



**Im Jahrhundert der Nachwachsenden Rohstoffe:
Herausforderungen an Wissenschaft und Technik**

Professor Wolfgang A. Herrmann

Präsident der Technischen Universität München

7. Januar 2006

- **Zusammenfassung:** Schwindende fossile Rohstoffe und eine stark ansteigende Weltbevölkerung begründen die Notwendigkeit einer möglichst umfassenden Nutzung biogener Rohstoffe in stofflicher und energetischer Hinsicht. Als Voraussetzung hierfür wird sich vielfach die genetische Optimierung der pflanzlichen Rohstoffe in Abhängigkeit ihrer Einsatzbereiche erweisen, wobei große Unterschiede mit Rücksicht auf die Einsatzfelder Nahrung, stofflich-technische Veredelung (z.B. Chemierohstoffe) und Energieerzeugung bestehen. Eine realistische Chance auf eine breite Anwendung in der Nahrungserzeugung, in der Medizin und als Rohstoffe für die chemische Veredelung haben biogene Rohstoffe mit der zunehmenden Kenntnis molekulargenetischer Strukturen und daraus abgeleiteter Wirkprinzipien. Deshalb ist die Befassung mit biogenen Rohstoffen ein großes Jahrhundertthema, das erheblicher interdisziplinärer Forschungsanstrengungen bedarf. -

Die Segnungen von Naturwissenschaft, Medizin und Technik haben dem Menschen in der industrialisierten Welt in der Sicherheit gewogen, dass es immer so weitergehen wird. Von Zeit zu Zeit war davon die Rede, dass die fossilen Rohstoffe als wesentliche Grundlage dieser Erfolge nicht ewig reichen werden. Und gelegentlich meldeten sich Bevölkerungsexperten zu Wort, die ein bedrohlich steigendes Wachstum der Weltbevölkerung an die Wand malten. Über Jahrzehnte kaum zur Kenntnis genommen, wurde unsere politische Abhängigkeit von der Energiegrundlage Erdöl immer einseitiger.

Die Wirtschaftsflaute der vergangenen Jahre, die strukturelle Arbeitslosigkeit und die Erkenntnis einer gefährlichen Staatsverschuldung haben neuerdings uns Deutsche zum Nachdenken über die Zukunft angeregt. Unbestritten befindet sich unser Land in einem dramatischen Wandel. Er wird besonders deutlich, wenn wir uns das folgende Szenario ansehen:

Erstens: *China* - das Land der Mitte - ist mit 1,3 Mrd. Menschen zu einer wissenschaftlich-technischen Aufholjagd angetreten. Ein Dutzend neuer Universitäten in wenigen Jahren allein im Großraum Shanghai zeigt, wie

sehr man dabei auf die Aktivierung des intellektuellen Potenzials der jungen Chinesen setzt.

Zweitens: *Indien* entwickelt sich in rasanter Geschwindigkeit zu einem attraktiven Wirtschaftsmarkt und ist auf dem Sprung zu der Biotechnologiemacht der Welt. Mittlerweile befindet es sich auf Platz 16 der Industrienationen. Junge Leute bildet dieses Land schon seit Jahren auf international gutem Niveau aus. Etwa dreißig Prozent der weltweit tätigen Software-Ingenieure stammen heute aus Indien.

Drittens: Die *Arabische Welt* tritt in unser Blickfeld – politisch, wirtschaftlich und vielleicht bald auch wissenschaftlich. Ein winziges Emirat wie der Staat Katar hat Zugang zur global größten Erdgasblase. Gelänge es, diese Vorräte an gasförmigen Kohlenwasserstoffen katalytisch zu veredeln, wären wir an das Deutschland des späten 19. Jahrhunderts erinnert, als Abenteurer der Wissenschaft aus Steinkohlenteer die ersten Medikamente erzeugten und den deutschen Weltruf als Wissenschafts- und Techniknation begründeten.

Viertens: *Europa* steht mitten in einer neuen Phase des Integrationsprozesses. Wir teilen uns fortan den Markt mit einer bescheidenen, fortschrittsorientierten jungen Generation von Osteuropäern, die es wissen will. Mit 70 Millionen neuen Europäern wird nicht nur die Globalisierung, sondern auch der Binnenwettbewerb unser „Made in Germany“ kräftig herausfordern.

Fünftens: *Deutschland* läuft ab Mitte der nächsten Dekade in eine demographische Verknappung hinein. Ihre strukturellen Ursachen, ihr Ausmaß und ihre Folgen sind historisch ohne Vorbild.

Dagegen wächst *die Weltbevölkerung* von – sechstens - heute 6 auf morgen 9-10 Milliarden Menschen an. Der Hunger nach Nahrung wird proportional zunehmen. Mit dem wirtschaftlichen Aufschwung bevölkerungsstarker Länder wie China oder Indien wird zudem ein ungleich größerer Hunger nach Energie zu stillen sein. Gleichzeitig zeigen bisherige Energiequellen ihr zeitiges Ende an.

Ganz offensichtlich stehen wir am Anfang eines Jahrhunderts, in dem uns der internationale Wettbewerbsdruck stärker denn je bedrängt. Dazu gesellt sich die schwierige Aufgabe, globale Probleme zur Sicherung unseres Überlebens zu lösen. Es ist aber auch ein Jahrhundert, das kaum begonnen mit atemberaubenden Entdeckungen aufwartet:

- Gelingen ist die vollständige Entschlüsselung des menschlichen Genoms (*Science, Nature*; Februar 2001). Der Bauplan des Lebens besteht aus einem Schriftzug von 3 Milliarden Buchstaben, die etwa 40.000 Gene beschreiben. Die Entschlüsselung der genetischen Kodierung wird mit der ersten Mondlandung verglichen. Dies zurecht, denn wie damals ist nur der erste wichtige Schritt gesetzt. Noch gleichen die 40.000 Gene einem Buch mit 40.000 Siegeln. Um einen weiteren Meilenstein hinter sich zu lassen, ist jetzt die Aufklärung der *Genom-Funktionen* gefragt. Erst dann wird der Text lesbar sein. Angetrieben von der Frage, was uns von der Tierwelt unterscheidet, haben wir angefangen, den Film unserer molekularen Evolution, der seit mehr als 600.000 Generationen läuft, Bild für Bild anzusehen. Ihre Anzahl kann es nicht sein, denn selbst die gemeine Fruchtfliege bringt es auf 15.000 Gene.

- Forscher haben ein spezielles Peptid entdeckt, das Alzheimer-Kranke erstmalig hoffen lässt (Nature; Dezember 2000). Diese Entdeckung steht für die molekulare Medizin, die das neue Jahrhundert ebenso charakterisiert wie die molekularen Wissenschaften ganz allgemein.

Beide Beispiele werfen ein Licht auf die Faszination des technologischen Fortschritts. Er ist es, der seit jeher den Schlüssel zur Überwindung gesellschaftlicher Knappheitsfelder geliefert und zu mehr Wohlstand geführt hat. Der russische Nationalökonom *Nicolai Kondratieff* beschreibt in seiner „*Theorie der langen Wellen*“ (1926) die wirtschaftliche Entwicklung der westlichen Welt in verschiedenen Zyklen (Kondratieff-Zyklen). Jeder Zyklus wird durch eine Basisinnovation ausgelöst. Sie ist als Wirtschaftslokomotive definiert, die nicht *nur* zu einem großen Konjunkturzyklus führt, sondern auch die Reorganisation der gesamten Gesellschaft mitsamt ihren Arbeitsstrukturen umfasst.

Zu den technologischen Schicksalsthemen des neuen Jahrhunderts gehört die intelligente Nutzung von Nachwachsenden Rohstoffen, das Thema dieses Vortrages. Hier Basisinnovationen zu schaffen bedeutet für uns eine Chance, globale Konflikte wie die steigende Nachfrage nach *Nahrung* und *Energie* sowie *Beschäftigungs-* und *zahlreiche Umweltprobleme* nachhaltig zu lösen.

Rohstoffe des 21. Jahrhunderts sind Nachwachsende Rohstoffe

Die Vielfalt unserer stofflichen Welt beschert uns ein immer längeres Leben mit vielen Annehmlichkeiten. Diese Vielfalt heißt *Chemie*. Letztlich gestaltet sie alle Bereiche unseres Lebens: Das Autofahren genauso wie den Spitzensport, Wohnung und Kleidung genauso wie Landwirtschaft

und Medizin. Ob aus der Natur oder aus der Fabrik: Alles in uns und um uns ist Chemie. Man kennt 17 Millionen chemische Verbindungen und 3.8 Millionen chemische Reaktionen zu deren Herstellung. Diese Chemie stammt überwiegend aus der Welt des Kohlenstoffs. Ihr verdanken wir zusammen mit den Entwicklungen in der Landwirtschaft und den Veränderungen hin zu modernen Sozialstrukturen, dass sich die Lebenserwartung in den Industriestaaten seit 100 Jahren statistisch verdoppelt hat.

Noch immer sind Kohle und Erdöl die Basisressourcen unserer bunten Welt. An ihrer Entstehung hat die Natur Jahrmillionen gearbeitet. Bedenkenlos bedient sich ihrer der technische Fortschritt der Neuzeit. Längst zeichnen sich Knappheiten ab, aber erst allmählich dringen sie in das allgemeine Bewusstsein vor. Wir erkennen, dass wir so nicht weitermachen können.

Mit Beginn der Industrialisierung hat die Menschheit mehr und mehr auf in sich geschlossene Kreislaufsysteme verzichtet. Schwerwiegende Versorgungs- und Umweltprobleme wie der Treibhauseffekt sind die Konsequenz. Wollen wir diesen bedenklichen Veränderungen Einhalt gebieten, müssen wir auf Systeme setzen, die auf Nachhaltigkeit gerichtet sind.

Die Natur kann uns hier ein Vorbild sein. Ihr gelingt es unablässig, mit genialer Syntheseleistung - nämlich mithilfe von Licht, Wasser, Kohlendioxid und einigen Nährstoffen - die hochkomplexen Stoffe des Lebendigen zu erzeugen.

Ein solcher Kreislauf der Natur entsteht auch bei der Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Sie in unserer komplexen Welt bestmöglich zum Einsatz zu bringen, ist deshalb eine der vordringlichsten globalen Herausforderungen.

Die Zeit ist reif dafür. Durch Optimierung des „Gencomputers“ ist es möglich geworden, Pflanzen schneller als mit herkömmlichen Zucht- und Anbaumethoden auf erwünschte Zieleigenschaften (z.B. mechanische Festigkeit, chemische Inhaltsstoffe) auszurichten. Der interdisziplinäre Anspruch künftiger Chemie wird an dieser Stelle augenscheinlich: *Pflanzen genetiker* optimieren die Kulturpflanze der Wahl auf ihre Eigenschaftsziele. Dazu gehört das Wachstumsverhalten ebenso wie ein spezieller erntewürdiger Inhaltsstoff. *Landwirte* optimieren die Anbau-, Wachstums- und Erntemethoden. *Chemiker* veredeln den Rohstoff weiter.

Nachwachsende Rohstoffe gegen den Hunger nach Nahrung

Die steigende Nachfrage nach Nahrung werden wir nur dann in den Griff bekommen, wenn wir uns technologisch weiterentwickeln. Im Hinblick auf die Ernährung einer stark wachsenden Weltbevölkerung zeichnen sich Nachhaltigkeitsprobleme ebenso ab wie Mengenprobleme. Erschwerend wirkt der Umstand, dass das Wachstum der Nahrungsmittelproduktion asymmetrisch zum Bevölkerungswachstum verläuft und in den von der Natur besonders geschundenen Regionen nur sehr begrenzt möglich ist.

Um einen Stand von 1 Milliarde zu erreichen (1825), ließ sich der *Homo sapiens* zigtausende von Jahren Zeit. In weiteren 175 Jahren schaffte er es auf 6 Milliarden. Noch vor der Jahrhundertmitte laufen wir in eine Art „Sättigungskurve“ bei 9-10 Milliarden ein. Alle diese Menschen werden sich um die Güter der Zivilisation bewerben, zuallererst um *Nahrung*. Nach Expertenmeinung muss unsere Nahrungsmittelproduktion bis zum Jahr 2050 um 75 % gesteigert werden. Dabei müssen wir angesichts der geringen Flächenwachstumsmöglichkeit davon ausgehen, dass wir die-

se Aufgabe im Wesentlichen mit den jetzigen verfügbaren Anbauflächen zu meistern haben.

Bis ins 19. Jahrhundert hinein gelang es noch durch Verbesserung der Anbaumethoden die Bodenerträge zu vervielfachen. Dann kam die künstliche Düngung hinzu, zunächst mit Chilesalpeter und Guano aus Übersee, später auf der Basis von Ammoniak aus der Fabrik. Das war die technische Antwort auf Malthus berühmten gewordenen „Essay on Population“ (1798). Jedoch sind wir hier an Grenzen gestoßen: Überdüngung ist längst ein Schreckgespenst der Umwelt. Der nächste, hoffnungsvolle Ansatz wird aus dem vertieften Verständnis der Molekularstruktur der Erbsubstanz, aus der Kenntnis der genetischen Kodierung der Pflanze resultieren.

Zu befürchten ist, dass der *Kampf um Nahrung* dem *Krieg um Wasser* Beistand leisten wird. Der Wasserbedarf unserer Nutzpflanzen ist nur mehr gentechnisch hinreichend optimierbar.

Für das *Menschheitsproblem Nahrung* technische Innovationen bereitzustellen, ist einerseits eine Frage unseres eigenen wirtschaftlichen Überlebens, andererseits aber auch eine Frage der Moral. Spätestens an dieser Stelle sollten wir begreifen, dass der Auftrag zur Wahrung der Schöpfung die Fortentwicklung von Wissenschaft und Technik zur unausweichlichen Pflicht macht. Eine technikfreie Welt wäre eine unmoralische Welt.

Institutionen, wie die Vereinten Nationen, haben die auf uns zukommenden Engpässe in der Welt erkannt. Sie setzen auf Gentechnik. Sie sehen darin z. B. die Chance, virusresistente Pflanzen in der dritten Welt oder in den Tropen zu erzeugen sowie die Ernteerträge erheblich zu steigern.

Schon heute leiden rund 850 Millionen Menschen an Hunger oder sind unzureichend ernährt. Jährlich sterben 30 Millionen Menschen schlicht an den Folgen von Nahrungsmangel. Tröstlich stimmt, dass die Wissenschaft innovative Kräfte entwickelt.

Die vordringlichen Ziele sind leicht formuliert:

- Erhöhte Schädlingsresistenz wichtiger Kulturpflanzen;
- Entwicklung von Nutz- und Kulturpflanzen für salzhaltige Böden und wasserarme Regionen;
- nutritive Verbesserung der *Massennahrungsmittel*, beispielsweise durch Einsatz antibakteriell und antiviral wirksamer Gene.

Hierzu einige Beispiele, die zum Nachdenken anregen:

Erstens: 40 Millionen Tonnen Mais – 7 % der Welternte – fallen Jahr für Jahr dem Maiszünsler, einem gefährlichen Schadinsekt, zum Opfer. Insgesamt werden 13 % aller Anbaukulturen weltweit von Insekten vertilgt. Mit steigender Weltbevölkerung wächst deshalb zweifellos auch die Bedeutung des chemischen Pflanzenschutzes (Insektizide).

Vom Maiszünsler befallene Pflanzen werden leichter von Pilzen infiziert, die ihrerseits Gifte bilden. Das Bodenbakterium *Bacillus thuringiensis* bildet ein sogenanntes Bt-Toxin, das für das Schadinsekt tödlich ist. Für andere Lebewesen ist es hingegen harmlos und wird deshalb auch im Ökolandbau eingesetzt. Allerdings zersetzt sich dieses Toxin rasch an der Luft und ist zudem sehr teuer. Mit Hilfe der Gentechnik ist es uns nun gelungen, die Gene zur Bildung des Bt-Toxins aus dem Bakterium auf den Mais zu übertragen, womit sich dieser selbst schützen kann. Man schätzt, dass bis zu 90 % der im Maisanbau eingesetzten chemischen

Pflanzenschutzmittel mit diesem Trick eingespart werden können. In den USA wurde deshalb schon 1998 auf mehr als 20 % der Anbaufläche insektenresistenter Mais angebaut. Die Zulassung durch die Europäische Kommission erfolgte 1997.

Zweitens: Verbessern lässt sich gentechnisch auch die Nährstoffzusammensetzung von Lebensmitteln. Bekanntlich leben in Entwicklungsländern die Menschen überwiegend von einem einzigen Nahrungsmittel. In Asien ist es der Reis. Folglich gibt es viele Mangelerscheinungen. Hunderte Millionen von Menschen leiden unter Vitamin A-Mangel. Viele Kinder erblinden, weil sie in einer entscheidenden Wachstumsphase zu wenig Vitamin A für die Entwicklung des Augenlichts bekommen. Bahnbrechend war hier die Züchtung einer Reissorte, die den Vitamin-A-Vorläufer (sog. Provitamin A) bildet und im Reiskorn einlagert.

Solche Entwicklungen lassen erahnen, wie im neuen Jahrhundert die Chemie und die Biologie aufeinander zugehen müssen. Die Anbaufläche für genoptimierte Kulturpflanzen betrug im Jahr 2004 etwa 81 Millionen Hektar, mit einer Steigerung von rund 20 % innerhalb eines Jahres. 1996 waren es noch 1,7 Millionen Hektar.¹ Es ist ein verbreitetes Missverständnis, dass sich Nachhaltigkeit und Produktivität ausschließen.

Nachwachsende Rohstoffe im Non-Food-Bereich

Die Kultivierung von Pflanzen wird nicht nur zu Ernährungszwecken betrieben. Seitdem ihr Potential, das mit der Entdeckung der Kohle für mehr als ein Jahrhundert in Vergessenheit geraten war, wiederentdeckt wurde, findet sie in der Industrie erneut vielseitigen Einsatz: als Bau-

¹ ISAAA, Executive Summary No. 32 – 2004, Seite 4

stoff, Grundstoff für Kleidung und Chemie sowie als Energieträger. Ihre breite Verwendungsmöglichkeit und ihre überzeugende Klimabilanz treiben aber auch immer wieder die Erfindung neuer, innovativer und marktfähiger Produkte an.

Nachwachsende Rohstoffe als Innovationsmotor in der stofflichen Verwertung

Erst kürzlich hat kein geringerer als der von uns in Bayern so hochgeschätzte *Hopfen* nach 2000 Jahren der Kultivierung zu völlig neuen Erkenntnissen geführt. Wie im Rahmen einer Dissertation am Wissenschaftszentrum Straubing² gezeigt wird, vermögen einzelne Inhaltsstoffe das Wachstum von Tumoren verschiedener Krebsarten, wie Leukämie oder Gehirntumore, signifikant zu bekämpfen. Die stoffliche Nutzung von Hopfen eignet sich folglich auch für die pharmakologische Anwendung und stellt somit einen Gewinn für die Pharmaindustrie dar. Gleichzeitig ergeben sich neue Absatzmärkte für Landwirte aus Hopfenanbauregionen wie der Hallertau.

Nachwachsende Rohstoffe können gerade auch in gentechnisch veränderter Form für die Medizin wertvolle Wirkstoffe produzieren. Man spricht in diesem Zusammenhang von sogenannten „grünen Fabriken“, die Arzneimittelwirkstoffe in ihren Zellen mit Hilfe von Licht, Wasser und Mineralstoffen erzeugen. Die Zelle als Chemiefabrik ist die Idee, die dahinter steckt. Auch „molekulares farming“, „gen farming“ wird diese kommende Produktionsmethode der Biotechnologie genannt. Ein kanadisches Biotechnologie-Unternehmen (SemBioSys, Calgary) hat zum Beispiel der Rapspflanze ein Gen eingesetzt, das den pharmazeutischen Wirkstoff

² „Antikanzero gene und Neuroprotektive Effekte von Hopfeninhaltsstoffen“, Dr. Reinhard A. Diller, Anorganisch-Chemisches Institut, TU München im „Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe“ in Straubing.

Hirudin produziert. Es handelt sich dabei um ein gerinnungshemmendes Eiweiß, das ursprünglich aus dem Blutegel stammt und in der Medizin gegen Thrombosen eingesetzt wird. Dieser transgene Raps produziert also pharmazeutisch verwertbare Proteine. Zu diesen Eiweißstoffen zählt auch ein in Tabakpflanzen erzeugter Antikörper gegen den Karieserreger *Streptococcus Mutans*. Karies ist eine Massenerkrankung mit großen, auch volkswirtschaftlich relevanten Belastungen für das öffentliche Gesundheitswesen.

Ein anderes Beispiel ist ein in transgenen Sojabohnen produzierter Human-Antikörper: Er schafft beim Herpes Simplex-Virus Abhilfe, wie die Firma Monsanto in St. Louis/USA zeigt. Das Produkt ist in der klinischen Erprobung.

Wenn die berühmte „Gen-Tomate“ zum Antityp des sympathischen, gesunden Lebensmittels wurde, so sei doch in Erinnerung gerufen, dass vor 15 Jahren dieselben Menschen im gleichen Land die Möglichkeiten der medizinischen Gentechnik nicht zu erkennen vermochten.

Mittlerweile wissen wir, dass bisher als unheilbar geltende Erkrankungen gentechnisch „reparierbar“ sind. Womit Paul Ehrlich vor einem Jahrhundert (1910) durch sein Motto „Zielen lernen, chemisch zielen“ die Chemotherapie begründete, mag uns heute wie ein Schuss mit der Schrotflinte erscheinen. In der Krankheitsbehandlung von morgen wird der präzise, d.h. molekulare Eingriff in die Genstruktur das entscheidende Prinzip sein. Ein Land wie Deutschland, das als sprichwörtliche „Apotheke der Welt“ in der Arzneimittelchemie führend war, kann sich dieser längst in Gang befindlichen Entwicklung nicht entziehen.

Die *Kartoffel* – auch sie wird nicht nur als Nahrungsmittel verwendet und dabei „lieblos behandelt, nur weil sie so billig ist“ (Heinz Maier-Leibnitz).

Sie kann wie andere stärke liefernden Pflanzen (Mais, Weizen) ebenso für technische Zwecke eingesetzt werden. Die Kartoffelstärke enthält von Natur aus Amylose und Amylopektin. Amylose wird beispielsweise zur Herstellung kompostierbarer Folien, Amylopektin als Klebstoffgrundlage verwendet. Wirtschaftlich ist jedoch entweder das eine oder das andere. Die Trennung beider Fraktionen ist dagegen teuer, aufwändig und für die Umwelt problematisch. Hier kann die Gentechnik Abhilfe leisten.

Industrielle Hauptabnehmer der Kartoffelstärke sind Papierfabriken, Textilunternehmen und Hersteller von Binde- und Klebmitteln. Darüber hinaus wird sie als Absorptionsmittel in Hygienewindeln oder zur Verbesserung der biologischen Abbaubarkeit von Produkten in der kunststoffverarbeitenden Industrie angewendet.

Pflanzenöle sind schon lange ein wichtiger Rohstoff für Ölprodukte, Schmierstoffe sowie eine große Zahl chemischer Produkte. Ihre stoffliche Nutzung ist in Firmen wie der Henkel-Gruppe oder der US-amerikanischen Emery längst Tradition. Als gefragte nachwachsende Rohstoffe gelten z. B. die *Erucasäure* aus Raps und die *Ölsäure* aus Sonnenblumen. Einzelne daraus gewonnene Stoffe wie Ölsäuremethylester verwendet die Industrie zur Herstellung von Kosmetika, Waschmittel, Farben, Lacke und vielem mehr. Bestimmte aus Ölsäuremethylester gewonnene Säuren lassen sich wiederum bei der Herstellung von Kunstfasern stofflich verwenden. Diese Art der Nutzung verdanken wir der erfolgreichen Züchtung von hochölsäurehaltigen Sonnenblumen. Abermals offenbart uns hier die Natur, gekoppelt mit der menschlichen Intelligenz und seiner Suche nach innovativen Ideen, ihre unzähligen Möglichkeiten.

Zuckerhaltige Pflanzen wie Zuckerrübe oder Mais und Faserpflanzen wie Flachs oder Hanf eignen sich ebenfalls als Rohstofflieferanten für die Er-

schließung neuer Märkte. Sie finden schon heute reges Interesse in der Industrie. Viele High-Tech-Produkte wie Sportschuhe enthalten Zucker und in zahlreichen Autos sind schon heute Naturfasern zu Hause. Auch diese Naturstoffe werden in den Zukunftsmärkten einen wichtigen Platz einnehmen.

Alle Beispiele haben jedoch eines gemein: Mit dem Überflussesprinzip der Natur fertig zu werden, ist die hohe Kunst, die es zu beherrschen gilt. Statt vieler Stoffe soll die Nutzpflanze möglichst nur einen einheitlichen, definierten Inhaltsstoff produzieren. Mit der Erreichung dieses Ziels steht und fällt die wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit der biogenen Rohstoffe.

Ein mustergültiger Rohstoff ist *Holz*. Es ist nicht nur in der Bau- und Möbelwirtschaft, im Verpackungs- und Dämmstoffbereich, in der Papier- und Pappeindustrie als Rohstoff äußerst vielseitig einsetzbar. Seine Erzeugnisse lassen sich außerdem in mehrfach hintereinander geschaltete Stoffkreisläufe einfügen, was zu einem Kreislaufsystem mit Vorbildcharakter führt. Naturgemäß haben Produkte aus Holz die umweltfreundliche Eigenschaft, dass sie mehrfach verwendbar und rezyklierbar sind. Nach einer mehrfachen Kreislaufnutzung als Baustoff, Möbelstück, Verpackung, Spanplatte, Papier oder Pappkarton steht am Ende immer noch die *energetische* Nutzungsmöglichkeit.

Unbegründet sind Ängste, dass die verstärkte Nutzung von Holz den Waldbestand gefährdet. Derzeit werden in Bayern nur etwa zwei Drittel des jährlichen Holzzuwachses genutzt. An die 12 Millionen Festmeter bleiben ungenutzt. Dafür betreiben wir Raubbau an endlichen Ressourcen wie Erdöl, Erdgas und Kohle.

Nachwachsende Rohstoffe als Energiequelle

Neben dem *Hunger nach Nahrung* ist es der *Hunger nach Energie*, den das neue Jahrhundert stillen muß. Will heißen: Energie muss in ausreichender Menge preiswert und umweltschonend verfügbar sein. Wie akut dieses Problem ist, zeigen uns die aktuellen Öl- und Gaspreise. Die fossilen Brennstoffe unserer „Kohlenstoffwelt“ werden knapp im Schoß der Erde. Unergiebig ist, sich darüber zu streiten, wie lange die fossilen Rohstoffe noch reichen werden. Fakt ist, dass sie endlich sind.

Man schätzt, dass der Weltenergieverbrauch bis zur Mitte des Jahrhunderts auf knapp das *Dreifache* steigen wird. Abgesehen davon, dass die bekannten konventionellen Ölreserven in absehbarer Zeit ausgebeutet sind, lässt sich dieser Energiebedarf nicht allein mit den fossilen Brennstoffen Kohle, Erdöl und Erdgas decken. Kommt hinzu, dass das Vorkommen von immerhin 70 % der Ölreserven in der strategischen Ellipse von Kasachstan bis zum Persischen Golf eine enorme Abhängigkeit von Drittstaaten und damit ein besonderes Risiko für Sicherheit und Stabilität der Weltenergiewirtschaft bedeutet.

Erwiesenermaßen korreliert der Energieverbrauch eng mit dem Wohlstand einer Volkswirtschaft und dem Grad der Industrialisierung. In Deutschland liegt der Pro-Kopf-Verbrauch bei 6900 kWh, in bevölkerungsreichen Staaten wie China und Indien trotz hohem Wirtschaftswachstum noch immer sehr weit unter dem Weltmittelwert von 2400 kWh. Mit dem Wirtschaftsboom Chinas geht der *Mobilitätshunger* einher. Noch wird er mit Erdöl gestillt. Bis 2020 geht China jedoch von einer Verdoppelung der Ölnachfrage aus, was einem Verbrauch von 500 Millionen Tonnen Erdöl entsprechen würde. Derzeit existieren weltweit rund

1 Milliarde Verbrennungsmotoren - im übrigen der häufigste „Chemiereaktor“. Die Chinesen bauen nun viele Millionen dazu. Es liegt auf der Hand, dass langfristig nicht das 3-Liter-Auto auf Basis fossiler Energieträger die Lösung bringen wird, sondern das wasserstoffgespeiste *Null-Liter-Auto*, sofern der Wasserstoff aus erneuerbaren Energien erzeugt werden kann.

Strom stammt in Deutschland zu knapp einem Drittel aus Uran (Kernenergie), zur Hälfte aus Braun- und Steinkohle und zu 10 % aus erneuerbaren Energien. In Bayern werden zwar bereits rund 20 % des Stroms aus regenerativen Energien gewonnen, 61 % resultieren dennoch aus der Erzeugung von Kernenergie. Mit dem beschlossenen Ausstieg aus der Atomkraft wird in Deutschland eine Versorgungslücke entstehen, die – darüber müssen wir uns bewusst sein – mit den sog. alternativen Energien selbst bei optimaler technischer Nutzung nicht vollständig geschlossen werden kann. Weitere Effizienz- und Einsparpotentiale können zwar realisiert werden, ihr Umfang ist allerdings bei der Stromerzeugung begrenzt. Als Ausweg böte sich nur steigender Stromimport an.

Dennoch muss die Nutzung von Nachwachsenden Rohstoffen sowie ihr Wirkungsgrad weiter ausgebaut werden. Die eigentliche Begrenzung für unseren Planeten zeigt uns nämlich der Himmel: Experten vertreten nahezu übereinstimmend die Auffassung, dass der auf der Erde festgestellte Temperaturanstieg vom Menschen mitverursacht ist und aus der Verbrennung fossiler Rohstoffe resultiert. Energieeinsparappelle allein helfen nicht weiter. Das wäre ebenso blauäugig wie die Annahme, dass die globale Nahrungsversorgung durch bessere Verteilung global zu lösen sei. Es muss uns Sorgen bereiten, dass die Winterperiode in Mitteleuropa um 3 bis 4 Wochen später eintritt, dass die Gletscher um 10 %

geschrumpft sind und sich klimatische Extremereignisse (Hitze, Dürre, Niederschläge) häufen werden. Davon wird auch die Nahrungsmittelsicherheit in der Dritten Welt direkt betroffen sein.

Umweltprobleme dieser Art zeigen, dass Nachwachsende Rohstoffe eine wertvolle alternative Energiequelle bilden. Energie aus Biomasse ist gespeicherte Sonnenenergie, deren Nutzung kohlendioxid-neutral bewertet wird. Biomasse stellt einen in großen Mengen sehr einfach speicherbaren Energieträger dar. Deshalb hat sie, verglichen mit anderen erneuerbaren Energieträgern wie z.B. Wind- und Solarenergie eindeutig die Nase vorn. Der Forschung in diesem Bereich ist also eine hohe Priorität einzuräumen.

Biomasse definiert sich als die gesamte durch Pflanzen und Tiere anfallende oder erzeugte organische Substanz. Sie ist grundsätzlich regional verfügbar. Lange Transportwege können vielfach vermieden werden, was die positive Energiebilanz abrundet. Biomasse ist noch vor der Wasserkraft der bedeutendste regenerative Energieträger in Bayern. Rund 4 % des Primärenergieverbrauchs werden derzeit aus Biomasse gedeckt. Biomasse kann verbrannt, vergast oder als Treibstoff verwendet werden.

Die thermische Nutzung von Biomasse durch Verbrennung ist die älteste und effizienteste Form der energetischen Nutzung. Das Grundmaterial Holz kann heute im kleinen und großen Stil durch den Einsatz von Stückholz, Hackschnitzeln, Spänen, Sägemehl, Holzstaub und Pellets energetisch verwertet werden. Dies verdanken wir dem technologischen Fortschritt. Die Möglichkeiten reichen vom einfachen Holzofen, Kachelofen, Pelletkessel, von der vollautomatischen Holzhackschnitzelfeuerung

bis hin zu Biomasseheizwerken und Biomasseheizkraftwerken. Dabei wird während der Verbrennung von Biomasse nur die Menge an Kohlenstoffdioxid ausgestoßen, die vorher biochemisch gebunden wurde (ausgeglichene Kohlenstoffbilanz, natürlicher Kreislauf). Mit Hilfe von Biomasseheizkraftwerken können neben Wärme auch Dampf und Strom erzeugt werden. Durch die energetische Verwertung von Holz lassen sich für die Land- und Forstwirtschaft sowie für den Mittelstand, die gerade in Bayern prägende Wirtschaftsbereiche bilden, neue Betätigungsfelder erschließen. Um Wirkungsgrad und Wirtschaftlichkeit bei der Verbrennung von Biomasse zu steigern, besteht dennoch weiterer Entwicklungsbedarf.

Die Biomasse liefert uns nicht nur feste, sondern auch flüssige Brennstoffe. Diese eignen sich besonders als Kraftstoff für Fahrzeuge. Die aktuell hohen Ölpreise haben ein Gutes: Mineralölkonzerne und Autohersteller forschen intensiver denn je nach alternativen Treibstoffen. Bis wir in das Zeitalter des Wasserstoffs eintreten, bieten Biokraftstoffe eine hervorragende Brückentechnologie. Schon heute boomt der Biodiesel. Auch Bio-Ethanol, ein aus Getreide, Zuckerrüben, Zuckerrohr oder Cellulose gewonnener Alkohol, könnte bald zu einer weiteren Zapfsäule führen. Bioethanol ist weltweit der am stärksten verbreitete Biokraftstoff und für den Ottomotor quasi das Pendant des Biodiesels. Selbst naturbelassenes Pflanzenöl kann nach entsprechender Umrüstung von Dieselmotoren als Treibstoff verwendet werden. BTL, ein synthetischer Kraftstoff auf Biomasse-Basis, wird als vielversprechende Option der nächsten Jahrzehnte gehandelt. Der schwefel- und aromatenfreie Kraftstoff übertrifft nicht nur die Reduzierung von Partikelemissionen eines EU-4-Aggregats um weitere 25 Prozent, er lässt sich auch nahtlos in die üblichen Versorgungskanäle eingliedern und überzeugt mit einer ausgegli-

chenen CO₂-Bilanz. Solange wir uns den Wasserstoff nicht gefahrlos zunutze machen können, wird ein intelligenter Mix aus neuen Kraftstoffen, Antriebstechnologien sowie ausgeklügelten, gewichtssparenden Fahrzeugkonzepten entscheidend sein. Der BTL-Kraftstoff ist in seiner chemischen Zusammensetzung und Struktur gestaltbar, womit er auch der Entwicklung neuer Motoren entgegenkommt.

Interessant ist ebenfalls das durch Vergärung entstehende *Biogas*. Für seine Erzeugung bilden organische Rest- und Abfallstoffe das Grundmaterial. Das organische Material wird durch Ausschluss von Sauerstoff mikrobiell abgebaut, so dass ein mit Wasserdampf gesättigtes Gasgemisch, genannt Biogas, entsteht. Biogas wurde lange Zeit vernachlässigt, obwohl es sich bestens als Brennstoff für große und kleine Gaskraftwerke zur Erzeugung von Strom und Wärme eignet. Die Fachwelt kann sich 5 % der Stromerzeugung mittels Biogasanlagen vorstellen. Umso erfreulicher ist es, dass man in jüngster Zeit von einem Boom bei den Biogasanlagen sprechen darf.

Neugier, Kreativität, Inspiration, Phantasie: Quellen des technologischen Fortschritts

Wir stehen am Anfang dieses Jahrhunderts am Fuße eines Berges. Er bringt Herausforderungen mit sich, die in ihrer Größenordnung neu zu sein scheinen. Nahrung und Energie sind zu globalen Themen geworden. Hinzu gesellt sich eine Umweltproblematik, deren Ausmaß keiner so genau abschätzen kann. Trotz aller festgeschriebenen Bemühungen im Kyoto-Protokoll von 1990 werden jährlich mehr Schadstoffe freigesetzt und diese verstärken die Erderwärmung. Noch scheint im Tal die Sonne, aber bei genauer Betrachtung sieht man, wie sich ein Unwetter

zusammenbraut. Wollen wir den Berg rechtzeitig erklimmen, müssen wir uns Wege suchen, die heute und morgen und nicht erst übermorgen begehbar sind.

Deutschland steht wirtschaftlich betrachtet vor einer Bewährungsprobe. Bayern hat schon früh die wirtschaftlichen Chancen der nachwachsenden Rohstoffe entdeckt und zählt zu den Pionieren in Europa: Schon seit Anfang der 90er Jahre gibt es hier eine intensive Förderung der stofflichen und energetischen Verwertung nachwachsender Rohstoffe. Weltweit ist dieses Know how sehr begehrt. Die biogenen Rohstoffe rücken mehr und mehr ins Zentrum. Hier liegen unsere Chancen – global, national, regional.

Um neue Märkte zu erschließen ist Pioniergeist gefragt. Innovationen werden es sein, die uns die Antworten zu den gestellten Fragen liefern. Die Natur ist dabei ein idealer Lehrmeister: Sie ist die beste Biologin, Chemikerin und Physikerin zugleich. Die Natur ist ein Universalgenie. Inspiriert von ihrer Vielfalt müssen wir uns mit Kreativität und Neugier auf die Suche nach dem technologischen Fortschritt begeben. Sie liefert uns alles, was wir brauchen. Allerdings müssen wir ihre Künste in unsere Dienste stellen und an die heutigen Bedürfnisse anpassen.

Dazu sind erhebliche Anstrengungen in der interdisziplinären Forschung erforderlich, nachdem das Zukunftspotential der biogenen Rohstoffe über Jahre und Jahrzehnte nicht erkannt war. Die besten Ergebnisse sind dort zu erwarten, wo Pflanzengenetiker mit Chemikern und Medizinern, mit Agrarwissenschaftlern und Verfahrensingenieuren zusammenarbeiten. Die daraus resultierenden Chancen für Deutschland mit ihren Kernkompetenzen auf den genannten Gebieten sollte endlich auch die Deutsche Forschungsgemeinschaft erkennen. Denn auch sie konnte selbst

als die wichtigste Institution der Forschungsförderung in Deutschland mit biogenen Rohstoffen nichts anfangen.

Ich erinnere an ein Zitat des genialen Physikers und geistigen Unternehmers, Albert Einstein: „Phantasie ist wichtiger als Wissen, denn Wissen ist begrenzt.“ Und ich schließe mit den Worten: Ideen sind das Kapital der Zukunft.