

Nachwachsende Rohstoffe und Energieträger



Alfred SCHMIDT, Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn., seit 1973 Vorstand des Institutes für Verfahrenstechnik und Technologie der Brennstoffe, Technische Universität Wien; seit 1985 Korrespondierendes Mitglied der Österreichischen Akademie der Wissenschaften.

Arbeitsgebiete: Umweltschutz in der chemischen Industrie, Sicherheit in der chemischen Industrie, biogene Rohstoffe für die chemische Industrie, biotechnologische Verfahren, biogene Brennstoffe/Emissionen von Heizanlagen. Vielfacher Autor von wissenschaftlichen Veröffentlichungen, vielfacher Patentinhaber.

Spätestens seit den beiden Energiekrisen in den siebziger Jahren ist uns bewußt geworden, daß der größte Teil unserer industriellen Produkte auf Rohstoffen basiert, deren Vorräte auf unserer Welt früher oder später zu Ende gehen werden. Dies hat weltweit zu einer Wiederentdeckung der »renewables«, der nachwachsenden Rohstoffe geführt.

Heute, 15 Jahre nach der ersten Energiekrise ist es vielleicht Zeit, ein Resumee dieser Diskussion zu ziehen und zu überlegen, was von dieser Entwicklung in der Zukunft von Bedeutung sein wird.

Biomasse — und daraus bestehen alle nachwachsenden Rohstoffe und Energieträger — kommt auf unserer Welt in einer kaum übersehbaren Vielfalt von Arten und Formen vor. Aber trotz dieser Vielfalt ist sie im wesentlichen aus einer erstaunlich geringen Anzahl von Bausteinen zusammengesetzt:

- Eiweiß (Protein)
- Kohlehydrate (Stärke und Zucker)
- Fette und Öle
- Cellulose und Hemicellulose
- Lignin

Bei Betrachtungen dieser Liste fällt sofort auf, daß die ersten drei Stoffe die Hauptbestandteile unserer Nahrungsmittel sind: die gesamte menschliche und tierische Ernährung auf unserer Welt beruht auf nachwachsenden Rohstoffen. Schon damit dokumentiert sich ihre auch heute noch bestehende große Bedeutung. Wenn man den starken Anstieg der Weltbevölkerung in den letzten Jahrzehnten berücksichtigt, so ist verständlich, daß die Deckung des Nahrungsmittelbedarfes eines der großen Probleme der Menschheit ist. Die drei letztgenannten Stoffe in der obigen Liste, also Cellulose, Hemicellulose und Lignin, sind die Hauptbestandteile des Holzes.

Neben den angeführten Hauptbestandteilen der Biomasse sind Pflanzen in der Lage, eine weite Palette von Nebenbestandteilen zu erzeugen und zu speichern. Dazu gehören z.B. Alkaloide, wie Coffein, Chinin oder Mescaline, ätherische Öle, Vitamine, Farbstoffe, wie Indigo oder Krapp, und pharmazeutische Wirkstoffe (Drogen). Manche dieser Stoffe sind nur auf diesem Weg zugänglich.

Die Verwendung biogener Rohstoffe

Weltweit ist die Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen von sehr großer Bedeutung: die Tabelle 1 gibt einen Überblick über deren derzeit verwendeten Mengen. Wie aus ihr ersichtlich, ist Holz der meistverwendete Rohstoff überhaupt. Als solches wird es in der Möbelindustrie und als Baustoff eingesetzt. Als Rohstoff dient es für die Erzeugung von so vielfältigen Produkten wie Holzfaser- und Holzspanplatten, Papier und Pappe sowie von Viskosefasern. Daneben besteht nach wie vor seine Bedeutung als Energieträger: fast die Hälfte des weltweiten Holzeinschlages dient als Brennstoff. Auch in Österreich werden gemäß dem Energiebericht der Bundesregierung 1986 noch 17% aller Wohnungen mit Holz beheizt, im Burgenland sogar über 30%.

Die Verwendung von Naturfasern als Textilrohstoffe überwiegt jene von synthetischen Fasern bei weitem. Aber auch große Mengen an Naturgummi und an Fetten und Ölen werden industriell verarbeitet.

Die Palette der aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellten Produkte ist fast unübersehbar. Sie reicht von Grundstoffen, wie Seifen und Waschmittel über Firnis, Klebstoffe und Lösungsmittel bis zu Duftstoffen, Kosmetika, Vitaminen und Pharmazeutika.

Der größte Teil der Stärke und des Zuckers dient direkt oder indirekt als Nahrungsmittel und nur ein geringer Teil als Rohstoff, doch ist der Übergang fließend. Etwa die Hälfte der verarbeiteten Stärke wird zu verschiedenen Zuckerarten hydrolysiert, so z.B. zu Traubenzucker (Glucose) oder Fruchtzucker (Fructose). Stärkeester, Stärkeether und vernetzte Stärken sind derzeit noch Spezialprodukte, die auf eine breitere Anwendung warten. Technisch interessant sind die Klebstoffe auf Stärkebasis (Kleister).

Zucker, und zwar sowohl Rübenzucker als auch aus Stärke hergestellte Zucker-

	Tonnen/Jahr	
Holz	1 100,000.000	
Brennholz		500,000.000
Nutzholz		600,000.000
Natürliche Fasern	23,000.000	
Baumwolle		15,000.000
Wolle		3,000.000
Flachs, Jute, Hanf		5,000.000
Naturgummi	4,000.000	
Leder	4,500.000	
Natürliche Harze	900.000	
Zucker	800.000	
Stärke	1,750.000	
Cellulose	5,000.000	
Öle und Fette	9,500.000	
zum Vergleich		
Ges. Biomassebildung	210.000,000.000	
Stahl	600,000.000	
Kunststoffe	70,000.000	
Kunstfasern	15,000.000	

Tab. 1: Weltverbrauch verschiedener nachwachsender Rohstoffe (ohne Nahrungs- und Futtermittel)



arten, dient vielfach als Nährstoff für mikrobiologische Produktionsprozesse. Auch Milchzucker (Lactose) wird hierfür verwendet und dient beispielsweise für die Herstellung von Penicillin. Werden die Zucker reduziert, so erhält man Zuckeralkohole, von denen Sorbit und Mannit eine gewisse Bedeutung haben, etwa in der Kosmetikindustrie.

Im Gegensatz zu Zucker und Stärke werden pflanzliche Fette und Öle in erheblichen Mengen als technische Rohstoffe eingesetzt: sie dienen vorwiegend als Ausgangsstoffe für Seifen und andere Waschmittel, wobei als interessantes Nebenprodukt Glycerin anfällt. Auch aus den Fetten hergestellte Fettsäuren und Fettalkohole sind wichtige Zwischenprodukte der chemischen Industrie. Gewisse Fette und Öle haben die Eigenschaft, an der Luft zu »trocknen«, d.h. durch den Luftsauerstoff in feste Produkte überzugehen. Derartige »trocknende« Öle sind Rohstoffe für Firnisse und Lacke. Ihr bekanntester Vertreter ist das Leinöl.

Cellulose (Zellstoff) wird aus Holz hergestellt und ist ebenfalls ein wichtigster biogener Rohstoff. Er dient zum überwiegenden Teil zur Papier- und Pappeherstellung, aber auch die daraus mit Hilfe des Viskoseverfahrens produzierten Zellulosefasern (Zellwolle) sind nach wie vor interessante Produkte. Ein Teil dieser Viskosefasern geht in die Textilindustrie, ein anderer Teil in die Karkassen der Autoreifen und in andere technische Produkte. Viskosefasern zeichnen sich durch eine besonders gute Wasseraufnahmefähigkeit aus. Diese Eigenschaft kann durch eine geeignete Oberflächenbehandlung noch verstärkt werden. Solche Produkte verwendet man dann für Wegwerfwindeln und andere Hygieneprodukte. Aber auch modifizierte Cellulose, wie z.B. Carboxymethylcellulose als Verdickungsmittel, hat ein erhebliches Marktvolumen.

Außer den nachwachsenden pflanzlichen Rohstoffen spielen auch tierische eine gewisse Rolle, z.B. Wolle oder Leder. Ihre Mengen sind jedoch wesentlich geringer als jene der pflanzlichen Rohstoffe.

Neben der Verwendung nachwachsender Materialien als Rohstoffe ist jene als Brennstoffe interessant, handelt es sich doch hierbei ebenfalls um sehr große Mengen. Allen voran steht das Brennholz. Während bisher fast ausschließlich Scheitholz verwendet wurde, werden in letzter Zeit die Hackschnitzel (Holzstücke von 2 bis 8 cm Größe, hergestellt aus Sägerestholz und Forstabfällen) propagiert, da sich diese viel besser zur Automatisierung der Brennstoffzufuhr bei Feuerungsanlagen eignen. Stroh wird derzeit nur in geringen Mengen als

Brennstoff verwendet, ist aber noch ausbaufähig. Es hat auch gute Chancen als Cellulosequelle anstelle von Holz.

In den Jahren der Energieknappheit ist versucht worden, auch Treibstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen herzustellen: aus dieser Zeit ist ja der Bioalkohol noch in Erinnerung. Er kann aus allen Zucker- oder Stärke-haltigen Rohstoffen, jetzt aber auch schon aus Cellulose hergestellt werden und dient als solcher oder im Gemisch mit herkömmlichen Benzin als Kraftstoff für Vergasermotoren. Für Dieselmotoren sind eher Pflanzenöle, wie z.B. das Rapsöl geeignet, obwohl es hier beim technischen Einsatz noch Schwierigkeiten gibt. Aber auch andere aus nachwachsenden Rohstoffen herstellbare Produkte haben auf dem Kraftstoffsektor Aussichten, wie z.B. Butanol oder Aceton. Alle diese Produkte sind aber bei den derzeitigen niedrigen Erdölpreisen nicht konkurrenzfähig und warten auf die nächste Erdölkrise.

Je nach dem angestrebten Verwendungszweck sind bei der technischen Verwertung von Biomasse meist andere Bewertungskriterien erforderlich, die allerdings erst von Fall zu Fall ermittelt werden müssen. Hier ist von Seiten der Pflanzenzüchter sicherlich ein Umdenken erforderlich. Solange sich die technische Nutzung von Biomasse auf die Verwertung von Abfällen oder Überschüssen aus der Nahrungsmittelproduktion beschränkt hat, war dies nicht kritisch. Sollen aber biogene Rohstoffe gezielt für den technischen Einsatz produziert werden, so müssen die anderen Anforderungen voll berücksichtigt werden, denn nur dann wird deren Konkurrenzfähigkeit gegen die herkömmlichen, nicht biogenen Rohstoffe erreichbar sein. In Einzelfällen, z.B. bei Arzneipflanzen ist dies ja auch bisher schon der Fall, war aber eher die Ausnahme.

Diese kurze Übersicht zeigt wohl schon deutlich, welche Bedeutung die nachwachsenden Rohstoffe und Brennstoffe schon heute einnehmen. Wie aber wird die Zukunft aussehen? Gibt es überhaupt noch die Möglichkeit einer Steigerung? Um diese Frage zu beantworten, müssen wir uns zunächst der möglichen Produktion solcher Rohstoffe zuwenden.

Die Produktionsmöglichkeiten

Schätzungen besagen, daß weltweit jährlich etwa 160 Milliarden Tonnen Biomasse nachwachsen. Davon werden aber derzeit nur 2 bis 3% verwertet, der Rest verrottet und bildet so die Grundlage für das gesamte Bodenleben und die Humusbildung.

Viele heute verwendete biogene Rohstoffe sind Nebenprodukte oder Abfälle der

Nahrungs- und Futtermittelerzeugung, so z.B. Stroh als Nebenprodukt des Getreidebaues oder Sägespäne bei der Verarbeitung des Holzes. Neben primären Rohstoffen spielen in letzter Zeit auch sekundäre eine gewisse Rolle, wie beispielsweise das Altpapier. Ihre Nutzung löst gleichzeitig ein wichtiges Entsorgungsproblem.

Das derzeitige Haupteinsatzgebiet biogener Produkte ist der Nahrungs- und Futtermittelsektor. Sollen für andere, neue Einsatzgebiete biogene Stoffe eingesetzt werden, so ist zunächst die Frage zu prüfen, ob hierfür überhaupt eine Produktionsmöglichkeit besteht. Zweifellos wäre es nicht verantwortbar, eine Konkurrenzsituation mit der Nahrungsmittelproduktion zu provozieren. Seit urdenklicher Zeit war die menschliche Bevölkerungsdichte durch die mögliche Nahrungsmittelproduktion begrenzt. In fast regelmäßigen Zeitabständen gab es überall auf der Welt Hungersnöte. Erst um die Mitte dieses Jahrhunderts gelang es, zumindest in einigen Teilen der Welt, die Nahrungsmittelproduktion so stark zu steigern, daß genügend Nahrung für alle vorhanden war. Hierfür waren vor allem drei Ursachen verantwortlich:

- eine verbesserte Kultivations-technik
- der Einsatz von Mineraldüngern
- die systematische Verbesserung der Sorten.

Der Anstieg der Nahrungsmittelproduktion machte jedoch nicht bei Erreichen der Bedarfsdeckung halt, so daß es schon bald zu einer Überproduktion kam. Vor allem in Westeuropa und in den Vereinigten Staaten von Amerika nahm diese Überschußproduktion solche Ausmaße an, daß damit ein neues Wirtschaftsproblem entstand.

In vielen anderen Ländern herrscht noch ein Nahrungsmittelmangel. Der Ausgleich mit der vorhandenen Überproduktion stößt jedoch auf Zahlungsschwierigkeiten, da vor allem in den armen Ländern ein Mangel gegeben ist. Diese Problematik ist jedoch als Übergangsschwierigkeit anzusehen, da immer mehr Länder von der Überproduktion erfaßt werden.

So ergibt sich die Tatsache, daß letztlich ein Überschuß an produktiver Landfläche besteht, der für andere Produktionen genutzt werden könnte. Als Alternative wäre auch eine Flächenstilllegung möglich, doch zeigt sich bei einer genaueren Betrachtung bald, daß es nur sehr beschränkt möglich ist, landwirtschaftlich genutzte Flächen aus der Produktion zu nehmen, ohne das Aussehen der Landschaft schwer zu beeinträchtigen. Der Landwirt ist nicht nur Produzent von Nahrung, sondern auch Landschaftspfle-

ger. Solange alle vorhandenen Flächen bebaut werden mußten, um die benötigte Nahrung zu erzeugen, gab es keine Probleme. Jetzt, da nicht mehr alle Flächen für die Produktion benötigt werden, ergibt sich ein neues Problem. Wenn die Gesellschaft nicht will, daß unsere Kulturlandschaft in erheblichen Teilen verwildert, so wird dies einen beträchtlichen Aufwand erfordern.

Es zeigt sich also, daß die Erzeugung von nachwachsenden Rohstoffen auch in dieser Hinsicht von Interesse ist, da sie die Nutzung vorhandener landwirtschaftlicher Flächen erlaubt, ohne die Überschußproblematik bei den Nahrungsmitteln zu vergrößern. Allerdings muß darauf hingewiesen werden, daß in vielen Fällen biogene Rohstoffe und die daraus hergestellten Produkte billiger sind als die aus konventionellen Rohstoffen hergestellten Produkte. Dies darf aber nicht wunder nehmen, handelt es sich doch bei den konventionellen Rohstoffen fast immer um Materialien, die nur in beschränkter Menge vorhanden und nach ihrem Verbrauch unwiederbringlich verloren sind, während biogene Rohstoffe Jahr für Jahr nachwachsen und damit eine praktisch unerschöpfliche Quelle darstellen.

Die Energie für die Bildung der Biomasse liefert die Sonneneinstrahlung, die mit Hilfe der Photosynthese in pflanzliche Substanz umgewandelt wird. Der Wirkungsgrad dieser Energieumwandlung ist relativ gering und liegt bei den meisten Nutzpflanzen maximal bei einigen Prozenten. Dieser Wirkungsgrad ist allerdings ein Bruttowert, der sich auf den gesamten Verlauf des Wachstums und nur auf die oberirdischen Teile der Pflanze bezieht. Die größten Verluste treten am Anfang des Wachstums auf, wenn die Pflanze noch klein ist und die vorhandene Fläche nicht abdeckt.

Der große Vorteil der biogenen Nutzung der Sonnenenergie gegenüber der technischen Nutzung ist die Tatsache, daß die Pflanze bei der Photosynthese die Sonnenenergie nicht nur aufnimmt, sondern gleichzeitig auch speichert. Da der Anfall der Sonnenenergie weder zeitlich noch örtlich mit dem Energieverbrauch zusammenfällt, kommt der Speicherung und dem Transport der gewonnenen Energie besondere Bedeutung zu. Diese Probleme entfallen bei der Gewinnung von Biomasse weitgehend, doch kann auch hier die Lager- und Transportfähigkeit manchmal ein Problem darstellen, wenn die anfallende Biomasse einen höheren Feuchtigkeitsgehalt hat und so zer setzt werden kann.

Die geringen Wirkungsgrade bei der Nutzung der Sonnenenergie durch die

Photosynthese zeigen, daß hier noch große Verbesserungen möglich sind. Die bisher gezüchteten Kulturpflanzen wurden vorwiegend auf Qualität und erst sekundär auf Quantität hin optimiert. Der Qualitätsbegriff umfaßt in diesem Zusammenhang die Zusammensetzung der gewonnenen Biomasse, d.h. vor allem die Verdaulichkeit, daneben aber auch so schwer zu definierende Eigenschaften wie Geruch, Geschmack, Aussehen und Farbe und andere mehr. In dieser Hinsicht wird in den nächsten Jahren die Gentechnologie wesentliche Fortschritte ermöglichen. Auch wird der Begriff »biogene Rohstoffe« wohl weiter als bisher gefaßt werden müssen. So werden verschiedene Antibiotika, wie z.B. das Penicillin, auf mikrobiologischem Wege hergestellt, also letztlich aus biogenen Rohstoffen. Es scheint, daß gerade Mikrolebewesen, besonders Pilze und Hefen, eine erstaunliche Adaptionsfähigkeit für die Produktion komplizierter organischer Stoffe besitzen. Die Ausnutzung dieser Fähigkeit für eine technische Produktion solcher Stoffe könnte eine wesentliche Erweiterung des Einsatzes biogener Rohstoffe bringen.

Besonders wichtig scheint dieser Gesichtspunkt bei der Gewinnung von biogenen Energieträgern, denn im Gegensatz zu der Forderung nach Verdaulichkeit der Pflanzeninhaltsstoffe bei den Nahrungsmitteln ist jede Art von Biomasse brennbar, so daß es bei der Produktion von biogenen Brennstoffen auf die Quantität ankommt, daneben aber auch brennstofftechnische Randbedingungen, wie beispielsweise Aschegehalt und Ascheschmelzpunkt auftreten.

Ein besonderes Problem bei der Nutzung nachwachsender Rohstoffe stellt die Tatsache dar, daß fast alle diese Rohstoffe nur zu bestimmten Jahreszeiten und nicht das ganze Jahr über anfallen. Ausnahme hiervon sind nur die holzartigen Rohstoffe. Der saisonale Anfall und die meist gegebene laufende Verarbeitung dieser Rohstoffe bedingen eine ausgeklügelte Logistik und Lagerungstechnik, wie sie von gewissen Nahrungsmitteln wie z.B. Zucker bekannt sind. Der primäre Rohstoffe, die Zuckerrübe, wird zunächst in kurzer Zeit nach der Ernte in eine lagerfähige Form, den Rohsyrop, übergeführt und dieser dann das restliche Jahr über zu Weißzucker raffiniert.

Manche biogene Rohstoffe bedürfen vor ihrer Verwendung einer mechanischen oder chemischen Aufbereitung. Die Palette solcher Verfahren reicht von einer einfachen Pelletierung oder Trocknung bis zu komplizierten Trennverfahren wie Extraktionen oder Membrantrennverfahren. In der Weiterverarbeitung wer-

den vorwiegend biotechnologische Verfahren eingesetzt, also insbes. aerobe und anaerobe Fermentationen. Auch die Entsorgung eventueller Nebenprodukte muß gelöst werden, um die Verfahren ökologisch zufriedenstellend zu gestalten.

Die Verwendung biogener Rohstoffe — ein Aufgabengebiet für Wirtschaftsingenieure

Bei dem Ausbau der Gewinnung und Verwendung von biogenen Rohstoffen stellt sich eine Vielfalt von interessanten Problemen. Wie aus den bisherigen Darlegungen ersichtlich ist, überschneidet sich dabei eine Reihe von Fachgebieten, die bisher nur wenig oder gar keine Berührung miteinander gehabt haben:

- die Botanik
- der Pflanzenbau
- die Pflanzenzüchtung einschließlich der Gentechnik
- die Biotechnologie
- die Ökologie
- die Energietechnik
- der Apparate- und Maschinenbau
- die Betriebswirtschafts- und Volkswirtschaftslehre und andere mehr.

Angesichts dieser Vielfalt von Problemen kommt auch der Systemanalyse und der Systemtechnik besondere Bedeutung zu. Während für alle der genannten Gebiete einschlägige Fachleute zur Verfügung stehen, stößt die Zusammenarbeit zur gezielten Lösung eines bestimmten Problems oft in der Praxis auf Schwierigkeiten. Schon die Terminologie der einzelnen Fachgebiete ist oft recht unterschiedlich, daneben treten aber auch grundsätzliche Unterschiede in der Denkweise zutage. So fällt den Technikern das Einfühlen in den Umgang mit lebender Materie erfahrungsgemäß schwer, während den Biologen und den Botanikern die Denkweise der Technik fremd ist. Hier vermittelnd einzugreifen, ist eine wichtige Aufgabe, die viel Einfühlungsvermögen und Verständnis für die Probleme des anderen Gebietes voraussetzt, daneben aber auch ein zumindest enzyklopädisches Wissen auf allen relevanten Fachgebieten. Damit ist auch die Bereitschaft, dieses durch ein lebenslanges Dazulernen zu erwerben, eine wesentliche Vorbedingung für ein erfolgreiches Arbeiten mit biogenen Rohstoffen. Oft liegen die Schwierigkeiten nicht so sehr in der Lösung eines bestimmten Problems, sondern vielmehr im Erkennen, daß der Einsatz biogener Rohstoffe eine mögliche Alternative ist. Hier hat der Wirtschaftsingenieur den Vorteil, daß er sowohl die technischen als auch die wirtschaftlichen Belange kennt und so als Vermittler zwischen den anderen Disziplinen auftreten kann.