

## **ACHEMA 2012 Trendbericht : Anlagenbau zur Biomasseverarbeitung**

### **Biomasse stellt die Anlagenbauer vor neue technische Herausforderungen**

- Biobasierte Verfahren sichern und erweitern die Rohstoffbasis
- Die Standard-Technologien müssen angepasst werden
- Aufreinigung/Downstreaming als Herausforderung

**Biomasse ist nicht allein Ausgangsmaterial zur Bereitstellung von Energie (direkt im Heizkraftwerk, indirekt über die Herstellung und Nutzung von Biogas/Synthesegas). Auch immer mehr chemische Zwischen- und Endprodukte werden aus Biomasse hergestellt. Dank der politischen Rahmenbedingungen ist das Wachstumspotenzial enorm. Damit eröffnen sich für alle Akteure der Branche, für den Anlagenbau wie auch für die Zulieferindustrie, neue Chancen, aber auch Herausforderungen über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg. Auf der ACHEMA 2012 vom 18. bis 22. Juni in Frankfurt am Main werden Lösungen vorgestellt, um die energetische wie stoffliche Konvertierung von Biomasse weiter zu optimieren.**

„Ich sehe keine Limits“, antwortet Steen Riisgaard, President und CEO von Novozymes A/S, Dänemark, in einem Interview mit der EFCE auf die Frage, ob biobasierte Technologien die traditionellen, erdölbasierten Technologien ersetzen können. Die vollständig auf Bio-Technologien basierende Wirtschaft erwartet er zwar nicht kurzfristig; er zeigt sich aber sehr zuversichtlich, dass die Chemie diese Chance konsequent realisieren werde.

Keine Frage: Biomasse und die entsprechenden Märkte sind im Kommen, was sich auch bei den Investitionen zeigt. Dies ist das Ergebnis der Ende 2010 publizierten Studie ‚Biomass Markets and Technologies‘ von Pike Research. Darin wird prognostiziert, dass die Investitionen in den Biomassemarkt weltweit während der nächsten fünf Jahre stabil wachsen werden. Demnach sollen sie von 28,2 Milliarden US-Dollar (2010) auf 33,7 Milliarden US-Dollar (2015) klettern.

Biomasse ist die älteste Energiequelle des Menschen, wird doch beispielsweise Holz schon seit Menschengedenken als Wärmequelle genutzt. Die stoffliche Nutzung ist eher jüngeren Datums: Gegenwärtig wird Biomasse laut VCI in der chemischen Industrie in Deutschland in der Größenordnung von 2,7 Millionen Tonnen pro Jahr eingesetzt, was etwa 13 % der Rohstoffbasis der chemischen Industrie entspricht. Die fossilen Ressourcen Kohle, Erdöl und Erdgas waren günstig. Diese Einschätzung hat sich gravierend geändert.

Die Wege zur Nutzung von Biomasse sind sowohl im Hinblick auf die Einsatzstoffe wie auch die Endprodukte vielfältig. Die European Biomass Industry Association (EUBIA) teilt die Methoden für die Umwandlung von Biomasse in vier Basiskategorien ein: Die direkte Verbrennung, thermochemische Umwandlungsprozesse (einschließlich Pyrolyse und Vergasung), biochemische Prozesse (einschließlich anaerober biologischer Abbau und Fermentation) und die physikochemische Verarbeitung (zu Biodiesel). Die gewählte Technologie hängt von der chemischen Zusammensetzung des Ausgangsstoffs und dem gewünschten Produkt ab.

### **Chemische Produkte aus Biomasse**

Analog zur petrochemischen Raffinerie setzen Bioraffinerien die Biomasse kaskadenartig in chemische Grundstoffe und Treibstoffe um.

Die integrierten Konzepte der Bioraffinerien befinden sich überwiegend im frühen Entwicklungsstadium. Dementsprechend ist die Zahl der Bioraffinerien in Deutschland und in Europa noch gering. Die meisten der Anlagen sind Demonstrations- oder Pilotanlagen, kommerzielle Bioraffinerien sind eher die Ausnahme. In Deutschland gibt es (Stand: 2010) sieben Bioraffinerie-Anlagen. In ganz Europa sind es 121 Anlagen. Die USA nehmen hinsichtlich des Baus, dem Betrieb und der Förderung von Bioraffinerien eine führende Rolle ein. Alleine im sogenannten „Biomass Program“ des US-amerikanischen Energieministeriums werden 29 Bioraffinerien gefördert.

Eine Herausforderung für die Einführung von Bioraffinerien in Deutschland ist die Frage nach den künftigen Betreibern der Anlagen. Vertreter der chemischen Industrie als potenzielle Betreiber sind hier zurückhaltend. Demnach kämen als Standortbetreiber eher Chemieparcs und Agro-Unternehmen in Frage.

Inwieweit Biomasse und ihre möglichst vollständige Nutzung in Bioraffinerien traditionelle erdölbasierte Herstellungsweisen ablösen wird, analysiert die Studie ‚Biomasse – Rohstoff der Zukunft für die chemische Industrie‘ des VDI Technologiezentrums. Sie untersucht biobasierte Herstellungsverfahren bei 26 Vorläufersubstanzen, den sogenannten Plattformchemikalien. Bei elf dieser Plattformchemikalien ist eine starke Entwicklungsdynamik zu biobasierter Produktion zu verzeichnen. So werden beispielsweise die Produktionskapazitäten für Bernsteinsäure und der ausschließlich aus Biomasse hergestellten Polymilchsäure (PLA) weltweit ausgebaut.

Weit verbreitet ist die biotechnologische Umsetzung von Biomasse mittels Biotransformation in lebenden Zellen oder der Biokatalyse mit isolierten Enzymen oder Enzym systemen in der weißen Biotechnologie. Bei der Biotransformation kommen verschiedenste Mikroorganismen zum Einsatz,

die gängigsten sind Hefe, Escherichia coli und Corynebacterium glutamicum. Als Präkursoren dienen meist verschiedene Hexosen (C6-Zucker) wie Glucose oder Fructose, die zum Beispiel durch hydrolytische Vorbehandlung aus der Biomasse herausgelöst werden. Lignocellulose erfordert allerdings eine andere Vorbehandlung, um das nicht fermentierbare Lignin vom Zucker abzuspalten. Derzeit wird die Lignocellulose- haltige Biomasse daher mechanisch und chemisch zum Beispiel mit Säuren, Phenolderivaten, heißem Dampf und auch zunehmend hydrolytisch-katalytisch mit Cellulasen vorbehandelt. Die aus der Lignocellulose freigesetzten Hemicellulosen enthalten einen hohen Anteil an Pentosen (C5-Zuckern), wie Xylose, für deren Abbau besondere Mikroorganismen benötigt werden.

### **Technische Herausforderungen & Lösungen**

Damit biobasierte Produktionsverfahren auch im großindustriellen Maßstab kostengünstig und kompetitiv umgesetzt werden können, sind allerdings noch zahlreiche technologische Herausforderungen zu meistern.

Beispielsweise ergeben sich bereits beim Handling von Biomasse quasi aus der Natur der Dinge besondere Anforderungen: Erhebliche Tonnagen müssen nicht nur geerntet, sondern auch transportiert und verarbeitet werden. Die schiere Menge ist nicht die einzige Herausforderung an die Industrie, sondern auch die Diversität. Denn bei ‚Biomasse‘ geht es nicht nur um trockenes Schüttgut wie Mais oder Holzschnitzel, sondern auch um viskose Fluide wie Klärschlamm oder Gülle. So unterschiedlich die Medien, so unterschiedlich auch die Anforderungen an den Transport zum Zielort.

Die Logistik ist nicht der einzige Punkt, der spezielle Lösungen erfordert. Zwischen Lieferung und Weiterverarbeitung muss die Biomasse gelagert werden. Immer wieder kommt es beispielsweise bei Holzschnitzeln zur Selbstentzündung. Schuld daran sind mikrobielle Abbauvorgänge im Holz, die durch die schlechte Wärmeleitfähigkeit des Schüttgutes regelrecht katalysiert werden und in manchen Fällen zu Schwel- oder Glimmbränden bis hin zur offenen Flamme führen.

Neben den chemischen Oxidationsreaktionen, die den größten exothermen Anteil zum Gesamtprozess beisteuern, spielen auch physikalische und mikrobiologische Prozesse eine Rolle für den Wärmehaushalt einer Biomasseschüttung, wie die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) in ihrem Leitfaden zur Brandvermeidung bei der Lagerung von Biomasse erläutert. So führt z. B. die Adsorption von Wasser an verhältnismäßig trockenen Feststoffoberflächen ebenfalls zur Temperaturerhöhung, da Adsorptionswärme freigesetzt wird.

Nicht nur in trockener Form erfordert Biomasse besondere Aufmerksamkeit. So ist das Lagern von flüssigem Wirtschaftsdünger mit bau- und wasserrechtlichen Auflagen verbunden, die ein Ab- oder Überlaufen der Gülle und damit ein Eindringen in die Kanalisation oder gar Grundwasser verhindern sollen.

Nach der stofflichen Konversion liegen die Produkte in der Regel stark verdünnt vor; häufig handelt es sich um sehr komplexe Produktgemische, die neben diversen Rest- und Abfallstoffen eine Reihe einander sehr ähnlicher Komponenten beinhalten. Typisch sind z. B. Fermentationslösungen, Zellkulturen oder Pflanzenextrakte.

Eine große Herausforderung liegt deshalb in der Aufreinigung bzw. dem Downstreaming der Produkte, um chemische Standards zu erzielen. Die Mengen an wässrigem Medium sind meist sehr groß und darüber hinaus muss das Produkt oft auch noch aus dem Organismus isoliert werden. Die Extraktion der Produkte aus Fermenterbrühen ist mit bis zu 80 % einer der Hauptkostenfaktoren bei der biotechnologischen Produktion. Weitere technologische Hürden setzt beispielsweise die Entwicklung neuer spezifischer Katalysatoren und Biokatalysatoren.

Auch Produktinhibition während der Fermentation ist ein Problem, nämlich dann, wenn die eingesetzten Organismen mit hohen Produktkonzentrationen nicht klarkommen. Innovative Konzepte wie etwa In-situ-Produktabtrennung oder Prozessführung bei niedrigen pH-Werten sind mögliche Lösungen.

Weitere Schwierigkeiten treten bislang zudem beim Upscaling der Prozesse aus dem Labor auf. Die Verquickung biobasierter Verfahren mit der klassischen Chemie muss vorangetrieben werden: Gerade in neueren Entwicklungen ist eine solche Hybridchemie zu finden. In den USA und China wird beispielsweise intensiv an Polybutylensuccinat gearbeitet. Hier werden eine biologische Fermentation und eine chemische Hydrierung kombiniert.

### **Biogasanlagen: Neuralgische Stellen beachten**

Bei der anaeroben Fermentation von Abfallstoffen und anderer Biomasse in Biogasanlagen werden die natürlichen Stoffwechselwege von Mikroorganismen ausgenutzt, um Substrate in Biogas umzuwandeln.

Die Struktur der eingebrachten Feststoffsubstrate beeinflusst wesentlich den Vergärungsprozess in Biogasanlagen. Standardisierte Inputstoffe wie Mais-Silage werden zunehmend durch alternative Substrate wie z. B. Mist, Gras oder Stroh und in jüngster Zeit auch durch den Einsatz von Zuckerrüben ersetzt. Das gezielte Auflösen von Agglomeraten und das Zerkleinern der Feststoffe

erhöht die Oberfläche, die im Prozess beteiligten Bakterien können die Nährstoffe schneller verwerten. Darüber hinaus begünstigt das Zerkleinern eine schnellere und homogenere Verteilung in der flüssigen Phase der Fermenter. Damit ergeben sich entscheidende Vorteile für den Gesamtprozess:

- höhere Gasausbeute/Verkürzung der mittleren Verweildauer im Fermenter
- Entlastung von Rührwerken und Pumpen
- verbesserte Struktur der Gärstoffreste.

Die BG Chemie moniert in einer Studie, dass 80 % der begutachteten Biogasanlagen Mängel aufweisen. Das liegt daran, dass Biogasanlagen brennbares, explosionsgefährliches Methan erzeugen. Daneben entstehen beim Betrieb weitere potenziell kritische Zwischen- und Endprodukte wie Kohlendioxid oder Schwefelwasserstoff.

Zu Unfällen kommt es auch dann, wenn Konstruktionsfehler und Materialschäden vorliegen, wie zum Beispiel ein statisches Versagen von Bauteilen, die dem Druck der Biomasse oder der Gase nicht standhalten.

Zu den neuralgischen technischen Stellen in den Anlagen zählt das Blockheizkraftwerk, hier vor allem der Gasmotor. Ein stör anfälliger Bereich ist der Feststoffeintrag durch Pumpen.

### **Biogas: Der Traum vom kontrollierten Schaum**

Biogasanlagen arbeiten oft an der Grenze der Wirtschaftlichkeit. Technische Probleme und Prozessstörungen, die mit längeren Ausfallzeiten bzw. Reparaturkosten verbunden sind, können für den Biogasanlagen-Betreiber spürbare ökonomische Folgen haben. Eine der häufigsten Betriebsstörungen in Biogasanlagen ist die unkontrollierte Schaumbildung. Der Schaum kann in Biogasreaktoren unterschiedliche Betriebsstörungen und Schäden hervorrufen. So reichen die schaumbedingten Probleme von der Krustenbildung an der Reaktorwand, dem Ausfall von Schiebern, der Verschmutzung und Verstopfung der Gas- bzw. Kondensatleitungen und der Rezirkulatspumpe aufgrund der Zurückhaltung der Schaumfeststoffe bis hin zum Übersäumen und kompletten Stillstand der Anlage. Dadurch wird der Gasertrag der Anlagen verringert und es sinkt der wirtschaftliche Gewinn.

Am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung wird nach Möglichkeiten gesucht, ein Frühwarnsystem zu entwickeln, um bevorstehende Schaumereignisse vorherzusehen und zu vermeiden. Um herauszufinden, woraus der Schaum in Biogasanlagen besteht und wann er auftritt, werden Substratproben von verschiedenen Biogasanlagen untersucht. Als Referenz werden Proben aus Biogasreaktoren analysiert, die im stabilen Zustand betrieben werden und

keinen Schaum entwickeln. Da alle ermittelten Daten in einer Datenbank zusammengeführt werden, soll es später möglich werden, anhand von Mustern Zusammenhänge zu erkennen und Vorhersagen zu treffen.

### **Biogas in Erdgas-Qualität**

An der Universität Hohenheim wird ein völlig neues Verfahren entwickelt, um Biogas in Erdgas-Qualität zu erzeugen. Der Kniff: Die für die Biogasentstehung verantwortlichen Methan-Bakterien selbst werden eingespannt, um den Druck und die Reinheit zu erhalten, die für die Erdgasqualität notwendig sind. Dafür entwickeln die Hohenheimer Forscher eine spezielle Steuerungs- und Regelungstechnik. Damit muss das Gas nicht mehr wie bisher nachträglich verdichtet und gereinigt werden. Das spart bis zu 40 % der Energiekosten. Im nächsten Schritt soll ein Prototyp der neuen Anlage in Hohenheim entstehen.

Das neue Verfahren könnte der Bioerdgasproduktion zu einem echten Schub verhelfen. Mit ihm lässt sich nicht nur ein Großteil der bisherigen Energiekosten einsparen. Es ist – anders als das herkömmliche Verfahren – auch mit kleinen Anlagen wirtschaftlich realisierbar. Zudem ist der Gesamt-Investitionsaufwand für die Anlage deutlich geringer, da keine Anlage zur Aufbereitung des Gases notwendig ist.

### **Biogasanlagen: Effizienter mit optischer Analyse**

Siemens entwickelt optische Messtechniken, um Biogasanlagen genauer auszusteuern und damit ihre Effizienz zu erhöhen. Beim Vergären von Biomasse zu Methan bilden sich Säuren. Wird ihre Konzentration zu hoch, kippt der Prozess und die Anlage muss gereinigt und neu angefahren werden. Heute prüfen die Betreiber die Chemie im Kessel regelmäßig anhand von Stichproben, die sie zur Analyse in ein Labor geben.

Weil sie den aktuellen Säuregehalt im Fermenter nicht kennen, halten viele Betreiber sicheren Abstand zu einem möglichen Ausfall und nehmen dabei hohe Verluste in Kauf.

Infrarot-Spektroskopie kann dieses Problem lösen. Moleküle emittieren charakteristische Lichtspektren, wenn sie mit infrarotem Licht bestrahlt werden. Diese Spektren liefern Informationen über chemische Bindungen, woraus auf bestimmte Elemente oder Stoffgruppen geschlossen werden kann. Das von Siemens entwickelte Gerät strahlt infrarotes Licht durch ein Glasfenster in den Fermenter und misst so den Säuregehalt. Das Risiko einer unerwarteten Übersäuerung fällt weg, und die Anlagen können voll ausgefahren werden. Experten schätzen, dass dadurch der Energieertrag um fünf bis zehn Prozent steigt.

## **Biokorrosion: Entschwefelung unabdingbar**

Eine weitere spezifische Herausforderung an den Anlagenbau erläutern Stephan Prechtl und Martin Faulstich (ATZ Entwicklungszentrum, Sulzbach-Rosenberg) in ihrer Studie: In biologischen Anlagen zur Biomasseverarbeitung und zur Energieerzeugung besiedeln Biofilme Werkstoffe wie Metall, Naturstein, Zement oder Kunststoff und können durch ihre Stoffwechselaktivität beispielsweise den pH-Wert, das Redoxpotenzial, die Sauerstoffkonzentration und andere korrosionsrelevante Parameter verändern, die eine beschleunigte Korrosion dieser Werkstoffe bewirken.

Landwirtschaftliche Biogasanlagen wurden und werden häufig in Betonbauweise errichtet und mit Hilfe mechanischer Rühraggregate durchmischt. Der beim anaeroben mikrobiologischen Substratabbau gebildete Schwefelwasserstoff und dessen Folgeprodukte (schwefelige Säure und Schwefelsäure) sind vielfach für Korrosionsschäden an Bauwerken und Aggregaten wie Rührwerken, Wärmetauschern und Blockheizkraftwerken verantwortlich. Das bisher gängigste Verfahren zur Reduzierung des Schwefelwasserstoffgehalts in Biogas ist die direkt im Fermenter stattfindende biologische Entschwefelung. Diese sehr einfache Variante der mikrobiologischen Entschwefelung mit geringen Investitions- und Betriebskosten wird bei einem Großteil der Anlagen eingesetzt. Unter optimalen Bedingungen kann eine Entschwefelungsrate von 95 % erzielt werden.

Ablagerungen von elementarem Schwefel können zu Verstopfungsproblemen beispielsweise an Rohrleitungen führen. Besonders schwankende Rohgaskonzentrationen beeinflussen die mikrobiologische Entschwefelung direkt im Gasraum des Fermenters negativ. Die Korrosionsschäden lassen sich in der Praxis oft durch die Wahl eines besser geeigneten Verfahrens zur Entschwefelung des Biogases vermeiden. Praktische Bedeutung haben folgende Verfahren, die jedoch im Einzelfall auf ihre jeweilige technische Eignung und die notwendigen Investitions- und Betriebskosten hin überprüft und bewertet werden müssen:

- Fällung durch direkte Eisensalzzugabe
- Laugenwäsche
- Adsorption an eisenhaltigen Massen
- Adsorption an Aktivkohle
- Externe biologische Entschwefelung in einem separaten Reaktor.

Viele der geschätzt 7.000 Biogasanlagen in Deutschland arbeiten seit Jahren unterbrechungsfrei. Hier entspricht die Anlagentechnik zumeist nicht mehr dem aktuellen Stand der Technik; sensible Bauteile verschleißern zunehmend – Fachleute erwarten deshalb ein massives Repowering: Beispielsweise moderne MSR-Technologien zur leichteren Kontrolle der Anlage. Außerdem

werden empfindliche und stark beanspruchte Bauteile wie Rührwerke, Beschicker oder Blockheizkraftwerke ausgetauscht werden.

### **Synthesegasanlagen: Ablagerungen vermeiden**

Problematisch bei der Herstellung von Synthesegas aus Biomasse ist die Teerbildung. Die Probleme liegen insbesondere in der störungsfreien Einbringung der Biomasse, dem hohen Koks- und Teeranteil im Produktgemisch sowie in der aufwendigen Gasreinigung.

Das Hauptproblem beim Einsatz von Biomasse in Verbindung mit Stirlingmotoren liegt bei der effizienten Übertragung der Wärme vom Rauchgas aus der Biomasseverbrennung an das Arbeitsgas des Stirlingmotors.

Das Bindeglied zwischen Rauchgas und Arbeitsgas ist der Erhitzerwärmetauscher. Um einen guten elektrischen Anlagenwirkungsgrad zu garantieren, sind möglichst hohe Rauchgastemperaturen beim Eintritt in den Erhitzerwärmetauscher erforderlich, was jedoch zu Problemen mit Ascheanlagerungen in dieser Anlagenkomponente führen kann. Dafür wurde ein Berechnungsprogramm für den rauchgasseitigen Wärmeübergang im Erhitzerwärmetauscher entwickelt. Im Rahmen umfangreicher Berechnungen und Entwicklungen konnte die Effizienz dieser Anlagenkomponente deutlich verbessert werden. Zudem steht ein automatisches Abreinigungssystem für den Erhitzerwärmetauscher zur Verfügung.

Einen anderen Lösungsweg verfolgt die auf Nanotechnologie beruhende Beschichtung (Projekt ‚Nanostir‘) – sie soll die Verschlackung des Erhitzerkopfes ganz oder zumindest in erheblichem Maße dauerhaft reduzieren.

### **Fazit:**

Die chemische Industrie beschäftigt sich bereits intensiv mit der Erschließung biobasierter Energie- und Rohstoffquellen. Wie bei herkömmlichen Lösungen zeigt sich auch hier, dass nicht jeder im Labor gefundene Weg auch großtechnisch umsetzbar ist. Auf derACHEMA 2012 vom 18. bis 22. Juni in Frankfurt am Main werden neue Verfahrensansätze, bessere Katalysatoren und innovative Produktlösungen vorgestellt, die die energetische wie stoffliche Konvertierung von Biomasse hinsichtlich der Kosten und der Effizienz weiter optimieren.

[www.achema.de](http://www.achema.de)

(Die Trendberichte werden von internationalen Fachjournalisten zusammengestellt. Die DECHEMA ist nicht verantwortlich für unvollständige oder falsche Informationen.)