Komplexität der Biopolymere in der Kraftstoffherstellung genutzt. Das bedeutet, dass komplett neue Synthesewege entwickelt werden müssen.

Die Hauptaufgabe der AVT ist es, die Entwicklung dieser Synthesewege unter verfahrenstechnischen Gesichtspunkten zu begleiten und großtechnische Prozesse zur effizienten und ressourcenschonenden Herstellung der zukünftigen Biokraftstoffe zu entwerfen. Dies umfasst nicht nur die eigentliche Reaktion vom Rohstoff zum Kraftstoffmolekül, sondern auch alle Vorbehandlungs- und Aufreinigungsschritte.

Die Konkurrenz zur Nahrungsmittelerzeugung durch die Nutzung von Biomasse als Kraftstoff soll ausgeschlossen werden, indem auf Lignocellulose als Ausgangsmaterial zurückgegriffen wird. Lignocellulose ist als strukturbeständiger Baustein in allen höheren Pflanzen, wie beispielsweise Holz oder Gras, enthalten und besteht aus Cellulose, Hemicellulose und Lignin. Obwohl das Verhältnis dieser Bestandteile von Pflanze zu Pflanze schwankt, lassen sich zwei Klassen unterscheiden: „Grüne“ Biomasse mit einem niedrigen Ligninanteil und „Holzartige“ Biomasse mit einem hohen Ligninanteil. Im Exzellenzcluster werden für beide Rohstoffarten angepasste Produktionsverfahren erforscht. Wie in Bild 1 zu sehen ist, erfolgt die Kraftstoffherstellung aus Biomasse stets über den Zwischenschritt von Plattformchemikalien. Als Plattformchemikalien werden chemische Verbindungen ausgewählt, aus denen eine Vielzahl von Zielprodukten hergestellt werden kann – neben Kraftstoffen auch Massenchemikalien wie Kunststoffe. Die im Exzellenzcluster erzielten Ergebnisse können also in der chemischen Industrie vielseitig eingesetzt werden, denn auch dort ist der Rohstoffwandel ein aktuelles Thema.

Aus grüner Biomasse soll die Plattformchemikalie Itakonsäure mit Hilfe des Pilzes Ustilago maydis fermentativ hergestellt werden. Obwohl dieser Pilz eigentlich ein Schädling für Maispflanzen ist, kann

Bild 2: Auflösung von Holz in Ionischer Flüssigkeit. Foto: Peter Winandy

er in Flüssigkulturen unter anderem Itakonsäure bilden. Eine besondere Herausforderung liegt in der Bestimmung idealer Fermentationsbedingungen: Die Wissenschaftler der AVT ermitteln deshalb in systematischen Versuchen optimale Werte für Temperatur, pH-Wert, Nährstoffkonzentrationen und Sauerstoffzufuhr.

Neben der effizienten Produktion von Itakonsäure ist deren Abtrennung aus der Fermentationsbrühe, die viele weitere Komponenten enthält, ein entscheidender Schritt. Alle großen Bestandteile wie Zellen werden durch eine Filtration im Fermenter gehalten. Anschließend wird aus den gelösten Itakonsäuresalzen durch Elektrodialyse mit bipolaren Membranen eine konzentrierte Itakonsäurelösung hergestellt. Die Elektrodialyse ermöglicht durch ladungsselektive Membranen die Trennung geladener Teilchen im elektrischen Feld. Bipolare Membranen werden zusätzlich zur Wasserspaltung eingesetzt, um die für die Säurebildung erforderlichen H^+-Ionen bereitzustellen. Die stetige Produktabtrennung und Aufbereitung der Fermentationsbrühe durch die Elektrodialyse ermöglicht eine kontinuierliche Fermentation und verbessert die Effizienz des späteren Prozesses entscheidend.

Für holzartige Biomasse ist der Schritt zur Plattformchemikalie bereits deutlich aufwändiger. Der hohe Ligninanteil dient in der Natur als Abwehrmechanismus, um Holz witterungsbeständig und schädlingsresistent zu machen. Leider erschwert dies auch die für die stoffliche Verwendung grundlegende Auftrennung von Holz in seine Bestandteile.

Zwar ist nachgewiesen, dass Ionische Flüssigkeiten einzelne Holzbestandteile, nämlich Cellulose-Fasern, auflösen, siehe Bild 2, ihre genaue Funktionsweise ist jedoch längst nicht geklärt. Ionische Flüssigkeiten sind neuartige Salzschmelzen, die bereits unter 100°C flüssig werden, aber anders als organische Lösungsmittel einen vernachlässigbaren Dampfdruck aufweisen und damit bei diesen Temperaturen nicht verdunsten. Die AVT untersucht den Auflösemechanismus von Holz in verschiedenen Ionischen Flüssigkeiten. Da diese wie ein Salz aus verschiedenen Kationen und Anionen zusammengesetzt sein können, gibt es nahezu unendlich viele Kombinationsmöglichkeiten mit immer anderen Eigenschaften. Im Exzellenzcluster wird daher eine Kombination mit optimalen Auflöseeigenschaften gesucht. Liegen die Holzkomponenten einmal in Lösung vor, können Sie in der Ionischen Flüssigkeit zu Plattformchemikalien umgesetzt werden. Natürlich enthält die Biomasse neben den Hauptbestanteilen weitere organische und anorganische Stoffe. Diese verunreinigen das Lösungsmittel, was aufgrund seiner hohen Kosten möglichst lange genutzt werden soll. Die Aufreinigung der Ionischen Flüssigkeit ist daher ein zentraler Forschungsschwerpunkt. Hier bieten sich Membran- oder Extraktionsverfahren an, weil diese optimal auf die Eigenschaften Ionischer Flüssigkeiten angepasst werden können.

Die Umwandlung von Lignocellulose zu Plattformchemikalien kann sowohl nach chemischen als auch nach biochemischen Verfahren erfolgen. In der biokatalytischen Umsetzung werden hierbei Enzyme eingesetzt. Dies sind Proteine, die als Biokatalysatoren Reaktionen hoch selektiv steuern, aber normalerweise an wässrige Bedingungen angepasst sind. In der AVT wird nun der Einsatz von besonders robusten Enzymen in Ionischen Flüssigkeiten zur Umwandlung von Lignocellulose erforscht.

Die vorgestellten Forschungsbeispiele zeigen, dass momentan an den unterschiedlichsten Prozessschritten gearbeitet wird. Ein effizienter Gesamtprozess kann allerdings nur durch die optimale Abstimmung der einzelnen Schritte erreicht werden. Hierfür werden einfache Modelle entwickelt, mit deren Hilfe schon in dieser frühen Phase Aussagen über Kosten und (Energie-) Effizienz des Gesamtprozesses gemacht werden können. Mit den Methoden der mathematischen Optimierung wird zudem aus vielen verschiedenen Prozessvarianten die optimale identifiziert.

Im gesamten Exzellenzcluster ist eine enge Vernetzung der unterschiedlichen Disziplinen – das heißt der Chemie, der Verfahrenstechnik und der Verbrennungstechnik – Voraussetzung für den Erfolg. Denn nur zusammen lassen sich die vielfältigen Fragestellungen rund um das Ziel, „Maßgeschneiderte Kraftstoffe aus Biomasse“ zu entwickeln, beantworten.

Autoren:
Dipl.-Ing. Anna Besler,
Dipl.-Ing. Andreas Harwardt
und Dipl.-Ing. Sven Kossack
sind Wissenschaftliche
Mitarbeiter des Lehrstuhls
AVT-Prozesstechnik.
Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Wolfgang Marquardt
ist Inhaber des Lehrstuhls
AVT-Prozesstechnik.

Bild 3: Wissenschaftler des Exzellenzclusters „Maßgeschneiderte Kraftstoffe aus Biomasse” entwickeln Prozesse zur nachhaltigen Herstellung von Biokraftstoffen. Die große Herausforderung sind die verfahrenstechnischen Schnittstellen, damit hinterher alles – wie im anschaulichen Lego-Modell – zusammenpasst. Foto: Peter Winandy