

Naturwissenschaft und Technik im neuen Jahrhundert:

Wissen, Staunen, Verantwortung

Professor Wolfgang A. Herrmann, Präsident der Technischen Universität München

München, den 15. März 2001

Noch nie haben Naturwissenschaft und Technik den Beginn eines Jahrhunderts so offensichtlich und umfassend geprägt wie heute. Und noch nie zuvor war so klar, dass für ein hoch entwickeltes Land die beste Politik der Nachhaltigkeit in der Talentförderung seiner Jugend liegt - die "Greencard"-Diskussion hat's gezeigt. Das junge Jahrhundert ist das Jahrhundert unserer Kinder, Enkel und Urenkel. Es ist das Jahrhundert der Molekularen Biologie und das Jahrhundert der globalen Vernetzung. Völlig neue Herausforderungen technologischer, gesellschaftlicher und geopolitischer Art ziehen vor uns auf. Mut und Ermutigung sind das erste Gebot. Eng wird der Platz für Wohlstandsbefindlichkeiten.

Atemberaubend hat das neue Jahrhundert begonnen: Soeben haben Forscher ein Beta-Amyloid-Peptid entdeckt, das Alzheimer-Kranke wieder hoffen läßt (Zeitschrift *Nature*, Dez. 2000). Andererseits stehen wir hilflos vor dem Rinderwahnsinn. Ursachen und Übertragungsmechanismen sind unbekannt. Die Wissenschaft ist in der Pflicht zu forschen und die Politik durch Rat vor Frevel zu beschützen.

Vollständig aufgeklärt ist das menschliche Genom (*Science, Nature*; Febr. 2001). Der Bauplan des Lebens ist ein Text aus drei Milliarden Buchstaben, der 40.000 Gene beschreibt. Man hat die Entschlüsselung des genetischen Codes mit der ersten Mondlandung verglichen - zurecht, denn wie damals ist nur der erste wichtige Schritt gesetzt. Die 40.000 Gene sind ein Buch mit 40.000 Siegeln. Die Aufklärung der Genomfunktionen wird viel Zeit beanspruchen, wohl Jahrzehnte. Zur Bescheidenheit mahnt, daß wir genetisch kaum komplizierter sind als "einfachere" Lebewesen.

Basisinnovationen des 21. Jahrhunderts

Wohin, so fragt man an der Jahrhundertsschwelle, geht die technologische Entwicklung? Welche Ursachen und welche historische Ableitung hat diese Entwicklung? Die wirtschaftliche Entwicklung der westlichen Welt läßt sich seit Beginn der Industriellen Revolution durch die "Theorie der langen Wellen" beschreiben. Man teilt sie in sog. Kondratieff-Zyklen ein (Nicolai Kondratieff [russischer Nationalökonom], 1926). Jeder dieser Zyklen wurde durch eine Basisinnovation ausgelöst. Eine Basisinnovation ist als Wirtschaftslokomotive definiert, die nicht nur zu einem großen Konjunkturzyklus führt, sondern auch die Reorganisation der gesamten Gesellschaft und ihrer Arbeitsstrukturen umfaßt. Kennzeichnend ist die Erschließung immer neuer Knappheitsfelder der Gesellschaft, die sich von der Agrargesellschaft über die Industrie- zur Wissensgesellschaft gewandelt hat:

1. Kondratieff: 1800 - 1850 Dampfmaschine/Baumwolle
2. Kondratieff: 1850 - 1900 Stahl/Eisenbahn

Ab hier war Bayern in jeder Phase dabei, so auch beim:

3. Kondratieff: 1900 - 1950 Elektrotechnik/Chemie
4. Kondratieff: 1950 - 1975 Petrochemie/Automobilbau

Hundert Jahre lang hatte der reichste Mann der Welt - von David Rockefeller bis zum Sultan von Brunei - mit dem Rohstoff Erdöl zu tun. An dessen Stelle tritt nun verstärkt der Rohstoff Geist.

Innovation heißt gegenseitige Mobilisierung von Wissenschaft und Wirtschaft.
Zu wenig Innovation läuft auf strukturelle Arbeitslosigkeit hinaus.

Zukunft aus den Nanowelten

Für den jetzt einsetzenden 6. Kondratieff-Zyklus gibt es drei Kandidaten, die einen neuen, langen Wirtschaftsaufschwung zu tragen versprechen:

1. *Vernetztes Wissen*
2. *Intelligente Materialien und Werkstoffe*
3. *Biotechnologie, Umwelt und Gesundheit ("Life Sciences")*

Was hier recht heterogen erscheint, gehört in Wahrheit zusammen und gehorcht dem Zauberwort unserer Zeit: Es heißt Miniaturisierung. Nicht mehr mit der Elle durchschreiten wir messend diese Welt. Es ist vielmehr die Wellenlänge des Lichts, mit der wir die Mikrostrukturen der Materie erschließen, der belebten wie der unbelebten. So wurde es möglich, unvorstellbar große Datenmengen auf unvorstellbar kleinem Platz zu speichern (Halbleiter, Chips!). Nicht mehr von Zeilen, Seiten und Büchern spricht der Mensch: Megabytes und Gigaflop-Rechner halten sein Wissen vor. Informationstechnologien sind rechnende Enzyklopädien, fast 50 Millionen Rechner sind weltweit miteinander vernetzt. Hatte vor 25 Jahren ein Megabyte Speicherkapazität noch den Gegenwert eines Einfamilienhauses, so steht heute eine Büroklammer dagegen, praktisch Null. Das Handy von heute hat mehr Speicherkapazität als der NASA-Rechner, der 1968 die erste Mondlandung steuerte. Der Mikroprozessor neuester Bauart nimmt in jeder Sekunde bis zu einer Milliarde Maschinenbefehle entgegen und verarbeitet sie mit zuverlässiger Ja/Nein-Logik. Ja, die Briefe sind schneller geworden. Aber sie sind nicht mehr so schön. Das Gutenberg-Zeitalter scheint zu Ende. Jedenfalls liegt in der Miniaturisierung die technische Innovation. Die Maßeinheit heißt Nanometer (nm), "Zwergenmeter", das ist ein Millionstel Millimeter.

Dennoch: Bei allem Bekenntnis zu den modernen Technologien ist ein technokratisches Weltbild nicht angesagt. Zu offensichtlich sind die Nachteile, die uns die Loslösung von Wertebezügen, die Abkehr von religiösen Verbindlichkeiten und die Hinwendung zum Interessensindividualismus gebracht haben. Technologieführerschaft ereignet sich heute auf Märkten mit eigenkulturellen Hintergründen, die wir kennen und achten müssen, um dort *erfolgreich* zu sein. Die Kulturen Indiens und Ostasiens, der künftigen Bevölkerungsgiganten im Vergleich zum "europäischen Zwerg", werden uns Wirtschaftsräume in neuen globalen Netzwerken nur öffnen, wenn wir auch das Brauchtum und die geistige Bindung dieser Menschen zu würdigen wissen. *Weltoffenheit* ist angesagt, und sie beginnt in den Elternhäusern und Schulen. *Bildung und Ausbildung, Beruf und Berufsbildung* sind sichere Indikatoren einer Landeskultur. *Handwerk, Wissenschaft und Technik* sind die Innovationsquellen der modernen Wissensgesellschaft.

Ich will Ihnen heute zeigen, daß der technische Fortschritt aus der Miniaturisierung vor allem die *Erforschung komplexer Systeme* ermöglicht. Dazu gehören so unterschiedliche Beispiele wie das menschliche Gehirn oder die globalen Klimaveränderungen, aber auch die Erfassung soziologischer Strukturen.

Zurück zum kommenden, dem 6. Kondratieff-Zyklus:

Informationsnetzwerke

Informationsnetzwerke werden alsbald die Wettbewerbsfähigkeit einer Volkswirtschaft bestimmen. Die Information hat ihre größten Produktionsreserven in der computergestützten Optimierung von ungenauem Wissen. Ungenaueres Wissen bedeutet z.B. die Modellierung von umfangreichem Datenmaterial auf statistischer Basis, womit man einen technischen Ablauf (z.B. Reißbildung belasteter Werkstoffe) präzisieren kann, ohne ihn im einzelnen genau untersucht zu haben. Umgekehrt können Daten, die vom gleichen Objekt mit unterschiedlichen Methoden erfaßt wurden, ein wirklichkeitsnahes Bild ergeben. Beispielfhaft sei das Wachstum eines Tumors genannt.

Im Bau künstlicher Gehirne sehen viele die stärkste Triebkraft des technischen Fortschritts. Das menschliche Gehirn ist zwar von kläglichem Langsamkeit beim sequentiellen Rechnen - unübertroffen aber ist es, rechnerarchitektonisch gesprochen, beim Parallelrechnen. Ein Ausdruck hierfür ist unsere Gabe zur Muster- und Bilderkennung. Das menschliche Gehirn arbeitet mit rund 100 Milliarden Neuronen (Nervenzellen), die 100 Billionen Schaltverbindungen bilden. Der Nachbau der Rechnerstruktur unserer neuronalen Netze gilt als größte Herausforderung der modernen Software-Entwicklung.

Während sich die Computertechnologie bisher auf flächige Speicherstrukturen beschränkt ("Chips"), wird es morgen dreidimensionale und damit viel leistungsfähigere Speicher geben, genannt "Cubic Memories". Ferner wird das Speichermaterial Silizium von sog. Nanoröhren aus Kohlenstoff abgelöst werden (Nippon Electric Co.), das sind winzigste Kohlenstoffstrukturen. Das Computerprinzip wird sich auf die Eigenschaften einzelner Elektronen reduzieren. Kleiner geht es dann nicht mehr, jedoch werden diese sog. "Quantencomputer" das Denkvermögen des menschlichen Gehirns weit übertroffen haben. Ich wäre dagegen skeptisch, ob die großartige Maschinenintelligenz zur cartesischen Einsicht eines "*Cogito, ergo sum*" fähig ist, auch wenn sich Technokraten bisweilen zum göttlichen "*Ego sum*" versteigen. Das Geist-Körper-Problem wird sich glücklicherweise nicht stellen. Gleichwohl: Die virtuelle Realität fortgeschrittener Information wird dazu führen, daß Gelähmte dank computergesteuerter Nervenstimulierung wieder gehen und Treppen steigen können. Taube werden an künstlichen Linsendisplays ablesen, was ihnen andere zu sagen haben. Blinde werden durch Neuro-Netzhautimplantate wieder sehen können. Zu hunderten werden sog. Molekulare Maschinen ("Nanobots") in den Körperflüssigkeiten navigieren und sich zu Frühwarnsystemen für Krankheiten zusammenschließen. Das alles dürfte keine 30 Jahre mehr dauern. Da erscheinen uns der Gelähmte von Kapharnaum (Mk 2, 1-12), der blinde Bartimäus (Mk 10, 46-52) und die zehn Aussätzigen des Lukasevangeliums (Lk 17, 11-19). Ob es auch an Lazarus rüttelt, dieses Jahrhundert, wenn es den Krebs besiegt haben wird?

Intelligente Materialien und Werkstoffe

Eine Plattform für Zukunftstechnologien bilden die *Neuen Materialien* ("*advanced materials*"), vor allem die "optischen Technologien" bei der technischen Erschließung der elektromagnetischen Strahlung, genannt Licht. Beispiele: CD-Player, Fotokopierer, Laser-Scanner, lichtemittierende Dioden (LEDs), Lasertherapie. Die neueste Glasfaser überträgt in einer Sekunde den kompletten Inhalt einer 50 Kilometer langen Bücherreihe einmal um die Erde - ein Beispiel für Informationstechnologie, nicht zu verwechseln mit Informatik. Mit neuen Werkstoffen, die auf dem Verständnis der nanostrukturierten Materie beruhen, wird man die Photovoltaik und damit die Energietechnik voranbringen, nicht hingegen mit politisch begründeter Solarstromsubvention. Man wird Kraftturbinen effizienter und die Räder des ICE-Zugs sicherer machen. Chemische Stoffumwandlungsprozesse werden vielfältiger aber zielsicherer und gleichzeitig ressourcensparsamer als bisher (Katalysatoren). Die Stromübertragung mit Supraleiterkabeln wird im Idealfall verlustlos funktionieren.

HighTech-Materialien stellen bisher ungesehene Wertschöpfungen in Aussicht, wenn wir eigene Produktionsstandorte haben. HighTech-Innovationen ohne Produktionsstandorte sind volkswirtschaftlich sinnlos. Globalisierung ist nämlich auch Lokalisierung, heißt Vor-Ort-Kompetenz. Geforscht wird wo produziert wird. Und: Der Mensch will Heimat, will bei Gleichgesinnten und in seiner Familie zuhause sein. Vor-Ort-Kompetenz!

Nun wird man die Geschichte des *Homo sapiens* nicht primär nach den *Werkstoffen* einzuteilen, die er als Werkzeuge benutzt hat. Unbestritten ist aber auch, daß die *Werkstoffe* die gesamtulturelle Entwicklung nachhaltig beeinflusst haben: vom Stein über das Eisen, die Bronze, den Zement, den Stahl, die Kunststoffe, zum Chip-Silizium. Wer die Werkstofftechnologien anführen möchte, muß auch die besten analytischen Methoden beherrschen. So ist die "Neue Forschungs-Neutronenquelle" FRM-II in Garching erforderlich, weil mit Neutronen die Struktur der Materie besonders genau erfaßbar ist. Sie sind gewissermaßen die "besseren Röntgenstrahlen", weil sie kompakte Materie durchdringen. Neutronen erfassen die Materialqualität anorganischer Stoffe (Legierungen, Keramiken, Dünnschichten aus Galliumnitrid) ebenso präzise wie die Feinstruktur biologischer Makromoleküle (Polypeptide, DNA, Enzyme). Wenn wir die infizierten BSE-Proteine, genannt Prionen, in ausreichenden

Mengen haben (z.B. gentechnische Herstellung), dann wird man ihre exakte Raumstruktur mittels Neutronen bestimmen und dann über den Wirkmechanismus Bescheid wissen. Im ganzen verschafft uns diese Neutronenquelle eine wissenschaftlich-technische Monopolstellung ersten Ranges. Das technische Konzept der TU München findet schon heute weltweite Anerkennung. Die dazugehörige bayerische *Politik zeichnet sich durch Nachhaltigkeit* aus, weil sie sich auf den technischen Fortschritt einläßt und ihn langfristig sichert.

Nachhaltigkeit: - Motiv eines weiteren Jahrhundertthemas, das ohne Wissenschaft und Hochtechnologie ein Lippenbekenntnis bleiben müßte. Sprechen wir deshalb jetzt über

Gesundheit, Umwelt und Ernährung (Lebenswissenschaften).

Nicht ohne Grund ist oft von der *Biologisierung* der Technik die Rede. So wie die Chemie seit Beginn des Jahrhunderts der Natur Synthesemethoden komplizierter Moleküle abschaut und diese fabrikmäßig nachbaut (Naturstoffe, Chemotherapie), so sind es biologische Wirkprinzipien, an denen sich morgen ganze Technologien orientieren werden. Ja, es ist die *Biologie*, die dem neuen Jahrhundert die großen Fragen stellt. Die Chemie und die Physik werden mit Hilfe der Ingenieurwissenschaften diese Fragen beantworten und umsetzen: Wie wird elektrische Ladung in Nervenzellen übertragen, wie legen Elektronen große Strecken in biopolymeren Domänen zurück und steuern dabei Körperfunktionen und Energiehaushalt? Wie lassen sich die gigantischen Datenmengen, die den lebenden Organismus ausmachen, *ermitteln, aufzeichnen, ordnen, nutzen*? Wie setzt man die Mikrotechnik und die dynamischen Funktionsprinzipien der belebten Welt in technisches Gerät um, von der Miniatur bis zur Großanlage? *Bionik* heißt diese Entwicklung zwischen Natur und Technik.

Immer brennender wird das Thema der Ernährung und Gesunderhaltung einer Weltbevölkerung, die sich exponentiell entwickelt. Hatte sie Zigtausende von Jahren gebraucht, um einen Stand von einer Milliarde zu erreichen (1825), so schaffte sie es in weiteren 175 Jahren auf 6 Milliarden und läuft in weniger als nochmals 50 Jahren in eine Art "Sättigungskurve" von 9 bis 10 Milliarden ein. Alle diese Menschen werden sich um die Güter der Zivilisation bewerben, zuallererst um Nahrung. Das ist die Szene, nein, das ist das Stück, das dem Welttheater des neuen Jahrhunderts seine Dramatik gibt. Hatte Robert Thomas Malthus, der englische Pfarrer und Volkswirt, zu Beginn der Bevölkerungsexplosion noch unrecht, als er im "*Essay on Population*" (1798) voraussagte, die "*fertility of mother earth*" würde dem Bevölkerungswachstum nicht folgen können, so geht es jetzt um eine andere Größenordnung: Damals gelang es noch, durch künstliche Düngung - später auf Basis der großtechnischen Ammoniak-Synthese - die Bodenerträge zu vervielfachen. Jedoch ist die Sättigungsgrenze hier längst erreicht. Abermals hat die Zukunft mit der Miniaturisierung zu tun: Es ist die molekulare Struktur der Erbsubstanz, aus der wir künftig Pflanzen ableiten, die auf ariden Böden unter schlechten Klimabedingungen hinreichend rasch wachsen. Bei aller Leistung der modernen Agrar- und Landtechnik: Es wird die Kenntnis der genetischen Codierung sein, aus der sich Milliarden Menschen das Überleben sichern, ohne daß sie die Schöpfung zerstören müssen.

So müßig es ist, nach der bedeutendsten Entdeckung des 20. Jahrhunderts zu fragen, so offenkundig ist die nachhaltige Wirkung der genialen Idee, daß die DNS als der Erbsubstanzträger eine Doppelhelixstruktur hat (Watson und Crick, Nobelpreis 1960). Daraus leitet sich die ganze belebte Welt ab, sozusagen der "Festspeicher des Lebens", die Hardware, ähnlich für alle Lebewesen, vom Bakterium bis zum Menschen. Genomik und Proteomik sind die Entdeckungsfelder unserer Zeit ("Benutzerhandbuch", leider ohne "Hilfe-Datei"). Die neue Biotechnologie ist im Grunde eine *Informationsverarbeitungstechnik* auf der molekularen Ebene. Wer die molekularen Strukturen kennt, hat den Schlüssel zum Leben in der Hand. Mit jeder neuen Entdeckung steigt die Verantwortung der Wissenschaften.

Nahrung, Energie und Gesundheit drängend sich als die Menschheitsprobleme dieses Jahrhunderts auf. Hierfür technische Lösungen bereit zu stellen, ist eine Frage des eigenen Überlebens aber auch der Moral. Im Grunde macht der Auftrag zur Bewahrung der Schöpfung die Fortentwicklung von Wissenschaft und Technik zur unausweichlichen Pflicht.

Auf die keinesfalls isoliert zu sehenden Themen Energie und Rohstoffe sei hier aus Zeitgründen nicht weiter eingegangen. Die Verknappung der fossilen Energie- und Rohstoffbasis verlangt nach

Forschung. Einerseits werden wir die Kernenergie als insgesamt umweltschonendste und sicherste Art der Energieerzeugung wohl noch fünfzig Jahre brauchen, denn die witterungsabhängigen Energiequellen wie Sonne und Wind entsprechen nicht der spezifischen Eigenschaft der elektrischen Energie: daß sie nämlich im Augenblick ihres Verbrauchs auch erzeugt werden muß, "just in time". Elektrizität in großen Mengen zu speichern und bei Bedarf schlagartig verfügbar zu machen, muß der größten Forschungsanstrengungen dieses Jahrhunderts wert sein, im übrigen das logische Anwendungsfeld für die Ökosteuer.

Nicht fehlen soll jedoch der Hinweis, daß wir die *Nachwachsenden Rohstoffe* als Energie- und Werkstoffe der Zukunft ernst nehmen müssen. Für die stoffliche Nutzung können Pflanzen durch Optimierung ihres "Gencomputers" so erzogen werden, daß sie bei vorgegebenen Zeiteigenschaften (z.B. mechanische Festigkeit, chemische Inhaltsstoffe) eine ausreichende Wachstumsgeschwindigkeit verbinden mit einem zweckgerichteten Aneignungsvermögen für die Nährstoffe aus dem Boden. Was wir seit Beginn der industriellen Revolution an fossilen Materialien verheizen und veredeln, verdanken wir der genialen Syntheseleistung der Natur über Millionen von Jahren: Mit *Licht*, *Wasser* und *Kohlendioxid* synthetisiert die Natur die komplexen Stoffe des Lebendigen. Nur wenn es uns gelingt, auch pflanzliche Stoffe als Rohstoffbasis heranzuziehen, werden wir die stofflich hochdifferenzierte Welt (= Chemie) weiter betreiben können. Auf sie können wir gar nicht mehr verzichten. Im übrigen sind biogene Rohstoffe ("Biomasse") auch für die Energiegewinnung chancenreich. Beispielsweise entsteht in Louisiana eine Fabrik, die aus Abfällen der Land- und Forstwirtschaft jährlich 75 Mio Liter Treibstoffethanol produzieren wird (BC International Corp.) Die dafür erforderlichen Mikroorganismen sind veränderte *E.coli*-Bakterien des Mikrobiologen Lonnie Ingram von der University of Florida.

Biotechnologie und Molekulare Genetik

Nicht nur wegen des globalen Bevölkerungszuwachses, sondern auch wegen der hohen Individualansprüche in den fortgeschrittenen Ländern werden künftig die *Landwirtschaft*, der *Umweltschutz*, die *Ernährungsindustrie* und die *Medizin* als die *Schwerpunktfelder der Life Sciences* ohne Biotechnologie nicht auskommen.

Die Biotechnologie basiert darauf, daß wir Organismen für uns arbeiten lassen ("Nutzzorganismen"): Pflanzen, Tiere, Mikroorganismen. Die Genomstruktur ist das Raster, auf dem solche Prozesse ablaufen. Kombiniert man Gensequenzausschnitte mit Mikrochips, so kann man auf einer Chipkarte Hunderte von Krankheitserregern in Form von Genkodierung verankern, und damit in einer einzigen Blutuntersuchung den Übeltäter herausfinden. DNA-Kodierung nennt man dieses neuartige Verfahren. Ein weiteres Beispiel: Die Veränderung der Genstruktur könnte das Nutztier dazu bringen, im Organismus "natürliche" Arzneien zu produzieren. Über die Milch ausgetragen und daraus isoliert, könnte die Medikamentenfabrik herkömmlicher Art überflüssig werden, eine keineswegs unrealistische Zukunftsvision. Die Milch aus solcher Produktion wäre freilich kein Nahrungsmittel mehr. *Gene Pharming* nennen das die Fachleute.

Genetisch veränderte Pflanzen produzieren wertvolle Wirkstoffe für die Medizin: Grüne Fabriken, die Arzneimittelwirkstoffe in ihren Zellen mit Hilfe von Licht, Wasser und Mineralstoffen erzeugen. Von den klassischen Rapsfeldern kommt Öl für die Nahrungsmittelindustrie. Das kanadische Biotechnologie-Unternehmen SemBioSys aus Calgary hat nun der Rapspflanze ein neues Gen eingesetzt, das den pharmazeutischen Wirkstoff Hirudin produziert. Das ist ein gerinnungshemmendes Eiweiß, das ursprünglich aus dem Blutegel stammt und in der Medizin gegen Thrombosen eingesetzt wird. "Molekulares Farming" (*Gene Farming*) nennt man diese neue Produktionsmethode der Biotechnologie.

Es gibt aber auch schon transgene Pflanzen, die pharmazeutische Proteine produzieren. Dazu gehört ein in Tabakpflanzen erzeugter Antikörper gegen den Karieserreger *Streptococcus mutans*. Die Monsanto produziert in transgenen Sojabohnen einen Humanantikörper gegen das Herpes simplex-Virus. Es ist bereits in der klinischen Erprobung.

Die molekulare Genetik wird den Menschen in eine besondere Verantwortung nehmen. Er wird lernen müssen, zwischen Notwendigem und Wünschenswertem, Nützlichem und Frevelhaftem zu unterscheiden. Während uns in der Humangenetik die Heilung bisher als unheilbar geltender

Krankheiten überzeugt, so sind vor die Serienfertigung menschlicher Individuen durch die Technik des Klonierens unüberwindliche Grenzen zu setzen.

Nicht verzichtbar erscheint die gentechnische Optimierung von Nutz- und Kulturpflanzen. Man schätzt, daß das globale Nahrungsangebot bis 2025 etwa gleich stark durch Biotechnologie und klassische Züchtung verbessert wird (jeweils ca. 2 Trillionen kcal p.a.). Vordringliche Ziele sind

- Schädlingsresistenz wichtiger Kulturpflanzen
- Nutz- und Kulturpflanzen auf salzhaltigen Böden und in wasserarmen Regionen
- Nutritive Verbesserung von Massennahrungsmitteln, z.B. antibakteriell und antiviral wirksame Gene.

Die landwirtschaftliche Nutzfläche wird sich entgegen der Bevölkerungszunahme in 25 Jahren halbieren, bedingt durch Verödung, Dürre, Überschwemmung, Wind- und Wassererosion, Versalzung und Übernutzung. Schon heute leiden 800 Millionen Menschen an Hunger oder sind unzureichend ernährt, jährlich sterben 10 Millionen Menschen, vor allem Kinder, an den Folgen von Nahrungsmangel.

Die wohlhabenden Industrieländer und Wissenschaftsnationen sind hier in der Pflicht. Hier einige Beispiele gentechnischer Errungenschaften:

- *Insektenresistenz*: 40 Millionen Tonnen Mais - 7 % der Welternte - fallen dem Maiszünsler, einem gefährlichen Schadinsekt, zum Opfer. Insgesamt werden 13 % aller Anbaukulturen weltweit von Insekten vertilgt, deshalb die Bedeutung des chemischen Pflanzenschutzes (Insektizide). Vom Maiszünsler befallene Pflanzen werden leichter von Pilzen infiziert, die ihrerseits Gifte bilden, sog. Aflatoxine. Das Bodenbakterium *Bacillus thuringiensis* bildet ein für das Schadinsekt tödliches Bt-Toxin, das für andere Lebewesen harmlos ist und deshalb auch im Ökolandbau eingesetzt wird.

Dieses Toxin ist allerdings sehr teuer und zersetzt sich an der Luft rasch. Eine Errungenschaft der Gentechnik besteht nun darin, daß man die Gene für das Bt-Toxin aus dem Bakterium auf den Mais übertragen hat, der sich damit selbst schützt. Bis zu 90 % der chemischen Pflanzenschutzmittel können eingespart werden. In den USA wurde schon 1998 auf mehr als 20 % der Anbaufläche insektenresistenter Mais angebaut. Die Zulassung durch die Europäische Kommission erfolgte 1997.

- *Krankheitsprävention* : Gentechnisch läßt sich der Nährstoffgehalt von Lebensmitteln verbessern. In Entwicklungsländern leben die Menschen überwiegend von einem einzigen Nahrungsmittel. In Asien ist es der Reis. Folglich gibt es viele Mangelercheinungen. Über 200 Millionen Menschen leiden unter Vitamin A-Mangel, viele Kinder erblinden, weil sie in einer entscheidenden Wachstumsphase nicht genügend Vitamin A für die Entwicklung des Augenlichts bekommen. Bahnbrechend war die Züchtung einer Reissorte, die das Provitamin A bildet und im Korn einlagert.
- *Nachwachsende Rohstoffe*: Die Kartoffel wird nicht nur als Nahrungsmittel lieblos behandelt. Sie wird auch für technische Zwecke eingesetzt, zum Beispiel in der Papierindustrie und als Textilstärke. Die Kartoffelstärke enthält von Natur aus Amylose und Amylopektin. Amylose kann für kompostierbare Folien, Amylopektin als Klebstoffgrundlage verwendet werden. Wirtschaftlich ist entweder das eine oder das andere, die Trennung beider Komponenten ist zu teuer. Die Gentechnik hat dieses Problem gelöst. Als nachwachsender Rohstoff gilt auch die Ölsäure aus Sonnenblumen oder die Erucasäure aus Raps. Entscheidend ist in allen diesen Fällen, daß man mit dem Überflußprinzip der Natur fertig wird: Statt vieler Stoffe soll eine technische Nutzpflanze möglichst nur einen Inhaltsstoff produzieren. Erst wenn dies gelingt, bewegen wir uns in den Bereich der Wirtschaftlichkeit.

Bildung: Generationenpflicht, Lebensqualität, Wettbewerbsvorteil

Das *Wissen* der Welt entwickelt sich noch viel schneller als sich die Menschen selbst vermehren. Wissen allein macht aber die Menschen sittlich nicht besser. Das wußte schon Rousseau auf die

berühmte Preisfrage der Französischen Akademie der Wissenschaften zu antworten.

Damit sind wir beim Bildungsauftrag unserer Gesellschaft angelangt. Ich fürchte mich vor den Bildungszweigen, die per Internet zu mächtigen Informationsriesen aufgeblasen werden. Aus Informationen Wissen zu formieren, ist Kombinatorik, aber nicht Bildungsarbeit. Wissen zu ordnen, zu gewichten und zu werten - um daraus Bildungswissen zu gestalten, das ist der eigentliche Bildungsauftrag.

Hier sehe ich die Chance der europäischen Bildungskultur, die sich seit Leonardo da Vinci und Galileo Galilei auch als naturwissenschaftlich-technische Kultur versteht. Die seit Humboldt vor allem versteht, daß Wissenschaft nicht wie eine Glühlampe ein- und wieder ausgeschaltet werden kann, sondern vom Fluidum der Kontinuität lebt.

Zu den angesprochenen Zukunftsaufträgen werden wir aus der Mitte unseres winzigen Europa nur dann global wirksam beitragen, wenn wir

1. die Spitze der wissenschaftlich-technischen Entwicklung selbst definieren, im Bewußtsein unserer herausragenden Leistungen im 19. und 20. Jahrhundert, und wenn wir
2. das technische Wissen vor einen Bildungshorizont stellen, damit es den Menschen im Mittelpunkt hat, nicht die Technik für sich, und sei sie noch so faszinierend.

Technik so und nur so verstanden, wird auch außerhalb unseres Kulturkreises erfolgreich sein. Damit sind wir wieder bei der Unvermeidlichkeit von Naturwissenschaft und Technik angelangt. Beide sollen als legitime, zeitgemäße Ausdrucksformen unserer Kultur begriffen werden, nicht anders als sich jede Epoche künstlerisch, literarisch und philosophisch artikuliert. Unser Problem - auch in der Schulbildung - besteht darin, daß die Naturwissenschaften als etwas Artifizielles, Unnatürliches oder Widernatürliches verstanden werden, die auch noch einer Klasse speziell dafür Begabter überantwortet werden. Das Gegenteil aber trifft zu: In dem Maße, wie die Wissenschaft und Technik alle Lebensbereiche durchdringen, steigt auch die Notwendigkeit, diesen Prozeß als neuen, integralen Kulturbegriff zu erfassen. Das heißt: Ingenieure, Chemiker, Physiker von morgen werden geistes-, sozial- und wirtschaftswissenschaftlichen "Durchblick" im wahrsten Sinne des Wortes haben müssen. Umgekehrt werden der Arzt, Jurist, der Kaufmann "ohne Durchblick" naturwissenschaftlich-technischer Zusammenhänge nicht mehr als kompetent gelten, denn ihr Entscheidungsraum ist längst nicht mehr technikfrei. Das trifft die Philosophen und Theologen besonders hart, aber es trifft auch sie.

Damit soll unser Schulwesen nicht von seinen neuhumanistischen Wurzeln abgetrennt werden. Aber es muß in die Mitte unserer Zeit gestellt werden, die als täglichen Begleiter der Daseinsbewältigung die Technik hat. Damit ist sie Bestandteil unserer menschlichen Kultur.

Dieses Verständnis vermitteln unsere Schulen kaum. Mag es daran liegen, daß die Naturwissenschaften nicht mehr als von der Natur abgeleitete Wissenschaften begrifflich gemacht werden, oder auch daran, daß im Unterricht zu wenig der chemische und physikalische Alltagsbezug aufscheint - jedenfalls gelten Defizite in wichtigen Technikfeldern nicht als Bildungslücken. Wer aber Mozart nicht gehört, Faust nicht gelesen und Steffi Graf nicht bewundert hat, gilt doch als ziemlicher Banause, in dieser Reihenfolge.

Schule und Bildung

Bildung und Beruf gehören zusammen. Bildungspolitik hat die Aufgabe, die Begabungen der jungen Menschen in ihrer Differenziertheit zu fördern. Neben der Stärkung des dualen Ausbildungswesens, das den handwerklichen und akademischen Begabungen gleichermaßen ihre Berechtigung gibt, bestehen im Zeitalter der Globalisierung von Wirtschaftsmärkten besondere Herausforderungen an das Bildungswesen:

1. Grundlage des Bildungswesens muß eine Werteorientierung sein, die über die unverzichtbare Leistungsorientierung hinausgreift. Der Sinn für Gemeinschaftsleistung mit individuell taxierbarer Einzelleistung entspricht nicht nur dem Bedarf moderner Berufsbilder, sondern fördert auch die gesellschaftliche Kultur eines Hochtechnologielandes.

2. Die weiterbildenden Schulen müssen sich verstärkt als Bildungsschulen verstehen. Der Wille und die Fähigkeit zu geistiger Horizonterweiterung und zum Selberdenken, zur "Schärfung des Urteils" (Comenius, 1632) müssen im Mittelpunkt stehen. Die Ausbildung von Jungspezialisten ist nicht Aufgabe der Gymnasien, die ja immer stärker auf eine unmittelbare Berufstätigkeit vorbereiten (z.Zt. nehmen 24 % der deutschen Abiturienten kein Hochschulstudium auf). Wissenschule ereignet sich zunehmend in der virtuellen Computer-Realität.
3. Im Hochschulwesen entspricht der weitere Ausbau der Fachhochschulen sowohl den Interessen und Talenten der jungen Menschen als auch dem Marktbedarf. Die Vermittlung von modernem Verfügungswissen, das sich rasch in funktionierende Verfahren, Produkte und Dienstleistungen umsetzt, ist die Kernaufgabe der Fachhochschulen. Die Universitäten müssen die jungen Menschen unmittelbar am wissenschaftlichen Gegenstand ausbilden und dabei möglichst die Spitze des wissenschaftlichen Fortschritts definieren. Weit überwiegend werden die Grundlagenkenntnisse in Naturwissenschaft und Technik in Deutschland von den jungen Menschen im Alter von weniger als 33 Jahren erarbeitet, insbesondere an den Universitäten also. Die Idee der Universität ist ihre Wissenschaftlichkeit.
4. Der Lehrerberuf sollte im Fokus des gesellschaftlichen Lebens stehen. Besondere Bedeutung haben hier die Pädagogen der Grund- und Hauptschule, zumal immer weniger intakte Elternhäuser zur Wahrnehmung der erzieherischen Pflichten verfügbar sind. Dass angesichts dieser Entwicklung der sog. Elternwille immer stärker eingefordert wird, entspricht dem Zynismus eines Sozialwesens, das im wichtigsten Bereich, nämlich dem der Erziehung - zunehmend aus den Fugen gerät.

Die Starken müssen sich entwickeln können, um die Schwachen zu beschützen. Nicht nur "*Wissen und Können vermitteln, sondern auch Herz und Charakter bilden*": Das soll die Schule nach dem Willen der bayerischen Verfassung (Art. 131, 1 BV). Und: Wer "*die Welt mit der Hand begreift*", müsse genauso viel gelten wie der abstrakte Denker, sagte Roman Herzog in der berühmten Berliner Bildungsrede (1998). Der Lehrerberuf ist ein wichtiger Kulturfaktor. Gerade in einem Hochtechnologieland ist das Gleichgewicht zwischen den handwerklichen und den akademischen Berufen wichtig, was freilich immer schwerer zu realisieren ist. Und es kommt in einem Land ohne materielle Rohstoffe entscheidend darauf an, die Kreativität des einzelnen zu fördern, gesellschaftliche Akzeptanz für nachhaltige Technologien zu schaffen und damit die Spitzenforschung zu ermöglichen. Politik, Wissenschaft und Wirtschaft sind hier zur Allianz gerufen. Schule und Hochschule gehen uns alle und immer an, nicht erst in Mangelsituationen. Wissen und Bildung sind der nachhaltigste Wettbewerbsfaktor. Atemberaubend vermehrt und verbreitet sich neues Wissen. Da geht es uns wie den englischen, portugiesischen und spanischen Seefahrern an der Schwelle zur Neuzeit: Wir brauchen neue Karten, Fixpunkte und Orientierung, um uns in dieser Terra incognita zurechtzufinden.

Die Politik kann uns dabei helfen: Sie soll uns Mut und nicht Angst vor der Zukunft machen, mit Augenmaß vorangehen, Bildung in die Mitte stellen. Wer gebildet ist, versteht die Menschen zuhause und in den fernen Kulturen, schätzt ihre gesellschaftlichen und religiösen Bindungen, würdigt ihre geopolitische Haltung (Art. 2 BV)*. Wir bestehen den Auftrag dieses Jahrhunderts erst dann, wenn wir *technisch-wissenschaftliche Spitzenleistungen* mit *Bildungsverbindlichkeiten* und *Bürgersinn* zusammenbringen. Die Welt von morgen ist nicht länger eine Staatenwelt des Westfälischen Friedens. Sie ist eine Welt der globalen Verbindlichkeit, die zur Identitätsfindung der Menschen regional und national eingelöst wird. Das Internet ist das Paradebeispiel für eine Art "Parastaatlichkeit": Es ist *da*, es überschreitet alle Grenzen, es wirkt auf Staat und Politik unmittelbar ein, ist aber national nicht erfassbar, schon gar nicht kontrollierbar.

Technik ist Menschenwerk. Deshalb bleibt ihr der Januskopf. Blicken wir ihm offen in die beiden Antlitze, indem wir mit Hans Jonas ("Das Prinzip Verantwortung", 1979) dem Prinzip der Hoffnung das Prinzip der Verantwortung gegenüberstellen, nicht jedoch das Prinzip der Furcht: "*Wohl aber gehört die Furcht zur Verantwortung, ebenso wie die Hoffnung.*" ergänzt Jonas. Gestatten wir uns neben dem Wissenwollen auch das Staunenkönnen vor einer faszinierenden Schöpfungsordnung. Wenn man sie sehen will, dann sieht man sie in den Forschungsfeldern, über die ich heute gesprochen habe.