

Akademie-Journal

Magazin der Union der deutschen Akademien der Wissenschaften

1/2002

Themenschwerpunkt

Grüne Gentechnik



Editorial



Wenn es um Essen und Ernährung geht, reden Konsumenten und Experten oft aneinander vorbei. Die einen meinen einen sozial, kulturell und individuell geprägten Vorgang, die anderen eine notwendige, wissenschaftlich berechenbare Nährstoffzufuhr.

Beide, das kulturelle und das wissen-

schaftliche Wahrnehmungsmuster, liefern aus unterschiedlichen Perspektiven jeweils ein in sich schlüssiges Bild von der Befriedigung dieses Grundbedürfnisses der Menschen. Daraus resultiert ein Konfliktpotential, das sich insbesondere mit Einführung der „Grünen Gentechnik“ zu einer leidenschaftlich geführten Diskussion zugespitzt hat.

Seit vor weniger als zwanzig Jahren die Grundlagen für die gentechnische Veränderung von Pflanzen gelegt wurden, hat sich die pflanzliche Gentechnik mit geradezu atemberaubender Geschwindigkeit entwickelt. So wird die Grüne Gentechnik heute genutzt, um Pflanzen gegen Schädlinge und Unkräuter verbessert zu schützen, die Produktion von Agrarpflanzen zu steigern und die Qualität der Ernteprodukte den jeweiligen Anforderungen anzupassen. In manchen Ländern, vor allem in den USA, entfällt ein großer Anteil von Anbauprodukten, wie Mais, Raps, Baumwolle und Tabak, auf gentechnisch veränderte Sorten. Die Anwendung der neuen Technik führt aber nicht nur zu tiefgreifenden Veränderungen in der Landwirtschaft, sondern löst auch begriffliche Ängste vor negativen Folgen für die Gesundheit der Verbraucher und für die Umwelt aus.

Dieser Fragenkomplex war Gegenstand des 6. interakademischen Symposions, das die Union der deutschen Akademien der Wissenschaften im November des vorigen Jahres in Göttingen ver-

anstaltete. Es ging dabei vor allem um die Darstellung des gegenwärtigen Standes der wissenschaftlichen Entwicklung auf dem Gebiet der pflanzlichen Gentechnik und deren weltweite Auswirkung auf die Ernährung der Menschen. Der Initiator und Moderator des Symposions, *Hans Walter Heldt*, hatte kompetente Vertreter aus Wissenschaft und Wirtschaft eingeladen, die jeweils aus ihrer Sicht die Frage: „Was nützt uns die Grüne Gentechnik?“ beantworteten. Erklärte Kritiker der pflanzlichen Gentechnik waren nicht zu einem Vortrag eingeladen, weil die fachliche Information im Vordergrund stehen sollte. Der Moderator stellte jedoch in Aussicht, daß die vorgetragenen Fakten möglicherweise im Rahmen eines späteren Symposions einer Bewertung unter ethischen und wirtschaftlichen Aspekten unterzogen werden könnten. Bei der abschließenden Diskussion war man sich darüber einig, daß die Akzeptanz von gentechnisch veränderten Produkten in der Bevölkerung ein zentrales Problem darstelle. Für dessen Lösung sei es u.a. erforderlich, den sorgfältigen Abwägungsprozeß zu verdeutlichen, der dem Einsatz der Grünen Gentechnik vorausgeht.

Das Akademie-Journal hat sich entschlossen, die Beiträge des Symposions als Themenschwerpunkt in dieses Heft aufzunehmen, einerseits um zu zeigen, daß sich die deutschen Akademien um die Verbindung von Wissenschaft und praktischer Anwendung bemühen, und andererseits, um eine Dokumentation dieser interessanten Veranstaltung in geschlossener Form zu ermöglichen.

Außer den Beiträgen zum Themenschwerpunkt enthält dieses Heft noch zwei Berichte aus der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig: „Umweltbiotechnologie - Eine Fachdisziplin im Wandel“ und „Seismizität im sächsischen Vogtland – Einsatz von CO₂-Sensoren für geowissenschaftliche Untersuchungen“.

Gerhard Thews
Herausgeber im Auftrag der Union
der deutschen Akademien der
Wissenschaften

Impressum

Akademie-Journal 1/2002

Magazin der Union der deutschen Akademien der Wissenschaften e.V.

Akademie der Wissenschaften zu Göttingen
Bayerische Akademie der Wissenschaften, München
Heidelberger Akademie der Wissenschaften
Akademie der Wissenschaften und der Literatur, Mainz
Nordrhein-Westfälische Akademie der Wissenschaften, Düsseldorf
Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig
Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Berlin

Herausgeber im Auftrag der Union der deutschen Akademien der Wissenschaften:

Prof. Dr. Dr. Gerhard Thews
Union der deutschen Akademien der Wissenschaften
Geschwister-Scholl-Straße 2, D-55131 Mainz, FRG
Telefon 061 31/21 85 28 14 · Telefax 061 31/21 85 28 11
e-mail: weisrock@mail.uni-mainz.de
http://www.akademienunion.de

Redaktion: Dr. Katharina Weisrock

Wissenschaftlicher Beirat:

Prof. Dr. E. Blumenthal, Leipzig
Prof. Dr. H. Duddeck, Berlin
Prof. Dr. E. Fried, Mainz
Prof. Dr. H. Hennig, Leipzig
Prof. Dr. J. Jacobs, Düsseldorf
Prof. Dr. U. Mölk, Göttingen
Prof. Dr. W. Müller-Seidel, München
Prof. Dr. H.W. Roesky, Göttingen
Prof. Dr. M. Schaefer, Mainz
Prof. Dr. E.A. Schmidt, Heidelberg
Prof. Dr. K. Starke, Heidelberg
Prof. Dr. W. Voßkamp, Berlin
Prof. Dr. H. Ziegler, München

Die in dieser Zeitschrift veröffentlichten Beiträge sind urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, sind vorbehalten. Kein Teil dieser Zeitschrift (auch Abbildungen) darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlags in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Mikrofilm oder andere Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsanlagen, verwendete Sprache übertragen werden. – Die Aufnahme der Zeitschrift in Lesezirkel ist nicht gestattet. – Die Nennung von Markenbezeichnungen in dieser Zeitschrift läßt keinerlei Rückschlüsse zu, ob es sich um geschützte oder nichtgeschützte Zeichen handelt. Auch die Rechte der Wiedergabe durch Vortrag, Funk- und Fernsehsendung, im Magnettonverfahren oder auf ähnlichem Wege bleiben vorbehalten. Von einzelnen Beiträgen oder Teilen von ihnen dürfen nur einzelne Exemplare für den persönlichen und sonstigen eigenen Gebrauch hergestellt werden. Die Vervielfältigungen sind mit dem Vermerk über die Quelle und den Vervielfältiger zu versehen.

For users in the USA:

Authorization to photocopy items for internal or personal use, or the internal or personal use of specific clients, is granted.

Herstellung, Layout und Reprographie:

rjm Medienservice GmbH,
Rudolf J. Manke – 68623 Lampertheim

Erscheinungsweise: 2 x jährlich

Heft 1/2002: Juli 2002, ISSN 0942-4776

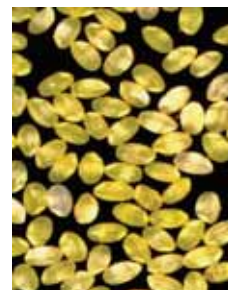
Inhalt

GRÜNE GENTECHNIK

- Hans Walter Heldt
Einführung: Grüne Gentechnik 2
- Klaus Hahlbrock
Gentechnik in der Pflanzenzüchtung 5
- Gerhard Wenzel
Mit Gentechnik zu gesunden Ernten 11
- Ralf-Michael Schmidt
Pflanzenbiotechnologie für die Landwirtschaft 15
- Walter Buehl
Herbizidresistenz und Ertragssteigerung 18
- Patricia Ahl Goy
BT-Mais: Eine Pflanze schützt sich selbst 21
- Hans Walter Heldt
Goldener Reis: Ein Beitrag zur Behebung eines gravierenden Vitaminmangels in Asien 25
- Wilfried Wackernagel
Fakten und Fantasien zum horizontalen Gentransfer von rekombinanter DNA 28
- Gerd Spelsberg
Konfliktfeld Grüne Gentechnik 32
- Klaus Ammann
Risikoforschung – Fakten, Mythen, zukünftige Entwicklung 35
- Joachim Schiemann
Sicherheitsbewertung und Genehmigungsverfahren transgener Pflanzen 39
- Günter Strittmatter
Zukunftsperspektiven der Grünen Gentechnik aus der Sicht eines Pflanzenzüchtungsunternehmens 44
- Ulrich Stottmeister,
Umweltbiotechnologie: Eine Fachdisziplin im Wandel 47
- J. Heinicke/U. Koch/H. Kaden/W. Oelßner
Seismizität im sächsischen Vogtland 52
- Nachrichten aus der Union 57
- Nachrichten aus den Akademien 60
- Personalia aus den Akademien 68

Titelbild: Weizenfeld mit DNA-Spindel

Das „Akademie-Journal“ erscheint mit freundlicher Unterstützung der LANDESBANK RHEINLAND-PFALZ



Einführung: Grüne Gentechnik

Hans Walter Heldt

Man kann die Grüne Gentechnik als Verfahren zur Veränderung des pflanzlichen Genoms, des Trägers der pflanzlichen Erbinformation, beschreiben. Zur Veränderung des pflanzlichen Genoms gibt es unterschiedliche Techniken. Eine seit vielen Dekaden angewandte Technik der Genveränderung, die aber im öffentlichen Bewußtsein nicht der Gentechnik zugerechnet wird, ist die Pflanzenzüchtung mittels der Auslösung von Mutationen, bei denen die DNA des pflanzlichen Genoms durch Zufallsereignisse verändert wird. In den meisten Fällen verlieren die durch die veränderte DNA kodierten Proteine ihre Funktion, in selteneren Fällen aber werden auch ihre Eigenschaften derart verändert, daß dadurch für den Züchter vorteilhaftere Eigenschaften der Pflanzen entstehen. Mutationen werden, wenn auch relativ selten, durch die natürliche Umwelt hervorgerufen und sind die Ursache für evolutionäre Entwicklung. Alle unsere Kultursorten sind Produkte einer derartigen durch menschliche Auswahl geförderten Entwicklung, die sich z. B. bei den Getreiden über viele tausend Jahre erstreckte. Für Züchtungen werden heutzutage mutagene Chemikalien (die oft zugleich beim Tier auch Krebs auslösen), oder auch Röntgenstrahlen oder andere Atomstrahlen, z.B. aus radioaktivem Kobalt als Strahlenquelle, genutzt, um eine sehr hohe Mutationsrate zu erreichen. So werden zufällige Veränderungen im Pflanzengenom erzeugt, wobei anschließend durch ein langwieriges Auswahlverfahren die Pflanzen selektiert werden, die dem Züchter erkennbare Vorteile bieten. Diese könnte beispielsweise in einem verbesserten Schutz gegen Fraßfeinde bestehen.

Durch derartige Mutationsauslösungen werden seit vielen Jahren neue Kultivare erzeugt, die heute einen wichtigen Teil unserer täglichen Nahrung bilden. Ein Beispiel liefert der für die Herstellung von Spaghetti verwendete Hartweizen, welcher durch Behandlung mit Gammastrahlen erzeugt wurde. Wir würden diesen genveränderten Produkten eine Natürlichkeit nie absprechen. Bei Genveränderungen hat es aber auch Pannen gegeben. Eine gegenüber Fraßfeinden besonders widerstandsfähige Selleriezüchtung mußte zurückgezogen werden, da die Berührung mit den Blättern bei den Gartenarbeitern schwere Allergien auslöste, eine gegenüber Fraßfeinden als besonders widerstandsfähig selektierte Kartoffelpflanze erwies sich wegen des hohen Solanin Gehalts in den Knollen als für den menschlichen Verzehr ungeeignet.

Natürlicherweise enthalten Pflanzen hohe Mengen an giftigen und oft sogar krebserregenden Stoffen, wie z.B. Phenole, cyanogene Glucosinolate oder Alkaloide, die den vielfältigen Fraßfeinden die Nahrung vergällen und vergiften. Pflanzen können vor ihren Fraßfeinden nicht weglaufen und schützen sich durch diese Stoffe davor, gefressen zu werden. In landwirtschaftlich genutzten Pflanzen hat der Mensch oft aus Gründen des Geschmacks und der Unverträglichkeit diese Abwehrstoffe herausgezüchtet, was sich nachteilig auf die Resistenz dieser Pflanzen gegenüber vielen Schädlingen und in ihrer Konkurrenz mit Wildpflanzen auswirkte. Daher ist ein

Anbau zahlreicher Kulturpflanzen abhängig, von Schädlings- und Unkrautbekämpfung, die in der Landwirtschaft zumeist durch ein Versprühen von Insektiziden und Herbiziden, das Überleben der Kulturpflanzen sichert.

Gezielte Veränderung des Pflanzengenoms

Im Gegensatz zu den zufälligen Genveränderungen, die durch Mutationen erzeugt werden, deren Ergebnisse empirisch durch Selektion nach äußerlichen Merkmalen erreicht werden, ist es seit 1984 möglich, das Pflanzengenom gezielt zu verändern. Das Verfahren hierzu liefert uns die Natur. Seit vielen Millionen Jahren nutzen die Bodenbakterien *Agrobacterium tumefaciens* dieses Verfahren der pflanzlichen Genveränderung, um zu überleben. Diese Bakterien befallen Pflanzen an verletzten Stellen, häufig an der Basis von Stengeln, und transferieren einen Teil ihres Erbgutes in das Genom der Pflanzen, wodurch die so genetisch veränderten Pflanzenzellen sich krebsartig vermehren und zudem in großen Mengen bestimmte Substanzen (sog. Opine) herstellen, die den Bakterien als Nahrung dienen. Diese krebsartigen Wucherungen sehen wie Gallen aus, man nennt sie daher Wurzelhalsgallen.

Die Erkenntnis, daß die Bildung dieser Wurzelhalsgallen auf einer durch Bakterien erzeugten Veränderung des pflanzlichen Genoms beruht, verdanken wir in erster Linie den Pionierarbeiten

von Jeff Schell (Direktor des Max-Planck-Instituts für Züchtungsforschung, Köln) und Marc von Montagu (Gent). 1983 gelang es den Forschern erstmalig, eine Pflanze mit Hilfe von *Agrobacterium tumefaciens* als Genfähre gentechnisch zu verändern. Noch im gleichen Jahre wurde diese Methode auch von einem Team der amerikanischen Firma Dupont erfolgreich angewendet. Wohl kaum eine Entdeckung in der Botanik hat so weitreichende Folgen gehabt, wenn man bedenkt daß 2001 in den USA etwa 70% der angebauten Sojabohnen, 25% des Mais und 70% der Baumwolle auf Sorten entfallen, die mit Hilfe von *Agrobacterium tumefaciens* gentechnisch verändert wurden.

Wir haben hier den Fall, daß als Ergebnis der Grundlagenforschung an einer exotischen Thematik, nämlich der speziellen Gallenbildung bei Pflanzen, eine die Landwirtschaft revolutionierende Technik entwickelt wurde (vgl. Beitrag Wackernagel).

Vorbehalte gegen die Grüne Gentechnik in Deutschland

In Deutschland, wo wesentliche Grundlagen der Grünen Gentechnik gelegt wurden, wird deren Nutzung durch mangelnde öffentliche Akzeptanz, geschürt durch professionelle Gentechnikgegner, bis heute nahezu vollständig verhindert. Folge davon ist, daß heute der Schwerpunkt dieser Forschung in der Neuen Welt liegt und inzwischen der größte Teil der erteilten Patente über die Anwendung der Grünen Gentechnik von Firmen in den USA gehalten wird.

Es ist bemerkenswert, daß unkontrollierte pflanzliche Genveränderungen durch zufällige Mutationen, wie sie bei den eingangs erwähnten Züchtungspraktiken seit vielen Jahrzehnten durchgeführt werden, wie auch das praktizierte Einkreuzen von Wildformen mit den bestehenden Risiken der Bildung von toxischen Inhaltsstoffen, in der Bevölkerung keinerlei Widerspruch hervorrufen, während gezielte Genveränderungen, bei denen man weiß, was man tut, auf so vehemente Ablehnung stoßen. Ein gravierendes Problem für die Bevölkerung liegt darin, daß, nicht zuletzt durch eine Vernachlässigung des naturwissenschaftlichen Unterrichts an unseren Schulen, sehr große Unkenntnisse über die Eigenschaften und Funktionen von Genen bestehen. So ergab vor einiger Zeit eine Meinungsumfrage in Deutschland, daß 44% der Befragten der Ansicht sind, naturbelassene Tomaten hätten keine Gene. Daß der Verzehr einer gentechnisch veränderten Tomate die eigene menschliche Erbsubstanz verändern kann, glaubten 30%. In Österreich gab es Pläne für ein Volksbegehren für „genfreie Nahrung“. Ängste werden geschürt, wenn in der Presse Bilder erscheinen, auf denen professionelle Gentechnik-Gegner Schutzanzüge angezogen

haben, um Versuchsfelder mit transgenen Pflanzen zu zerstören. Bei einem so mangelhaften Kenntnisstand der Öffentlichkeit ist es nicht verwunderlich, daß Nahrungsmitteln, welche Produkte aus gentechnisch veränderten Pflanzen sind, mit großem Mißtrauen begegnet wird. Dies hat dazu geführt, daß manche Lebensmittelketten und gastronomischen Betriebe damit werben, daß sie Produkte aus gentechnisch veränderten Pflanzen (mitunter als Gene Food abfällig bezeichnet) aus ihrem Angebot genommen haben, ohne daß dies durch objektive Kriterien hinsichtlich der Qualität dieser Produkte zu rechtfertigen wäre. Nach Plänen aus dem Verbraucherschutzministerium für die Einführung eines Gütesiegels für Agrarprodukte sollen die so ausgezeichneten Produkte nicht von gentechnisch veränderten Pflanzen stammen dürfen. Es erscheint dem Betrachter als irrational, daß hier sogar in einer Regierungsvorlage ausschließlich das Verfahren der Genveränderung und nicht die Eigenschaften der so erzeugten Sorte als Qualitätsmaßstab gewertet wird. Die Politik folgt der öffentlichen Meinung. Damit eine objektivere Bewertung der Chancen einer modernen Landwirtschaft stattfinden kann, ist eine Aufklärung der Öffentlichkeit dringend geboten. Diese Aufklärung sollte das Für und Wider der Grünen Gentechnik gegeneinander abwägen.

Dies sei an einem Beispiel erklärt: Es wurde ein gentechnisch veränderter Mais erzeugt, der ein bestimmtes bakterielles Protein (BT-Protein) enthält, durch welches die Raupen des Maiszünslers, die sehr große Ernteverluste hervorrufen, getötet werden, wenn sie von den Blättern oder



Stengeln der Maispflanzen fressen. Da in den USA an den Rändern von Maisfeldern oft Seidenpflanzen (*Asclepias currasavica*) als Unkräuter wachsen, von deren Blütenpollen sich die Larven des prächtigen Monarchfalters ernähren, und da die Möglichkeit besteht, daß Maispollen durch den Wind auf die Seidenpflanzenblüten gelangen können, wurden in einem Laborexperiment Pollen des Bt-Mais auf Seidenpflanzenblüten gestrichen. Man beobachtete dabei, daß die Monarchfalter-Larven auf diesen präparierten Blüten langsamer wuchsen und eine höhere Mortalität hatten als normal. Dieser Tatbestand führte zu einem Aufschrei in der Presse, in der Öffentlichkeit entstand der Eindruck, daß durch den gentechnisch veränderten Mais die Monarchfalter gefährdet seien. Dies trug dazu bei, daß in der Europäischen Union ein Moratorium für die Zulassung gentechnisch veränderter Pflanzen beschlossen wurde.

Sieht man davon ab, daß der Versuch unter überaus artifiziiellen Bedingungen durchgeführt wurde (spätere Versuche unter Freilandbedingungen konnten diese Gefährdung der Falter nicht bestätigen, vgl. Beitrag Ahl-Goy, S. 22), so wurde auch nie öffentlich diskutiert, daß die Alternative zu dem Pflanzenschutz durch fraßgeschützten genveränderten Mais zumeist ein konventioneller Pflanzenschutz ist, bei dem Insektizide, oft bestehend aus Nervengiften die für Mensch und Tier gleichermaßen toxisch sind, versprüht werden, was die Vernichtung sehr vieler unbeteiligter Insekten einschließlich der Schmetterlinge zur Folge hat. Ist nicht die Frage berechtigt: *Was ist schädlicher für die Schmetterlinge: der Anbau des gentechnisch veränderten Mais, oder ein konventioneller Pflanzenschutz, bei dem neben den Schädlingen auch noch viele andere Insekten, darunter auch die prächtigen Schmetterlinge, in sehr wirksamer Weise getötet werden?*¹

Was nützt uns die Grüne Gentechnik?

Dieses Beispiel mag belegen, daß für eine Bewertung der Nützlichkeit der Verwendung transgener Pflanzen in der Landwirtschaft eine differenzierte Betrachtung erforderlich ist, welche Gegenstand des 6. Symposiums der deutschen Akademien der Wissenschaften war. Für das Symposium konnten prominente Vertreter aus Wissenschaft und Wirtschaft mit ihren sehr unterschiedlichen Sichtweisen zur Grünen Gentechnik für einen intensiven Dialog gewonnen werden. Bei der Komplexität der Materie konnte die Frage „Was nützt uns die Grüne Gentechnik?“ nicht abschließend beurteilt werden. Es war das Ziel des Treffens, Fakten zu besprechen, die möglicherweise in einem späteren Symposium unter Einbeziehung von sowohl wirtschaftlichen wie auch ethischen Kriterien einer Bewertung unterzogen werden könnten.

Die weitgehende Durchsetzung gentechnisch veränderter Kultivare, wie Soja, Baumwolle, Raps und Mais in der Neuen Welt, ist ein klares Indiz der Nützlichkeit dieser Produkte der Gentechnik, die Landwirte würden sie sonst bei den höheren Kosten für das Saatgut nicht anbauen. Zudem sind keine Fälle bekannt, daß Personen durch den Verzehr von Produkten aus den oben genannten Kultivaren als Folge der gentechnischen Veränderungen zu Schaden gekommen sind. Auch haben sich die beschworenen Gefahren für die Umwelt bisher nicht bestätigt. Experten sind sich einig darüber, daß im globalen Rahmen die Grüne Gentechnik für die Welternährung und im Hinblick auf die nachhaltige Bereitstellung von Industrierohstoffen eine große Bedeutung haben wird. Der Grünen Gentechnik werden insgesamt große Zukunftschancen vorausgesagt. Ein Bericht des Entwicklungsprogramms der Vereinten Nationen kommt zu dem Schluß, daß genveränderte Organismen einen technischen Durchbruch für die Entwicklungsländer darstellen können.

In Deutschland und anderen europäischen Ländern haben jedoch Vorbehalte der Öffentlichkeit eine Anwendung der Grünen Gentechnik in der Landwirtschaft nahezu vollständig verhindert. Dabei wurden vielfach Argumente gegen die Gentechnik ins Feld geführt, die sich als nicht stichhaltig erwiesen haben. Ob sich die Gentechnik in Deutschland oder ganz Europa in der ohnehin subventionierten Landwirtschaft durchsetzt oder nicht, ist in globaler Hinsicht von geringer Relevanz. Bedenklich erscheint, daß im Gefolge der öffentlichen Ablehnung die Industrien und Forschungsstätten, die sich mit der Grünen Gentechnik beschäftigen, auf lange Sicht ihre Tätigkeit stark reduzieren oder sogar abwandern und Deutschland seine anfänglich hohe Kompetenz auf einem wichtigen Gebiet der Biotechnologie einbüßt. Sollten wir es wieder einmal erleben daß der Zug ohne uns abfährt? Können wir uns das leisten?

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Hans Walter Heldt
Universität Göttingen
Albrecht-von-Haller-Institut
für Pflanzenwissenschaften
Untere Karspüle 2
37073 Göttingen

Anmerkung

¹ In ihrer Pressemitteilung vom 26. 2. 2002 zitiert die Volkswagen-Stiftung den dänischen Biologen Henrik Mouritsen, der den jüngsten Frosttot von Monarch-Schmetterlingen in Mexiko, dem ca. 85% der Falterpopulation zum Opfer gefallen sind, kommentiert. „Solche 'natürlichen Katastrophen' kommen immer wieder vor und sind bei Massenpopulationen auch besonders auffällig. Den Fortbestand der Art gefährdet dies aber nicht.“

Gentechnik in der Pflanzenzüchtung – für oder gegen die Natur?

Klaus Hahlbrock

Die Titelfrage hat zwei Zielrichtungen: die langfristige Sicherung der Nahrungsproduktion für eine immer noch dramatisch zunehmende menschliche Bevölkerung und den gleichzeitigen Erhalt einer überlebensfähigen Umwelt. Wenn wir damit ferner die Frage verbinden, ob der Mensch als Teil der globalen Biosphäre mit grundsätzlich neuartigen, gentechnischen Mitteln in die natürliche Evolution der Arten eingreifen darf, soll oder gar muß, so sollten wir uns zunächst vergewissern, weshalb und unter welchen Rahmenbedingungen wir diese Frage stellen. Das verlangt einen Blick auf die gegenwärtige Situation und ihre Ursprünge. Abb. 1 zeigt uns eine beispielhafte Ansicht des Oberrheintals zwischen Freiburg und Basel aus der Goethezeit. Trotz des zeitgenössisch romantisierenden Blicks vermittelt sie eindrücklich eine Vorstellung von der natürlichen Artenvielfalt in unseren Breiten. Unter damaligen wie heutigen Klimabedingungen wäre ein naturbelassenes, von Menschen unbeeinflusstes Mitteleuropa überwiegend eine geschlossene, artenreiche Waldlandschaft.

Bedauerlicherweise gab es vor zehntausend Jahren keine Landschaftsmaler, die uns ein entsprechendes, aufschlußreiches Bild aus ihrer Zeit hätten hinterlassen können. Etwa zu diesem Zeitpunkt der Menschheitsgeschichte nahmen jene gravierenden Veränderungen ihren Ausgang, die uns – zunächst mit langsamer und schließlich dramatischer Geschwindigkeit – bis in die heutige, in Abb. 2 dargestellte Situation geführt haben: Während der ausgehenden Steinzeit wurden die ersten Menschengruppen sesshaft. Sie begannen, sich von Tierhaltung und Pflanzenanbau zu ernähren, statt umherzuziehen und unter ständiger Lebensgefahr Tiere zu jagen oder pflanzliche Nahrung zu sammeln. Dies war der Ausgangspunkt einer anfangs sicher unbewußten, später aber gezielten Tier- und Pflanzenzüchtung – also einer absichtsvollen genetischen Veränderung –, ohne deren immer effizientere Fortentwicklung unsere heutige Milliardenbevölkerung undenkbar wäre.

In dieser Domestikationsphase lag der Beginn einer grundsätzlich neuen Lebensweise, die eine zunächst kaum merkliche, aber immer stärker werdende Einwirkung des Menschen auf das ihn umgebende und ihn tragende Gesamtsystem Erde bedeutete. Als zeitlich verzögerte, aber langfristig äußerst wirksame Folge dieser jungsteinzeitlichen, „neolithischen Revolution“ stieg dann schließlich in den zurückliegenden Jahrhunderten die menschliche Bevölkerung so stark an, daß wir heute den Konsequenzen einer kaum noch beherrschbaren Bevölkerungsexplosion ratlos gegenüber stehen. Hinzu kam vor einigen Jahrhunderten eine zweite, ebenso wirksame „wissenschaftlich-technische Revolution“. Mit der Zeit der Aufklärung begannen wissenschaft-

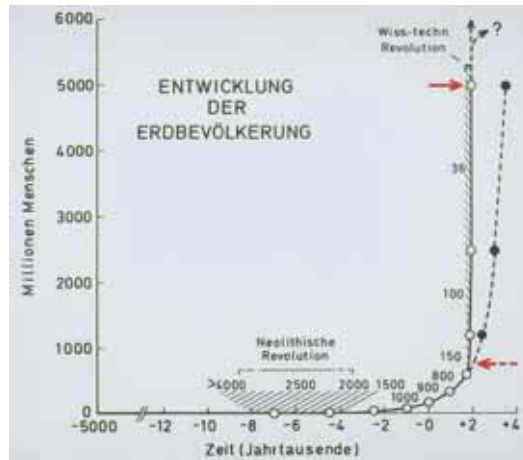


liches Denken und Forschen zu praktischen Konsequenzen zu führen, die auch den individuellen Gesundheitsstatus, vor allem aber die durchschnittliche Lebensdauer stark erhöhten.

Die heutige, daraus resultierende Milliardenbevölkerung mußte und muß von einer Landwirtschaft ernährt werden, die inzwischen weltweit den nahezu gesamten hierfür nachhaltig nutzbaren Anteil der Erdoberfläche vereinnahmt. Mit Ausnahme der noch verbliebenen, rasch schrumpfenden tropischen Regenwälder und weniger anderer, vermutlich unverzichtbarer natürlicher Ökosysteme, sieht das Ergebnis weltweit prinzipiell gleich aus. Abb. 3 zeigt ein Beispiel aus Mitteleuropa, das auch aus anderen Erdteilen stammen könnte. Ähnlich wie in vielen gemäßigten Klimazonen wird bereits mehr als die Hälfte der gesamten Fläche Deutschlands landwirt-

*Abb. 1
Das Oberrheintal
Anfang 19. Jh. von
dem Basler Künstler
Peter Birmann
(1758-1844)*

Abb. 2
Wachstum der menschlichen Erdbevölkerung als Folge der Neolithischen und Wissenschaftlich-technischen Revolutionen (schraffierte Bereiche). Durchbrochener Pfeil gibt Beginn des beschleunigten Anstiegs, durchgehender Pfeil die Situation um 1990 an. Offene Kreise markieren Zeitpunkte der jeweils nächsten Verdoppelung, Zahlen dazwischen die Anzahl vergangener Jahre. Gestrichelte Kurve bezeichnet hypothetischen Kurvenverlauf ohne zusätzliche Beschleunigung durch die Wissenschaftlich-technische Revolution



schaftlich genutzt, ungefähr weitere fünfzehn Prozent für menschlichen Siedlungsraum und Verkehrswege. Der Rest ist das, was wir nostalgisch als „Wald“ bezeichnen, eigentlich aber „Forst“ nennen müssten, denn auch hier handelt es sich um einen vom Menschen stark beeinflussten, genutzten und umgestalteten Wirtschaftsraum, der mit der tatsächlichen oder zumindest suggerierten Ursprünglichkeit der Waldlandschaft in Abb. 1 nichts mehr gemein hat.

Damit wird deutlich, welche gewaltigen Auswirkungen derart revolutionierende Änderungen der menschlichen Lebensweise auf die gesamte Biosphäre bisher schon hatten und weiter haben werden. Die meisten Nutzpflanzen und -tiere, einschließlich aller sie begleitenden Nützlinge und Schädlinge – bis hin zu den unzähligen Krank-



Abb. 3
Luftaufnahme einer typischen „Kulturlandschaft“ zu Beginn des 3. Jahrtausends, hier in Norddeutschland

heitserregern – wurden nicht nur in den vergangenen Jahrhunderten auf Kosten einer ursprünglichen Artenvielfalt weltweit verbreitet, sondern auch direkt oder indirekt durch Jahrtausende lange Auslesezüchtung in ihrer Evolution um der Nahrungsproduktion willen tiefgreifend beeinflusst. Trotzdem hungert nach groben Schätzungen heute fast eine Milliarde Menschen, viele davon verhungern. Und die Weltbevölkerung wächst weiter – und mit ihr die Zahl der Hungernden.

Da weder die jetzt schon hungernden noch die hinzukommenden Menschen durch Ausweitung der landwirtschaftlich nutzbaren Flächen ernährt werden können, bleibt nur der Versuch, eine weiter steigende Nahrungsproduktion auf dem schon jetzt dafür genutzten Anteil der Erdoberfläche zu erreichen. In Mitteleuropa wird uns angesichts derzeitiger Überproduktion von Nahrungsmitteln häufig der Vorschlag gemacht, das Problem durch globale Umverteilung zu lösen. Dabei werden jedoch weder die sozialen, politischen, logistischen, ökonomischen und ökologischen Probleme einer Trennung der Welt in Nahrung produzierende und davon abhängige Regionen noch der vergleichsweise viel zu geringe Umfang der durchschnittlichen Überproduktion bedacht. Tatsächlich würde sie nur einen sehr bescheidenen Anteil des zusätzlichen Bedarfs decken und im übrigen bei einer jederzeit möglichen Mißernte ohne Vorwarnung ausfallen. Es ist also bereits heute eine brennende und ungelöste Frage, ob es überhaupt Möglichkeiten der Ertragssteigerung unter den bisher gegebenen Bedingungen gibt, und wenn ja, ob diese ökologisch, ökonomisch und auch ethisch vertretbar sind. Werfen wir deshalb einen etwas genaueren Blick auf die gegenwärtige Situation der Landwirtschaft.

Wenn wir die Vogelperspektive von Abb. 3 verlassen und ein typisches Weizenfeld wie in Abb. 4 aus der Nähe ansehen, dann bietet sich uns ein Bild extremer biologischer Einheitlichkeit anstelle einer ursprünglichen Artenvielfalt: eine große, mechanisch und chemisch aufbereitete Fläche, auf der wenig anderes wächst als unzählige, genetisch fast identische Individuen einer einzigen Weizensorte, die bei einheitlichem Wuchs allesamt das gleiche Wachstums- und Kornreifestadium erreicht haben. So etwas ist unter natürlichen Bedingungen undenkbar und wird nur als Ergebnis einer langen Züchtungsgeschichte sowie intensiver Pflegemaßnahmen möglich.

Die mit der neolithischen Revolution begonnene Züchtungsgeschichte hat durch jahrtausendelange Auslese und inzwischen auch gezielte, wissenschaftsbasierte Kreuzung Hochleistungssorten hervorgebracht, deren hohe Erträge und herausgezüchtete Eigenschaften unvermeidlich auf Kosten ihrer ursprünglichen Vitalität gingen. Deshalb müssen sie durch mechanische Bearbei-



*Abb. 4
Ersatz von natürlicher
Artenvielfalt
durch intensive
Landwirtschaft*

tung des Feldes sowie durch chemischen Pflanzenschutz vor ihren eigenen, ungezüchteten Verwandten und anderen Wildarten – den „Unkräutern“, die mit ihnen um denselben Lebensraum konkurrieren – mit chemischen Mitteln (Herbiziden) geschützt werden. Gleichermäßen unerlässlich ist der Schutz vor unzähligen Krankheitserregern, Insekten und anderen „Schädlingen“, gegen die ihre ursprüngliche Widerstandsfähigkeit im Verlauf der Züchtungsgeschichte teilweise oder ganz verloren ging. Die entsprechenden Pflanzenschutzmittel (Bakterizide, Fungizide, Insektizide) sind – ebenso wie viele Herbizide – zunächst sehr wirkungsvoll, verlieren aber meist rasch ihre Wirkung durch genetische Anpassung (Mutation) der Schädlingspopulationen und wären im übrigen langfristig ökologisch oft keineswegs unbedenklich. Schließlich kommt noch ein großer Aufwand an chemischer Düngung dazu, da dem Boden ständig jene Nährstoffe entzogen werden, die in Form reifer Früchte oder Pflanzen abgeerntet werden.

Einerseits besteht demzufolge ein dringender Bedarf an erheblich gesteigerter Nahrungsmittelproduktion, während andererseits die Grenzen einer ökologisch vertretbaren Landwirtschaft unter bisherigen Bedingungen mindestens erreicht, wenn nicht bereits überschritten sind. Dabei sind eventuell langfristig wirksame Schäden, wie Belastungen des Grundwassers, nachteilige Klimaveränderungen oder Verluste an Pufferkapazität der großräumigen Ökosysteme naturgemäß nicht kalkulierbar und folglich noch unberücksichtigt. Bisher hat sich die Pufferkapazität der verschiedenen, über vergleichsweise sehr lange Zeiträu-

me ohne menschlichen Einfluß entstandenen Ökosysteme gegenüber diesen tiefen Eingriffen in allen Erdteilen noch als bemerkenswert groß herausgestellt. Die meisten unserer Hauptnahrungspflanzen werden heute dort angebaut, wo Klima- und Bodenverhältnisse dies zulassen, obwohl sie ursprünglich nur in einer begrenzten Region heimisch waren. So stammen zwei der weltweit meist angebauten Getreidearten – Weizen und Gerste – aus dem Nahen und Mittleren Osten, Kartoffel und Tomate aus Südamerika, Mais aus Mexiko, usw. Entsprechendes gilt für viele der wichtigsten Nutztierarten sowie gleichermaßen für zahllose Zierpflanzen und -tiere. Insgesamt wurden damit nicht nur praktisch alle den Menschen interessierenden Pflanzen- und Tierarten, sondern ebenso unzählige, meistens nicht einmal beachtete Begleitorganismen – vor allem auch die zugehörigen Krankheitserreger – weltweit verbreitet und überdies in völlig neuen, nahezu beliebigen Kombinationen mit ursprünglichen Biotopen vermischt.

Die oft gestellte Frage, ob der Mensch überhaupt in die natürliche Evolution eingreifen darf, hat sich in dieser grundsätzlichen Form also längst erledigt und muß nun wohl lauten: Welche Konsequenzen müssen wir aus dem bisherigen, derart tiefen Eingriff in die natürlich entstandene Biosphäre ziehen? Und da sich unsere heutige Frage vor allem auf die mögliche Anwendung gentechnischer Methoden, also auf die Übertragung von Genen mit neuartigen Mitteln bezieht, ist an dieser Stelle auch die Feststellung notwendig, daß die praktisch unbegrenzte, weltweite Vermischung aller Lebewesen gleichzeitig die ebenso



Abb. 5
Beispiele für den
menschlichen Ein-
griff in die natürli-
che Evolution

uneingeschränkte Verbreitung der sie bestimmenden Gene und Genkombinationen bedeutet. Die Frage: „für oder gegen die Natur?“ kann sich also nicht mehr darauf beziehen, ob der menschliche Eingriff in die Evolution grundsätzlich statthaft ist, sondern darauf, wie dieser inzwischen derart weitreichende Eingriff so umgestaltet werden kann, daß Mensch und Umwelt eine langfristige Überlebenschance haben.

Während die Spezies Mensch über lange Zeiträume ihrer Entwicklung hinweg nur sehr geringe Überlebenschancen hatte, bis daraus das einzige intelligenzbegabte Evolutionsprodukt, der technisch erfinderische Homo Faber wurde, hat sich das Verhältnis nunmehr umgekehrt: Dieser Homo Faber wurde in kürzester Zeit vom Bedrohten zum Bedroher der Natur. Das ist eine prinzipiell neue Dimension der Bedrohung in der gesamten Evolutionsgeschichte. Es ist nicht mehr die „natürliche“ Bedrohung, die praktisch alle Lebewesen entweder als Freßfeinde oder als Konkurrenten um Lebensraum unausweichlich für einander darstellen, sondern eine mit neuartigen, geistig-technischen Mitteln erreichte Überbevölkerung und globale Bedrohung der gesamten Biosphäre durch eine einzige unter Millionen von Arten – bis hin zur massenhaften Ausrottung und akuten Existenzgefährdung anderer Arten.

Kehren wir nach dieser Positionsbestimmung zur Pflanzenzüchtung und dem problematischen Verhältnis von Nahrungsproduktion und Umweltbelastung zurück. Ein Beispiel der Bemühungen um ein möglichst erträgliches Verhältnis ist die Resistenzzüchtung gegen Krankheitserreger. Mit ihr wird das doppelte Ziel verfolgt, einerseits die im Lauf der langen Züchtungsgeschichte verloren gegangenen Resistenzen zurück zu gewinnen und somit Ernte- und Lagerverluste so weit wie möglich zu vermeiden, an-

dererseits auf Umwelt schädigende Pflanzenschutzmittel möglichst weitgehend zu verzichten. Sofern zum Einkreuzen einer gewünschten Resistenz mit konventionellen Mitteln überhaupt noch geeignete Wildformen einer Kultursorte verfügbar, das heißt, sowohl vorhanden als auch mit ihr kreuzbar sind, dauert der gesamte Prozeß bis zur fertigen neuen Sorte in der Regel mindestens zwölf, oft sogar fünfzehn oder mehr Jahre. Das ist etwa der Zeitraum, in dem die Weltbevölkerung derzeit um eine halbe oder gar eine ganze Milliarde Menschen wächst. Im Vergleich dazu ist der Zugewinn an Nahrungsmitteln, der auf diesem Wege erreicht werden kann, verschwindend gering.

Wie weit heutige Hochleistungssorten in ihrer Evolution von den ursprünglichen Wildformen bereits entfernt und wie gering darum die Kreuzungschancen sind, ist jedem unmittelbar einsichtig, der das Weizenfeld in Abb. 4 mit den ihm vertrauten Wildgräsern vergleicht. Die bisher erwähnten Beispiele – Resistenzzüchtung und das Herauszüchten großer Körner bzw. Früchte – sind keineswegs die einzigen Züchtungsziele. Einige von diversen Zielen mit erheblichen genetischen Veränderungen gegenüber den ursprünglichen Wildformen zeigt Abb. 5. Die hier dargestellten Züchtungsprodukte sind nahe miteinander verwandte Arten aus der Familie der Nachtschattengewächse: oben von links nach rechts Petunie und Tabak, in der Mitte Paprika und Tomate, und unten die Kartoffel. Während die ursprünglichen Wildformen einander sehr viel ähnlicher waren, sind ihre jetzt sehr verschiedenartigen Erscheinungsformen offensichtliche Ergebnisse menschlicher Nutzungsinteressen: große, farbintensive, von Frühjahr bis Herbst ständig nachwachsende Blüten bei der Petunie; große Blätter mit bestimmten Inhaltsstoffen und Fermentationseigenschaften beim Tabak; große, synchron reifende, giftstofffreie, transport- und lagerfähige Früchte bei Paprika und Tomate; und schließlich ähnliche Eigenschaften bei der Kartoffel, allerdings hier in spezifischen Speicherorganen, den unterirdischen Knollen, anstelle der (in diesem Fall giftigen) Früchte.

Zahlreiche ähnliche Beispiele ließen sich anführen. Etwa die eng miteinander verwandten Kohlarten – Grünkohl, Rosenkohl, Blumenkohl, Raps usw. – oder, außerhalb der Pflanzenwelt, die vielen Haus- und Nutztierarten, etwa die unterschiedlichen Hunderassen, die alle von derselben Wildform, dem Wolf, abstammen. Ob Pflanze oder Tier: je extremer der menschliche Einfluß beim Herauszüchten bestimmter Eigenschaften (also auf das Abweichen von der natürlichen Evolution), um so mehr sind die Züchtungsprodukte von menschlicher Haltung und Pflege abhängig, nachdem sie ihre Konkurrenzfähigkeit in der freien Natur eingebüßt haben.

Bleiben wir bei den durch Züchtung gesteigerten Ernteerträgen auf Kosten von Krankheitsresistenz, die hier stellvertretend für viele andere, hier nicht erörterte Eigenschaften stehen. Unsere modernen Hochleistungssorten müssen mit Pflanzenschutzmitteln gegen Pilz-, Bakterien- und Virusbefall geschützt werden. Was andernfalls passieren würde, ist jedem aus dem eigenen Garten oder aus dem Geschichtsunterricht bekannt, der von den katastrophalen Hungersnöten in Irland und dem übrigen Westeuropa kündigt, die um die Mitte des 19. Jahrhunderts neben Millionen von Todesfällen große Auswanderungswellen, vor allem in Richtung USA, verursachten. Auslöser war der Erreger der Kraut- und Knollenfäule der Kartoffel, gegen den es damals noch kein Mittel gab und den wir noch heute mit einem aufwendigen und ökologisch langfristig keineswegs unbedenklichen Pflanzenschutzprogramm bekämpfen müssen. Vor diesem Hintergrund sehe ich den möglichen Beitrag der Gentechnik zur Resistenzzüchtung und ganz allgemein den Umgang mit Chancen und Risiken der Nutzung von Gentechnik in der Pflanzenzüchtung.

Wir wissen, daß die Herstellung gentechnisch veränderter („transgener“) Pflanzen inzwischen eine Routinemethode ist, die es ermöglicht, ein oder mehrere natürliche oder auch künstlich veränderte Gene beliebiger Herkunft in einen im übrigen unveränderten genetischen Hintergrund einzubringen. Auf diese Weise haben wir vor einigen Jahren im Max-Planck-Institut für Züchtungsforschung in Köln eine transgene Kartoffelpflanze hergestellt, die im Gegensatz zu der unveränderten Kontrollpflanze unter anderem gegen den Erreger der Kraut- und Knollenfäule eine erhöhte Resistenz aufwies. Abb. 6 zeigt den unter entsprechenden Versuchsbedingungen sehr deutlichen Unterschied. Allerdings handelt es sich hierbei um ein noch frühes Experimentierstadium und keineswegs um eine marktreife Kartoffelsorte. Immerhin schien uns das Ergebnis sehr erfolgversprechend und wert, in einem – selbstverständlich zuvor formell beantragten und von der zuständigen Behörde genehmigten – Freilandversuch auf dem dafür vorgesehenen Institutsgelände weiter überprüft zu werden. Doch ließen die Gentechnikgegner nicht lange auf sich warten: das Versuchsfeld wurde ebenso radikal zerstört wie viele andere zuvor (Abb. 7).

Wir haben uns angewöhnt, in diesem Zusammenhang von mangelnder Akzeptanz der Gentechnik in der Bevölkerung zu sprechen. Ich halte dies für eine sehr unglückliche Form der Zustandsbeschreibung. In meiner Wahrnehmung lehnt nur ein geringer Prozentsatz der Bevölkerung die Gentechnik grundsätzlich ab oder bekämpft sie gar aktiv. Die Mehrheit hat im wesentlichen Angst vor ihr und zwar hauptsächlich aus zwei Gründen: einerseits aus Unkenntnis der Hintergründe, Zusammenhänge und tatsächli-

chen Möglichkeiten, andererseits als Folge spekulativer, oft sachlich falscher Sensationsberichte – die wiederum aufgrund der verbreiteten Unkenntnis gutgläubig aufgenommen werden und damit die Angst nur noch weiter verstärken. Akzeptanz ist im wesentlichen eine Frage des Verstehens und Vertrauens und deshalb nur erreichbar durch unvoreingenommene, sachgerechte und für Laien verständliche Information durch die Fachwissenschaftler, vor allem aber auch



Abb. 6
Resistenz einer transgenen Kartoffelpflanze (links) im Vergleich zur im übrigen genetisch identischen Kontrollpflanze



Abb. 7
Von Gentechnikgegnern zerstörtes Versuchsfeld

durch die Medien, sowie durch die eigene Bereitschaft zu ebenso unvoreingenommener und sachgerechter Aufnahme der Information durch diejenigen, deren Urteil bei der Entscheidung über Anwendung oder Nichtanwendung von Gentechnik eine Rolle spielt. Es ist sicher kein Zufall, daß die Meinungen pro und contra Gentechnik so heftig in einem Land aufeinanderprallen, in dem erschreckend niedrige naturwissenschaftliche Grundkenntnisse in einem krassen Mißverhältnis zur ökonomischen Abhängigkeit von Wissen-

schaft und Technik stehen.

Damit stehen wir vor einem Dilemma. Auf der einen Seite hat ein Jahrtausende währender, zunehmend gravierender Eingriff in die natürliche Evolution eine Situation geschaffen, in der eine mehr oder weniger parallele Entwicklung von Bevölkerungsanstieg und Nahrungsproduktion in der bisherigen Form – das heißt durch konventionelle Kreuzungs- und Ausleseztuchung, mechanischen und chemischen Pflanzenschutz sowie Ausweitung der landwirtschaftlichen Nutzfläche – ihre Grenzen wenn nicht überschritten, so endgültig erreicht hat. Auf der anderen Seite steht uns mit der Gentechnik eine neuartige, aber noch weitgehend beargwohnte Methode zur Verfügung, die zwar angesichts der Vielfalt und Größenordnung aller drängenden Probleme keineswegs ein Allheilmittel sein kann, aber doch wenigstens die Möglichkeit eröffnet, effizientere Wege in der Zuchung von Nahrungspflanzen für eine sowohl ertragsteigernde als auch ökologisch vertretbare Landwirtschaft zu erproben. Das Dilemma besteht im Kern darin, daß wir zum Schutz der uns tragenden Biosphäre entweder noch stärker als bisher in die Evolution der wichtigsten Nahrungspflanzen eingreifen oder einen noch weiter zunehmenden Mangel an Nahrungsmitteln bei einer rasch steigenden Zahl hungerrnder Menschen verantworten müssen – mit allen sozialen, demographischen und sonstigen global wirksamen Folgen. Das Problem ist jedoch zu drängend, als daß wir uns die Fortsetzung einer ergebnislosen Debatte in der bisherigen Form erlauben könnten. Verantwortungsbewut entscheiden heißt, sich eindeutig zu einer Position zu bekennen, und zwar unter Berücksichtigung der möglichen Folgen sowohl des beabsichtigten Handelns als auch des eventuellen Nichthandelns. Eine Gesellschaft, die sich nur mit dem beschäftigt, was sie nicht will, kann keine Zukunft haben.

Mein Lösungsvorschlag ist in Abb. 8 in einer Prioritätenliste zusammengefaßt. Sie enthält die wichtigsten, weitgehend unstrittigen Kriterien, die in der angegebenen Reihenfolge bei Entscheidungen „für oder wider die Natur“ berücksichtigt werden müssen. Eine derartige Form der Entscheidung hat den Vorteil, sehr grundsätzlich

und nicht nur für bestimmte Methoden gültig zu sein. Keineswegs nur für Gentechnik, aber ohne Einschränkung auch für sie gilt demnach, daß sie auf allen potentiellen Nutzungsgebieten, etwa die quantitative oder qualitative Verbesserung der Ernährungslage oder die Erforschung und Heilung von Krankheiten, nur dann angewendet werden darf, wenn dies nicht gegen eines oder gar mehrere übergeordnete Kriterien verstößt. Daß Gentechnik bereits jetzt für die Herstellung vieler hochwertiger und anders nicht zugänglicher Arzneimittel sowie auf praktisch allen Gebieten der Krankheitsforschung unerläßlich geworden ist und dabei keinerlei auf die Gentechnik als solche zurückführbare Risiken aufgetreten sind, ist allgemein bekannt und hat inzwischen zur weitgehenden Akzeptanz der gentechnischen Methoden in diesen Bereichen geführt. Auch in der Pflanzenzuchung leistet Gentechnik in mehreren Ländern, vor allem in den USA, schon jetzt ähnlich wertvolle Beiträge und wird in rasch zunehmendem Umfang in der landwirtschaftlichen Praxis angewendet. Selbstverständlich werden dabei die bestehenden Sicherheitsvorschriften eingehalten. Die Frage, ob wir uns mit der Nutzung von Gentechnik für oder gegen die Natur – im Sinne einer stabilen und langfristig überlebensfähigen Biosphäre – entscheiden, sollte nicht durch die realitätsferne Suche nach einem erträumten Paradies, sondern unter Berücksichtigung des Status quo nach den in Abb. 8 aufgeführten Kriterien beantwortet werden.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Klaus Hahlbrock
Max-Planck-Institut für Zuchungsforschung
Carl-von-Linne-Weg 10
50829 Köln

*Abb. 8
Entscheidungskriterien für die Nutzung technischer Mittel bei der Gestaltung unserer Lebensumstände*

Lebens- und berlebensbedingungen

1. Erhaltung einer lebensfähigen Biosphäre
 2. Ausreichende Menge und Qualität der menschlichen Ernährung
 3. Menschliche Gesundheit (Vorsorge und Heilung)
- ***
4. Achtung der Menschenwürde in jeder weiteren Hinsicht
 5. Artenschutz im übrigen (inkl. Tierschutz sowie Zuchungsziele und -grenzen)

Mit Gentechnik zu gesunden Ernten

Gerhard Wenzel

Mit dem Wandel der Biologie vom Deskriptiven zum Konstruktiven erleben wir einen spannenden Paradigmenwechsel. Wegen der ungeheueren Komplexität des Lebendigen gelingt dieser Wechsel 100 Jahre später als in Chemie und Physik und wäre ohne die sich parallel entwickelnde Informationstechnologie nicht umsetzbar. Jetzt wird ausgehend von der Genomik, dem Entziffern der Gensequenzen, die Proteomik möglich. Diesem Umsetzen von genetischer Information in Proteine folgen mit der Metabolomik die ersten Schritte in Richtung kontrollierter Regulation des Metabolismus. Überraschend schnell erfolgt die anwendungsorientierte Umsetzung dieser Erkenntnisse der Grundlagenforschung; und dies nicht nur mit dem Schwerpunkt *Homo sapiens* und Medizin, sondern auch im angewandten Sektor der Botanik: den Agrarwissenschaften. Da bei Pflanzen leicht mit extrem großen Individuenzahlen, mit großen Mutantensortimenten (Genmaschinen) und vor allem mit dauerhaften Veränderungen des Genoms, die in den gentechnisch veränderten Organismen verankert werden, gearbeitet werden kann, ist das Potential der Genomik bei Pflanzen sogar größer als im „roten“, pharmazeutischen und human-genetischen Bereich. Es ist dann auch nicht nur die Pflanzenproduktion, die von dieser Entwicklung profitiert, es ist die gesamte Biologie, bei der sich erst damit der Schritt zu einer „Technikwissenschaft“ vollzieht.

Dank der überzeugenden Leistungen bei der Produktion unserer Grundnahrungsmittel sind wir allerdings so satt, daß weiterer Fortschritt in der Pflanzenproduktion unnötig erscheint. Aber ein immer umweltbewußterer Verbraucher fordert steigende Nahrungsqualität verbunden mit größtmöglicher gesundheitlicher Sicherheit. Weiterer Züchtungsfortschritt ist folglich gefragt, und dies nicht zuletzt, weil sich die Pflanzenproduktion in einem dynamischen Umfeld abspielt, in dem z.B. Schädlinge und Krankheiten mit immer neuen Typen die Widerstandsfähigkeit resistenter Sorten überwinden. Veränderte Virulenzen, verstärktes Umweltbewußtsein und eine zunehmend globalere Konkurrenz sorgen dafür, daß sich ein Züchter nie auf dem Erreichten ausruhen kann, sondern stets mit modernstem Instrumentarium versuchen muß, schneller zu sein als das Milliardenheer der Schadorganismen, das uns mit immer neuen Mutanten die Nahrung streitig macht, effizienter als im Stoffwechsel vorgegeben und hinreichend anthropozentrisch in einer dynamischen Evolution.

Die klassische Züchtung

Während der 10 000 Jahre, in denen der Mensch als Ackerbauer zunächst unbewußt, dann wissenschaftlich untermauert in die Evolution eingegriffen hat, sind aus kümmerlichen Wildpflanzen – z.B. kleinkörnigen, spindelbrüchigen Gräsern mit 3dt/ha Ertrag - unsere heutigen Getreide mit über 70dt/ha Ertrag geworden, die als wichtigste Nahrungspflanze die Welternährung sichern. Gründete sich der Fortschritt in den ersten 9 900

Jahren eher auf Intuition, so untermauert seit dem 19. Jahrhundert pflanzenbauliches Wissen über Agrochemie und Agrartechnik eine nachhaltige Pflanzenproduktion. Die klassische Genetik mit den zentralen Erkenntnissen der Mendelschen Regeln bildete die Grundlage für erfolgreiche Sorten durch Auslese-, Kombinations- und Hybridzüchtung. Diese klassische Züchtung hat Enormes geleistet und auch ganz neue Fruchtarten wie die Zuckerrübe oder Triticale (eine Kreuzung zwischen Weizen und Roggen) geschaffen.

Das zentrale Leitkriterium für moderne Züchtungsstrategien ist heute die optimale Kombination von Produktqualität und Pflanzengesundheit bei höchstmöglicher Ertragssicherheit. Natürlich ist die Kostenseite zu beachten, der Ertrag muß stimmen (Tab 1). Unter ökonomischem und ökologischem Druck haben sich die Schwerpunkte in der Pflanzenzüchtung verschoben, von einer Konzentration auf das Ziel Maximalertrag hin zu Sorten, die eine sichere Ernte garantieren, von einem Kurzzeitnutzen hin auf Reproduzierbarkeit und Nachhaltigkeit. Von der Genetik als Grundlage der Züchtung fordert dies ein Arbeiten mit immer komplexeren Merkmalen und damit die Hinwendung zu immer schwerer zielorientiert umzusetzenden Erbgängen. Dauerte die Einzüchtung einer Eigenschaft, die nur auf einer einzigen klar definierten Erbinformation beruht, bereits 10-15 Jahre, muß der Züchter für die sichere Einlagerung oder gar die Kombination komplexer Merkmale heute die doppelte Zeit einkalkulieren, zumindest wenn er das Ziel mit rein klassischen Verfahren angeht.

1. Resistenz gegen:	Krankheiten	Viren Bakterien Schadpilze Schadinsekten
	abiotischen Streß	Wassermangel Hitze Salze
2. Veränderung von Inhaltsstoffen:	primäre	Stärke/Zucker Fette/Öle Proteine
	sekundäre	Pharmazeutika Vitamine
3. Verbesserung der Leistung:	Energie Nährstoffaufnahme Stofftransport	Photosynthese Stickstoff Nährsalze
4. Sicherung der Biodiversität:	Erhalt der Gene (nicht der Genotypen)	

Tab. 1
Ziele klassischer und gentechnischer Züchtung

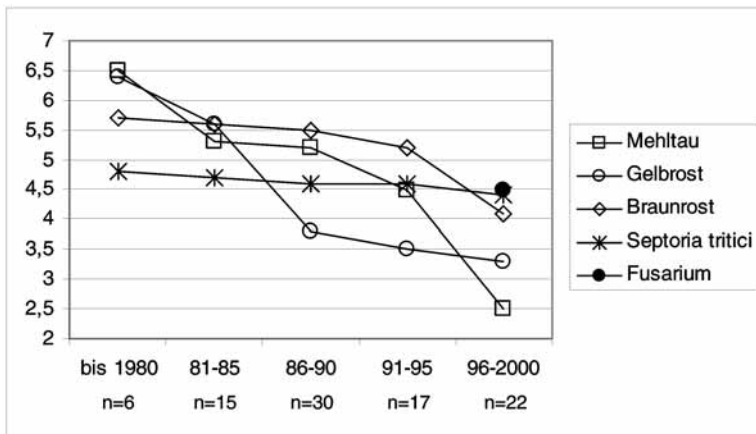
Die gesunde Pflanze

Gesunde Pflanzen sind die Grundlage guter Produktqualität. Ist die Pflanze gesund, wird sie die erwünschten Nährstoffe in der zuvor ermittelten Konzentration enthalten. Die prophylaktischste Form des Pflanzenschutzes liefert die Resistenzzüchtung, die dafür sorgt, daß eine Sorte aufgrund ihrer genetischen Konstitution gar nicht erst krank werden kann. Die dauerhafte Einlagerung von Resistenzen ist somit das zentrale Ziel pflanzlicher Züchtungsforschung. Für die Bewältigung dieser Aufgabe droht die klassische Züchtung zu langsam zu werden. So ist es ein glücklicher Umstand, daß sich in der grünen Biotechnologie mit ihren Teilbereichen, Zellkultur und Genomik, ein immer optimierteres Werkzeug für die Pflanzenzüchtung findet. Im Bereich der Resistenzzüchtung erfolgten in den letzten Jahren die deutlichsten Fortschritte (Abb. 1). Relativ schnell ging es bei den Krankheiten, gegen die ein Resistenzgen half (Mehltau und Roste), wo-

gegen sich der Fortschritt bei der Taubährigkeit (*Fusarium*) oder der Spelzenbräune (*Septoria*) sehr viel langsamer vollzog. Hier müssen mehrere bis viele Gene kombiniert (pyramidisiert) werden, um eine hinreichende Resistenz zu garantieren.

Erlauben es Zellkulturtechniken, einzelne sehr gute Sorten mit dem Verfahren der schnellen Vermehrung vegetativ vielfältig zu vermehren (die DNA bleibt unangetastet), so bietet die Genomik die Möglichkeit, eine bereits sehr gute Pflanze in einer oder wenigen definierten Eigenschaften zu verändern (die DNA wird gezielt angepaßt). Während der Teil der Gewebe- und Zellkultur, der die schnelle Vermehrung, das Klonen, einschließt, bei Pflanzen nicht zu kontroversen Diskussionen führt, wird die Genomik, die sich in die Teilgebiete Gendiagnostik und den Gentransfer untergliedert, sehr kontrovers gesehen (Busch et al. 2002). Dabei konzentriert sich die Diskussion allerdings im wesentlichen auf das kleine Teilgebiet des großflächigen Anbaus von gentechnisch veränderten Pflanzen im Freiland.

Abb. 1
Abnahme der Anfälligkeit von Weizen gegenüber wichtigen Schadpilzen



Gendiagnose und Markertechniken

Es gelang in den letzten fünf Jahren, die verantwortlichen Gene für eine Reihe wichtiger Krankheiten im Erbgut zu lokalisieren und ihre Funktion weiter aufzuklären. Besonders schnelle Erfolge waren dort zu verzeichnen, wo die Resistenzreaktion auf einem definierten Gen beruht, das folglich zu einer + oder - (qualitativen) Reaktion führt. Viel schwieriger ist es Gene zu analysieren, die eine quantitative Ausprägung besitzen und die in der Regel von einigen bis zahlreichen Genen bedingt sind. Hier werden heute Diagno-

semöglichkeiten entwickelt, mit denen auch diese Krankheitserreger sicher und schnell angesprochen werden können. Damit ist dem Züchter ein neues molekulares Werkzeug in die Hand gegeben, mit dem er früh, auch bei Ausbleiben einer Infektion, das verantwortliche Resistenzgen identifizieren kann. Beim Weizen ist es mit diesem molekularen Werkzeug gelungen, in einer Linie mehrere unterschiedliche Resistenzgene gegen die gleiche Krankheit in drei Kreuzungsschritten zu pyramidisieren. Rein klassisch, ohne die markergestützte Selektion, wäre dies kaum möglich gewesen (Wenzel et al. 2002). Wegen der Kombination mehrerer Abwehrgene sollte diese Resistenz dauerhafter sein, als wenn nur ein Resistenzgen eingelagert worden wäre. Mit jetzt verfügbaren Array-Techniken können nach geschicktem Einsatz der PCR-Methode auch seltene aber wohl recht spezifische Genprodukte sichtbar gemacht werden. Auf kleinsten Raum, z.B. einen Objektträger oder Glaschip bringt man winzige DNA-Tröpfchen und hybridisiert diese mit differentiellen DNA-Banken oder bekannten DNA-Sequenzen. Dies wird bei der Analyse der Wirt-Pathogeninteraktion genutzt. Bei der Lokalisierung und Isolierung von komplexen Genen wird deutlicher Fortschritt aufgrund molekularer Diagnosen sichtbar. So liegen für die schwer zu kontrollierenden Getreide-Fusariosen die ersten Genlokalisierungen vor. Damit ist es möglich, bei dieser chemisch schwer zu bekämpfenden Ährenkrankheit, bei der der Schadpilz auch Giftstoffe in die Körner abgibt, effizient zu resistenten Sorten zu kommen.

Gentransfer

Der Gentransfer lenkt die natürliche Evolution – ganz wie die klassische Züchtung – nach den Wünschen des Menschen. Er stellt somit eine Erweiterung des züchterischen Instrumentariums dar. Für den erfolgreichen Gentransfer gilt, daß man das zu übertragende Gen als DNA zur Verfügung haben und eine Methode besitzen muß, mit der sich die klonierte DNA in das Genom der Empfängerpflanze einbauen läßt. Diese Fragen sind in der Grundlagenforschung prinzipiell gelöst. Die Aufgabe liegt jetzt in der schwerpunktmäßigen Anwendung des Wissens auf Nutzpflanzen. Man muß sich verdeutlichen, daß von den ca. 30.000 Genen, die in einer Kulturpflanze vorliegen, nur ca. 10 Gene auf gentechnischem Weg ins Genom gelangen werden. Die Gentechnik veredelt ein bereits gutes Genom. Dies bedeutet, daß bei allen gentechnischen Strategien die klassische Züchtung nie ausgeklammert werden kann.

Nachdem die methodischen Voraussetzungen für den Gentransfer geschaffen sind, liegt der Engpaß heute in der Bereitstellung von Genen für agronomisch wichtige Eigenschaften. In der Pi-

lotphase (1985-1990) wurden zunächst wirtschaftlich interessante bakterielle und virale Gene, die leichter isolierbar sind, in die höhere Pflanze übertragen. Diese zunächst modellhaften Versuche erschienen besonders spektakulär, da bei der Einlagerung z.B. bakterieller Gene in die höhere Pflanze die evolutivsystematischen Grenzen überraschend leicht zu überspringen waren. In diese Phase gehören auch die heute gebräuchlichen Transgene: Pflanzen mit Herbizid- oder Insektenresistenz.

Die Züchtung optimaler Genkombinationen erfordert ein ganzheitliches Vorgehen: Zunächst muß eine Strukturanalyse der DNA erfolgen, dann müssen Funktionsanalysen folgen. Dazu sind Stoffwechselwege zu erforschen und deren molekulare Grundlagen zu klären. Zentrales Problem ist die enorme Größe pflanzlicher Genome (Tab. 2), das sicherlich nicht allein durch weitere Totalsequenzierungen zu überwinden ist. Die Größe des Genoms, gemessen als Anzahl der Nukleotide, sagt nichts über die Zahl der Gene. Bei den Getreiden wiederholen sich viele Gensequenzen und liegen aufgrund der Polyploidie bei Weizen dreifach vor. Es ist allerdings nicht auszuschließen, daß Pflanzen, die ja keine ausgeprägten Ausscheidungsorgane besitzen und überflüssige Stoffe durch komplizierte Sekundärstoffwechselwege neutralisieren müssen, auch mehr Strukturgene haben können als tierische Organismen. In der zweiten Generation zu übertragender Zielgene gelingt es, mit Genen zu arbeiten, die für ganz bestimmte Stoffwechselprodukte kodieren und damit erwünschte Qualitäten erzeugen oder die Bildung hochkomplizierter Spezialchemikalien bewirken. Im Zusammenhang mit der Nahrungsqualität ist bei Reis mit dem Provitamin-A-haltigen „Golden Reis“ ein Durchbruch gelungen (Ye et al. 2000). Folgen werden Gene, die zur männlichen Sterilität führen und damit bei Raps aber auch bei Weizen, Reis und Gerste die Hybridzüchtung erleichtern. 2001 wurden die ersten Kartoffeln mit gentechnisch erhöhtem Zeaxanthingehalt im Gewächshaus getestet.

Die sich anschließenden Freilandversuche werden genutzt, um die Ausbreitung der übertragenen Gene auf die gleiche Fruchtart, auf verwandte Arten und auf die Ruderalflora zu verfolgen. Die bisherigen Ergebnisse zeigen dabei z.B. für

Tab. 2
Informationsgehalt der Genome ausgewählter Organismen im Vergleich zu gedruckten Texten

Viren	1 000 b	= 1 Buchseite á 1 000 Buchstaben
Bakterien	1 000 000 bp	= 1 Buch á 1 000 Seiten
Mensch	3×10^9 bp	= Bibliothek mit 3 000 Büchern
rabidopsis	$1,3 \times 10^8$ bp	= 130 Bücher
Reis	5×10^8 bp	= 500 Bücher
Gerste	5×10^9 bp	= 5 000 Bücher
Mais	5×10^9 bp	= 5 000 Bücher
Weizen	16×10^9 bp	= 16 000 Bücher

den Raps, daß Verbreitung des Fremdgens über den Pollen kommt, daß dies aber nur gelingt, wenn die Befruchtung durch den eigenen Pollen – er blüht absolut zeitgleich – unterbunden wird. Kritischer ist die Ausbreitung über Ausfallsamen zu sehen, die folglich durch gute ackerbauliche Praxis unterbunden werden muß (Wenzel/Fischbeck 1998).

Einblick in die Genfunktion

Ist die Genstruktur aufgeklärt, folgt die ungleich schwerere Aufgabe, der Struktur die Funktion zuzuordnen. Im Fall der Resistenzgene sind unglaubliche Fortschritte erzielt worden. Heute weiß man, daß ein Großteil der monogen wirkenden, eine Überempfindlichkeit hervorrufenden Resistenzgene über die Signaltransduktion der Zellen wirken. Sie scheinen weiterhin nicht völlig zufällig im Genom verteilt, so daß eine Suchstrategie möglich wird. Die von den Resistenzgenen kodierten Proteine sorgen für Informationsweitergabe von einem Zellkompartiment in ein anderes. Der erste Einblick in die Funktionsweise zeigt, welche Möglichkeiten sich öffnen: Man wird nicht mehr fremde Gene nutzen müssen, sondern durch Aktivitätsveränderung vorhandener Gene Regulationsproteine so steuern, daß ein gezielter Eingriff in den Stoffwechsel gelingt und das natürliche Produkt in veränderter Konzentration oder abgewandelter Form in der Zelle bereitsteht. Hiermit eröffnet sich der Weg in die Metabolomik.

Weiterhin hilft ein wachsendes Wissen über die Reaktionen von Wirkstoffen in den Pflanzenschutzmitteln auf dem Weg zu gesunden Ernten. Auch dabei zeigen genetische Untersuchungen, welche Gene nach einem Pathogenbefall eingeschaltet werden. Bei der Kartoffel wurden mit differentiellen DNA-Techniken in einer Plasmidbibliothek 23 induzierte Gene gefunden, von denen dreizehn eine Funktionshomologie zu bekannten Genen, z.B. zu den Lysin reichen Repeat (LRR) Domänen besitzen. Dies verbessert die Möglichkeiten, endogen durch Veränderung des Genoms bzw. exogen durch spezifische Wirkstoffentwicklung den Metabolismus der Pflanze gezielt gegenüber Streß zu stärken.

Ausblick

Sicherlich werden sorgfältig ausgewählte Kombinationen von klassischen und molekularen Ansätzen zu gesunden Ernten führen und das Gros der 20 - 30.000 Allele – die Suppe – durch klassische Züchtungen neu kombiniert. Neben der molekularen Gendiagnose kann die Genübertragung als weiteres Werkzeug auf diesem Weg später die Rolle des Salzes in dieser Suppe übernehmen und die Effizienz der Pflanzenzüchtung weiter steigern. Prinzipiell nutzen die Züchter die von

der Natur vorgegebenen Wege. Die Gentechnik kann die klassische Züchtung nicht ersetzen, sie steigert lediglich deren Effizienz. Ganz wie die klassische Züchtung lenkt die Gentechnik die natürliche Evolution – den Wünschen des Menschen entsprechend. Andere prinzipielle Ziele werden nicht angestrebt. Um unsere Umwelt vor möglichen Gefahren zu schützen, sollte unabhängig vom benutzten Werkzeug nach dem jeweiligen Ziel gefragt werden. Landwirt und Verbraucher werden von einer auf Grundlage der Gentechnik flexibleren Pflanzenproduktion mit Sorten und Lebensmitteln bedient, deren Menge und Qualität gezielt ihren Forderungen angepaßt sind. Wir müssen von immer weniger Land immer mehr Menschen ernähren; dazu brauchen wir die intelligenteste Züchtungsstrategie. Die Gentechnik ist dazu lediglich ein Werkzeug. Die mit ihr erzeugten transgenen Pflanzen bergen kein höheres Risiko als klassisch gezüchtete Sorten. Sie sind aufgrund der vielen Untersuchungen sogar sicherer als konventionell gezüchtete Pflanzen. Daß es in der klassischen Züchtung bisher erst einen Unfall gab – als nach Einführung der Kartoffel in Deutschland zunächst fälschlicherweise die giftigen Beeren gegessen wurden – spricht für die Sicherheit. Es muß aber betont werden, daß die Gentechnik nicht alle Probleme des Pflanzenbaus und des nachgeschalteten Lebensmittelsektors lösen kann. Ferner wird die Evolution dafür sorgen, daß die dauerhafte Züchtung von Superpflanzen, die gegen viele Krankheiten resistent sind und zudem beste Qualitäten in sich vereinigen, auch in Zukunft durch Besseres ersetzt werden muß und wird. Züchtung hört auch mit dem modernen Werkzeug Gentechnik nie auf.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Gerhard Wenzel
Technische Universität München
Lehrstuhl für Pflanzenbau und
Pflanzenzüchtung
Wissenschaftszentrum Weihenstephan für
Ernährung, Landnutzung und Umwelt
85350 Freising-Weihenstephan

Literatur

- Busch RJ, Haniel A, Knoepffler N, Wenzel G: Grüne Gentechnik ein Bewertungsmodell. H Utz Verlag, München 2002.
- Wenzel G, Fischbeck G: Herbizidtolerante Sorten und mögliche Toleranzen bei Vertretern der Begleitflora. Mit. Ges. Pflanzenbauwiss. 11, 1-6, 1998.
- Wenzel G, Lübberstedt T, El-Badawy M, Mohler V: Verteilung von Resistenzgenen im Genom von Gerste und Mais und die daraus folgenden Konsequenzen für die Züchtung. 52. Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter Österreichs, Gumpenstein 2002 (im Druck)
- Ye X, Al-Babili S, Klöti A, Zhang J, Lucca P, Beyer P, Potrykus I: Engineering the provitamin A (β -carotene) biosynthetic pathway into rice endosperm. Science 287, 303-305, 2000.

Pflanzenbiotechnologie für die Landwirtschaft – Stand und Perspektiven

Ralf-Michael Schmidt

Der Transfer von Erbmateriale in eine Pflanze – Tabak – gelang zum ersten Mal 1983. Damals noch eine Sensation, lassen sich heutzutage neben den Hauptkulturpflanzen (z.B. Weizen, Mais, Reis, Soja, Raps, Kartoffeln) auch die meisten Gemüsepflanzen und einige Bäume und Stauden (z. B. Apfel, Pappel, Banane) gentechnisch verändern. Im Unterschied zur klassischen Saatzucht, die schon seit Menschengedenken betrieben wird, geschehen diese Veränderungen gezielt:

- durch das Einfügen von Genen,
- durch das Entfernen oder Abschalten von Genen.

Die Beeinflussung der gewebe-, organ- und entwicklungspezifischen Genexpression in Pflanzen ist durch die Verwendung entsprechender Promotoren möglich. Auch die Beeinflussung der zellkompartimentspezifischen Genexpression ist mit Hilfe entsprechender DNA-Signalsequenzen durchführbar. Kurzum, es stehen alle Werkzeuge zur Verfügung, um Pflanzen gentechnisch verändern zu können.

Die Pflanzenbiotechnologie nimmt im zunehmenden Maße Einfluß auf die landwirtschaftliche Wertschöpfungskette. Diese beginnt mit dem Saatgut. Aus dem Saatgut wird das Erntegut gewonnen. Das Erntegut geht dann entweder direkt in den Lebensmittel- und den Futtermittelsektor oder wird zunächst in die Hauptkomponenten Stärke, Öl und Protein aufgetrennt. Nach der Trennung schließen sich weitere Veredelungsstufen an: die Auftrennung von Stärke in Amylopektin und Amylose oder die Überführung von Stärke in Stärkesirupe und Glukose. Glukose ist selbst wieder Rohstoff für die Herstellung von „high fructose corn sirup“ (HFCS) oder für zahlreiche Fermentationsprodukte, beispielsweise Lysin und Vitamin C.

Auch das Pflanzenöl und das Pflanzenprotein sind Ausgangspunkte für eine lange Veredelungskette, von der in Abb. 1 nur ein Teil gezeigt ist. Wichtigste Produkte sind Reinöl, Fettsäuren, Vitamin E sowie spezielle Proteinfraktionen.

Die Hauptabnehmer der Produkte aus dieser Veredelungskette sind wiederum der Lebensmittel- und der Futtermittelsektor. Weitere Abnehmer sind z. B. die Textilindustrie für Amylose und Amylopektin, die Waschmittelindustrie für Öle und die Fermentationsindustrie für Glukose, HFCS und diverse Proteinfraktionen.

Die Pflanzenbiotechnologie wird genutzt, um die Wertschöpfung in der geschilderten Wertschöpfungskette zu erhöhen. Konkret geforscht und gearbeitet wird in drei verschiedene Richtungen:

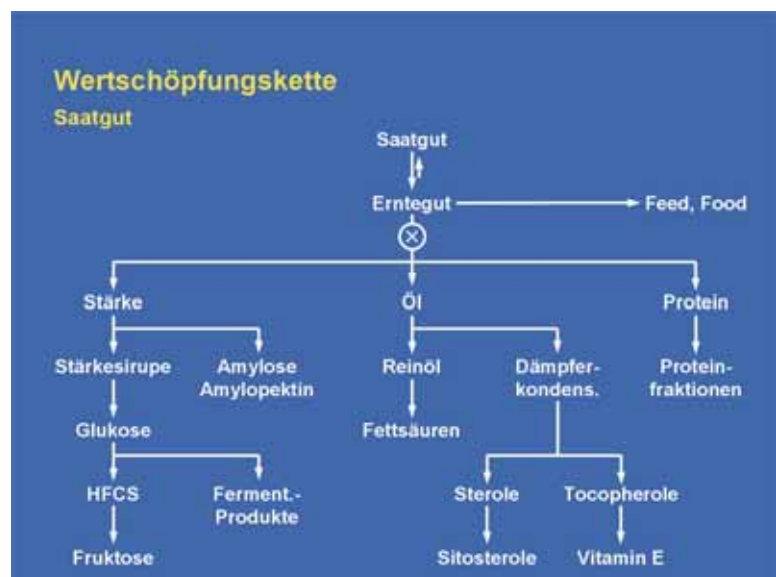
1. Optimierung der agronomischen Eigenschaften von Pflanzen: Die Herstellung herbizidtoleranter, insekten-/virusresistenter und pilzpathogenresistenter Kulturpflanzen sowie die Herstellung von Kulturpflanzen, welche sich

durch eine erhöhte Kälte-, Trocken- und Salztoleranz auszeichnen, soll Ernterträge sichern und erhöhen und somit zu einer effizienteren Landwirtschaft beitragen.

2. Optimierung der Qualität des Ernteguts: Durch Veränderung der Zusammensetzung und des Gehaltes an Pflanzeninhaltsstoffen will man zu einer besseren, gesünderen Ernährung beitragen und gleichzeitig den Wert des Ernteguts erhöhen.
3. Nachhaltige Produktion: Durch Herstellung von Spezialchemikalien in Pflanzen will man Ressourcen schonen und Pflanzen als Fabriken nutzen.

Durch gentechnische Veränderung von Saatgut haben Pflanzenschutzfirmen und Saatzüchter in

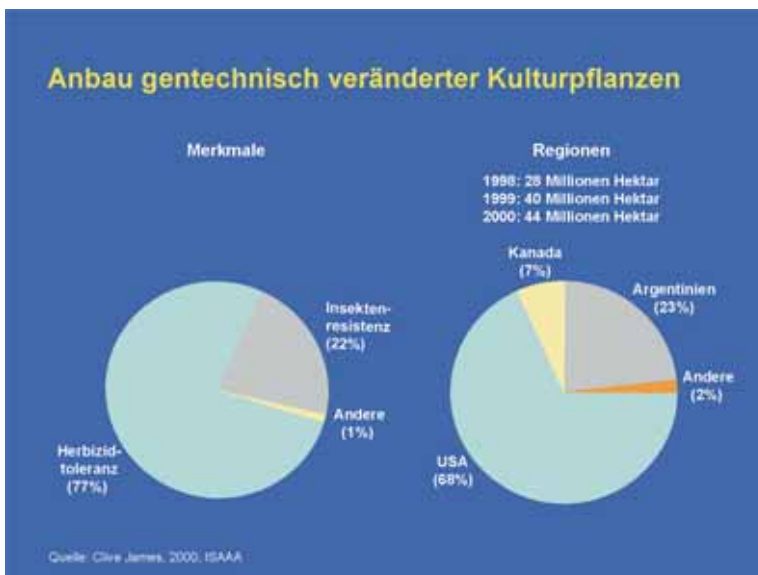
Abb. 1
Wertschöpfungskette
Saatgut



Zusammenarbeit mit Universitäten und Biotechnologie-Firmen mittlerweile erste Marktprodukte entwickelt: Einerseits handelt es sich um herbizidtolerante Mais-, Raps-, Soja- und Baumwollpflanzen, welche tolerant gegen die nichtselektiven Herbizide Roundup und Basta sind. Die Resistenzen wurden erzeugt durch den Einbau von Genen, welche aus Bodenmikroorganismen isoliert wurden. Im Fall von Roundup kodiert dieses Gen für ein Stoffwechselprotein (EPSP-Synthase), das im Gegensatz zur EPSP-Synthase nichttoleranter Pflanzen nicht mehr durch Roundup inhibiert wird. Im Fall von Basta kodiert dieses Gen für ein Protein, welches Basta in ein biologisch inaktives Molekül überführt. Andererseits handelt es sich um Mais- und Baumwollpflanzen, welche durch das Einbringen des aus Bodenbakterien (*Bacillus thuringiensis*) stammenden Bt-Toxins eine stark erhöhte Resistenz gegen Schadinsekten aufweisen. Im Jahre 2000 wurden derartige gentechnisch optimierte Kulturpflanzen zwecks Sicherung und Erhöhung des Ernteertrags auf 44 Mio. ha landwirtschaftlicher Fläche angebaut (Abb. 2), 98 % hiervon in Nord- und Südamerika. Im Jahr 2001 wird eine nochmalige Steigerung dieser Anbauflächen auf voraussichtlich 50 Mio. ha verzeichnet werden.

Die derzeitigen Pflanzenbiotechnologie-Forschungsarbeiten für die Landwirtschaft konzentrieren sich auf die Herstellung pilzpathogenresistenter und streßtoleranter Kulturpflanzen (gegen Kälte, Trockenheit, hohe Salzkonzentrationen). Hierbei wird auch in aller Regel das Konzept verfolgt, natürlicherweise vorkommende Mechanismen zur Abwehr von Pathogenen oder zur Überwindung von Kälte-, Trocken- und Salzstreß aufzuklären und für die Herstellung entsprechend resistenter Pflanzen zu nutzen. Bereits jetzt sei angemerkt, daß greifbare Ergebnisse in Form kommerzialisierbarer Produkte noch nicht vorliegen.

Abb. 2
Anbau gentechnisch veränderter Kulturpflanzen nach Merkmalen und Regionen



Die Vorgehensweise und derzeit vorliegende Ergebnisse aus den laufenden Forschungsarbeiten am Beispiel der Pilzpathogenresistenz:

Trotz Fungizideinsatz verursacht Pilzbefall an Kulturpflanzen nach wie vor alljährlich hohe Ernteauffälle (im Wert von 5 Mrd. EUR z. B. bei Getreide). Für die Behandlung bestimmter Pilzkrankheiten, z.B. Fusiarosen, fehlen geeignete Fungizide. Bei Pflanzen, welche von Pilzen befallen werden, kann es zur Anreicherung von für den Menschen giftigen Pilztoxinen kommen. Diese Gründe rechtfertigen in hohem Maße Forschungsarbeiten zur Herstellung pilzpathogenresistenter Pflanzen.

Die Interaktion zwischen einem Pilz und einer Pflanze ist sehr häufig von einer „Immunität“ der Pflanze gegen den angreifenden Pilz geprägt. Hierzu ein Beispiel: Kartoffelpflanzen (*Solanum tuberosum*) werden durch das Pilzpathogen *Phytophthora infestans* ausgesprochen stark geschädigt. Eine nahe Verwandte der Kartoffelpflanze, *Solanum nigrum* (Schwarzer Nachtschatten), dagegen ist resistent gegen *Phytophthora infestans*.¹ Die Abwehrreaktion von *Solanum nigrum* gegen *Phytophthora infestans* geht einher mit induziertem Zelltod und starken Zellwandablagerungen, pflanzlichen Reaktionen, welche ein weiteres Vordringen des Pilzes von der Infektionsstelle in benachbarte Gewebebereiche verhindern. Andere Abwehrreaktionen können sein: eine starke Kallose-Synthese – Kallose ist ein komplexes Glukose-Polymer – an der Infektionsstelle, die Bildung von Phytoalexinen, kleinen antifungal wirkenden Metaboliten, die Synthese von „pathogenesis related“ (PR)-Abwehrproteinen und auch die Synthese von Signalmolekülen zum Auslösen systemischer Resistenz. „Immunität“ von Pflanzen gegen Pilzbefall ist in vielen Fällen die Konsequenz. Der Versuch, solche in der Natur vorkommenden Resistenzmechanismen zur Herstellung pilzpathogenresistenter Pflanzen zu nutzen, hat bei Modellpflanzen in der Tat zu einer erhöhten Resistenz gegen Pilzpathogene geführt (Abb. 3).

Der einzige Erfolg bei der Herstellung pilzpathogenresistenter Pflanzen ist bis heute die durch das Mlo-Gen bewirkte, breite Resistenz gegen verschiedenste *Blumeria graminis f. sp. hordei*-Isolate (Mehltau) in Gerste³. Die Mlo-Resistenz wurde 1937 in äthiopischen Gerste-Rassen entdeckt. Resistenz wird nur dann ausgeprägt, wenn das Wildtyp-Allel Mlo zur inaktiven Form mutiert wurde bzw. rezessiv vererbt wird (mlo). 1980 wurde mlo in europäische Sommergersten eingekreuzt und ist seitdem im Feld stabil. Das verantwortliche Gen wurde mittlerweile isoliert und molekular charakterisiert³. Inwieweit es genutzt werden kann, um auf biotechnologischem Wege resistente Kulturpflanzen zu erzeugen, wird die Zukunft zeigen.

Neue Ansatzpunkte für das Voranbringen der laufenden Forschungsarbeiten werden sich aus

der pflanzlichen Genomforschung ergeben, welche in den letzten Jahren zunehmend in den Fokus molekularbiologischer und biochemischer Arbeiten gerückt ist. Erste Erfolge dieser weltweit durchgeführten Arbeiten liegen vor: Die Basensequenz sämtlicher Gene von *Arabidopsis thaliana* (Ackerschmalwand)⁴ und der Kulturpflanze Reis⁵. Die Genomforschung an weiteren Kulturpflanzen wie Mais, Soja, Raps, Gerste ist in vollem Gange. Das Interesse der Forscher konzentriert sich in zunehmendem Maße auf die funktionelle Genomforschung, d.h. die Aufklärung der biologischen Funktion von Genen. Hierzu ist es notwendig, den Informationsfluß innerhalb der Pflanze ausgehend von der DNA über die Bildung von mRNA, Proteinen und Metaboliten bis hin zu pflanzlichen Phänotypen zu untersuchen und die Ausprägung bestimmter Eigenschaften direkt mit der DNA-Sequenz zu korrelieren (Abb. 4). Kenntnisse über die biologische Funktion von Genen bilden die Grundlage für die Identifizierung von Leitgenen, d.h. Genen, welche für die Ausprägung eines gewünschten Merkmals in einer Pflanze absolut essentiell sind. Eine Strategie zur Erreichung dieses Ziels stellt das sogenannte „metabolic profiling“^{6,7} dar: Ausgangspunkt dieses Ansatzes sind Mutantpopulationen (z.B. von *Arabidopsis* und Moos), bei denen nur eines (oder sehr wenige) der insgesamt ca. 25000 vorhandenen mutiert wurde(n) bzw. ein zusätzliches Gen eingefügt wurde (Abb. 5). Danach wird einerseits untersucht, ob und wie sich die Änderung des Genotyps im „metabolic profile“, dem biochemischen Stoffwechselprofil, der Pflanzen (Vorhandensein und Gehalt an Zuckern, Aminosäuren, Fettsäuren usw.) niederschlägt. Andererseits werden die Phänotypen der Pflanzen analysiert. Unterschiede im „metabolic profile“ und im Phänotyp zwischen genetisch veränderten und nicht veränderten Pflanzen werden auf diese Weise erkennbar, können direkt Gensequenzen zugeordnet werden und lassen somit eine Aussage über die biologische Funktion definierter DNA-Sequenzen zu. In dem Maße wie es gelingt, die biologische Funktion von Genen aufzuklären, ergeben sich auch Perspektiven für die Anwendung in der Landwirtschaft, z.B. im Hinblick auf Pflanzen, welche resistent bzw. resistenter sind gegen Pathogene und Insekten oder gegen Hitze und Trockenheit.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Ralf-Michael Schmidt
 BASF Plant Science GmbH
 BPS – A 30
 67056 Ludwigshafen
 E-mail: ralf-michael.schmidt@basf-ag.de

Von der Natur lernen ?

Einige Beispiele¹

(Kultur-) Art	Schaderreger	Gen für
Tabak / Raps	Rhizoctonia	Chitinase (Bohne)*
Tabak	Rhizoctonia	Chitinase (Gerste)*
Tabak	Phytophthora	PR-1 (Tabak)*
Reis	Rhizoctonia	Silbensynthase (Wein)*

* PR-Proteine
 * Phytolactin-synthetisierendes Protein

Abb. 3
 In der Natur vorkommende Resistenzmechanismen zur Herstellung pilzpathogenresistenter Pflanzen (Beispiele)

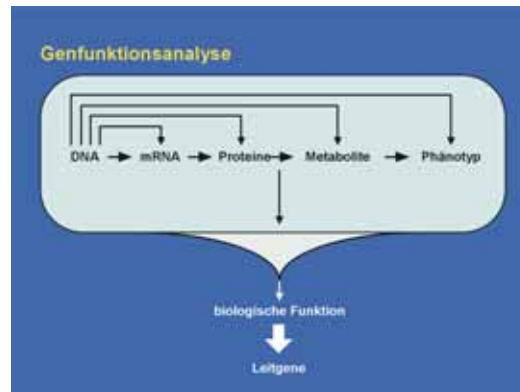


Abb. 4
 Von der Genfunktionsanalyse zu Leitgenen

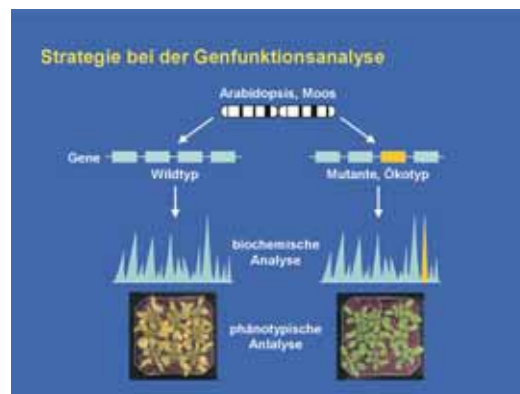


Abb. 5
 Strategie bei der Genfunktionsanalyse

Anmerkungen

- Kamoun S, Huitema E, and Vleeshouwers, V.G.A.A. (1999). Resistance to oomycetes: a general role for the hypersensitive response? Trends in Plant Science 4, 196-201.
- Honeé, G. (1999). Engineered resistance against fungal plant pathogens. European Journal of Plant Pathology 105, 31-326.
- Schulze-Lefert, P., and Vogel, J. (2000). Closing the ranks to attack by powdery mildew. Trends in Plant Science 5, 343-348.
- The Arabidopsis Initiative (2000). Analysis of the genome sequence of the flowering plant *Arabidopsis thaliana*. Nature 408, 796-815.
- Barry, G. F. (2001). The use of the Monsanto draft rice genome sequence in research. Plant Physiology 125, 1164-1165.
- Trethewey, R.N., Krotzky, A., and Willmitzer, L. (1999). Metabolic profiling: a Rosetta Stone for genomics? Current Opinion in Plant Biology 2, 83-85.
- Roessner, U., Luedemann, A., Brust, D., Fiehn, O., Linke, T., Willmitzer, L., and Fernie, A.R. (2001). Metabolic profiling allows comprehensive phenotyping of genetically or environmentally modified plant systems. The Plant Cell 13, 11-29.

Herbizidresistenz und Ertragssteigerung durch neue Hybridisierungsverfahren

Walter Buebl

Die Nutzendiskussion um die Grüne Gentechnik muß weniger abstrakt und vermehrt vom Kunden aus und über konkrete Produkte geführt werden. Technischer Fortschritt in der Landwirtschaft ist über höhere Nachhaltigkeit, geringeren Flächen- und Ressourceneinsatz, neue Einsatzgebiete indirekt verbunden mit dem Nutzen für Umwelt, Verbraucher und dem Wirtschaftsstandort Deutschland.

Die Lehre vom allgemeinen und speziellen Pflanzenbau wird als angewandte Wissenschaft eingestuft. Aus den Grundlagen der Biologie (Gentechnik und Züchtungsforschung) entwickelte sich in den letzten 20 Jahren in rasanter Geschwindigkeit die Grüne Gentechnik.

Normalerweise müßte es einfach sein, den Nutzen einer Technologie in einer angewandten Wissenschaft zu bewerten. Er ergibt sich aus der projizierten und der tatsächlichen Anwendung. Schwierig wird es erst mit der spezifischen Frage, die das Symposium stellt: Was nützt uns die Grüne Gentechnik? Im Focus meiner Ausführungen steht der Beitrag der Grünen Gentechnik zu einer nachhaltigen Landwirtschaft in ökologischer wie ökonomischer Hinsicht. Die Unbedenklichkeit für Mensch, Tier und Umwelt wird als selbstverständlicher Bestandteil des Veränderungsziels vorausgesetzt.

Herbizidresistenz

Unkräuter konkurrieren mit den Kulturpflanzen um Nährstoffe, Wasser, Licht und Boden. Die Eindämmung dieses Problems kann im Pflanzenbau durch mechanisches Entfernen oder durch den Einsatz von Herbiziden erfolgen. Die Selektivität gegenüber den Kulturpflanzen wird durch Auslesen von chemischen Stoffen experimentell mit bis zu 1 Mio. Substanzen pro Jahr im *High Throughput Screening* getestet. Alternativ wird versucht, über Safener-Technologie die Wirkung gegen Unkräuter zu erhalten bei verbesserter Verträglichkeit der Kulturpflanzen. Ebenso kann man über konventionelle Züchtung mittels Auslese- und/oder Mutationszüchtung eine verbesserte Resistenz erreichen z.B. gegenüber Wirkstoffen aus der Gruppe der Sulfonylharnstoffe oder Imidazoline. Moderne biotechnologische Verfahren werden heute eingesetzt, um neue Wirkorte und -mechanismen aufzuspüren ('Lead finding') oder um diese gezielt zu verändern.

LibertyLink

Das System LibertyLink besteht aus dem Herbizid Liberty und einer gentechnisch veränderten Libertytoleranten Kulturpflanzensorte.

Liberty enthält den Wirkstoff Glufosinat, eine Aminosäure mit dem Namen Phosphinothricin (PPT), welche ursprünglich aus Bodenbakterien isoliert wurde. Glufosinat wird schnell abgebaut, und eine Reihe von Bodenbakterien kann den Wirkstoff metabolisieren. Aus *Streptomyces vi-*

ridochromogenes konnte ein Gen isoliert werden, dessen Genprodukt (PAT = Phosphinothricin-Acetyl-Transferase) den Wirkstoff verändert und damit unwirksam macht. Ab dem Jahr 1988 gelang es, das PAT-Gen auf eine Reihe von Kulturpflanzen zu übertragen und stabil zu integrieren.

LibertyLink im Mais

Der Einsatz von Liberty bietet eine hohe Flexibilität im Anwendungszeitraum vom frühen bis späten Nachlauf, weist eine sehr hohe Kulturverträglichkeit auf und bietet ein breites Wirkungsspektrum. Durch diese Eigenschaften eignet sich das Verfahren zur schadsschwellenorientierten Unkrautkontrolle und kann darüber hinaus dazu beitragen, bodenschonende, erosionsmindernde Anbauverfahren wie die Mulch- und Direktsaat zu fördern.

Mit der Einführung eines neuen Wirkprinzips werden die Möglichkeiten zum Management herbizidresistenter Unkräuter erweitert und dem Landwirt eine neue Option zur Unkrautkontrolle angeboten. Im Jahr 2000 konnten 58 Landwirte auf einer Fläche von 225 Hektar in Deutschland eigene Erfahrungen sammeln. Das System wurde von den Landwirten in der Anwendung als praxistauglich bewertet, wobei nur 8% der Befragten keinen Nutzen erkennen konnten (Abb. 1).

LibertyLink im Raps

Im Prinzip gelten die Erkenntnisse auch bei Raps, wobei gegenüber dem derzeitigen konven-

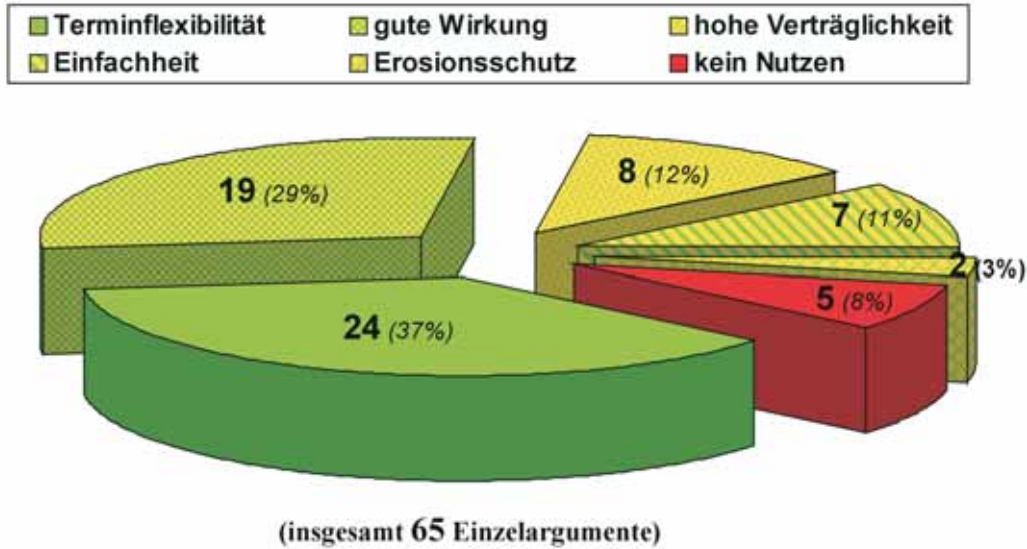


Abb. 1
Praxisanbau von LibertyLink-Mais in 2000, Häufigkeit der Nutzenargumente beim Landwirt (aus: Aventis 2001)

tionellen Standard die Vorteile noch deutlicher werden. Sowohl für die Landwirte im Hinblick auf Agronomie und Unkrautbekämpfung als auch für die Umwelt stellt das Verfahren einen technischen Fortschritt dar (Abb. 2).

Die Flexibilität des Einsatzes im Nachauflaufverfahren Herbst und Frühjahr bietet Optionen zur Schadschwellenorientierung bis hin zu Entscheidungen für spezielle Gräserbehandlungen oder sogar ganz auf Behandlungen zu verzichten. Andererseits können nun schwer bekämpfbare Problemunkräuter, z.B. aus der Familie der Kreuzblütler, bekämpft werden.

Die generelle Entscheidung des Landwirts nach dem Winter, ob ein durch Frost geschädigter,

lückiger Kulturpflanzenbestand umgebrochen werden muß oder nicht, kann durch die erstmalige Möglichkeit einer breit wirksamen und kulturverträglichen Unkrautbekämpfung im Frühjahr erheblich beeinflußt werden.

Der Wegfall einer Traktorfahrt zur Gräserbehandlung wirkt sich positiv auf Ökonomie und Ökologie aus hinsichtlich der Energiebilanz und Bodenverdichtung.

SeedLink Rapshybriden

Hybridsorten sind besonders leistungsfähige Pflanzensorten. In der Literatur werden für Raps Heterosiszuwächse zw. 17% und 45% im Ver-

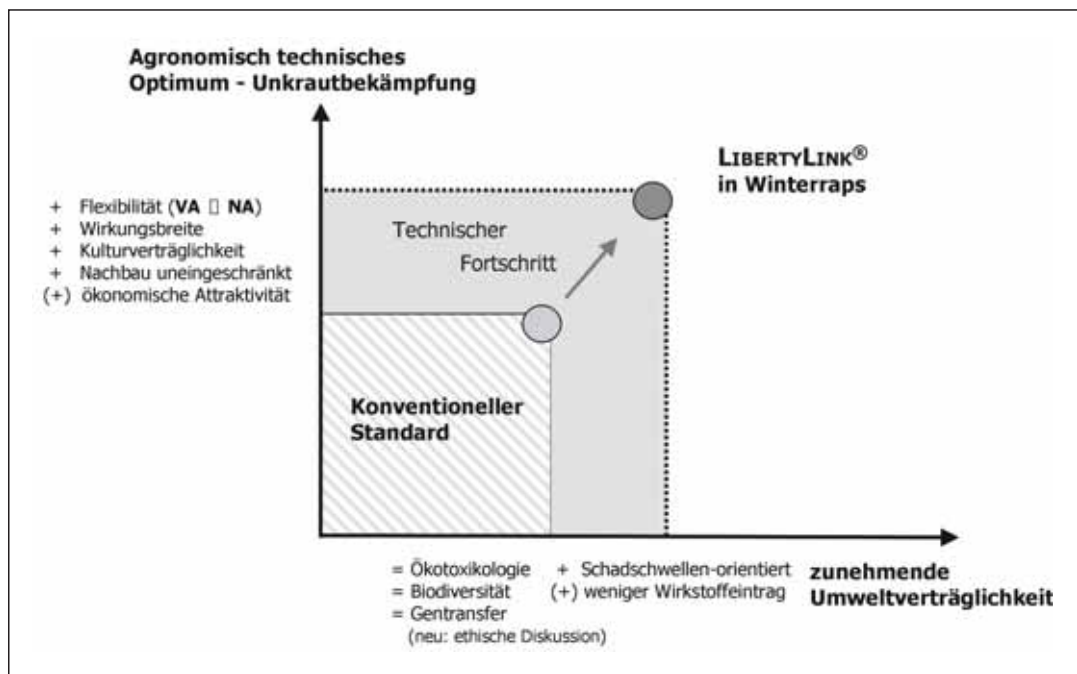


Abb. 2
LibertyLink – Nutzenanalyse (aus: Schulte 1999)

gleich zum Mittel der Elternlinien genannt. Die kommerzielle, großflächige Produktion von Hybridsaatgut setzt bei dem partiell allogamen, einhäusig blühenden Raps ein geeignetes System zur Bestäubungslenkung voraus.

Zu diesem Zweck kann das gentechnisch erzeugte Hybridisierungssystem SeedLink eingesetzt werden, welches auf drei Genen beruht. Das BARNASE-Gen verhindert die Pollenbildung

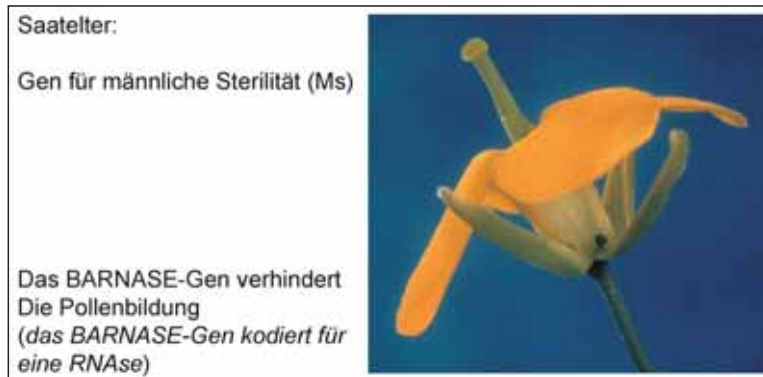


Abb. 3
Komponenten des Hybridisierungssystems SeedLink

auf dem Saatelter, das BARSTAR-Gen stellt die Fähigkeit zur Pollenbildung in der F1-Generation wieder her. Beide Gene sind jeweils gekoppelt mit dem BAR-Gen, welches analog dem PAT-Gen Liberty-Toleranz bewirkt. Restorierte F1-Hybridpflanzen sind zu 100% pollenfertil sowie tolerant gegen Liberty-Einsatz (Abb. 3).

Neben gentechnisch basierenden Systemen gibt es zwar auch weitere, mittels traditioneller Züchtung entwickelte Möglichkeiten zur Bestäubungslenkung, letztere sind in ihrer Handhabung aber meist wesentlich komplexer.

Der Anteil von Hybridsorten am deutschen Rapssaatgutmarkt hat in den letzten Jahren kontinuierlich zugenommen und liegt derzeit bereits über 30%.

Abb. 4
Produktionszuwachs durch Biotechnologie

Vorteile des SeedLink-Systems liegen in seiner Umweltstabilität, der technischen Handhabung beim Züchter sowie in der einfachen und günstigen Saatgutproduktion. Weitere Pluspunkte beim

Landwirt bieten der hohe Homogenitätsgrad sowie die gleichzeitige Nutzbarkeit der Vorteile der Liberty-Toleranz.

Mehrfach-Nutzen der Grünen Gentechnik

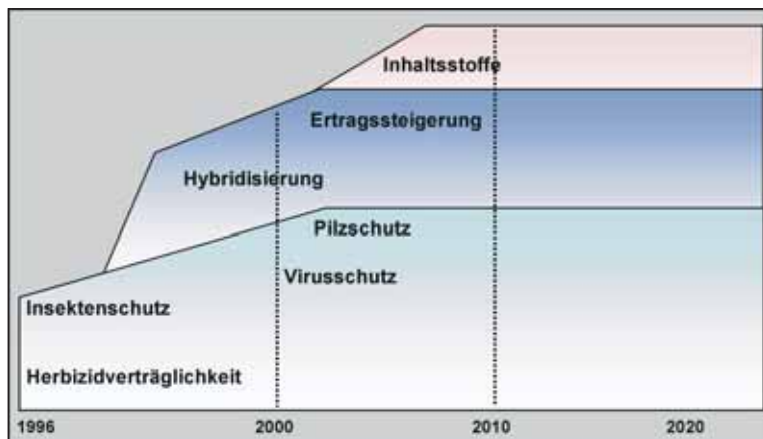
Bei zwei Merkmalen, wie am SeedLink Raps demonstriert, kumuliert auch der Nutzen beider Merkmale. Ähnliche Beispiele gibt es inzwischen auch in Mais mit der Kombination von Insektenresistenz und Herbizidtoleranz.

Beim Raps sind als neue Anwendungen der Grünen Gentechnik neben weiteren agronomischen Merkmalen (höhere Schotenplatzfestigkeit) auch Veränderungen des Fettsäurenspektrums (Laurinsäure, Hoch-Ölsäure) und bessere Qualitäten des Rapsschrots (weitere Senkung der Gehalte an Glucosinolat und Phytase) als möglicher Ausblick skizziert.

Auch die Verwendung als nachwachsender Rohstoff, sei es zur gezielten Produktion einzelner hochwertiger Bestandteile (Hoch-Erucasäure) oder zum Einsatz als Biodiesel wird durch die weitere Nutzung der Grünen Gentechnik erleichtert. Einen Überblick dazu gibt Abb. 4.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Walter Buebl
Leiter BioScience
Aventis CropScience Deutschland GmbH
Hessendamm 1-3
65795 Hattersheim



Bt-Mais: Eine Pflanze schützt sich selbst

Fakten und Erfahrungen

Patrica Ahl Goy

Etwa 7% der weltweiten Maisproduktion werden jedes Jahr durch Zünslerrauven vernichtet. Die traditionelle Züchtung sowie herkömmliche Bekämpfungsmittel (chemische Insektizide, biologische Präparate) sind unzureichend, um die Schäden dieses Insekts zu beheben. Die Gentechnologie bietet jetzt den Landwirten eine neuartige Bekämpfungsmöglichkeit: eine Pflanze anzubauen, die sich selbst schützt. Die Bt-Maispflanze wurde gentechnisch derart verändert, daß sie das Bt-Eiweiß des Bodenbakteriums *Bacillus thuringiensis* produziert. Dieses Eiweiß wirkt toxisch auf die Zünslerrauven.

1992 wurden die ersten Bt-Maispflanzen im Feld geprüft und 1996 erstmals in den USA kommerziell angebaut. Die Kommerzialisierung erfolgte nach einer ausführlichen Sicherheitsevaluierung, deren Schlußfolgerung lautete: „*Bt-Mais ist so sicher wie herkömmlicher Mais*“. Heute wird Bt-Mais (verschiedene „transformation events“) vor allem in den USA, in Kanada und in Argentinien angebaut. In der Europäischen Union herrscht seit 1998 ein *de facto* Moratorium für die Bewilligung von GVO-Pflanzen. Dadurch sind wenig Bt-Maissorten als Saatgut im Verkauf erhältlich. Die kumulativ angebaute Fläche seit 1996 beträgt weltweit ca. 36,3 Mio. ha, was der Gesamtfläche Deutschlands entspricht. In Europa wurden seit 1998 jährlich ca. 20.000 ha Bt-Mais vor allem in Spanien angebaut. Welche praktische Erfahrung wurde mit dem kommerziellen Anbau gewonnen? Wie betrachtet der Landwirt Bt-Mais? Ist die Schlußfolgerung der Sicherheitsbewertung durch den weitflächigen Anbau bestätigt worden? Vorhandene Daten und deren Bedeutung werden hier kurz diskutiert.

Bt-Mais und der Landwirt

Der in den USA seit sechs Jahren praktizierte Anbau ist aus unserer Sicht der beste Beweis für den Wert des Bt-Mais. Warum würde sonst der amerikanische Landwirt Jahr für Jahr wieder Bt-Mais kaufen? Ein Vergleich zwischen Bt-Mais und konventionellem Mais in den USA zeigt eine Mehrproduktion von Bt-Mais zwischen 1,37 und 1,66 Mio. Tonnen pro Jahr, je nach Schädlingsdruck (Abb. 1). Der finanzielle Vorteil für den Landwirt hängt auch vom Schädlingsdruck ab: die Mehrkosten für den Ankauf von Bt-Maissaatgut werden durch den Mehrertrag in den Jahren mit starkem Maiszünslerbefall weitgehend kompensiert, in den Jahren mit geringem Befall dage-



gen nicht. Der amerikanische Landwirt betrachtet den Kauf von Bt-Mais Saatgut als eine „Versicherung“ gegen eine mögliche Ertragsminderung durch Maiszünslerrauven[8]. In Spanien gibt es noch keine statistisch relevanten Daten vom kommerziellen Anbau. Daten von Studien zeigen einen durchschnittlichen Mehrertrag von 0,9 bis 2,5 t/ha in Spanien (Syngenta Seeds Daten) und von 1,1 bis 1,5 t/ha in Deutschland [29], je nach Jahr.

Bt-Mais und die Umwelt

Mögliche Auswirkungen auf Nicht-Zielinsekten sowie Resistenzentwicklung bei den Zielinsekten gehören zu den Hauptfragen, die während der für die Zulassung notwendigen Sicherheitsbewertung von Bt-Mais untersucht werden. Seit der Zulassung wurden weitere Studien zum Thema „Nicht-Zielinsekten“ durchgeführt, und ein Insekt-Resistenz Management Programm begleitet den Anbau vom Bt-Mais.

Nicht-Zielinsekten (außer Lepidopteren)

Das im Bt-Mais zugefügte Bt-Eiweiß wirkt spezifisch auf Lepidopteren¹. Labor- und Feldstudien für die Zulassung haben alle keine negative

Abb. 1
Maisfeld

Tab. 1
Feldstudien mit
Bt-Mais (ohne Studien für die Registrierung)

Land	Untersuchte Insekten	Bemerkung	Referenz
Frankreich	Thrips, Blumenwanze, Florfliege Marienkäfer, Schmarotzerfliege	1998, 1999, 2000	Französisches Comité de Biovigilance [21]
	Insektpopulationen im Mais	15 ha, 1998	Candolfi <i>et al.</i> , 2000 [7]
Spanien	Blumenwanze, Spinnen, Laufkäfer	5 ha, 2000-2002	Farinos <i>et al.</i> , 2001 [14]
Italien	Insektenpopulationen im Mais	10 ha, 1996-1997	Lozzia <i>et al.</i> , 1998 [27]
	Insektenpopulationen im Mais, insbesondere Laufkäfer	10 ha, 1997-1998	Lozzia, 1999 ²⁸
US	Prädatoren		Head, 2000 ²³
	Blumenwanze, Florfliege, Marienkäfer, Parasiten	2.4 ha, 1994	Orr & Landis, 1997 [33]
	Blumenwanze, Florfliege, Marienkäfer	Kleinparzelle, 1994	Pilcher <i>et al.</i> , 1997 [35]
Deutschland	Honigbiene	Zeltversuch, 1999	Schur <i>et al.</i> , 2000 [42]

Auswirkungen auf die Populationen von Nicht-Zielinsekten unter natürlichen Feldbedingungen gezeigt. Nach der Zulassung verschiedener Bt-Maissorten sind zahlreiche großflächige Studien durchgeführt worden, die dies bestätigt haben. Neben Bestimmungen der ganzen Insektenpopulation im Bt-Mais wurden spezifisch Prädatoren, Parasiten, Herbivoren, Spinnen, Laufkäfer und Bienen untersucht. Tabelle 1 enthält veröffentlichte Feldstudien. Weitere Untersuchungen laufen noch in mehreren Ländern, unter anderem in Spanien, Frankreich, Deutschland und in den USA.

Nicht-Zielinsekten: Lepidopteren

1999 wurde weltweit über einen Laborversuch berichtet, der eine toxische Wirkung des Bt-Maispollens auf Monarchfalter gezeigt hatte [26]. Monarchfalter gehören wie der Maiszünsler zu den Lepidopteren. Demzufolge verlangte die EPA (Zulassungsbehörde für „pestizide Pflanzen“ in den USA) zusätzliche Daten. Da aber kein Akutrisiko für den Monarchfalter identifiziert wurde, konnte Bt-Mais in der Zwischenzeit weiter angebaut werden. Die Ergebnisse des ausgiebigen Monarchfalter-Forschungsprogramms sind kürzlich veröffentlicht worden. Daten über die Verbreitung des Maispollens, das Habitat und das Verhalten des Monarchfalters wurden gesammelt [24, 32, 36, 44, 49]. Die Falteraussetzung zum Bt-Maispollen wurde simuliert. Die allgemeine Schlußfolgerung lautet: „Die zweijährige Studie deutet darauf hin, daß der Pollen der heute angebauten Bt-Mais Sorten einen vernachlässigbaren Einfluß auf Monarchfalter hat“ [43]. Weitere Laborstudien mit Bt-Maispollen und Lepidopteren sind veröffentlicht worden [17,

48], die aber wie die Losey-Studie den schlimmsten Fall, d.h. von realen Feldbedingungen entfernte Szenarien darstellen.

Insekt-Resistenz Management

Die Möglichkeit, daß der Maiszünsler Resistenz gegen das Bt-Eiweiß entwickeln könnte, wurde bereits in der Risikobeurteilung gesehen. Resistente Insekten würden kein „Umweltrisiko“ darstellen, würden aber die Anwendung des Bt-Mais in den betroffenen Gebieten momentan verhindern. Um dem Auftreten von resistenten Insekten entgegenzuwirken, wird der kommerzielle Anbau von Bt-Mais von einem Insekten-Resistenz Management Programm (IRM) begleitet. Dieses Programm beinhaltet den Anbau von konventionellem Mais auf einer Fläche von mindestens 20%², damit Refugien für den Erhalt einer nicht unter Selektionsdruck stehenden Insektenpopulation zur Verfügung stehen. Ein regelmäßiges Monitoring der Insektenempfindlichkeit zum Bt-Eiweiß ist auch im IRM inbegriffen. Bis jetzt sind weder in den USA noch in Frankreich und Spanien Bt-resistente Insekten im Feld nachgewiesen worden [12, 21, 45].

Verminderung des Insektizideinsatzes

Je nach Gebiet werden Insektizide zur Bekämpfung des Maiszünslers angewendet. Diese Kontrollmethode hat aber ihre Grenzen, da die Raupen sich sehr schnell einen Weg in die Pflanzenstengel bohren und dadurch durch äußere Mittel nicht mehr zu erreichen sind. Der Anbau von Bt-Mais in den Gebieten, in denen traditionell gespritzt wird, führt zu einer Verminderung des Insektizideinsatzes. In den USA wird geschätzt,

Tiere	Referenz
Milchkühe	Faust & Miller, 1997 [15]; Rutzmoser <i>et al.</i> , 1999 [41]; Faust, 2000 [16]; Barrière <i>et al.</i> , 2001 [3]; Folmer <i>et al.</i> , 2000a [19]
Mastrind/Mastkühe	Daenicke <i>et al.</i> , 1999a [10]; Folmer <i>et al.</i> , 2000b [20]; Hendrix <i>et al.</i> , 2000 [25]; Russell <i>et al.</i> , 2000a [38], 2000b [39] & 2001 [40]
Hammel	Daenicke <i>et al.</i> , 1999b [11]; Barrière <i>et al.</i> , 2001 [3]
Schweine	Weber <i>et al.</i> , 2000 [47]; Aulrich <i>et al.</i> , 2001 [2]; Reuter <i>et al.</i> , 2001 [37]
Legehühner	Aulrich <i>et al.</i> , 1999 [1]
Broiler	Brake & Vlachos, 1998 [5]; Halle <i>et al.</i> , 1999 [22]; Mireles <i>et al.</i> , 2000 [30]

Tab. 2
Fütterungsstudien
mit Bt-Mais

daß ca. 400.000 ha durch die Einführung des Bt-Maises nicht mehr gespritzt werden müssen, was zu einer reduzierten Umweltbelastung führt [8]. Mehrere der in der Tab. 1 aufgelisteten Studien zeigen auch den Vorteil des Bt-Maisanbaus für Nicht-Zielinsekten und zwar durch die hohe Spezifität des Bt-Eiweißes, verglichen mit der Anwendung weniger spezifischer chemischer Insektizide.

Bt-Mais und der Einsatz als Futtermittel

Rund 80% der Maisernte werden als Futtermittel verwendet. Toxikologische Untersuchungen haben die Unbedenklichkeit des Bt-Eiweißes für Wirbeltiere untermauert [4]. Keine der verschiedenen auf dem Markt erhältlichen Bt-Mais-Sorten zeigte unerwartete Auswirkungen, welche auf die Integration des fremden Genes im Pflanzengenom zurückzuführen wären. Dennoch wurden zahlreiche Fütterungsstudien durchgeführt. Verschiedene Parameter wurden gemessen, wie zum Beispiel die Milchproduktion und Milchqualität bei Kühen, die Verdaulichkeit und Mastleistung bei Rindern, die Eierproduktion bei Hühnern, und allgemein die Tiergesundheit. Tiere, die mit Bt-Mais oder mit konventionellem Mais gefüttert wurden, entwickelten sich ähnlich und erbrachten die gleiche Leistung und die gleiche Produktqualität. Tab. 2 enthält veröffentliche

te Studien, weitere Informationen sind in den Übersichtsartikeln von Flachowsky & Aulrich, 2001[18] und Clark & Ipharraguerre, 2001 [9] zu finden.

Die von Maiszünslern befallenen Kolben sind oft vermehrt mit Pilzen infiziert, insbesondere mit *Fusarium*. Dieser Pilz produziert verschiedene, gesundheitsschädliche Mykotoxine. Mehrere Studien sind durchgeführt worden, um den Grad der Mykotoxinkontamination in Bt-Maiskolben zu bestimmen. Insgesamt zeigen diese Studien eine verminderte Mykotoxinkontamination im Bt-Mais, verglichen mit konventionellem Mais (Abb. 2, Tab. 3). Je stärker der Pilzbefall ist, umso mehr kommt die Wirkung von Bt-Mais zum Ausdruck. Bt-Mais trägt also mit dazu bei, die Qualität und Sicherheit des Erntegutes zu bewahren.

Schlußfolgerung

Die Erfahrung und die Daten, die man durch den großflächigen Anbau von Bt-Mais gewinnen konnte, haben sämtlich die Schlußfolgerungen der ursprünglichen Sicherheitsbewertung bestätigt. Beobachtungen und Daten deuten sogar darauf hin, daß der Anbau von Bt-Mais für den Landwirt, für die Umwelt und für die Tiere Nutzen mit sich bringt. Die öffentliche Debatte über GVOs findet aber weiter fast ausschließlich über die „potentiellen Risiken“ statt. Die Zeit ist reif,

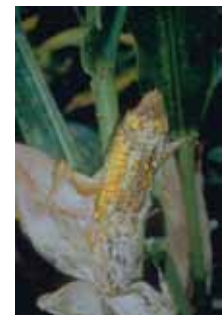


Abb. 2
Maiskolben, unten
mit Maiszünsler- und
Pilzbefall, oben
durch die Bt-Technologie geschützt

	Mykotoxingehalt in Maiskörnern*:				Referenz
	Fumonisin B	Deoxynivalenol	Nivalenol	Zearalene	
USA	Bt < K	nn	nn	nn	Munkvold <i>et al.</i> , 1999 [31]; Dowd, 2000 [13]
Deutschland	nn	Bt < K	nn	Bt < K	Valenta <i>et al.</i> , 2001 [46]
Italien	Bt < K	Bt = K	nn	Bt = K	Pietri & Piva, 2000 [34]
Frankreich	Bt < K	Bt = K	Bt = K	Bt < K	Cahagnier & Melcion 2000 [6]
Spanien	Bt < K	Bt < K	Bt < K	Bt < K	Cahagnier & Melcion 2000 [6]

Tab. 3
Mykotoxingehalt in
Bt-Mais, verglichen
mit konventionellem
Mais

*Bt<K bedeutet weniger Mykotoxin in Bt-Mais als im konventionellen Mais; Bt=K: ähnlicher Mykotoxingehalt in beiden Maistypen; nn = nicht nachgewiesen

weniger emotional über Risikoszzenarien zu sprechen und die Ergebnisse der praktischen Erfahrung stärker in Betracht zu ziehen.

Anschrift der Verfasserin:

Dr. Patricia Ahl Goy
Manager Seeds Regulatory Affairs
Syngenta Seeds AG
Schwarzwaldallee 215
4002 Basel
Schweiz

Anmerkungen

- ¹ Verschiedene Lepidopteren weisen eine sehr unterschiedliche Empfindlichkeit gegen Bt-Eiweiß auf, das im Bt-Mais eingeführt worden ist (CryIAb-Protein).
- ² Die genaue Fläche hängt von der Anwesenheit anderer Bt-Pflanzen, z.B. Bt-Baumwolle, im selben Gebiet ab.

Literatur

(1) Aulrich K., Halle I. & Flachowsky G. 1999. *VDLUFA – Schriftenreihe*, 49: 465-468.

(2) Aulrich K., Böhme H., Daenicke R., Halle I. & Flachowsky G. 2001. *Arch. Anim. Nutr.* 54 (in press).

(3) Barrière Y., Verité R., Brunschwig P., Surault F. & Emile J.C. 2001. *J. Dairy Science* 84: 1863-1971.

(4) Betz F.S., Hammond B.G. & Fuchs R. 2000. *Regulatory Toxicol. Pharmacol.* 32:156-173.

(5) Brake J. & Vlachos D. 1998. *Poultry Science* 77: 648-653.

(6) Cahagnier B. & Melcion D. 2000. *Proc. 6th Int. Feed Production Conf.*, Piacenza (IT), Nov. 27-28, 2000. pp. 237-249.

(7) Candolfi M., Ahl Goy P., Reber B. & Brown K. 2000. ESF/AIGM workshop, Bern (CH), Sept. 29-30, 2000.

(8) Carpenter J.E. & Gianessi L.P. 2001. <http://www.ncfap.org/pup/biotech/updatedbenefits.pdf>

(9) Clark J.H. & Ipharraguerre I.R. 2001. *J. Dairy Science* 84 (E. Suppl.): E9-E18.

(10) Daenicke R., Gädeken D. & Aulrich K. 1999a. *Proc. 12. Maiskolloquium*, 27/28 March 1999, Wittenberg, pp. 40-42.

(11) Daenicke R., Aulrich K. & Flachowsky G. 1999b. *Mais* 27, 135-137.

(12) De la Poza M., Farinos G.P., Hernandez-Crespo P., Ortego F. & Castanera P. 2001. XXI IWGO Konferenz, Legnaro (IT), Oct. 27-Nov. 3, 2001.

(13) Dowd P. 2000. *J. Econ. Entomol.* 93: 1669-1679.

(14) Farinos G.P., De la Poza M., Hernandez-Crespo P., Ortego F. & Castanera P. 2001. XXI IWGO Konferenz, Legnaro (IT), Oct. 27-Nov. 3, 2001.

(15) Faust M. & Miller L. 1997. *Integrated Crop Management* 1C-478, pp. 6-7.

(16) Faust M.A., 2000. *Proc. Symp. Agri. Biotech. Market.* ADAS-ASAS, Baltimore, (USA) July 2000.

(17) Felke M. & Langenbruch G.A. 2001. *Gesunde Pflanzen* 53(1): 24-28

(18) Flachowsky G. & Aulrich K. 2001. *J. Anim. Feed. Sci.* 10 (Suppl.): 181-184.

(19) Folmer J.D., Grant R.J., Milton C.T. & Beck J. 2000a. *J. Dairy Science* 83: 1182.

(20) Folmer J.D., Erickson C.E., Milton C.T., Klopfenstein T.J. & Beck J. 2000b. *J. Anim. Sci.* 78 (Suppl) 2): 85 .

(21) Französisches *Comité de biovigilance*, <http://www.agriculture.gouv.fr/alim/ogm/disp/bil01-somm.html>

(22) Halle I., Aulrich K. & Flachowsky G. 1999. *Proceedings of the 5. Tagung Schweine und Geflügelmernährung*, Wittenberg, 1-3 Dec. 1998, pp. 265 -271.

(23) Head G. 2000. ESF/AIGM workshop, Bern (CH), Sept. 29-30, 2000.

(24) Hellmich R.L., Siegfried B.D., Sears M.K., Stanley-Horn D.E., Daniels M., Mattila H.R., Spencer T., Bidne K.G. & Lewis L.C. 2001. *PNAS* 98 (21) 11925 - 11930.

(25) Hendrix K.S., Petty A.T. & Lotgreen D.L. 2000. *J. Anim. Sci.* 78, Suppl. 1, 273.

(26) Losey J.E., Raynor L.S. & Carter M.E. 1999. *Nature* 399: 214.

(27) Lozzia C., Rigamonti I. & Agosti M. 1998. *ATTI Giorn. Fitopat.* 1998: 223-228.

(28) Lozzia C. 1999. *Boll. Zool. Agr. Bachic. Ser II*, 31: 37-58.

(29) Maag T., Melchinger A.E., Klein D. & Bohn M. 2001. *Plant Breeding* 120: 397-403.

(30) Mireles A.Jr., Kim S., Thompson R. & Amudsen B. 2000. *Poultry Science* 79, Suppl. 1, 65.

(31) Munkvold G.P., Hellmich R.L. & Rice L.G. 1999. *Plant Dis.* 83: 130-138.

(32) Oberhauser K.S., Prysby M.D., Mattila H.R., Stanley-Horn D.E., Sears M.K., Dively G.P., Olsen E., Pleasants J.M., Lam W.F. & Hellmich R.L. 2001. *PNAS* 98 (21): 11913-11918.

(33) Orr D.B. & Landis D.A. 1997. *J. Econ. Entomol.* 90: 905-909.

(34) Pietri A. & Piva G. 2000. *Proceedings of the 6th International Feed Production Conference*, Piacenza (IT), Nov. 27-28, 2000. pp. 226-235.

(35) Pilcher C.D., Obrycki J.J., Rice M.E. & Lewis L.C. 1997. *Environ. Entomol.* 26: 446-454.

(36) Pleasants J.M., Hellmich R.L., Dively G.P., Sears M.K., Stanley-Horn D.E., Mattila H.R., Foster J.E., Clark P. & Jones G.D. 2001. *PNAS* 98 (21): 11919-11924.

(37) Reuter T., Aulrich K., Berk A. & Flachowsky G. 2001. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 10: 111.

(38) Russell J.R., Hersom M.J., Pugh A., Barrett P.K. & Farnham D. 2000a. *J. Animal Science* 78 (Supl. 2): 79-80 (Abstract No 244).

(39) Russell J.R., Farnham D., Berryman R.K., Hersom M.J., Pugh A. & Barrett P.K. 2000b. *Beef Research Report - Iowa State University*, A.S. Leaflet R1723: 56-61.

(40) Russell J.R., Hersom M.J., Haan M.M., Kruse M.L. & Morrical D.G. 2001. Midwest Section ASAS and Midwest Branch ADSA Meeting, Des Moines, IA, USA. (Abstract No 300).

(41) Rutzmoser K., Mayer J. & Obermayer A. 1999. *Schriftenreihe des Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau* (ISSN 1433-3155) No 4/99: 25 - 34.

(42) Schur A., Tornier I. & Neumann C. 2000. 47. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft der Institute für Bienenforschung, Balubeuren bei Ulm, April 3-5, 2000.

(43) Sears M.K., Hellmich R.L., Stanley-Horn D.E., Oberhauser K.S., Pleasants J.M., Mattila H.R., Siegfried B.D. & Dively G.P. 2001. *PNAS* 98: 11937-11942.

(44) Stanley-Horn D.E., Dively G.P., Hellmich R.L., Mattila H.R., Sears M.K., Rose R., Jesse L.C.H., Losey J.E., Obrycki J.J. & Lewis L. 2001. *PNAS* 98 (21) 11931-11936.

(45) US EPA, 2001. http://www.epa.gov/pesticides/biopesticides/otherdocs/bt_reassess/1-Overview.pdf

(46) Valenta H., Dänicke S., Flachowsky G. & Böhme T. 2001. *Proc. Soc. Nutr. Physiol* 10: 182.

(47) Weber T.E., Richert B.T., Kendall D.C., Bowers K.A. & Herr C.T. 2000. Purdue 2000 Swine Day Report.

(48) Wraight C.L., Zangerl A.R., Carroll M.J. & Berenbaum M.R. 2000. *PNAS* 97: 7700-7703.

(49) Zangerl A.R., McKenna D., Wraight C.L., Carroll M., Ficarella P., Warner R. & Berenbaum M.R. 2001. *PNAS* 98 (21): 11908-11912.

Goldener Reis: Ein Beitrag zur Behebung eines gravierenden Vitaminmangels in Asien

Hans Walter Heldt

Ingo Potrykus hat im Rahmen unseres Symposiums unter obigem Titel einen vieldiskutierten Vortrag gehalten. Mit seiner Zustimmung gebe ich seine Aussagen im Folgenden wieder.

Ein großes Problem, von dem große Teile der Weltbevölkerung betroffen sind, ist neben dem Hunger auch die Mangelernährung und deren gravierende Auswirkung auf die Gesundheit. Jährlich sterben schätzungsweise vier bis fünfzehn Millionen Menschen an den Folgen von Mangelernährung. Bevölkerungen in Asien, die sich hauptsächlich von Reis ernähren, leiden an einem Mangel an β -Carotin (Provitamin A), Eisen und essentiellen Aminosäuren.

Die Arbeiten von Potrykus, Baier und vieler anderer eröffnen nun eine sehr realistische Chance, durch den Einsatz der Grünen Gentechnik Reissorten zu erzeugen, die Mangelsubstanzen enthalten und dadurch einer Mangelernährung abhelfen könnten.

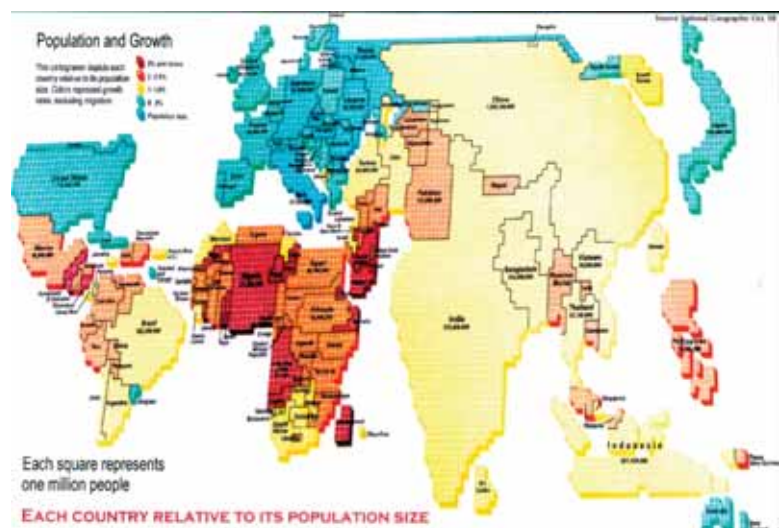
β -Carotin (Provitamin A)

Besonders in Asien sind etwa 800 Millionen Menschen von einem gravierenden Vitamin-A-Mangel betroffen. β -Carotin (als Vitaminvorstufe mit Provitamin A bezeichnet) ist in Reis nicht enthalten. Vitamin A ist u.a. Ausgangssubstanz für die Bildung des Sehpigments Rhodopsin im Auge. Vitamin-A-Mangel führt zu irreversiblen Augenschäden, die sich besonders gravierend während der kindlichen Entwicklung auswirken. Infolgedessen erblinden jährlich 500 000 Kinder. Internationale Organisationen versuchen dem entgegenzuwirken. Sie verteilen kostenlos Vitamin A-Kapseln und fortifizieren Zucker durch zugesetztes Vitamin A. Diese Maßnahmen sind kostenintensiv, erzielen aber aufgrund der Verteilungsprobleme nur beschränkte Wirkung. Einen alternativen und weitaus kostengünstigeren Weg zur Behebung des Vitamin-A-Mangels sucht Ingo Potrykus. Es ist ihm mit seinen Kollegen gelungen, durch gentechnische Methoden Gene für die Enzyme der β -Carotin-Synthese, die zuvor aus Bakterien isoliert wurden, in Reis einzubringen, und zwar in einer Weise, daß in den wachsenden Reiskörnern β -Carotin synthetisiert wird. Durch den Gehalt an β -Carotin erhalten die reifen Reiskörner eine gelbliche Färbung, daraus leitet sich der Name „Golden Rice“ her. Die gentechnische Veränderung wurde an einer Laborlinie von Reis vorgenommen. Diese transgenen Linien wurden inzwischen an Züchtungsbetriebe in den Philippinen, China, Indien, Vietnam und anderen Ländern abgegeben, damit sie in lokale Sorten eingekreuzt werden können. Etwa in fünf Jahren dürfte der „Golden Rice“ für den Anbau verfügbar sein.

Behebung eines Eisenmangels

Man rechnet, daß 2,4 Milliarden Menschen, besonders Frauen und Kinder, zu wenig Eisen mit der Nahrung aufnehmen. Eisenmangelanämie führt zu schweren Krankheiten und ist eine Hauptursache für Mütter- und Kindersterblichkeit. Ursache von Eisenmangel-Ernährung ist nicht nur ungenügende Zufuhr von Eisen über die Nahrung, sondern auch große Mengen an Phytat, das in Getreidefrüchten wie Reis enthalten ist. Phytat leitet sich von Inosit, einem zyklischen Alkohol, ab, bei dem die sechs Hydroxylgruppen jeweils durch Phosphorsäure verestert sind. Phytat ist in den Körnern ein wichtiger Phosphat-Speicher für die Samenkeimung, zugleich bindet es Eisenionen zu einem sehr festen Komplex. Dadurch werden bei einer Phytathalti-

Abb. 1
Weltkarte nach Bevölkerungszahl, National Geographic Okt. 1998



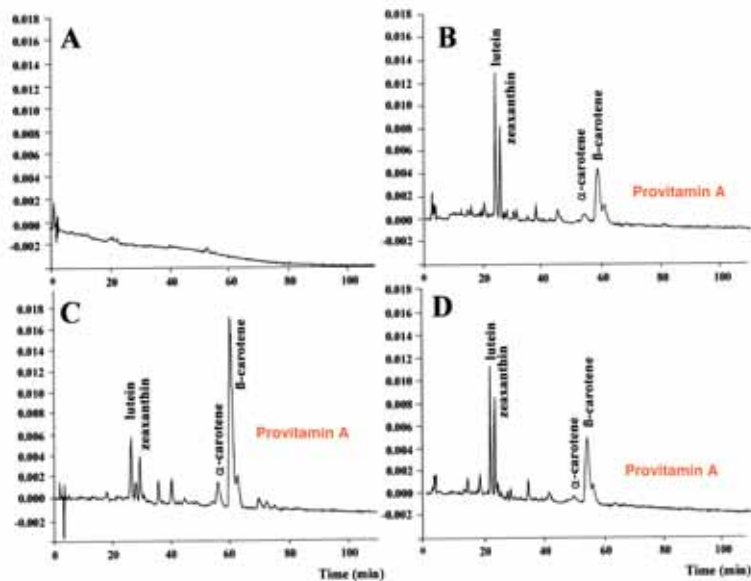


Abb. 2
Biochemische Analyse von Provitamin A produzierendem Reis

gen Nahrung gleichzeitig zugeführte Eisenionen fest gebunden und können nicht mehr von den Darmschleimhäuten aufgenommen werden.

Um einem Eisenmangel abzuwehren, wird derzeit gentechnisch veränderter Reis erzeugt, bei dem zum einen durch die Einfügung des Gens für das Eisenspeicherprotein Ferritin der Eisengehalt in den Reiskörnern erhöht wird, und zum anderen durch das Einfügen eines Gens für ein kochbeständiges Phytinspaltendes Enzym (Phytase) ermöglicht wird, daß bei der Verdauung der Nahrung das Phytat durch Abspaltung von Phosphatresten abgebaut wird. Auf diese Weise verliert das Phytat seine Hemmwirkung auf die Eisenaufnahme. Zudem wurde in Reis auch noch ein Gen eingefügt, welches ein Polypeptid mit einem hohen Gehalt an Schwefel-Aminosäuren kodiert. Dieses Polypeptid fördert die Eisenaufnahme durch die Darmschleimhaut. Wengleich diese Arbeiten noch nicht abgeschlossen sind, kommt man dem Ziel nahe, durch den gleichzeitigen Einbau der drei erwähnten Gene einen gentechnisch veränderten Reis zu erzeugen, dessen Verzehr einen Eisenmangel abwehrt.

Verbesserung der Proteinqualität von Reis

In vielen Teilen der Welt erfolgt, aufgrund vorwiegend vegetarischer Ernährung, die notwendige Proteinzufuhr weitgehend durch Getreide. Die Aminosäure-Zusammensetzung der Speicherproteine in Getreidekörnern entspricht nicht dem menschlichen Nahrungsbedarf, es besteht ein Mangel an essentiellen Aminosäuren. Reis ist in dieser Hinsicht eine besonders schlechte Proteinquelle. Bei einer normalen täglichen Diät von

300 g Reis werden nur 10% des täglichen Bedarfs an essentiellen Aminosäuren, wie z.B. Threonin, Lysin, Methionin und Tryptophan gedeckt. Bei reinen Vegetariern, vor allem bei Kindern, kann dieser Mangel zu irreparablen physischen und mentalen Schäden führen. Um Reis eine höhere Nahrungsqualität zu verleihen, wurde ihm ein Gen für ein künstliches Peptid bestehend aus 20 Aminosäuren, davon vorwiegend essentielle Aminosäuren, eingefügt. Das durch dieses Gen kodierte Protein hat die Eigenschaften eines Speicherproteins und wird in den entstehenden Reiskörnern abgelagert. Man erhält auf diese Weise einen Reis mit einem deutlich erhöhten Gehalt an Protein, wobei letzteres einen sehr hohen Anteil an essentiellen Aminosäuren aufweist. Die Arbeiten sind noch nicht abgeschlossen, eröffnen jedoch eine realistische Chance, Reissorten mit einem hohen Gehalt an hochwertigen Proteinen zu erzeugen.

Das langfristige Ziel dieser Arbeiten ist, alle Verbesserungen (Gehalt an β -Carotin, Erhöhung des Eisengehaltes und Verbesserung der Eisenaufnahme, sowie die Erhöhung und qualitative Verbesserung des Proteingehalts), in einer gentechnisch veränderten Reislinie zu realisieren, um diese durch lokale Züchtungsbetriebe in lokale Sorten einzukreuzen. Auch ist beabsichtigt, diese Merkmale durch gentechnische Veränderungen in andere Pflanzen, wie z.B. Weizen, Mais, Hirse, Kasawa, Bananen, Süßkartoffeln und Kartoffeln, einzubringen, um deren Nahrungsqualität zu erhöhen.

Wirtschaftliche Aspekte

Die gezeigten Wege zur Verbesserung der Nahrungsqualität wurden von Anfang an als humanitäre Projekte verstanden, um durch Nutzung moderner Technologien denen zu helfen, die in Not sind. So wurde sorgfältig darauf geachtet, daß nur Finanzmittel von gemeinnützigen Institutionen (z.B. Schweizer Nationalfonds, Rockefeller Foundation) für diese Experimente eingesetzt wurden, um im Erfolgsfall imstande zu sein, die Ergebnisse verschenken zu können. Es stellte sich aber heraus, daß die verwendeten Standardtechnologien durch 70 Patente in den Händen von 32 Firmen und Universitäten blockiert waren. Die Kooperation von Seiten der Biotech-Industrie war jedoch überaus positiv, die Lizenzen für alle erforderlichen Technologien wurden für humanitäre Nutzungen verschenkt. Als Definition für humanitäre Nutzung hatte man sich folgendermaßen geeinigt: Alles was zu einem Verdienst von unter 10 000 Dollar pro Jahr an Golden Rice führt, ist humanitär, alles darüber kommerziell. Es gibt vermutlich keinen Subsidenzfarmer, der viel mehr als 1000 Dollar pro Jahr verdient. Dies ist ein ermutigendes Beispiel dafür, wie die Problematik des Patentierens, mit

dem Wunsch, die Technologien auch für humanitäre Zwecke anzuwenden, entschärft werden kann.

Widerstände gegen die humanitäre Nutzung der Gentechnik

Für Europa mit seiner hochsubventionierten Landwirtschaft ist eine Nutzung der Gentechnik zur Erhöhung von Effizienz und Qualität in der Landwirtschaft nicht zwingend erforderlich. Auch ergibt sich aus dem herrschenden Nahrungsangebot bei vernünftiger Lebensweise keine Ursache für Mangelernährung. Wir können es uns leisten, auf die Grüne Gentechnik zu verzichten. Für den großen Anteil der Weltbevölkerung, die Not leidet, aber bietet die Grüne Gentechnik Hoffnung auf verbesserte Lebensbedingungen, selbst wenn sich dies nicht in allen Fällen bestätigen sollte. Es gibt gute humanitäre Gründe für die Realisierung dieser hoffnungsvollen Ansätze. Hier gibt es jedoch weitere große Widerstände. Da es sich bei dem gentechnisch veränderten Reis um ein transgenes Lebensmittel handelt, müssen nach den bestehenden Bestimmungen mindestens 40 Millionen Dollar eingesetzt werden, um alle erforderlichen Auflagen an Untersuchungen für die Herausgabe eines transgenen Lebensmittels zu erfüllen. Da es selbst für die Großindustrie nicht einfach ist, für ein Produkt, mit dem wenig zu verdienen ist, solche Summen aufzuwenden, ist es um so schwerer, Gelder in dieser Größenordnung für ein Produkt bereitzustellen, das man verschenken will. Ein bislang ungelöstes finanzielles Problem.

Ein wohl noch größeres Hindernis ist die durch ideologische Gegner der Grünen Gentechnik geschürte Abneigung gegen Produkte der Grünen Gentechnik. Eine professionelle Gen-Opposition nutzt bei einem Fehlen von biologischem Grundlagenwissen in der Öffentlichkeit die unterschwellige Ablehnung von Unbekanntem aus, um die Angst zu schüren, man würde beim Verzehr von Produkten transgener Pflanzen Schaden erleiden. In diesem Zusammenhang ist eine neue Studie aufschlußreich: „Food related illness death in the USA“ webpage (<http://www.cdc.gov/ncidod/eid/vol15/meadG.htm>). Aus ihr geht hervor, daß in den USA von den 260 Mio. Einwohnern innerhalb eines Jahres 5.200 Menschen in Folge normaler Ernährung (zumeist durch Nahrungsmittelvergiftung) gestorben sind. Demgegenüber wurde kein einziger Fall verzeichnet, bei dem Krankheit oder Tod durch den Verzehr transgener Lebensmittel verursacht wurden.

Es ist bedrückend, daß Bemühungen, das Los großer Teile der unterprivilegierten Menschheit zu verbessern, in unserem satten Europa auf eine derart vehemente Gegnerschaft stoßen. In der allgemeinen Agitation gegen die Grüne Gentechnik nimmt der „Golden Rice“ eine herausragende



Abb. 3
Goldener Reis: die Färbung ist Indikator für das Provitamin A

Rolle ein. Es wird versucht den „Golden Rice“ mit Macht zu verhindern, da befürchtet wird, daß er wegen seiner offensichtlichen potentiellen Nützlichkeit zu einem Trojanischen Pferd der Grünen Gentechnik werden könnte. Es wird daher versucht, den „golden Rice“ als nutzlos (fool's gold) zu diskriminieren, mit der nachweislich falschen Behauptung, daß der Mensch täglich 3,7 kg (Trockengewicht) Reis zu sich nehmen müßte, um einem Vitamin-A-Mangel abzuhelpfen. Tatsächlich sind bei dem bislang erzeugten Reis nur 200-300 g täglich erforderlich, um Vitamin-A-Mangel zu vermeiden, wobei Gehaltsteigerungen noch zu erwarten sind.

Die Entscheidung, ob die armen Bevölkerungen dieser Welt von den aufgezeigten Chancen der Gentechnik einen Nutzen haben, hängt weniger von ökonomischen oder patentrechtlichen Problemen und auch nicht von Problemen der Gesundheit oder von Umweltrisiken ab, sondern wird ganz entscheidend bestimmt vom politischen „Erfolg“ radikaler Anti-Gentechnik-Organisationen. Diejenigen, die sorgfältig geplante humanitäre Projekte für die Notleidenden in der Welt aus der Warte des satten Europas zu verhindern suchen, sollten für ihr Tun auch verantwortlich gemacht werden.

Anschrift des Referenten:

Prof. Dr. Ingo Potrykus
ETH-Zentrum – Institut für
Pflanzenwissenschaften
Bereich Pflanzenbiotechnologie
Universitätsstraße 2
8092 Zürich
Schweiz

Fakten und Fantasien zum horizontalen Gentransfer von rekombinanter DNA

Wilfried Wackernagel

Horizontaler Gentransfer wird im Kontext der Gentechnik in der Öffentlichkeit als eine Ursache ständiger Gefahr diskutiert. Auf der Grundlage von Reagenzglasversuchen beinhaltet der Begriff, daß Gene und Gengruppen von Bakterien auf andere Bakterien übertragen werden können. Dadurch wäre eine unkontrollierbare Ausbreitung rekombinanter DNA möglich. Die neuere umfassende Erforschung der Gentransferprozesse (Konjugation, Transformation und Transduktion) in bakteriellen Lebensräumen, die nicht zuletzt im Rahmen der Sicherheitsbewertung gentechnisch veränderter Mikroorganismen und Pflanzen durchgeführt wurde, zeigt, daß Gentransfer wohl überall möglich ist, jedoch nur sehr selten stattfindet. Es wurden Transferaktivitäten zwischen Bakterien unterschiedlicher Arten und sogar von Bakterien zu Hefe- und Pilzzellen und auch zu Pflanzen- und Tierzellen gefunden. Gleichzeitig wurden jedoch limitierende Faktoren in der Umwelt und Barrieren für dauerhafte Integration der transferierten DNA in den Empfängerorganismen identifiziert. Übertragene Gene können sich nur dann etablieren, wenn ein entsprechender Selektionsdruck besteht, der den Genträgern Vorteile verleiht. Insgesamt ist die Möglichkeit eines Transfers von Genen aus transgenen Pflanzen auf Bakterien als sehr unwahrscheinlich einzustufen. Sie ist damit unvergleichlich niedriger als die schon geringe Möglichkeit des natürlichen Gentransfers zwischen Bakterien. Obwohl also ein Transfer von Pflanzen auf Bakterien, z. B. im Boden oder Darm, nicht zu erwarten ist, haben die verantwortlichen Behörden in Amerika und Europa bei der Zulassung von Freisetzungen und beim Inverkehrbringen von transgenen Pflanzen noch zusätzlich darauf geachtet, daß in den Pflanzen keine Gene vorliegen, die potentiell gefährlich sind für Menschen, andere Lebewesen oder die Umwelt.

Gentransfer bei Bakterien

Schon in den Fünfziger Jahren wurden in Laborversuchen drei prinzipiell unterschiedliche Mechanismen entdeckt, durch die bestimmte Bakterien DNA auf andere Zellen übertragen können. Zum einen gibt es den DNA-Transfer bei Zellkontakt, währenddessen die Kopie eines Plasmids (autonom replizierendes DNA-Molekül) von der Spender- in die Empfängerzelle gelangt (*Konjugation*). So können Plasmide in Bakterien der gleichen Art oder in taxonomisch weiter entfernte Arten gelangen. Durch Konjugation können auch bestimmte Transposons und gelegentlich chromosomale Gene weitergegeben werden (Clewell, 1993). Vor allem die Resistenzgene gegen Antibiotika haben sich so seit der intensiven Anwendung von Antibiotika in der Human- und Tiermedizin sowie in der Landwirtschaft verbreitet (Selektionsdruck), da sie meist auf mobilen genetischen Elementen wie eben Plasmiden oder Transposons lokalisiert sind.

Ein anderer Mechanismus des DNA-Transfers beruht auf der nur bei Bakterien vorkommenden Fähigkeit, daß die Zellen in einer bestimmten Wachstumsphase (Kompetenz-Phase) freie DNA-

Moleküle aus ihrer Umgebung aktiv aufnehmen können. Solche DNA kann als Nahrung verwendet oder auch als genetisches Material in das eigene Genom integriert werden, wenn z. B. Homologie der Nukleotidsequenzen die erforderliche Rekombination ermöglicht (*Transformation*). Dieser Gentransfer wurde bislang erst bei ca. 2% der untersuchten Bakterienarten entdeckt (Lorenz und Wackernagel, 1994; Tønjum et al., 1995). Die bisher bekannten transformierbaren Arten stammen jedoch aus allen taxonomisch wichtigen Gruppen und sind in vielen Bereichen der Umwelt anzutreffen. Wenn DNA aus Bakterien z. B. in der Absterbephase entlassen wird, kann sie nach extrazellulärer Überdauerung mit ihrer genetischen Information sogar postmortal zur Vererbung beitragen. Bei Konjugation und Transformation sind an der Übertragung und Aufnahme von DNA zahlreiche Gene der Bakterien bzw. Plasmide beteiligt.

Schließlich ist DNA auch durch Bakterienviren (*Bakteriophagen*) übertragbar, wenn im letzten Vermehrungswirt des Virus irrtümlich bakterielle DNA statt Virus-DNA in das Viruspartikel verpackt wurde. Diese DNA wird dann bei einer Infektion in eine andere Zelle überführt (*Trans-*

duktion; Masters, 1996). Unter optimierten Bedingungen im Reagenzglas können Transferprozesse manchmal kaum detektierbar selten sein (ca. 10^{-9} pro Zelle), aber sich auch auf einige Prozent einer Bakterienpopulation erstrecken. Es ist also denkbar, daß rekombinante DNA-Konstrukte aus gentechnisch veränderten Organismen über solche Transfermechanismen in andere Organismen gelangen können.

Genfluß in bakteriellen Lebensräumen

Erhebliche Anstrengungen im Rahmen der sog. Sicherheitsforschung widmeten sich folglich der Frage, ob horizontaler Gentransfer tatsächlich in nennenswertem Umfang im natürlichen Lebensraum von Bakterien vorkommt. Untersucht wurden eine Vielzahl von Bakterien und sehr unterschiedliche Habitate, u.a. Böden, verschiedene Gewässer und Sedimente, der Wurzelbereich und die Blattspreiten von Pflanzen und auch der Verdauungstrakt von Tieren. Dazu wurden Experimente in Mikrokosmen (im Labor nachgestellte kleine Einheiten aus der Umwelt, z. B. Bodenproben), im Freiland oder mit lebenden Organismen einschließlich Säugern durchgeführt, die Konjugation, Transformation und Transduktion umfaßten (Davison, 1999). Die gentechnischen Modifikationen der Organismen erwiesen sich dabei oft als besonders hilfreiche, spezifische Genmarken, die ein hochempfindliches Verfolgen bei der Weitergabe ermöglichten. Die Ergebnisse zeigten, daß praktisch in keinem Bereich unüberwindliche Barrieren für horizontalen Gentransfer zwischen Bakterien bestehen. Dies war für die einen überraschend, ja alarmierend, für die anderen eher unspektakulär, geradezu erwartet. Wer hätte ernsthaft damit gerechnet, daß die Natur so ingeniose Mechanismen der Übertragung von Erbinformation von einem Bakterium auf ein anderes nur für den Reagenzglasversuch vorbehalten hätte? Die ermittelten Transferhäufigkeiten erreichten manchmal die im Reagenzglas gefundenen Häufigkeiten, blieben jedoch meist deutlich darunter. Für die dauerhafte Etablierung von neu erworbenen Genen in Organismen und Populationen ist es notwendig, daß sich ein Vorteil für die Träger der erworbenen Gene ergibt, d. h. bei Fehlen eines entsprechenden Selektionsdruckes wird der Zugewinn neuer Information lediglich kurzfristig bestehen bleiben.

Transfer von Bakterien auf Höhere Organismen

Durch den Konjugationsvorgang können Bakterien natürlicherweise DNA gelegentlich auch auf Zellen Höherer Organismen übertragen. Molekular sehr gut erforscht ist dieser Vorgang bei dem Transfer von Ti-DNA von *Agrobacterium tumefaciens* auf Pflanzen während der Induktion von

Pflanzentumoren. Die transferierte DNA gelangt in den Zellkern der Pflanzenzelle, wird dort stabil in ein Chromosom integriert, und die genetische Information wird exprimiert. Diese veranlaßt die Zelle zu verstärkter Teilungsaktivität (Tumorbildung) und zur Synthese und Abgabe von Substanzen, von denen sich die Agrobakterien ernähren und damit im Pflanzentumor vermehren können. In der Gentechnologie wird dieser Vorgang vielfach zur Erzeugung transgener Pflanzen eingesetzt, wobei die transferierte DNA statt der tumorinduzierenden Information das spezielle Transgen enthält (z. B. das Gen, das die gewünschte Virusresistenz erzeugt). Aus der genetisch veränderten Einzelzelle wird dann eine Pflanze regeneriert. In gezielten Untersuchungen im Labor stellte sich heraus, daß durch die plasmidgesteuerte Konjugation auch DNA in die Zellen von Hefe, von filamentösen Pilzen und sogar in kultivierte Humanzellen überführt werden kann. In jüngerer Zeit hat die Analyse von Pflanzen-DNA mehrfach Indizien geliefert, nach denen sich typische Gene von Bakterien im Pflanzengenom befinden.

Gentransfer von Pflanzen auf Bakterien?

Da eine Reihe von Bakterien zur Transformation befähigt ist, stellte sich die Frage, ob diese Bakterien auch Pflanzen-DNA, insbesondere rekombinante DNA-Abschnitte aus transgenen Pflanzen, aufnehmen und in ihr Genom integrieren können. Dadurch wäre eine Ausbreitung der rekombinanten DNA dort denkbar, wo aus Pflanzenzellen DNA freigelassen wird und mit Bakterien zusammentreffen könnte, z. B. im Wurzelraum von Pflanzen (Bodenbakterien) oder im Verdauungstrakt von Mensch und Tier (Darmbakterien). Zahlreiche Untersuchungen mit verschiedenen Bakterien haben gezeigt, daß dies nicht der Fall ist (de Vries und Wackernagel, 1998; Gebhard und Smalla, 1998; Davison, 1999). Eine solche DNA-Übertragung gelang nur, wenn eine Kopie des transferierten Gens aus der Pflanze schon vorher in den Bakterien vorlag, so daß durch homologe Rekombination das Gen aus der Pflanze integriert werden konnte. Die Barriere, die demnach durch das Fehlen einer Rekombinationsmöglichkeit besteht, verhindert Integration von fremder DNA, indem sie die Integrationschance mehr als milliardenfach reduziert. Obendrein herrschen weder im Boden noch im Darm die Bedingungen des Reagenzglasversuches, die dort vom Experimentator für das Erreichen von maximaler Kompetenz und DNA-Aufnahme der Bakterien eingestellt worden waren.

Die Problematik der Resistenzgene

Eine Reihe der in USA und Europa zugelassenen transgenen Pflanzen für die menschliche Ernäh-

rung oder für die Verwendung als Tierfutter enthält Gene, die für eine bestimmte Antibiotikumresistenz codieren. Diese ursprünglich als Konstruktionshilfe dienenden Resistenzgene verblieben meist in den transgenen Pflanzen, waren jedoch für deren spezielle Eigenschaften (z. B. Schädlingsresistenz) nicht erforderlich. Ob solche Resistenzgene horizontal in andere Bakterien gelangen können, z. B. im menschlichen Verdauungstrakt, und von diesen vielleicht in Krankheitserreger, die daraufhin mit dem Antibiotikum nicht mehr behandelbar wären, war für die Wissenschaftler von Anbeginn eine wichtige Frage, wurde aber in jüngster Zeit von bestimmten Kreisen außerhalb der Wissenschaft verstärkt in den Vordergrund gerückt. Vor der Zulassung von Pflanzen mit einem solchen Resistenzgen war z.B. durch Berechnung der Wahrscheinlichkeit eines horizontalen Gentransfers, basierend auf experimentellen Ergebnissen, ermittelt worden, daß ein Transfer von Resistenzgenen aus der Pflanzen-DNA in Bakterien des Darms, wenn überhaupt, dann nur mit so extrem niedriger Häufigkeit erfolgen würde, daß dies außer acht gelassen werden kann. Die Ergebnisse gezielter experimenteller Untersuchungen (s. o.) weisen in die gleiche Richtung.

Das Beispiel Ampicillinresistenz

In einigen zugelassenen Pflanzen liegt das Resistenzgen *nptII* (Resistenz gegen Kanamycin) und in einem Fall (eine bestimmte insektenresistente Maissorte) das *bla*-TEM-1-Gen (Resistenz gegen Ampicillin) vor. Während Kanamycin in der Humanmedizin schon lange praktisch nicht mehr verwendet wird, werden Ampicillin und andere Penicillin-Derivate bei einigen Infektionskrankheiten erfolgreich eingesetzt. Vor einiger Zeit titelte ein englisches Boulevardblatt sinngemäß, daß mit dem Verzehr von Produkten aus transgenen Pflanzen die Möglichkeit verbunden sei, daß Kinder an Hirnhautentzündung erkrankten...! Was steckt hinter dieser fantasievollen Behauptung? Hirnhautentzündung kann u. a. durch das Bakterium *Neisseria meningitidis* hervorgerufen werden; infektiöse Hirnhautentzündung kann mit Ampicillin-Derivaten erfolgreich therapiert werden; bei Verzehr von Produkten aus der o. g. Maissorte könnte nach Ansicht der Artikelschreiber das *bla*-TEM-1-Gen in Darmbakterien übergehen und von diesen dann weitergegeben werden an die Erreger der Hirnhautentzündung; diese wären folglich nicht mehr mit dem normalerweise wirksamen Medikament therapierbar. Diesem Szenario widersprechen folgende Fakten. Heute besitzen durchschnittlich ca. 27% der *Escherichia coli*-Bakterien im Darm von gesunden Menschen bereits das *bla*-TEM-1-Gen, bei Personen nach einer Behandlung mit Antibiotika sind es sogar über 35% (Kresken et al., 1999).

Ampicillinresistente *E. coli* Isolate treten bei Rindern und Schweinen in ca. 74% aller Proben auf. Die Möglichkeit ist also unvergleichlich höher, daß bakterielle Krankheitserreger Resistenzgene im direkten Transfer von Darmbakterien erhalten, als die Chance, diese Gene aus der DNA von transgenen Pflanzen (auch mit dem Umweg über Darmbakterien) zu übernehmen. Insofern hat das geschilderte Szenario keine wissenschaftliche Grundlage und argumentiert fehlerhaft an den Tatsachen vorbei.

Insgesamt werden zukünftig gentechnische Nutzpflanzen, die zum Inverkehrbringen angemeldet werden, frei sein von Antibiotikaresistenzgenen und anderen unnötigen DNA-Abschnitten, da die weiterentwickelte Methodologie der Pflanzenbiotechnologie es inzwischen erlaubt, die eingeführte DNA auf die für den gewünschten Zweck erforderlichen Gene zu beschränken.

Der Weg von DNA in Körperzellen

Vor einiger Zeit war in einer Boulevardzeitung mit Bild die Überschrift zu lesen: „Lebensmittel – Gene bald überall?“. Gemeint war, daß in vielen Bereichen bei der Erzeugung von Nahrungsmitteln aus Pflanzen und Mikroorganismen verstärkt die Vorteile der Gentechnik genutzt würden. Anders als der Titel suggeriert, enthalten nämlich fast alle unsere Nahrungsmittel, die ja meist aus Lebewesen hergestellt werden (z. B. Pflanzen, Tiere), intakte DNA (und damit Gene) oder deren Abbauprodukte. Im Rahmen von Sicherheitsforschung hat man bei Säugern (Maus) mit Hilfe von gentechnisch markierter DNA und modernsten Analysemethoden den Weg der DNA im Körper nach dem Verzehr verfolgt (Schubbert et al., 1997). Der weitaus größte Teil der DNA wurde, wie erwartet, im Magen-Darm-Trakt abgebaut. Ein kleiner Teil gelangte jedoch in die Blutbahn und von dort sogar in Gewebezellen. Es gelang schließlich, DNA aus der Nahrung direkt in einigen Kernen von Gewebezellen nachzuweisen. Dies war überraschend und gab zu schlimmen Mutmaßungen Anlaß. In einem anderen Forschungsprojekt wurde nach dem Verfüttern von gentechnischem Pflanzenmaterial (Bt-Mais) beobachtet, daß „normale“ Pflanzengene gelegentlich in Blutzellen (Lymphozyten) von Rindern und in Geweben von Hühnern auftraten (Einspanier et al., 2001). Gentechnische DNA konnte übrigens in keinem Fall gefunden werden, vermutlich, weil die Nachweisempfindlichkeit für „häufige“ Pflanzengene, z. B. Gene aus den Chloroplasten, ausreichte, nicht aber für die ca. 1000-fach selteneren rekombinanten Abschnitte aus den Pflanzenchromosomen. Was müssen wir aus den Befunden schließen? Daß DNA aus der Nahrung in begrenztem Umfang natürlicherweise in die Körperzellen von Tieren,

wahrscheinlich auch des Menschen, gelangt. Tiere und Menschen sind dieser Situation aufgrund ihrer Ernährungsweise von Natur aus ausgesetzt, ohne bisher Schaden zu erleiden. Von der DNA in Nahrungsmitteln stellen die rekombinanten Gene nur einen verschwindend kleinen Teil dar und verhalten sich in allen Aspekten identisch ungefährlich wie die übrige DNA (Jonas et al., 2001).

Schlußfolgerungen

Unter Bakterien in ihren natürlichen Habitaten ist horizontaler Gentransfer über die verschiedenen Mechanismen weit verbreitet und stellt einen oft charakteristischen Teil der Lebensweise dieser Organismen dar. Bei der Wanderung von Genen spielen Plasmide eine besondere Rolle. Während in speziellen Situationen Bakterien natürlicherweise Gene auch auf Zellen Höherer Organismen übertragen können, ist der umgekehrte Weg der Gene bislang nicht beobachtet worden. Gene, die integriert im Genom Höherer Pflanzen vorliegen und dort z. B. Herbizidtoleranz hervorrufen, sind in besonderer Weise vom horizontalen Gentransfer ausgeschlossen. Die Chance für ein solches Gen, intakt aus einer abgestorbenen Zelle entlassen zu werden, extrazellulär im bakteriellen Lebensraum zu überdauern, dort mit einer DNA-aufnahmefähigen Bakterienzelle zusammenzutreffen und schließlich in die Zelle zu gelangen, ist extrem niedrig. Zusätzlich ist es praktisch unmöglich, daß eines der vielleicht doch in eine Bakterienzelle gelangten Pflanzengene zu einem Bestandteil des Bakteriengenoms wird, weil homologe Rekombination (wegen des Fehlens homologer Sequenzen) oder Etablierung als Plasmid (wegen des Fehlens von Ringschlußmöglichkeit und Replikationsstartpunkt) nicht möglich sind. Solche aufgenommene Fremd-DNA wird deshalb in den Bakterien degradiert. Obendrein muß festgehalten werden, daß die für die gentechnische Veränderung von Pflanzen eingesetzten Gene meist aus anderen Organismen (Bakterien, Viren oder Pflanzen) entnommen wurden. Ein direkter Weg der Gene ohne den „Umweg“ über die transgene Pflanze war deshalb theoretisch schon immer möglich, ist aber offenbar nicht eingetreten.

Aus dem Gesamtbild der wissenschaftlichen Fakten und den zugrundeliegenden natürlichen Prozessen resultiert, daß aus horizontalen Gen-

transferprozessen mit Bezug auf den Anbau und den Verzehr von zugelassenen transgenen Pflanzen grundsätzlich kein Gefährdungspotential für den Menschen oder andere Organismen in der Umwelt abzuleiten ist, das die Nutzung der Grünen Gentechnik in Frage stellen könnte.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Wilfried Wackernagel
Carl-von-Ossietzky Universität Oldenburg
Genetik, Fachbereich Biologie,
Geo- und Umweltwissenschaften
Postfach 2503
26111 Oldenburg

Literatur

- Clewell, D. B. (ed.) Bacterial Conjugation. Plenum Press New York, USA, 1993.
- Davison, J. (1999) Genetic exchange between bacteria in the environment. *Plasmid* 42, 73-91.
- de Vries, J. and Wackernagel, W. (1998) Detection of *nptII* (kanamycin resistance) genes in genomes of transgenic plants by marker rescue transformation. *Mol. Gen. Genet.* 257, 606-613.
- Einspanier, R., Klotz, A., Kraft, J., Aulrich, K., Poser, R., Schwägele, F., Jahreis, G. and Flachowsky, G. (2001) The fate of forage plant DNA in farm animals: a collaborative casestudy investigating cattle and chicken fed recombinant plant material. *Eur. Food Res. Technol.* 212, 129-134.
- Gebhard, F. and Smalla, K. (1998) Transformation of *Acinetobacter* sp. strain BD413 by transgenic sugar beet DNA. *Appl. Environ. Microbiol.* 64, 1550-1554.
- Jonas, D. A., Elmadfa, I., Engel, K.-H., Heller, K. J., Kozianowski, G., König, A., Müller, D., Narbonne, J.-F., Wackernagel, W. and Kleiner, J. (2001) Safety considerations of DNA in food. *Ann. Nutr. Metab.* 45, 1-20.
- Kresken, M., Hafner, D. und von Rosenstiel, N. (1999) Zeitliche Entwicklung der Antibiotikaresistenz bei klinisch wichtigen Bakterien-spezies in Mitteleuropa. *Bundesgesundheitsblatt, Jahrgang 42, Heft 1*, pp. 17-25.
- Lorenz, M. G. and Wackernagel, W. (1994) Bacterial gene transfer by natural genetic transformation in the environment. *Microbiol. Rev.* 58, 563-602.
- Masters, M. (1996) Generalized Transduction. *In: Escherichia coli and Salmonella.* (F. C. Neidhardt, ed.), ASM Press, Washington DC, pp. 2421-2441.
- Schubbert, R., Renz, D., Schmitz, B. and Doerfler, W. (1997) Foreign (M13) DNA ingested by mice reaches peripheral leukocytes, spleen, and liver via the intestinal wall mucosa and can be covalently linked to mouse DNA. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 94, 961-966.
- Tønjum, T., Bøvre, K. and Juni, E. (1995) Fastidious gramnegative bacteria: meeting the diagnostic challenge with nucleic acid analysis. *APMIS* 103, 609-627.

Konfliktfeld Grüne Gentechnik

Gerd Spelsberg

In den meisten EU-Ländern treffen gentechnisch veränderte Pflanzen auf eine ablehnende Öffentlichkeit. Der Konflikt um die Grüne Gentechnik offenbart eine tiefe Vertrauens- und Kommunikationskrise zwischen (Natur-) Wissenschaft und Gesellschaft.



Nur sechs Jahre nach der ersten Aussaat werden gentechnisch veränderte Pflanzen im Jahre 2001 weltweit auf einer Fläche von 50 Mio. ha geerntet. In den USA haben sich Soja- und Baumwollsorten mit gentechnisch vermittelten Resistenzen gegen nicht selektive Herbizide und gegen Fraßinsekten weitgehend durchgesetzt. In Argentinien, einem der großen sojaexportierenden Länder, wachsen auf 90% der Anbauflächen transgene Sorten. Bei Mais und Raps hat sich der Wachstumstrend der ersten Jahre zwar nicht fortgesetzt, dennoch liefern in Kanada transgene herbizidresistente Rapspflanzen noch immer mehr als die Hälfte der dortigen Produktion. Offenbar zahlt sich die Nutzung der Grünen Gentechnik für die Farmer aus: Die höheren Kosten für Saatgut werden durch geringere Ausgaben bei Pflanzenschutzmitteln, Maschineneinsatz und effektive, weniger arbeitsaufwendige Anbautechniken kompensiert. Insbesondere in den großen agrar-exportierenden Länder haben sich gentechnisch veränderte Pflanzen fest im landwirtschaftlichen System etabliert.

Ganz anders die Lage in Europa: Hier sind erst wenige gentechnisch veränderte Pflanzen für den unbegrenzten Anbau zugelassen. Seit gut einem Jahr blockieren unterschiedliche Auffassungen der EU-Mitgliedstaaten weitere Zulassungsentscheidungen. Eine gemeinschaftliche europäische Politik wird durch nationale Maßnahmen – Verbote, Moratorien, politische Interventionen bei Sortenzulassungen – unterlaufen und existiert de facto nicht mehr. Bis auf etwa 20 - 30.000 ha in Spanien und systematische Anbauversuche in Deutschland – beides mit insektenresistentem Bt-Mais – ist die Grüne Gentechnik auf europäischen Feldern weder erwünscht noch erlaubt – und daran wird sich auch in den nächsten Jahren kaum etwas ändern.

Dennoch ist Europa keine „gentechnikfreie“ Zone. Allein 30 Mio. t Sojabohnen und Sojashrote führt die EU jährlich ein – seit dem Tiermehlverbot im Futter mit steigender Tendenz. Gut die Hälfte des europäischen Soja-Bedarfs stammt aus den „Gentechnik-Ländern“ USA und Argentinien. Hinzu kommen 7 Mio. t Mais und Maiskleber (eiweißreiches Futter). Zwar bemüht man sich in den USA mit Blick auf die „kritischen“ Märkte in Europa und Asien, gentechnisch veränderte und konventio-

nelle Qualitäten voneinander zu trennen, dennoch enthalten die auf den Weltmärkten gehandelten Soja- und Maisrohstoffe in der Regel einen gewissen, in der Höhe je nach Erntepraxis schwankenden Anteil aus gentechnisch veränderten Pflanzen.

Zwar werden die Mais- und Sojaimporte überwiegend zu Futtermitteln verarbeitet, doch zugleich sind sie Grundstoffe für viele, in unzähligen Lebensmitteln verarbeitete Zutaten. Auch bei Herstellung von Zusatz- und Hilfsstoffen (Vitamine, Aminosäuren, Enzyme) ist, von der Öffentlichkeit bisher kaum wahrgenommen, der Einsatz gentechnisch veränderter Mikroorganismen bereits weit verbreitet und wird aufgrund oft deutlicher Kosten- und Ressourceneinsparungen in Zukunft stark zunehmen.

Wie erkennt man die Gentechnik im Lebensmittel?

Längst ist Gentechnik eine ökonomische Realität, sie betrifft große Teile des aktuellen Lebensmittelsortiments, und ist doch für die Mehrheit der Verbraucher nicht wahrnehmbar: Produkte mit gentechnikspezifischer Kennzeichnung gibt es nicht, Handel und Lebensmittelindustrie erklären, sie würden ausschließlich „gentechnikfreie“ Rohstoffe und Vorprodukte verwenden. Am *point of sale*, an der Ladentheke, existiert die Gentechnik scheinbar nicht.

Ohne produktnahe Information bleiben gentechnische Anwendungen unterhalb der Kennzeichnungsschwelle, Konsumenten die glauben, ihr Essen sei frei von Gentechnik, reagieren um so erschrockener, wenn sie erfahren, daß dies nicht stimmt. Jede medienwirksam inszenierte Entdeckung kleiner Spuren transgener Pflanzen in Lebensmitteln wird dann zum öffentlichen „Skandal“, der vorhandene diffuse Ängste und Verunsicherungen konkret bestätigt.

So liefern Meinungsumfragen seit Jahren ein ähnliches Bild: die überwiegende Mehrheit der deutschen Verbraucher (70-90%) lehnen Gentechnik im Lebensmittelbereich ab. Diese Nachfrageverweigerung hat sich mit einem konstant hohen Anteil stabilisiert. Daran hat auch die öffentliche Diskussion, eine Vielzahl von sachorientierten Informationsangeboten und eine zunehmend differenzierte Medienberichterstattung

kaum etwas ändern können. Die Verbraucherablehnung scheint sich zu einem verbreiteten Meinungsmuster zu verfestigen. Es wird zum *common sense*, gegen *Genfood* zu sein. Doch es griffe zu kurz, die mangelnde Akzeptanz allein mit – zweifellos vorhandenen – Wissensdefiziten erklären zu wollen.

In der gesellschaftlichen Auseinandersetzung um die Grüne Gentechnik prallen zwei verschiedene Meinungen aufeinander. Die Akteure – sowohl die aus dem „pro“- wie dem „contra“-Lager – reden zwar vordergründig über Lebensmittel, Qualität, Sicherheit, Vorsorge und Verbraucherschutz, ohne jedoch offen zu legen, daß sich die gemeinsam verwendeten Begriffe aus völlig unterschiedlichen Einstellungs- und Kategoriensystemen speisen. Kein Wunder, daß man trotz vielfältigster Bemühungen von einem produktiven Diskurs weiter entfernt ist denn je. Bei einer EU-Umfrage (1999) hielten erstaunliche 50% der Deutschen die gentechnische Modifikation von Pflanzen mit dem Ziel einer Resistenz gegen Schädlinge für sinnvoll. Wenn daraus aber Lebensmittel geworden waren, wollten sie nur noch 27% kaufen. Irgendwo auf dem Weg vom Acker auf den Teller verändert sich die Perspektive.

Hören die Konsumenten Gentechnik, denken sie in erster Linie daran, daß sie die daraus hergestellten Lebensmittel essen werden – und sie erschauern. Denn Gentechnik ist das aktuelle Symbol für genau das, was sie nicht wollen. Natürlichkeit, Unverfälschtheit und Authentizität sind die vorherrschenden Wunsch- und Leitbilder, aus denen sich heute die Erwartungen an Lebensmittel ableiten. Sie sind illusionär, weil der gestreifte, berufstätige und zudem noch preisbewußte Durchschnittskonsument überwiegend vorverarbeitete, industriell produzierte Lebensmittel verzehrt, und sie sind romantisch, weil eine wissenschaftlich-technisch Produktionsweise längst selbstverständlich ist – sogar beim Bäcker um die Ecke und zunehmend auch im Biobetrieb.

Trotz aller Widersprüche zwischen Wunsch und Verhalten: Aus dem naturromantischen Leitbild speisen sich die derzeit gängigen Qualitäts- und Sicherheitsanforderungen. Gut ist, was sich der Kraft der Natur verdankt, nicht den Fertigkeiten der Lebensmitteltechnologien. Hinsichtlich Sicherheit und Gesundheit kann „die Natur“ – oder was als solche wahrgenommen wird – auf einen unerschütterlichen Vertrauensbonus rechnen. Hingegen treffen industriell verarbeitete Produkte auf ein diffuses, latentes Mißtrauen: Ein Drittel der Verbraucher fühlt sich durch die heutigen Nahrungsmittel „schleichend vergiftet“. Die Gefahren lauern in Zusatzstoffen, Rückständen, Gentechnik und Bestrahlung. Ihren Ursprung vermutet man dort, wo geschäftstüchtige Konzernherren und kühle Wissenschaftler darüber bestimmen, was auf den Tisch kommt.

Die Lebensmittelindustrie und die Wünsche der Verbraucher

Ganz anders die Experten aus Wissenschaft und Industrie: Für sie resultiert die Sicherheit aus technischer Kontrolle und Naturbeherrschung. Konträr zur Wahrnehmung durch die Konsumenten sind aus dieser Perspektive die modernen Lebensmittel immer sicherer geworden. Wenn es ernährungsbedingte Risiken gibt, dann liegen sie im Verhalten der Verbraucher, die sich zu viel, zu fett, zu eiweißreich und nicht ausgewogen genug ernähren. Die gefährlichsten, zudem in ihrem Auftreten nur bedingt beherrschbaren Giftstoffe stammen wie die Aflatoxine und andere Schimmelpilzgifte aus der Natur. Zwar können sie durch wissenschaftlich gestützte Analytik und Qualitätskontrollen gezügelt werden, nicht aber durch Vertrauen in unverfälschte Naturprodukte, auf das sich beim Einkauf viele Konsumenten nahezu blind verlassen.

Wenn es ums Essen geht, reden Experten und breite Öffentlichkeit aneinander vorbei. Das Objekt, das sie meinen, ist zwar das gleiche, doch

TransGen – Transparenz für Gentechnik bei Lebensmittel

Seit knapp mehr als vier Jahren ist das vom Bundesverband Verbraucher Initiative getragene Internet-Portal unter www.transgen.de erreichbar. TransGen versteht sich nicht „pro“ oder „contra“ Gentechnik, sondern bietet sachliche, fundierte Informationen als Dienstleistung, um angemessene individuelle und gesellschaftliche Bewertungen von einzelnen Produkten und Anwendungen zu ermöglichen. TransGen hält ein vielfältiges Angebot bereit, etwa:

- Dossiers zu Fragen der Lebensmittelsicherheit, in denen wissenschaftliche Ergebnisse, aber auch kontroverse Standpunkte knapp und verständlich zusammengefaßt sind.
- Berichterstattung zu aktuellen Ereignissen und Diskussionen rund um Gentechnik in Landwirtschaft und Lebensmittelindustrie.
- Neu ist ein Bereich zum Spannungsfeld zwischen „Grüner Gentechnik“ und umweltverträglicher Landwirtschaft. Dort werden Anbauversuche aus Deutschland, Erfahrungen aus der kommerziellen Nutzung in Nordamerika und verschiedene Studien unter der Perspektive ausgewertet, ob gentechnisch veränderte Nutzpflanzen dazu beitragen könnten, die Umweltbelastungen durch die Landwirtschaft zu reduzieren.
- Für Schüler, Lehrer und alle, die mehr wissen wollen, bietet der Service-Bereich eine Vielzahl von Tips und Empfehlungen: Unterrichtsmaterialien und Fortbildungsveranstaltungen, Links und Download-Adressen, Bücher, Laborbesuche und vieles mehr. www.transgen.de
- Datenbank, über die mögliche gentechnische Anwendungen bei Lebensmitteln, einzelnen Zutaten und Zusatzstoffen abgefragt werden können. Für jede Nutzpflanze ist abrufbar, wie weit gentechnische Entwicklungen bereits fortgeschritten sind und welche Ziele dabei verfolgt werden.
- Informationen zu weltweiten Anbauflächen gentechnisch veränderter Nutzpflanzen, zu Lebensmittel-Enzymen und der Rolle der Gentechnik bei ihrer Herstellung.
- Verbraucher-Leitfaden zur Kennzeichnung, Gesetze und Gesetzgebungsprozesse.

hier sind Lebensmittel Träger postmoderner Werte, dort ein technischwissenschaftlich optimiertes Erzeugnis. Für die einen ist Essen ein sozialer, kulturell und individuell geprägter Vorgang, für die anderen eine notwendige, berechenbare Nährstoffzufuhr. Das Fatale: Beide, das kulturelle wie das wissenschaftlich-technische Deutungs- und Wahrnehmungsmuster liefern aus unterschiedlichen Perspektiven ein schlüssiges Bild von Essen und Ernährung. Wie das Licht in der klassischen Physik mal als Teilchen, mal als Welle gedeutet wird, treffen auch für Lebensmittel beide „Theorien“ zu, ohne daß jedoch eine allein potent genug wäre, alle Facetten zu erfassen. In der öffentlichen Debatte werden die kulturelle und die wissenschaftlich-technische Sichtweise nicht als unterschiedliche, legitim sich ergänzende Perspektiven wahrgenommen, sondern als Gegensätze. Beider Deutungsanspruch bereitet den Nährboden für zugespitzte unversöhnliche Konflikte.

Für Experten sind die Verbraucher irrational, gefühlsgeleitet oder von sensationslüsternen Medien aufgeputscht. Umgekehrt wischen viele Verbraucher jede Studie und jede Stellungnahme von Expertengremien, die nicht in die eigene Wunsch- und Wertewelt passen, mit einem lapidaren: „Das glaube ich nicht“ vom Tisch. Zwangsläufig beschwört jede gentechnisch veränderte Pflanze, die in Deutschland zugelassen werden soll, jeder transgene Pollen, der von einem Freisetzungsvorhaben auf das Nachbarfeld geweht wird, eine „Vertrauenskrise auf dem Acker“ herauf.

Der Konflikt um die Grüne Gentechnik – wie auch viele Lebensmittel-„Skandale“ der letzten Jahre – offenbaren die tiefe Sprachlosigkeit zwischen Experten und Konsumenten. Längst hat sich die Lebensmittelindustrie darauf eingestellt, nicht nur Produkte herzustellen, sondern die Wünsche und Illusionen ihrer Kunden zu bedienen: Sie präsentiert sich als handwerkliche, vorindustrielle Branche inmitten einer romantisch verklärten Natur. In Werbung und Firmenpräsentationen gibt es keine Melkroboter und keine Schlachthöfe, weder Extruder, noch Massenware, keine Aromen und immer weniger Zusatzstoffe. Die Erdbeeren im Joghurt sind handverlesen, die Kühe glücklich und der romantische Traum von gesundem Leben auf dem Land noch ungebrochen.

Die Tabuisierung der technischwissenschaftlichen Rationalität löst zwar den Dualismus von kulturellem und wissenschaftlich-technischem Deutungsmuster oberflächlich auf, doch diese Strategie macht die Lebensmittelindustrie zur Geisel der öffentlichen Empörung: Wo immer die rauhe Wirklichkeit von Produktion, Kostendruck und Wettbewerb sichtbar wird, erwächst aus den zerplatzten Illusionen der „Skandale“: Wer meint, eine erfahrene Küchenmeisterin wür-

de für den Nudelteig die Eier einzeln aufschlagen, ist schockiert, wenn er erfährt, daß Flüssigkeit aus dem Tank hineingepumpt wird. Wem glauben gemacht wird, das deutsche Lebensmittelsortiment sei „gentechnikfrei“, der fühlt sich in seiner Furcht vor Gesundheitsrisiken bestätigt, wenn in Tortillas gentechnisch veränderter Mais gefunden wird.

Anders als bei der Lebensmittelindustrie kommt es für die Agrarunternehmen, welche die gentechnisch veränderten Pflanzen entwickelt haben, ohnehin nicht in Frage, die romantisch-illusionären Verbraucherwünsche zu bedienen. Bisher hatten sich weder Käufer im Bioladen noch im Supermarkt für die Züchter und ihr Saatgut interessiert. Das änderte sich, als gentechnisch veränderte Pflanzen auf die Felder sollten. Nun bleibt den Unternehmen kaum anderes übrig, als über die Grüne Gentechnik zu reden: offen, verständlich, illusionslos und ohne falsche Versprechungen. Lange haben sie jedoch die elementare Tatsache übersehen, daß die Konsumenten selbst entscheiden wollen, was sie essen. Sie mögen es nicht, wenn ihnen ungefragt etwas aufgetischt wird – vor allem, wenn es ihnen nicht behagt. Gegessen wird, was schmeckt und was kulturell akzeptiert ist. Die Gentechnik und ihre Produkte gehören bisher nicht dazu.

Die Agrarunternehmen haben zu lange die kulturelle Dimension des Essens ignoriert. Sie haben lernen müssen, daß für die Verbraucher Lebensmittel aus gentechnisch veränderten Pflanzen keineswegs gewöhnliche und damit vertraute Produkte sind. Selbst wenn sie im jeweiligen Lebensmittel stofflich nicht meßbar ist, löst die Anwendung der Gentechnik eine kollektive Konsumverweigerung aus. Rational in einem wissenschaftlichen Sinn ist das nicht, doch erklärlich aus einem verbreiteten romantisch-idealistischen Wunschbild, in dem für eine harte, als gegen die Natur gerichtet empfundene Wissenschaft wie die Gentechnik kein Platz ist. Genau diese Konstellation macht es den gentechnik-kritischen Gruppen leicht, die Verbraucher und Öffentlichkeit hinter sich zu scharen. Solange jedoch die wissenschaftlich-technische Dimension aus der Kultur des Essens ausgegrenzt bleibt, wird sich daran wenig ändern.

Anschrift des Verfassers:

Gerd Spelsberg
Projektleiter TransGen
Eupenerstraße 183
52066 Aachen

Risikoforschung – Fakten, Mythen, zukünftige Entwicklung

Klaus Ammann

Es ist schade, daß die Haltungen zur Gentechnologie derart von Lagerdenken geprägt werden. Die Debatte wird leidenschaftlich geführt, dagegen ist nichts einzuwenden, denn schließlich hat die Biologie ihre Unschuld verloren – und im Ackerbau kann man nun sehr direkt die Erbeigenschaften der Kulturpflanzen verändern – dies wird der Öffentlichkeit erst in diesen Jahren richtig bewußt, obschon dieser Prozeß bereits vor hunderten von Jahren mit stetig gesteigerter Geschwindigkeit ablief. Es ist auch von vielen Konsumenten erst in den letzten Jahren bemerkt worden, daß auch auf dem Acker bei der Lebensmittelproduktion Dinge vor sich gehen, die die Evolution beeinflussen. Kein Wunder also, wenn die Diskussion sehr kontrovers geführt wird. Am schönsten zeigt sich dies im komplexen Umfeld der möglichen ökologischen Folgen bei der Freisetzung transgener Kulturpflanzen, zu der in den letzten zwei Jahren zahlreiche wissenschaftliche Publikationen erschienen sind.

Durch Bt-Maispollen vergiftete Raupen des Monarchfalters

Die Publikation 1999 in *Nature* von Losey zu den durch Bt-Maispollen vergifteten Monarchraupen löste einen Schock aus, der noch heute nachwirkt – Monsanto verlor innerhalb weniger Tage bedeutende Aktienwerte und die Tageszeitungen reagierten weltweit mit größtenteils unzulässig verkürzten Meldungen, die der Sache kaum gerecht wurden. Losey, der Autor dieser reinen Laborstudie, warnte zwar selbst vor allzu-schnellen Rückschlüssen auf das Geschehen draußen auf dem Acker. Seine Resultate waren für viele Laien scheinbar eindeutig: Innerhalb von vier Tagen starben von den mit Bt-Pollen zwangsgefütterten Larven dieses prächtigen und in den amerikanischen Schulen sehr populären Wanderfalters 40%, isoliert betrachtet wahrlich eine alarmierende Zahl. Die Arbeit Loseys schlug auch deswegen so ein, weil die Saatgut-Firmen ihren Gentech-Mais als eine Wunderwaffe gegen den Maiszünsler anpriesen, dessen gentechnisch eingebautes Gift sehr selektiv wirken würde.

Bereits lange vorher wurden, u.a. durch Rachel Carson in ihrem epochemachenden Buch *Der stumme Frühling* empfohlen, die Bt-Gifteweiße als Bio-Pestizide gesprüht, ihre Giftwirkung auf Falterarten war bekannt, es wurden durch unvernünftige Anwendungen bereits auch erste Resistenzen erzeugt. Was vorerst statistisch wenig gesicherte Kleinfeld-Tests zeigten, wurde in den letzten beiden Jahren durch umfangreiche Feldversuche bestätigt: Die Giftwirkung hielt sich in Grenzen. Neueste vergleichende Feldstudien lassen sogar zweifeln, ob man die Populationen der Nutzinsekten von Bt-Maisfeldern von solchen

ohne Bt-Pflanzen überhaupt unterscheiden kann. Dennoch perpetuieren einige Gentech-Kritiker in punkto Bt-Mais Katastrophen-Szenarien, wie sie scheinbar durch weitere Laborstudien zu Florfliegen u.a. Nützlingen gestützt werden. Zu guter Letzt erhielten sie auch noch Schützenhilfe durch eine neue Feldstudie, die markante Schäden an Monarch-Raupen nachwies¹. Liest man jedoch diese Studie aufmerksam, so kann man nicht übersehen, daß auch hier genau genommen unter Laborbedingungen mit unnatürlich hohen Bt-Pollenmengen Giftwirkungen nachgewiesen wurden, wie sie unter strengen Naturbedingungen nur sporadisch auftreten können. Dennoch: Die Studie rechtfertigt weitere Langzeitbeobachtungen, insgesamt erlaubt die Datenlage jedoch keine generellen Freisetzungsverbote, das Lagerdenken ist auch hier fehl am Platz. Dies gilt im übrigen auch für andere mögliche Schadens-Szenarien der Bt-Eiweiße wie Akkumulation im Boden, Resistenzbildung bei Insekten usw. Langzeitbeobachtungen sind gerechtfertigt, vorab aus Gründen der langfristigen Risikoabschätzung, aber auch aus wissenschaftlichen Gründen: Erstmals ist es dank der präzise markierenden Transgene möglich, langfristige Prozesse im Ackerbau genau zu verfolgen – das ist natürlich auch gerade das Pech der neuen Technologie. Die Novität der eingebrachten Gene rechtfertigt zwar bis zu einem gewissen Maße besondere Risiko-Abklärungen, dies enthebt uns aber nicht der Pflicht aus wissenschaftlicher Sicht, eine ausgewogene Betrachtungsweise immer wieder zu prüfen. Ob sich jedoch der Einsatz des schädlingsresistenten Bt-Mais in bestimmten Regionen lohnt, sei dahingestellt – die Begründung ist komplex und ist wohl kaum abschließend zu geben: Vollerorts (aber nicht überall) ist der mit dem Bt-



Mais bekämpfte Maiszünsler gar kein Problem und die Kleinräumigkeit der Landwirtschaft einiger Regionen wirft die Frage nach dem Pollenflug auf, auch dann, wenn man nach Messungen von sehr geringen Mengen ausgehen kann – der Wunsch der Biobauern nach Gentech-Freiheit ist durchaus zu respektieren, wenn auch nicht wissenschaftlich begründbar – es wäre sogar zu fragen, ob ein negatives Marketing der Gentech-Freiheit überhaupt nachhaltig sein kann. Die in diesem Zusammenhang ins Feld geführten Katastrophen-Szenarien, daß sich dieser Bt-Mais dann buchstäblich in Windeseile vermehren würde, sind nicht sehr realistisch angesichts der Tatsache, daß eine Mehrheit der Bauern heute den sehr ertragreichen Hybridmais kauft und auf eigene Saatgutvermehrung verzichtet, womit die laienhaft beschworene dramatische Vermehrung ausgeschlossen werden kann. Auch bei Beschränkung auf das Beispiel Mais darf man nicht verschweigen, daß sich bezüglich Raps und anderer Kulturpflanzen die Auskreuzungs- und Vermehrungsverhältnisse ungünstiger gestalten. Aber insgesamt vermittelt selbst dieser sehr kurze Ausschnitt aus der ökologischen Risikodiskussion ein Bild von der großen Komplexität und läßt der Interpretation breiten Spielraum. Der Gesetzgeber hat es hier nicht leicht, will er das Prinzip der Vorsorge zur Anwendung bringen.

Lösungswege

Es sollten differenzierte Lösungswege gesucht werden, denn es wäre ein Jammer, wenn durch langwierige Debatten um Moratoriumsforderungen die Entwicklung und insbesondere die Freisetzung zu Forschungszwecken behindert werden sollte, z.B. mit der nicht begründbaren Forderung, mit solchen Freisetzungen zuzuwarten, bis der Moratoriumsentscheid gefallen sei – so gesehen haben Moratorien durchaus Verbotscharakter, auch liberalste Ausnahmeregelungen zugunsten der Forschung wirken lähmend auf die weitere Entwicklung.

Öffentliche Hearings

Ausgerechnet die Neuseeländer machen es uns vor, wie ein öffentlicher Hearings-Prozeß ablaufen sollte: Eine eigens dazu gebildete *Royal Commission* befaßt sich nun schon einige Zeit mit einem professionell durch einen hohen und angesehenen Richter geführten und in aller Öffentlichkeit stattfindendes Hearing, das auch anderwärts interessant werden könnte². Dabei werden in aller Gründlichkeit Tausende von Statements aus allen Lagern schriftlich eingereicht, auf einer Internet-Seite öffentlich zugänglich, dazu ist zu jeder größeren Zeugen-Aussage ein Kreuzverhör organisiert, das ebenfalls wörtlich protokolliert und öffentlich zugänglich gemacht

wird. So können populistische Slogans aller Lager vermieden oder doch gründlich hinterfragt werden. Es wird kein Konsens gesucht, es werden auch keine statistisch einwandfrei zusammengestellten Laienkommissionen unter einen Konsens- und Entscheidungsdruck gesetzt, dem sie schon prinzipiell kaum standhalten können. Erst im Abschlußbereich der Hearings wird dann eine möglichst offene, transparente erste Beurteilung dieses Prozesses durchgeführt, wobei sich wiederum alle Bürgerinnen und Bürger selbst orientieren können.

Der Verfasser konnte persönlich an einem solchen Hearing teilnehmen und fand die lange Reise nach Neuseeland durchaus lohnend. Bemerkenswert ist auch der Einbezug der Maori, die ja einige hundert Jahre vor den Weißen diese Insel besiedelten. Eindrücklich waren, sicher zusammenhängend mit ihrem hohen Integrationsgrad, auch ihre differenzierten Stellungnahmen zur Gentechnologie bezüglich der Maori-Traditionen.

Vorsorge-Prinzip

Der Umgang mit wissenschaftlicher Unsicherheit ist schwierig, er wird fast unmöglich in dem Minenfeld der Gentech-Diskussion – und dennoch sind wir durch eine ganze Reihe von internationalen Abkommen diesem Prinzip verpflichtet.

Die ganze Vielfalt dieser Diskussionen zeigt sich beispielhaft in einer internationalen Debatte, die an dem Center for International Development an der Harvard-Universität im September 2000 stattgefunden hat³.

Es nutzt uns wenig, bei den Definitionen und Umschreibungen dieses Prinzips zu beginnen, die ohnehin vage sind und für verschiedene Leute Unterschiedliches beinhalten. Der Umgang mit wissenschaftlicher Unsicherheit ist eigentlich ein typisches Problem der Planer, professionelle Planung ist mit diesem Problem vertraut, besonders wenn die Planungsmethodik der zweiten Generation angewendet wird:

Planungsmethodik der zweiten Generation

Die Lösung komplexer Probleme kann nicht mit linearen Planungsmethoden arbeiten, sie muß mit offenen Planungsmethoden der zweiten Generation angegangen werden. Einige Prinzipien: Einbeziehung aller Betroffenen, dies kann aber nur dann funktionieren, wenn gewisse Grundsätze befolgt werden:

- Klares Definieren des Problem-Umfeldes.
- Symmetrie der Ignoranz kann dann erreicht werden, wenn verschiedene Wissensarten voll respektiert werden (faktisches Wissen, Planungswissen, explanatorisches Wissen, instru-

mentelles Wissen, konzeptuelles Wissen und nicht zuletzt: lebensweltliches Wissen.

- Herunterschrauben der versteckten Agenden (hidden agendas) auf ein mögliches Minimum durch vorhergehenden intensiven Wissensaustausch.
- Offenlassen der Planungsergebnisse bis zum Schluß, Konsensfindung in Bezug auf konkrete Entscheidungen zum anfänglich definierten Problemumfeld⁴.

Gentechnologie in gesellschaftlich-kulturellen Debatten

Die Biologie hat, wie vor Jahrzehnten die Physik und Chemie, ihre Unschuld verloren. Die Wissenschaft muß einsehen, daß sie sich einer breiten, gesellschaftlich-kulturellen Debatte öffnen muß, daß sie auch im Sinne dieser unvermeidlichen und notwendigen Öffnung der Debatte Verantwortung zu übernehmen hat. Es ist z.B. die Frage der Lebenshaltung angesprochen. Wie weit kann sich die Gesellschaft einem konsequenten Ökologie-Kurs verschreiben, der oft kaum abgestimmt ist mit Ökonomie und Kultur? Noch muß sich erweisen, ob die Bio-Welle genügend Substanz hat – was man als Ökologe nur hoffen kann – oder ob sie sich als Mode-Erscheinung der Wohlstandsverdrossenen wieder verflüchtigt. Die Frage der Bio-Landwirtschaft ist gestellt, nicht nur angesichts ihrer Erfolge, ihrer rasanten Markteinführung, sondern ganz prinzipiell. Wie weit kann eine Bio-Landwirtschaft aus der noch engen Nische heraustreten, ohne daß

wesentliche andere Gefüge ins Wanken geraten? Ist sie fähig, sich zu einer großflächig, breit angewandten Landwirtschaftsform zu mausern? Auch hier ist es wohl richtig, einen Planungsprozeß mit offenem Ausgang zu sehen. Wie weit muß sich auch die traditionelle Landwirtschaft von lieb gewordenen Produktions-Mythen verabschieden? Die Fragen ließen sich beliebig fortsetzen. Auch sollte die Mitte der integrierten Landwirtschaft nicht vergessen werden, zu Unrecht fällt sie der polarisierten Debatte zum Opfer.

Von diesen utopischen Überlegungen zurück zur Realität: Die Zukunft der Landwirtschaft ist nicht bloß durch die Bio-Debatte geprägt, sondern ganz stark auch durch wirtschaftliche und politische Rahmenbedingungen. Es geht um die Sicherstellung der Ernährung einer schnell wachsenden Weltbevölkerung.

Gentech- und Hightech-Landwirtschaft und Bio-Landwirtschaft

Wenn wir konsequent weiterdenken, so stellt sich unvermeidlich die Frage nach der möglichen zukünftigen Verbindung von heute noch sehr unterschiedlichen Ackerbau-Strategien, angefangen von der Biolandwirtschaft über die integrierte Landwirtschaft bis hin zur biotechnologisch orientierten Hightech-Landwirtschaft. Was vorläufig noch als pure Utopie verlacht werden kann – oder schlimmer noch: denunziert als Zwängelei einer Gentech-Lobby, die sich auf der Verliererstraße sieht, ist möglicherweise die Lösung



der Zukunft. Dies ist kein Plädoyer für die sofortige Einführung der Gentechnologie in der Landwirtschaft, dies kann nach den heutigen Produkten und Grundhaltungen zu urteilen kaum – wenigstens nicht kurzfristig – funktionieren. Gentech-Kulturpflanzen, die in der industriellen Landwirtschaft anderer Länder sinnvoll sein und Pestizid-Anwendungen reduzieren können, beeindrucken logischerweise jene Bauern nicht, die mit anderen Mitteln längst auf chemische (nicht aber biologische) Pestizide verzichten gelernt haben.

Eine gute Vergleichsdokumentation zu diesem ganzen Fragenkomplex stellt Internutrition auf ihrer Homepage zur Verfügung, die BioGen-Studie ist im Internet abrufbar⁵. Sie stellt in ausgewogener Weise Vor- und Nachteile verschiedener Anbauweisen zusammen und deckt auch Forschungslücken auf.

Es wird nicht darum gehen, eine strenge Monokultur weiter zu festigen, indem man die Chemiekeule durch die Genkeule ersetzt, obschon man festhalten muß, daß man sich im Gartenbau und auch im Ackerbau seit vielen Jahrhunderten von einer produktionsstörenden Artenvielfalt verabschiedet hat – und dies wird – allen romantischen Vorstellungen zum Trotz – auch so bleiben. Vielmehr sollten beiden Seiten gemeinsame Planungsziele der Ökologisierung der Landwirtschaft mit vernünftigen Produktionskosten angehen – um in einigen Jahren vielleicht doch Kulturpflanzen und Anbaumethoden zu entwickeln, die einer ökologisch sinnvollen *organotransgenen Strategie* entsprechen.

Die zweite, und insbesondere die dritte Generation der Kulturpflanzen, die wir aufgrund molekulargenetischer Einsichten herstellen können (einige davon werden transgen sein, andere nicht), sind in den Forschungslaboratorien und werden den langen Weg aller bei Kulturpflanzen üblichen Kontrollen durchlaufen – darunter gibt es auch solche, die mit neuen Resistenzsystemen gegen Schädlinge arbeiten, die sich mit erstaunlicher ökologischer Anpassungsfähigkeit auch dort in Kulturen einsetzen lassen, wo heute noch kaum Erträge zu sichern sind (etwa in salzbelasteten Böden). Es sind auch Kulturpflanzen in Arbeit, bei denen die Auskreuzung unmöglich gemacht wurde. In Mitteleuropa ist ein bedeutender Prozentsatz von Wildpflanzen fähig, spontan Embryonen und damit fruchtbare Samen zu bilden.

Zuletzt möchte ich noch eine Lanze brechen für eine gesunde Emotionalität der Debatte: Bereits in der Genschutz-Debatte gingen die Emotionen oft hoch, das ist durchaus verständlich, geht es doch bei der Einführung der Gentechnologie auf allen Ebenen um den wohl größten Technologieschub, den die Menschheit je mitgemacht hat und noch lange Jahrzehnte mitmachen wird – so gesehen ist es für Fachleute und Laien durchaus

berechtigt, auch Ängste und Bedenken emotional zu äußern, als Wissenschaftler haben wir keinen Anspruch auf vollständige Versachlichung der Diskussionen.

Versachlichung ist aber dort angebracht, wo es um wissenschaftliche Fakten geht. Aber wenn es um das Einbringen von solchen Fakten geht, die, bewußt oder unbewußt ignoriert werden sollen, oder noch schlimmer, die bewußt und polemisch verdreht werden, dürfen selbst die Wissenschaftsvertreter emotional reagieren, wenn ihnen die Sache wirklich am Herzen liegt. Umgekehrt kann ich keinem Laien Wallungen verübeln, wenn er mit hochnäsigen Experten konfrontiert ist, die nach dem althergebrachten Motto handeln: wie sag ich's meinem Kinde? Es bleibt aber die vornehmste Aufgabe der Wissenschaft, aus Fakten öffentliche Meinung zu gestalten, dies hat uns Hannah Arendt gelehrt, eine eindrucksvolle Kämpferin für eine Revitalisierung unserer ziemlich blutarmen öffentlichen Debatten.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Klaus Ammann
Direktor des Botanischen Gartens der
Universität Bern
Altenbergrain 21
3013 Bern
Schweiz

Anmerkungen

¹ Hansen u. Obrycki, Oecologia Mai 2000

² <http://www.gmcommission.govt.nz/>

³ <http://www.cid.harvard.edu/cidbiotech/bioconfpp/>

⁴ Verma Niraj 1998, Similarities, Connections and Systems, Lexington Books

⁵ <http://www.internutrition.ch/news/medien/mk001121.html>

Sicherheitsbewertung und Genehmigungsverfahren transgener Pflanzen

Joachim Schiemann

International liegen umfangreiche Erfahrungen mit Freisetzungen von mehr als 100 Arten gentechnisch veränderter Pflanzen vor. Allein in den USA wurden seit 1987 rund 8.000 Freilandversuche mit transgenen Pflanzen an mehr als 25.000 Freisetzungsorten durchgeführt. In Europa wurden mehr als 1.700 Freilandversuche mit gentechnisch veränderten Pflanzen genehmigt¹.

Weltweit wurden im Jahr 2001 bereits auf ca. 52,6 Mio ha gentechnisch veränderte Pflanzen kommerziell angebaut² (vgl.: gesamte Ackerbaufläche in Deutschland ca. 12 Mio ha, Gesamtfläche Deutschlands 35,7 Mio ha). Der Anbau hat in den letzten Jahren stark zugenommen (1996: 1,7 Mio ha; 1997: 11,0 Mio ha; 1998: 27,8 Mio ha; 1999: 39,9 Mio ha; 2000: 44,2 Mio ha). Motor dieser Entwicklung sind die USA mit 35,7 Mio ha Anbaufläche (68%). Mit deutlichem Abstand folgten Argentinien (11,8 Mio ha), Kanada (3,2 Mio ha) und China. Weltweit teilt sich die Anbaufläche für gentechnisch veränderte Pflanzen in vier Kulturarten: Soja mit 63%, Mais mit 19%, Baumwolle mit 13% und Raps mit 5%. Die auf dem Markt führenden transgenen Eigenschaften sind: Herbizidtoleranz (77%), Insektenresistenz (15%) sowie die Kombination von Herbizidtoleranz und Insektenresistenz (8%).

Auswirkungen der Freisetzung und des großflächigen Anbaus transgener Pflanzen

Nach bisher vorliegenden Daten gingen von den transgenen Pflanzen, die in den letzten fünfzehn Jahren in zehntausenden Freilandversuchen getestet und in den letzten sechs Jahren auf 175 Mio ha kommerziell angebaut wurden, keine Gefahren für die Umwelt oder die Gesundheit des Menschen aus. Der Abschluß umfangreicher wissenschaftlicher Studien zu Sicherheitsfragen hat zu einer Entkräftung von Risikoszenarien geführt. Die US-Umweltschutzbehörde (EPA) verlängerte die Genehmigung zum kommerziellen Anbau von Bt-Maissorten, nachdem umfangreiche Feldstudien ergaben, daß die Laborversuche über Auswirkungen auf den Monarch-Schmetterling im Freiland keine Relevanz hatten. Der EU-Forschungskommissar Philippe Busquin legte einen Bericht vor, für den sämtliche Sicherheitsforschungen der EU seit 1996 bewertet wurden³. Im Ergebnis wurden in keinem der 81 Projekte von gentechnisch veränderten Pflanzen ausgehende Gefahren für Menschen, Tiere oder die Umwelt nachgewiesen.

Wirtschaftliche Anwendung wissenschaftlicher Fortschritte in Deutschland

Die wissenschaftlichen Fortschritte der pflanzlichen Biotechnologie lassen sich in Deutschland nicht wirtschaftlich umsetzen, da die Verbrau-

cherakzeptanz für gentechnisch veränderte Pflanzen und Lebensmittel sehr niedrig ist. Die Entwicklung neuer gentechnisch veränderter Pflanzen orientiert sich zunehmend an einem neuen Leitbild, das verbesserte Ökobilanzen und den Nutzen für den Verbraucher sichtbar und überzeugend demonstriert. Die gentechnischen Verbesserungen werden es künftig den Pflanzen ermöglichen, sich selbst stärker gegen Krankheiten und Schädlinge zu wehren. Die zu übertragenden Gensequenzen werden auf das funktionell notwendige Maß beschränkt. Dazu werden Alternativen zu den heutigen Markergenen und neue Strategien zur Entfernung überflüssiger Gensequenzen nach erfolgter Selektion entwickelt. Die Ausprägung der Transgene wird bedarfsgesteuert erfolgen: Die transgenen Eigenschaften werden nur in den Geweben und unter den Bedingungen ausgebildet, in denen sie benötigt werden. Herstellung, Testung und Vermarktung neuer gentechnisch veränderter Pflanzen sollten mit größtmöglicher Transparenz durchgeführt werden.

Genehmigungsverfahren in Europa

Innerhalb der Europäischen Union besteht für die Genehmigungsverfahren zum Inverkehrbringen von Produkten, die gentechnisch veränderte Organismen (GVO) enthalten, ein hohes Maß an Unsicherheit. Weder die seit einigen Jahren abhängigen Genehmigungsverfahren gemäß der Richtlinie 90/220/EWG noch die nach der No-



vel-Food-Verordnung wurden abgeschlossen⁴. Freisetzung und Inverkehrbringen von GVO sind in der EU durch die Richtlinie 90/220/EEC geregelt. Eine novellierte Richtlinie (2001/18/EC) wurde vom Europäischen Parlament und vom Ministerrat im Februar 2001 verabschiedet, am 17. Oktober 2002 tritt sie in Kraft⁵. Die Novelle aktualisiert und verschärft die existierenden Regelungen für die Risikobewertung und den Entscheidungsprozeß über die Freisetzung von GVO in die Umwelt. Sie schreibt die Information der Öffentlichkeit und allgemeine Regelungen zur verbindlichen Kennzeichnung und Rückverfolgbarkeit auf allen Stufen der Markteinführung vor. Künftig werden Genehmigungen zur Markteinführung für maximal zehn Jahre ausgesprochen – eine Verlängerung kann beantragt werden. In der novellierten Freisetzungsrichtlinie ist ein Monitoring von Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen nach der Marktzulassung als verbindliche Maßnahme festgeschrieben. Damit werden die bisherigen Sicherheitsbewertungen vor dem Inverkehrbringen (im Labor, Gewächshaus, Freiland) um eine weitere Stufe nach dem Inverkehrbringen ergänzt. Das Monitoring soll dazu beitragen, direkte und indirekte, unmittelbare und spätere sowie unvorhergesehene schädliche Auswirkungen von GVO auf die menschliche Gesundheit oder die Umwelt zu ermitteln und zu vermeiden⁶.

In der Europäischen Union sind drei Verordnungsvorschläge der Kommission in der Beratung:

- Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Festlegung der allgemeinen Grundsätze und Erfordernisse des Lebensmittelrechts, zur Einrichtung der Europäischen Lebensmittelbehörde und zur Festlegung von Verfahren zur Lebensmittelsicherheit;
- Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über gentechnisch modifizierte Lebens- und Futtermittel;
- Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Rückverfolgbarkeit und Kennzeichnung von GVO und zur Rückverfolgbarkeit von Lebens- und Futtermitteln, die aus GVO hergestellt sind.

Diese Vorschläge beziehen sich aufeinander und auf die novellierte Freisetzungsrichtlinie. Durch die Einrichtung einer Europäischen Lebensmittelbehörde sollen die Zulassungsverfahren zentralisiert werden. Der Verordnungsvorschlag zu gentechnisch modifizierten Lebens- und Futtermitteln umfaßt den bisher noch nicht geregelten Bereich der gentechnisch veränderten Futtermittel und faßt ihn mit den gentechnisch veränderten Lebensmitteln zusammen, die damit aus der bisherigen Novel-Food-Verordnung (Verordnung EG Nr. 258/97) herausgelöst werden. Die Kennzeichnung soll sich nicht mehr allein auf den

analytischen GVO-Nachweis im Endprodukt stützen, sondern auf ein die Waren begleitendes Dokumentationssystem. Meistdiskutierte Punkte dieser Verordnung sind die Artikel zur Festlegung eines Schwellenwertes an gentechnisch veränderten Substanzen in Höhe von maximal 1%, die gentechnisch nicht veränderte Produkte enthalten dürfen, ohne unter den Regelungsbe- reich der Verordnung zu fallen. Dies steht im Zusammenhang mit der horizontalen Regelung zur Gewährleistung der Rückverfolgbarkeit von GVO und aus ihnen hergestellter Lebens- und Futtermittel. Die Verordnung schafft ein Dokumentationssystem zur Identifizierung von GVO und daraus hergestellter Erzeugnisse. Sie verpflichtet die Kommission, ein Registrierungssystem für einen GVO-spezifischen Code einzuführen sowie Leitlinien für Probenahmen und Analyseverfahren zu entwickeln.

Transgene Beimengungen in konventionellem Saatgut

Wie alle Elemente des Ökosystems unterliegt die Herstellung von Saatgut und pflanzlichen Agrar- rohstoffen natürlichen Einflußfaktoren. Spuren von gentechnisch veränderten Pflanzen bzw. deren Bestandteilen können in konventioneller Ware auf allen Stufen der Produktionskette – von der Saatgutproduktion bis zum Endprodukt – auftreten. Es ist unvermeidlich, daß erzeugtes Saatgut in geringem Umfang von Fremdsorten bestäubt wurde, deren Erbgut im Saatgut der vermehrten Sorten wiederzufinden ist. Daher schreibt das Saatgutrecht vor, daß – je nach Pflanzenart – bestimmte Abstände zu Nachbarfeldern mit derselben Art eingehalten werden müssen. Dies ist Voraussetzung zur Erfüllung der Kriterien der Sortenreinheit, die je nach Pflanzenart im Bereich von 98 bis 99 Prozent liegt. Die Möglichkeit der Pollenübertragung besteht bei gentechnisch veränderten in gleicher Weise wie bei klassisch gezüchteten Sorten.

Im Zusammenhang mit Kennzeichnungsregelungen für GVO beschäftigt sich die EU-Kommission auch mit dem Problem der unbeabsichtigten und unvermeidbaren Anwesenheit von gentechnisch verändertem Saatgut in konventionellem Saatgut. Wissenschaftliche Beratung wurde beim „Scientific Committee on Plants“ (SCP) angefordert, das seine Stellungnahme im März 2001 veröffentlichte⁷. Das SCP kommt zu dem Ergebnis, daß die von der EU-Kommission geforderte Nullwertelösung für nicht zum Inverkehrbringen zugelassene gentechnisch veränderte Organismen (GVO) nicht praktikabel ist. Diese Ansicht des SCP beruht auf einer umfangreichen experimentellen Erfahrung. Im Freiland erzeugte Kulturarten unterliegen einem ständigen Einfluß durch Pollen oder Samen aus unterschiedlichsten Quellen. Eine Nullwertelösung hätte erhebliche

Konsequenzen für Freilandversuche mit transgenen Pflanzen, die biologische Sicherheitsforschung und die Sortenprüfung von transgenen Pflanzen. Erste Auswirkungen sind bereits heute in Deutschland zu beobachten, wo z.B. die eingeschränkte Verfügbarkeit von transgenem Raps-Saatgut für Freilandversuche die begleitende Sicherheitsforschung und Untersuchungen zum anbaubegleitenden Monitoring behindert.

Änderung des deutschen Gentechnikrechts

Im März 2001 hat der Bundesrat beschlossen, einen Entwurf zur Änderung des Gentechnikgesetzes (GenTG) in den Deutschen Bundestag einzubringen, mit dem Ziel, die geänderte Richtlinie 90/219/EWG („Systemrichtlinie“) in deutsches Recht umzusetzen (sog. kleine Lösung). Die Bundesregierung hat daraufhin am 25. April 2001 beschlossen, einen eigenen Entwurf vorzubereiten, mit dem auch die geänderte Freisetzungsrichtlinie 01/18/EG umgesetzt werden sollte (sog. große Lösung). In den darauf folgenden Diskussionen wurden jedoch umfangreiche Änderungs- und Erweiterungswünsche vorgebracht, die einen erheblichen Zeitbedarf für einen abgestimmten Entwurf erwarten lassen. Die Rechtsänderungsverfahren auf EU-Ebene im Bereich der Freisetzungsrichtlinie (Rückverfolgbarkeit, Schwellenwerte, zentrale Lebensmittelbehörde), stehen zudem einer raschen Umsetzung der Freisetzungsrichtlinie entgegen. Gleichzeitig besteht erheblicher Zeitdruck, da wegen nicht fristgerechter Umsetzung der Richtlinie 98/81/EG Klage gegen Deutschland vor dem Europäischen Gerichtshof erhoben wurde. Mit einer Verurteilung

Deutschlands ist Sommer 2002 zu rechnen. Daher ist zu erwarten, daß zunächst die sog. kleine Lösung verabschiedet wird, d.h. daß das GenTG hinsichtlich der gentechnischen Arbeiten im geschlossenen System und nicht hinsichtlich Freisetzung und Inverkehrbringen novelliert wird.

Anbaubegleitendes Monitoring gentechnisch veränderter Pflanzen

In Deutschland werden gegenwärtig Zielstellungen, Kriterien und Methoden des anbaubegleitenden Monitoring gentechnisch veränderter Pflanzen (GVP) auf der Grundlage bereits vorhandener Aktivitäten und Netzwerke diskutiert. Es sollte gelingen, gemeinsam mit unterschiedlichen Interessen- und Arbeitsgruppen, insbesondere der vom Umweltbundesamt koordinierten Bund/Länder-AG „Monitoring der Umweltwirkungen von GVP“, ein praktikables Monitoringkonzept zu erarbeiten. Auf der 72. Arbeitssitzung des Deutschen Pflanzenschutzdienstes wurde die Gründung der Arbeitsgruppe „Anbaubegleitendes Monitoring gentechnisch veränderter Pflanzen im Agrarökosystem“ unter Federführung der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA) beschlossen, die im April 1999 erfolgte. Der Arbeitsgruppe gehören u.a. Vertreter verschiedener BBA-Institute, mehrerer Pflanzenschutzämter, des Robert Koch-Instituts (RKI), des Umweltbundesamtes (UBA), des Bundessortenamtes (BSA), der Sortenüberwachung und Sortenberatung der Länder, des Bundesverbandes Deutscher Pflanzenzüchter (BDP), des Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA), des Instituts für Zuckerrübenforschung (IfZ), der universi-

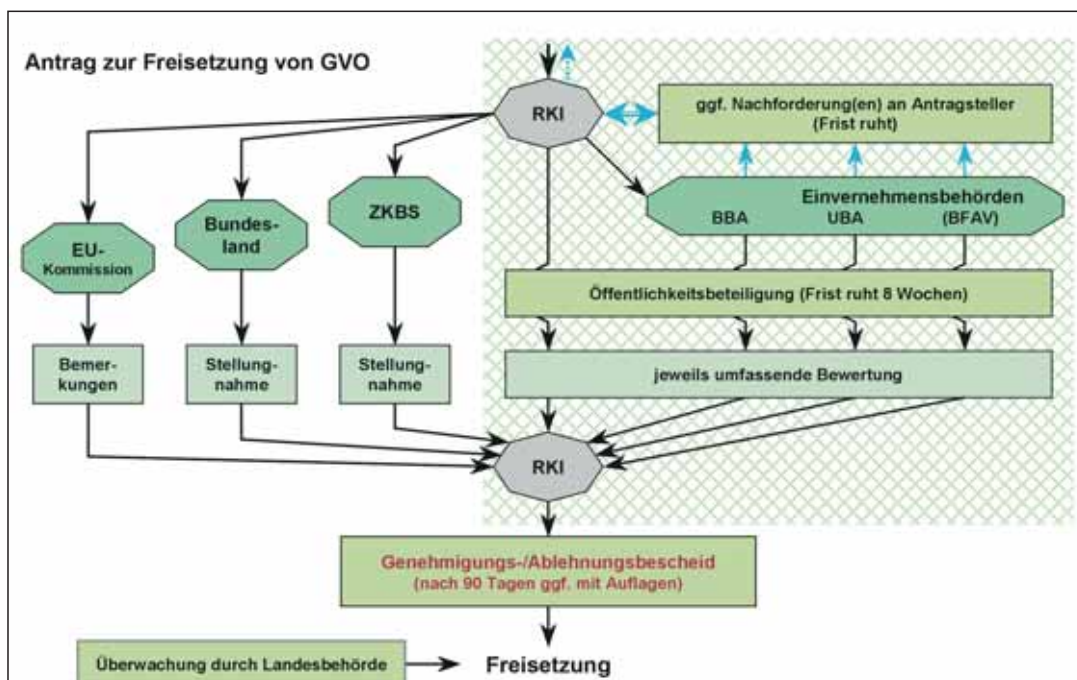


Abb. 1
Ablauf des Genehmigungsverfahrens zur Freisetzung gentechnisch veränderter Pflanzen

Koordinator	Thema
Dr. J. Schiemann, BBA Braunschweig	Gezielte Übertragung minimierter Transgensequenzen mit optimierter Funktion
Dr. A. Dietz-Pfeilstetter, BBA Braunschweig	Potentielle Auswirkungen des Anbaus von transgenem Raps
Dr. B. Breckling, UFT Uni Bremen	GenEERA – Generische Erfassungs- und Extrapolationsmethoden der Raps-Ausbreitung
Dr. B. Hommel, BBA Kleinmachnow	Im Kohlenhydratmetabolismus gentechnisch veränderte Kartoffellinien im Freisetzungversuch
Prof. Dr. I. Schuphan, RWTH Aachen	Sicherheitsforschung und Monitoringmethoden zum Anbau von Bt-Mais
Dr. M. Fladung, BFH Hamburg	Spezifische Umweltwirkungen transgener Gehölze
Dr. J. Schiemann, BBA Braunschweig	Methodenentwicklung für ein anbaubegleitendes Monitoring von GVP im Agrarökosystem
Dr. K. Smalla, BBA Braunschweig	Querschnittsverbund: Methoden zur Untersuchung von Mikrobengemeinschaften für das anbaubegleitende Monitoring von transgenen Pflanzen
Dr. K. Sinemus, Genius GmbH Darmstadt	Kommunikationsmanagement in der Biologischen Sicherheitsforschung

*Tab. 1
Im Rahmen des
BMBF-Förderkonzepts
„Sicherheitsforschung und
Monitoring“ geförderte
Verbundvorhaben.*

tären Forschung, des IME Schmallenberg der Fraunhofer-Gesellschaft sowie der Europäischen Akademie für Umwelt und Wirtschaft Lüneburg an. Ein Vertreter des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) nimmt an den Sitzungen teil. Zielsetzung der Arbeitsgruppe ist es, ein tragfähiges Konzept für die Erfassung der Wirkungen von GVP auf das Agrarökosystem im Rahmen des anbaubegleitenden Monitoring zu entwerfen. Es sind sowohl Parameter, Erfassungsmethoden und Bewertungskriterien als auch Zuständigkeiten für das Monitoring zu definieren. Besondere Anforderungen an die Methodik stellt das Erfassen langfristiger, indirekter Veränderungen aufgrund der Wirkung von GVP. Hierbei kommt es besonders auf die Vernetzung verschiedener Informationsträger (Behörden, Verbände etc.) an⁸.

Biologische Sicherheitsforschung

Die Mehrheit der deutschen Bevölkerung bejaht den Einsatz der Bio- und Gentechnologie in der Grundlagenforschung und in der Medizin. Sie erwartet gleichzeitig vom Staat Gefahrenabwehr und Risikovorsorge, wo dies im Einzelfall erforderlich ist⁹. Entwicklung und Anwendung der Gentechnik in der Landwirtschaft und Nahrungsmittelherstellung werfen Fragen nach Auswirkungen auf Mensch und Umwelt auf. In ihrer

Koalitionsvereinbarung vom 20. 10. 1998 weist die Bundesregierung ausdrücklich auf die besondere Bedeutung der biologischen Sicherheitsforschung hin. Eine sachgerechte, vorurteilsfreie Bewertung der Chancen und Risiken gentechnischer Verfahren und Produkte für Mensch und Umwelt ist nur auf der Basis fundierter und umfassender wissenschaftlicher Untersuchungen möglich. So hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) bereits 1999 die Forschungsförderung in diesem Bereich von 9,5 Mio auf 11 Mio DM und 2001 auf 16,5 Mio DM erhöht. Auf der Grundlage des BMBF-Förderkonzeptes „Sicherheitsforschung und Monitoring“ werden seit Mitte 2001 neun Verbundvorhaben gefördert (Tabelle 1).

Die Ergebnisse der biologischen Sicherheitsforschung dienen als wichtige Grundlage für die Tätigkeit von Genehmigungs- und Vollzugsbehörden und sind von großer Bedeutung für eine angemessene und ausgewogene öffentliche Diskussion über die Anwendung der Gentechnik in der Landwirtschaft und Nahrungsmittelherstellung. Das BMBF fördert das Projekt „Kommunikationsmanagement in der biologischen Sicherheitsforschung“, das bisherige und zukünftige Ergebnisse der biologischen Sicherheitsforschung auf dem Gebiet der „Grünen Gentechnik“ in Richtung Politik, Verwaltung und Öffentlichkeit vermittelt und die Transparenz sowie Zu-

gänglichkeit von Daten und Informationen auf diesem Gebiet sicherstellt. Damit wird ein wichtiger Beitrag zur schnellen Umsetzung der Forschungsergebnisse in der politischen Praxis, zur Transparenz der Ergebnisse für die breite Öffentlichkeit und zur Versachlichung der öffentlichen Diskussion auf diesem Gebiet geleistet.

DFG-Stellungnahme Gentechnik und Lebensmittel

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) hat eine Stellungnahme zum Themenkreis Gentechnik und Lebensmittel erarbeitet¹⁰. Die Senatskommission für Grundsatzfragen der Genforschung äußert sich zu Zielen und Anwendungen der Gentechnik in der Landwirtschaft, betrachtet die denkbaren Risiken durch den Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen sowie durch den Verzehr gentechnisch veränderter Lebensmittel und gibt Hinweise auf die rechtlichen Sicherheitsvorkehrungen zum vorbeugenden Verbraucherschutz. Die Stellungnahme macht deutlich, daß gentechnisch veränderte Pflanzen mit verbesserter Widerstandsfähigkeit gegen Schädlinge und Krankheiten und qualitativ hochwertigen Inhaltsstoffen einen wichtigen Beitrag zu einer nachhaltigen Landwirtschaft leisten können. Die DFG empfiehlt die Förderung der verantwortungsvollen Entwicklung der Gentechnik in der Lebensmittelwirtschaft. Es wird betont, daß die Gentechnik keinen Widerspruch zu einer neuen Agrarpolitik darstellt, die sich stärker als bisher an Qualitätsmerkmalen denn an Mengenbetrachtungen orientiert.

Einige Schlußfolgerungen und Empfehlungen der Senatskommission:

- Die verantwortungsvolle Entwicklung der Gentechnik in der Pflanzenzüchtung und der lebensmittelbezogenen Mikrobiologie ist zum Wohle von Mensch und Umwelt mit Nachdruck voranzutreiben.
- Für die Überprüfung der gesundheitlichen Unbedenklichkeit von gentechnisch veränderten Nutzpflanzen oder Lebensmitteln haben sich die Regeln und Vorschriften des Gentechnik- und Lebensmittelrechts weitgehend bewährt.
- Freilandversuche mit transgenen Pflanzen bedürfen in der technischen Durchführung keiner Änderung. Die bisherige Sicherheitsforschung ist durch eine anbaubegleitende ökologische Forschung zu erweitern.
- Zur Sicherung der Welternährung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen ist die Entwicklung intensiver und umweltverträglicher Produktionsverfahren notwendig, wobei das Prinzip der nachhaltigen Entwicklung in der Land- und Lebensmittelwirtschaft zu beachten ist.
- Da Hochtechnologien die weltwirtschaftliche Entwicklung zunehmend bestimmen, sollten

die Industrieländer und die Entwicklungsländer die ihnen im Rahmen der Konvention über biologische Vielfalt vorgegebenen Möglichkeiten nutzen und an dieser Entwicklung teilhaben.

- Der Einsatz der Gentechnik zum Wohle von Mensch und Umwelt setzt die Zustimmung einer breiten Öffentlichkeit voraus.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Joachim Schiemann
Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA)
Institut für Pflanzenvirologie, Mikrobiologie und biologische Sicherheit
Messeweg 11/12
38104 Braunschweig

Anmerkungen

- 1 Aktuelle statistische Daten über Freisetzung und Inverkehrbringen gentechnisch veränderter Organismen in den USA und Europa können dem INTERNET-Angebot der BBA: <http://www.bba.de/gentech/gentech.htm> entnommen werden.
- 2 C. James: Global Review of Commercialized Transgenic Crops (2001) ISAAA Briefs No. 24.
- 3 C. Kessler and I. Economidis (Eds): EC-sponsored Research on Safety of Genetically Modified Organisms, European Communities 2001; online erhältlich unter: <http://europa.eu.int/comm/research/quality-of-life/gmo/>
- 4 Tätigkeitsbericht der ZKBS im Bundesgesundheitsblatt, 2001, 44:929-941
- 5 Europäische und nationale Regelungen für gentechnisch veränderte Organismen: <http://www.bba.de/gentech/> ; <http://www.bba.de/gentech/de00010038.pdf>
- 6 Von der Generaldirektion Umwelt wurde am 8. 11. 2001 ein erster Entwurf zur konkreten Ausgestaltung des in der Freisetzungsrichtlinie geforderten Monitoring vorgelegt: Draft Guidance note to supplement the general principles to be followed to design the monitoring plan referred to in Article 13(2), 19(3) and 20 as outlined in Annex VII of Directive 2001/18/EC on the deliberate release into the environment of genetically modified organisms and repealing Directive 90/220/EEC.
- 7 Opinion of the Scientific Committee on Plants concerning the adventitious presence of GM seeds in conventional seeds; im Internet unter: http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/scp/out93_gmo_en.pdf.
- 8 Weiterführende Informationen zum Monitoring gentechnisch veränderter Pflanzen können dem INTERNET-Angebot der BBA (<http://www.bba.de/abm-gvp/abm-start.htm>) entnommen werden.
- 9 UBA-Texte 60/01, August 2001
- 10 Gentechnik und Lebensmittel, Stellungnahme der Senatskommission für Grundsatzfragen der Genforschung vom 24. 1. 2001, Mitteilung 3, Wiley-VCH Verlag, Weinheim 2001.

Zukunftsperspektiven der Grünen Gentechnik aus der Sicht eines Pflanzenzüchtungsunternehmens

Günter Strittmatter

Die öffentliche Debatte über die Grüne Gentechnik ist gegenwärtig durch Unsicherheit und mangelnde Bereitschaft zur sachlichen Auseinandersetzung über den Nutzen und die Grenzen der Gentechnik geprägt. Dies führt dazu, daß Entscheidungsprozesse nur sehr langsam ablaufen und verbindliche, praktikable Rahmenbedingungen, innerhalb derer Wirtschaftsunternehmen Produkte der Grünen Gentechnik entwickeln und auf den europäischen Markt bringen können, bis heute nicht vorliegen. Obwohl jährlich beträchtliche öffentliche Fördermittel in die Grundlagenforschung fließen und gentechnische Verfahren heute aus den Pflanzenwissenschaften nicht mehr wegzudenken sind, steht die Vermarktung gentechnisch optimierter Pflanzen und deren Produkte in Europa erst am Anfang. Hier soll versucht werden, aus Sicht der praktischen Pflanzenzüchtung die wesentlichen Parameter zu beschreiben, welche den zukünftigen Erfolg der Grünen Gentechnik in der Praxis maßgeblich beeinflussen werden.

Rahmenbedingungen

Zunächst ist es erforderlich, die Grüne Gentechnik in das Gesamtbild der Grünen Biotechnologie einzuordnen. Biotechnologie in der Pflanzenzüchtung umfaßt eine Reihe verschiedener Techniken, insbesondere Zell- und Gewebekulturtechnologie, Molekulare Markertechnologie, Genomforschung und, als Teilaspekt, auch die Gentechnik. Zur Beschleunigung des Zuchtfortschrittes gewinnt dieses Methodenspektrum zunehmend an Bedeutung, wobei Zell- und Gewebekulturarbeiten, Markertechnologie und die Genomanalyse nicht oder nur wenig in der öffentlichen Kritik stehen. Für diese drei Technologien kann eine günstige Anwendungsprognose in der Pflanzenzüchtung gestellt werden.

Eine vergleichbar eindeutige Aussage ist für die Grüne Gentechnik – womit insbesondere die Erzeugung neuer Merkmale durch Gentransfer gemeint ist – derzeit nicht möglich. Das züchterische Potential der Grünen Gentechnik liegt darin, Gene auch über Artgrenzen hinweg verfügbar zu machen und eine gezieltere Neukombination von gewünschten Genen zu erreichen. Die etablierten Züchtungsprozesse werden nicht verändert, sondern lediglich um diese Möglichkeiten erweitert. Bekannte Zuchtziele wie Resistenzen können schneller erreicht, Pflanzen mit völlig neuen Eigenschaften können erstellt werden, z.B. solche mit Anreicherung neuer Inhaltsstoffe.

Parameter für Zukunftschancen der Grünen Gentechnik

Die zukünftige Nutzung dieses Potentials hängt wesentlich von vier eng miteinander verknüpften Faktoren ab: den regulatorischen Vorgaben, der

ökonomischen Leistungsfähigkeit der Produkte, der generellen öffentlichen Akzeptanz der Technologie und dem weiteren technischen Fortschritt.

Regulatorische Vorgaben

Für jeden Einzelschritt gentechnischer Arbeit, von der Genisolierung über Transformation, Sortenentwicklung und Vermarktung von Saatgut existieren umfangreiche regulatorische Vorgaben. Die Züchtungsunternehmen betreiben einen hohen Aufwand, um die komplizierten Verfahren zu handhaben und in dem eng gesteckten Rahmen gentechnisch optimierte Produkte herzustellen. Für eine Vielzahl transgener Events, die insbesondere zu Herbizidtoleranz, Insektenresistenz oder männlicher Sterilität führen, konnte eine Genehmigung zur Inverkehrbringung nach Gentechnikgesetz erreicht werden, und für eine noch größere Anzahl ist die Zulassung beantragt. Trotzdem ist die Vermarktung gentechnisch optimierter Produkte in Europa bisher nicht möglich, verursacht durch politische Blockaden auf verschiedenen Ebenen. Nur bei Abbau dieser Blockadepolitik durch sachliche Auseinandersetzung mit Nutzen und Grenzen hat die Grüne Gentechnik in Europa eine Chance.

Drei neue EU-Richtlinien werden die Rahmenbedingungen zur Entwicklung und Nutzung gentechnischer Ansätze in der Pflanzenzüchtung verändern:

- Richtlinie zur Freisetzung und Inverkehrbringung von gentechnisch verbesserten Pflanzen,
- Richtlinie zur Kennzeichnung und Rückverfolgbarkeit von GVOs und daraus erzeugten Produkten,
- „Patentrichtlinie“.



Die neue Richtlinie zur Freisetzung und Inverkehrbringung von gentechnisch verbesserten Pflanzen bringt mehrere Vorgaben mit sich, von denen eher eine Erschwerung als eine Förderung der Anwendung von Gentechnik in der Pflanzenzüchtung zu erwarten sind. Die Folgen der neuen „Kennzeichnungsrichtlinie“ sind gegenwärtig schwer abzuschätzen. Bereits heute läßt sich aber vorhersagen, daß zumindest die angestrebte Kennzeichnung gemäß Produktionsprozess zu einer signifikanten Veränderung der gesamten Kennzeichnungspraxis in der Lebensmittelindustrie führen wird. Inwiefern dies die Transparenz erhöhen und den Einzug der Grünen Gentechnik in die landwirtschaftliche Praxis beeinflussen wird, läßt sich noch nicht beurteilen.

Die in der Phase der nationalen Umsetzung befindliche „Patentrichtlinie“ respektiert weitgehend das Nebeneinander von Sortenschutz und Patentschutz. In ihrer gegenwärtigen Form wird sie die Entwicklung und Anwendung gentechnischer Verfahren auch in der Pflanzenzüchtung voranbringen.

Ökonomische Leistungsfähigkeit

Die ökonomische Leistungsfähigkeit von gentechnisch verbesserten Pflanzen am Markt kann bislang lediglich anhand der Entwicklungen in USA fundiert beurteilt werden. Die wichtigsten Pflanzenarten sind dabei Soja, Baumwolle, Mais und Raps, die Merkmale wie Herbizidtoleranz, Insektenresistenz und männliche Sterilität aufweisen. Für diese Pflanzenarten und Merkmale stellt die Grüne Gentechnik bereits heute eine Erfolgsgeschichte dar: die Landwirtschaft entwickelt eine weiter steigende Nachfrage und auch

der Verbraucher akzeptiert den gentechnischen Hintergrund von Produkten, die aus GVO-Sorten hergestellt wurden. Zumindest für die USA ist mit einer weiteren Kommerzialisierung gentechnisch optimierter Pflanzen zu rechnen, der Umfang wird abhängig sein von den neuen Merkmalen und dem Nutzen, den diese für Landwirt, Verarbeitende Industrie und Verbraucher mitbringen.

Generelle öffentliche Akzeptanz

Im Gegensatz zu den USA lehnen in Europa weite Bevölkerungskreise die Grüne Gentechnik prinzipiell ab, kurzfristig ist eine Änderung dieser Haltung nicht zu erwarten. Mittelfristig wird es für die Akzeptanz von GVO-Produkten in Europa entscheidend sein, daß neue Produkte mit leicht ersichtlichen, plausiblen Vorteilen dem Verbraucher angeboten werden. Weiterhin muß beim Verbraucher ein grundlegendes Vertrauen in innovative Verfahren, die neue technologische Erkenntnisse nutzen, zurückgewonnen werden. Dies muß auch einen sensiblen Umgang mit den kulturellen und ethischen Grundprinzipien bei der Nutzung von Natur (hier der Pflanzen) mit einschließen.

Technologieentwicklung

Zur Beurteilung des technologischen Potentials wird einerseits der Erkenntnisfortschritt in der Wissenschaftsgemeinschaft herangezogen, andererseits aber auch die Erfahrung, die in unserem Haus bei der Entwicklung und Überprüfung gentechnischer Ansätze gesammelt wurde. Vor allem das Verständnis der molekularen Prozesse



Abb. 2
Eine gesunde zwischen zwei Rizomania-geschädigten Rüben

bei der Pathogenabwehr und der komplexen Netzwerke bei der Regulierung von Biosynthesewegen ist in jüngster Zeit deutlich gewachsen. Auf dieser Grundlage eröffnen sich kurz- bis mittelfristig neue Möglichkeiten zur gentechnischen Verbesserung der Krankheitsresistenz von Pflanzen und der Synthese neuartiger Inhaltsstoffe mit verschiedenen Nutzungsperspektiven.

Unser Unternehmen verfolgt die Entwicklung gentechnischer Merkmale sowohl für Zuckerrüben als auch für Mais. Die Leistungsfähigkeit der Technologie konnte u.a. bei der Erzeugung von Rizomania-Resistenz demonstriert werden. Die Bedeutung der Rizomania-Krankheit für den Zuckerrüben-Anbau hat uns veranlaßt, in Ergänzung zu den konventionellen Züchtungsverfahren auch einen gentechnischen Ansatz zu verfolgen. Dabei wurde eine nahezu vollständige Inhibierung der Virusvermehrung erzielt, eine Eigenschaft, die konventionell gezüchtete tolerante Sorten nicht aufweisen. Die gentechnisch erzeugte Resistenz hat daher das Potential, die weitere Ausbreitung des Virus zu reduzieren. Gleichzeitig vermittelt das gentechnische Konzept auch eine alternative Resistenzquelle, die wichtig wird, sobald die bisherigen Resistenzen in den Wirtspflanzen im Verlauf der natürlichen Co-Evolution des Pathogens überwunden werden.

Wir arbeiten ferner an Projekten zur Erweiterung des Nutzungsspektrums einheimischer Nutzpflanzen, die durch konventionelle Züchtung nicht erreicht werden können. Durch kontrollierte Expression geeigneter Transgene sollen neue Synthesewege eröffnet und neue Produkte in Zuckerrüben synthetisiert werden. Als ein Beispiel kann die Synthese längererkettiger Polyfruktane vom Inulintyp genannt werden, die ein breites Anwendungspotenzial im Ernährungs- und Non-Food Bereich besitzen. Die natürlich von verschiedenen Pflanzenarten und Mikroorganismen produzierten Inuline sind entweder nicht wirtschaftlich nutzbar oder wegen ihrer chemischen Eigenschaften für die avisierten Anwendungen nicht geeignet. Die hohe Syntheseleistung der Zuckerrübe soll genutzt werden, um

durch gentechnische Verfahren optimierte Inuline wirtschaftlich zu produzieren.

Positionierung unseres Unternehmens

Zusammenfassend ist ein hohes und weiter steigendes technisches Potential der Grünen Gentechnik festzustellen. Wo gentechnisch verbesserte Pflanzen die Chance haben, ihre Leistungsfähigkeit in der Praxis zu beweisen, ist der Markterfolg innerhalb kurzer Zeit überzeugend. Zumindest in Europa existieren aber unklare, nicht kalkulierbare regulatorische Rahmenbedingungen und eine grundlegende Akzeptanz gentechnisch optimierter Produkte in der Bevölkerung ist bisher nicht gegeben.

Wie positionieren wir uns in dieser Situation? Gentechnische Ansätze werden auch weiterhin zum Methodenspektrum des Züchtungsprozesses gehören, um den Züchtungsfortschritt zu verbessern und im internationalen Vergleich wettbewerbsfähig zu bleiben. Es gilt aber auch gleichzeitig, Nutzen und Grenzen abzuwägen, alternative Wege zu prüfen und die Belange der Umwelt zu berücksichtigen. Eine Beteiligung an der öffentlichen Debatte über Nutzen und Risiken der Grünen Gentechnik wird als unerlässlich erachtet, um letztlich auch das notwendige Vertrauen der breiten Öffentlichkeit in die neue Technologie und in die Anwender der Technologie zu erreichen.

Gentechnisch verbesserte Pflanzen werden auch in Europa wirtschaftlichen Erfolg erzielen, sofern die technischen Fortschritte zu Produkten führen, die Vorteile auf allen Ebenen der Wertschöpfungskette bringen, und die Züchtungsbranche kalkulierbare und verlässliche Rahmenbedingungen vorfindet.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Günter Strittmatter
Leiter Forschung und Züchtung
der KWS Saat AG
Institut für Pflanzenzüchtung
Grimsehlstr. 31
37555 Einbeck

Umweltbiotechnologie: Eine Fachdisziplin im Wandel

Ulrich Stottmeister

Die Umweltbiotechnologie ist eine Fachdisziplin, deren Aufgabenfelder traditionsgemäß in der biologischen Abwasser-, Boden- und Abluftreinigung zu finden sind. Bewährte und breit angewendete Verfahren sind durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Natur- und Ingenieurwissenschaften entstanden. Eine Leistungssteigerung erfolgt durch die Einbeziehung neuer Technologien. Weiterhin zeichnet sich in der letzten Zeit eine Weiterentwicklung des Gesamtgebietes im Sinne einer „Biotechnologie für die Umwelt“ ab. Dazu ist zum einen zu zählen, daß sich natürliche Reinigungspotentiale zur Sanierung „in situ“ durch einfache technische Maßnahmen aktivieren lassen („enhanced natural attenuation“), zum anderen, daß neue technische Produktionsprozesse durch die Einbeziehung biotechnologischer Teilschritte das Entstehen von Umweltbelastungen vermeiden („Bioprävention“).

Die Biotechnologie (technische Biochemie, angewandte Mikrobiologie) ist die integrierte Anwendung des Wissens aus Biologie, Chemie und Verfahrenstechnik mit dem Ziel, Mikroorganismen; Pflanzen- und Tierzellen sowie deren Bestandteile bei technischen Verfahren und industriellen Produktionsprozessen einzusetzen. (Definition der Europäischen Föderation Biotechnologie EFB 1989).

In den vergangenen Jahren hat sich jedoch ein Bedeutungswandel vollzogen. Gentechnik wird häufig gleich Biotechnologie gesetzt. Gentechnische Methoden sind jedoch nur ein Teil des breiten Methodenspektrums der Biotechnologie. Weitere wichtige Teilgebiete beziehen die Biochemie und technische Chemie, die industrielle Mikrobiologie und die Technik der Zellkultur, die Verfahrenstechnik und die Aufarbeitungstechniken (downstream processing) mit ein.

Die etablierte Fachdisziplin „Umweltbiotechnologie“ mit den Hauptgebieten biologische Abwasser- und Boden- und Abluftreinigung vereinigt das Wissen aus der spezifischen Bioprozesstechnik, der angewandten Mikrobiologie, den angewandten Ingenieurwissenschaften (engl. „civil engineering“) mit dem auf die jeweilige Matrix (Wasser; Boden) ausgerichteten Wissen. Sie ist im wesentlichen auf die Mineralisierung durch Mikroorganismen, d.h. der Oxidation des Kohlenstoffs von organischen Last- und Schadstoffen bis zum Kohlendioxid bzw. der Beseitigung von anorganischen Verbindungen und Schwermetallen ausgerichtet.

Die klassische „Umweltbiotechnologie“ erfährt in den letzten Jahren ebenfalls eine Begriffserweiterung und ist in einem inhaltlichen Wandel begriffen. Heute können in dieses interdisziplinäre Gebiet die technisch unterstützten naturnahen Sanierungsverfahren mit einbezogen werden. Dafür stehen Begriffe wie „Ökotechniken“, „NRA-Prinzipien“ (Natürlicher Rückhalt und

Abbau), „enhanced natural attenuation“ oder „Bioremediation“.

Neu ist die Betrachtungsweise im Sinne einer „Biotechnologie für die Umwelt“, Prozesse und Verfahren des präventiven und prozeßintegrierten Umweltschutzes einzubeziehen. Aktuelle Förderprogramme im europäischen Rahmen und die internationalen Entwicklungstendenzen unterstreichen die Bedeutung dieser Entwicklung. So können bei der Produktion von Chemikalien, Pharmaka und Polymeren mit dem Ziel der Nachhaltigkeit durch biotechnologische Prozesse völlig neue Wege und neue Rohstoffe erschlossen werden.

Die folgenden Übersicht zeigt, daß

- traditionelle umweltbiotechnologischen Prozesse eine höhere Leistungsfähigkeit durch Einbeziehung innovativer Verfahrensschritte erreichen können,
- die Molekularbiologie neue Einblicke in natürliche Abbau- und Sicherungsprozesse von Altlasten eröffnet,
- mit technischen Mitteln unterstützte natürliche Abbauprozesse eine erstaunliche Leistungsfähigkeit bei der Sanierung von Altlasten zeigen,
- neue biotechnologische Verfahren umweltbelastende Prozesse ablösen können.

Das Gesamtgebiet von Sanierung und Vermeidung durch biotechnologische Prinzipien ist nicht mehr losgelöst von Aspekten der Soziologie und Regionalentwicklung, also „systemintegriert“ zu betrachten.

Neuere Aspekte der „traditionellen“ umweltbiotechnologischen Verfahren

Anhand eines aktuellen Beispiels wird gezeigt, wie bei der biologischen Bodeneinigung die Forderung der Praxis nach multivalenten und variablen Prozessen neue technische Entwicklungen bewirkt hat.

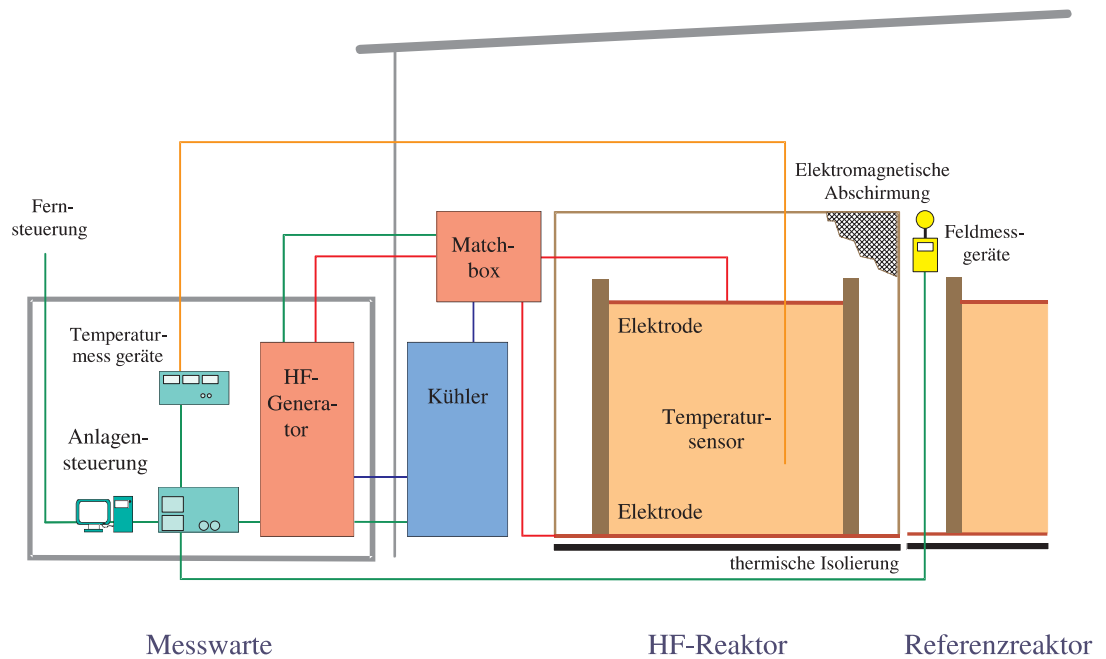


Abb. 1
Schema der Pilotanlage zur Anwendung von Hochfrequenz-Energie zur Unterstützung der biologischen Bodenreinigung

Bodenreinigung mit Hochfrequenz-Unterstützung
Sehr viel komplexer und komplizierter als im Falle der Reinigung kommunaler Abwässer ist der mikrobielle Abbau organischer Schadstoffe in Böden, die meist aus industriellen Tätigkeiten oder Unfällen stammen. Die Verteilung der im Wasser oft schwerlöslichen organischen Verbindungen (meist aromatische und aliphatische Kohlenwasserstoffe) in der Bodenmatrix ist inhomogen, es existieren häufig hoch konzentrierte „hot spots“. An Mineralpartikeln können die organischen Verbindungen sorbiert werden. Huminstoffe lagern sie in ihre dreidimensionalen Strukturen ein und verhindern so den Angriff der Mikroben, sie sind nicht bioverfügbar. Niedere Temperaturen im Boden vermindern auch die Aktivität der Mikroorganismen, deren Temperaturoptimum im Normalfall zwischen 30-35° C liegt. Der effektivste mikrobielle Abbau erfolgt unter aeroben Bedingungen. Eine ausreichende Belüftung bringt jedoch auch die Gefahr des Austritts flüchtiger organischer Bestandteile mit sich, die dann in der Abluft einer gesonderten Behandlung unterzogen werden müssen.

Um für viele Schadensfälle eine variable Methode nutzen zu können, wurde im Pilotmaßstab (10m³) die Möglichkeit erprobt, Radiowellen der definierten und für derartige technische Nutzung zugelassenen Frequenz von 13.56 MHz zur gezielten Erwärmung des Bodens zu nutzen (Roland et al. 1998, Roland et. al. 2001). Das ist prinzipiell sowohl in augebaggerten Böden im Mietenverfahren, als auch außerhalb der gesättigten Bodenzone „in situ“ möglich.

Abb. 1 zeigt das Schema dieser Anlage. Die in einem Hochfrequenz-Generator erzeugten Radiowellen werden über Elektroden („Antennen“)

in den Boden geleitet und erwärmen diesen. Abhängig vom Energieeintrag kann der Boden so aufgeheizt werden, daß flüchtige organische Stoffe verdampfen und rückgewonnen werden können. Es ist aber auch variabel möglich, den Boden nur so weit zu erwärmen, daß die für die schadstoffabbauenden Mikroorganismen optimale Temperatur konstant eingehalten wird. Zusätzlich muß für eine hohe Degradationsaktivität durch die Anwesenheit von Nährstoffen wie Phosphat und ausreichend Feuchtigkeit gesorgt werden.

Für den Winterbetrieb und in kalten Klimazonen ergibt sich durch die Anwendung dieses Kombinationsverfahrens eine Alternative zu den wirksamen, aber ungleich kostenintensiveren thermischen Bodenreinigungsverfahren (Boden-„Verbrennung“), die zudem einen biologisch toten Boden erzeugen, der wieder revitalisiert werden muß.

Technisch unterstützte naturnahe Verfahren

NRA, Natürlicher Rückhalt und Abbau, ENA „enhanced natural attenuation“.

Die Erfahrung zeigt, daß eine Reihe organischer Verbindungen mit toxischer Wirkung, nach einiger Zeit in Böden oder im Grundwasser analytisch nicht mehr nachzuweisen sind. Natürliche Vorgänge haben zum „Verschwinden“ geführt. Dabei ist der mikrobiologische Abbau vorherrschend, physikalische oder chemische Vorgänge wie Oxidationsprozesse und UV-Einstrahlung aber auch Verdünnungen können allein oder unterstützend wirken. Der natürliche Degradationsprozeß kann jedoch sehr langsam verlaufen oder

überhaupt nicht in Gang kommen. Hemmfaktoren zu erkennen und Wege aufzufinden zu ihrer Überwindung sowie ihr Beschleunigen – mit möglichst einfachen technischen Mitteln – ist das Anliegen dieses sehr komplexen neuen Arbeitsgebietes „ENA“. Zwischen einer reinen Beobachtung (controlled natural attenuation) und der Aktivierung und Steuerung des natürlichen Selbstreinigungspotentials sind fallspezifisch Entscheidungen zu treffen.

In Mitteldeutschland und in einigen osteuropäischen Ländern spielen durch die Kohlechemie entstandene Altlasten eine besondere Rolle. Hauptschadstoffe in kontaminierten Böden, im Grundwasser und teilweise in Deponien sind Phenolderivate und Teere. Die Phenole sind starke Zellgifte, können jedoch in Verdünnung von zahlreichen Bakterien abgebaut werden, die sich im Laufe der Zeit an die besonderen Bedingungen der Altlast angepaßt haben.

Der Gedanke liegt nahe, besonders leistungsfähige Bakterien mit Eignung zum Abbau hochkonzentrierter Phenolverbindungen im Labor zu züchten und zur Beschleunigung des Abbaus in die kontaminierte Umgebung einzubringen. Dieses „Animpfen“ („augmentation“) zeigte in der Praxis jedoch sehr widersprüchliche Resultate. Es war lange unklar, wo die leistungsgesteigerten Bakterien in der Natur verbleiben und ob sie in der Lage sind, die genetische Information über ihre Leistungsfähigkeit weiter zu reichen – sowohl innerhalb der eigenen Spezies als auch an andere Bakterien aus der gleichen Familie. Diese Frage konnte durch die Anwendung molekularbiologischer Methoden (PCR-Technik und DNA-Gensonden) vom Institut für Molekular- und Zellbiologie der Universität Tartu Estland beantwortet werden (Peters et al. 1997, Heinaru et al. 2000). In phenolkontaminierte Wässer, entstanden aus einer Havarie in einer Ölschiefergrube, wurden Bakterien eines Leistungsstammes eingepflanzt, (*Pseudomonas putida* PaW85 pheBA+). Es konnte eindeutig gezeigt werden, daß das für den Phenolabbau verantwortliche Genkonstrukt (pheBA-Operon) auf die natürlich im Wasser vorkommenden Bakterien übertragen wurde. Dieser Nachweis des horizontalen Gentransfers bedeutete, daß es prinzipiell jedem speziell an den Phenolabbau angepaßten Bakterium möglich sein sollte, seine besondere Eigenschaft an andere Bakterien weiterzureichen. Vereinfacht gesagt: wenige angepaßte „Spezialisten“ können auch andere Bakterien zur besonderen Leistung befähigen.

Sanierung einer Schwelwasserdeponie

Die Erkenntnisse der molekularbiologischen Grundlagenforschung unterstützten die Strategie zur Sanierung einer Schwelwasserdeponie (Stottmeister et al. 1999). Dieser „Phenolsee“ war

nach der politischen Wende eine der spektakulärsten Altlasten der ehemaligen DDR. Er galt als praktisch nicht sanierbar. Die in ein ehemaliges Tagebaurestloch eingeleiteten Starkwässer einer nahegelegenen Braunkohlenschwelerei konnten aufgrund geologischer Bedingungen nicht versickern und bildeten einen See (9 ha, 27 m Tiefe, 2 Mill. m³ Deponiewasser, Sichttiefe 3 cm, kein Sauerstoff nachweisbar). Die Einwohner eines nahegelegenen Dorfes wurden durch intensive Gerüche belästigt, Grundwasserleiter waren bereits kontaminiert (Wießner et al. 1993).

Hohe Konzentrationen (Tab. 1) und chemische Veränderungen der Schadstoffe durch Luftoxidation (Bildung von polymeren huminstoffähnlichen Verbindungen, Kopinke et al. 1995) hemmten offenbar den Abbau durch die vorhandenen Mikroorganismen, so daß über Jahrzehnte keine Veränderung in den Konzentrationen erfolgte.

In Laboruntersuchungen wurde gezeigt, daß die wenigen vorhandenen Bakterien durchaus ein großes Degradationspotential für die Hauptinhaltsstoffe des Deponiewassers besaßen (Becker et al. 1997). Solange die Hemmfaktoren nicht beseitigt wurden, konnten sie jedoch ihre Wirkung nicht entfalten. Die Hemmung ließ sich aufheben, indem die hauptsächlich dafür verantwortlichen dunkelgefärbten Polymerverbindungen mit einer Eisen-III-chloridlösung ausgeflockt und die für eine optimale Bakterienentwicklung notwendigen Bedingungen durch Neutralisation und Nährstoffzugabe geschaffen wurden. In mit Plastikfolien abgetrennten Deponiesegmenten (Enclosures, z.B. 25m Tiefe, 30 m Durchmesser) wurden *in situ*-Versuche durchgeführt, die der Entwicklung der Flockungstechniken dienten und den Abbau der gelösten, nicht geflockten organischen Verbindungen verfolgen ließen (Stottmeister et al. 1997). Der erwartete mikrobielle Abbau einschließlich der Ammonium-Elimination setzte tatsächlich ein und wurde im Verlauf von drei Jahren zunehmend intensiver (Stottmeister und Weißbrodt 2000). Diese positiven Versuchsergebnisse waren die Grundlage der Behandlung der gesamten Deponie.

Der Wasserkörper der Deponie verhielt sich ebenso wie das Wasser bei den Enclosure-Experimenten. Im Verlauf weniger Jahre ist durch ein Zusammenspiel von sauerstoffabhängigen biotischen (Mikrobiologie und Plankton) und abiotischen Prozessen eine Abreicherung der organischen Verbindungen erfolgt, während weitaus langsamere anaerobe mikrobielle Prozesse (Methanogenese und Eisen(III)-reduktion) im Tiefenbereich aktiv werden und die dort „abgelagerten“ organischen Flockungssedimente degradieren. Als Vorbild dienten die Verhältnisse im Schwarzen Meer. Dort findet sich unter einer ökologisch „gesunden“ sauerstoffhaltigen Oberflächenschicht in einer stabilen Schichtung eine anaerobe Tiefenschicht mit eigenen Lebensformen.

Verfahren zu Belastungen im Wasser und zum Schlammfall führt. So ergibt sich zusätzlich zum vorteilhaften Fermentationsschritt die günstige Möglichkeit der vereinfachten Aufarbeitung und Produktisolierung mit modernen Elektrodialyseverfahren mit Kreislaufführung.

Der größte Vorteil des neuen Hefeprozesses ist jedoch die große Flexibilität in der Substratnutzung (z.B. Fette, Öle, Kohlehydrate und Hydrolysate, aber auch Paraffine, Essigsäure, Alkohole u.a.). Damit können regionale Bedingungen berücksichtigt und Nebenprodukte anderer Industriezweige genutzt werden.

Abschließende Bemerkungen

Die zukünftige Entwicklung der „Biotechnologie für die Entlastung der Umwelt“ läßt erwarten, daß einerseits für „neue“ Umweltschadstoffe das biotechnologische Potential zu deren Beseitigung genutzt, zum anderen in technischen Prozessen der Präventionsgedanke gefördert wird. „Neue“ Schadstoffe sind z.B. hormonell wirkende Verbindungen aus Kosmetika und Medikamenten (endocrine disrupting chemicals), die sich in geringen Mengen unverändert oder als metabolische Umsetzungsprodukte in Böden und Abwässern nachweisen lassen. Neue Umweltbelastungen können aber auch von in breitem Maße eingesetzten Stoffen ausgehen, wie z.B. von dem als Treibstoffzusatz verwendeten Methyl-tertiärbutylether MtBE. Dieses kann in das Grundwasser gelangen und dessen Nutzung einschränken. Wirksamkeit der „Bioprävention“ läßt sich anhand neuer Technologien aufzeigen. Bereits heute ist durch die Anwendung von Enzymen in der Textilindustrie und Galvanotechnik eine wesentliche Umweltentlastung mit einer zusätzlichen Verbesserung der Ökonomie nachzuweisen (Anonym 1998).

Das ist nur durch eine komplexe „systemintegrierte“ Betrachtung zusammen mit anderen Fachdisziplinen möglich. Dabei ist oftmals Überzeugungsarbeit derart zu leisten, daß die Berücksichtigung des „Umweltgedankens“ keineswegs Entwicklungshemmung und Belastung der Ökonomie bedeutet, sondern mit Innovation und ökonomischen Vorteilen verbunden ist.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. habil. Ulrich Stottmeister
UFZ Umweltforschungszentrum
Leipzig-Halle GmbH
Sektion Sanierungsforschung
Permoserstraße 15
04318 Leipzig

Literatur

- Anonym 1998: Biotechnology for clean industrial products and processes. OECD Paris 1998, Organisation for Economic Cooperation and Development, OECD Publications Paris Cedex 16, France.
- Becker, P.M.; Wand, H.; Weißbrodt, E.; Kusch, P.; Stottmeister, U.: 1997; Distribution of contaminants and the selfpurifying potential for aromatic compounds in a carbonization waste water deposit, *Chemosphere*, Vol. 34, No. 4, S. 731-748.
- Heinaru, E.; Truu, J.; Stottmeister, U.; Heinaru, A.: 2000; Three types of phenol and p-cresol catabolism in phenol- and p-cresol-degrading bacteria isolated from river water continuously polluted with phenolic compounds, *FEMS Microbiology Ecology* 31, 195-205
- Kopinke, F.D.; Pörschmann, J.; Stottmeister, U.: 1995; Sorption of organic pollutants on anthropogenic humic matter, *Environmental science and technology*, Vol. 29, 4, S. 941-950
- Peters, M.; Heinaru, E.; Talpsep, E.; Wand, H.; Stottmeister, U.; Heinaru, A.; Nurk, A.: 1997; Acquisition of a Deliberately Introduced Phenol Degradation Operon, *PheBA*, by Different Indigenous *Pseudomonas* Species, *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 63, No. 12, p. 4899-4906
- Roland U.; Koch, M.; Kopinke, F.D.; Nüchter, U.; Mothes, J.; Schreiber, H.: 2001; Selektive Bodenerwärmung mittels Hochfrequenzenergie, *Umwelt Heft* 1-2,38-41
- Roland, U.; Remmler, M.; Kopinke F.D.; Becker, P.M.; Ondruschka, B.; Müller, S.: 1998; In situ Remediation Using Radio Frequency Heating. In „Contaminated Soil 98“ Vol.2, 599-607
- Proc. 6th international FZK/TNO Conference on Contaminated Soil, Thomas Telford London
- Stottmeister, U.; Hoppe, K., 1991: Organische Genußsäuren in: Lebensmittelbiotechnologie, Entwicklungen und Aspekte, Herausgeber H. Ruttloff, Akademie-Verlag Berlin
- Stottmeister, U.; Kusch, P.; Wießner, A.; Weißbrodt, E.; Martius, G.; Becker, P.M.; Eismann, F.; Kotte, H.: 1997; Altlastenprobleme der Carbochemie in Nordwestsachsen: Entstehung, Ausmaß und erste Sanierungskonzepte, in: Christa Knorr und Thomas von Schell, Mikrobieller Schadstoffabbau, S. 357-375
- Stottmeister, U.; Gläßer, W.; Klapper, H.; Weißbrodt, E.; Eccarius, B.; Kennedy, Chr.; Schultze, M.; Wendt-Potthoff, K.; Frömmichen, R.; Schreck, P.; Strauch, G.: 1999; Strategies for Remediation of Former Opencast Mining Areas in Eastern Germany; in: Environmental Impacts of Mining Activities, José M. Azcue, Springer-Verlag Berlin-Heidelberg, S. 263-296
- Stottmeister, U.; Weißbrodt, E.: „Enhanced Bioattenuation“ 2000; Anwendung natürlicher Prozesse zur Sanierung carbochemischer Altlasten; TerraTech, Zeitschrift für Altlasten und Bodenschutz, Heft 1, 45-48
- Wießner, A.; Kusch, P.; Weißbrodt, E.; Stottmeister, U.; Pörschmann J.; Kopinke, F.D. 1993; Charakterisierung des Wassers und des Sedimentes einer Braunkohle – Schwelwasserdeponie. *Wasser-Abwasser-Praxis* 6, 375-379

Seismizität im sächsischen Vogtland - Einsatz von CO₂-Sensoren für geowissenschaftliche Untersuchungen

Jens Heinicke, Ulrich Koch, Heiner Kaden, Wolfram Oelßner

Der Fortschritt der modernen Geowissenschaften wird durch eine ständige Verfeinerung der Instrumentierung zur Erfassung physikalisch-chemischer Zustände und Phänomenen des Stofftransports begleitet. Für Studien wässriger Systeme sind elektrochemische Techniken besonders geeignet, da sie selektiv, leicht automatisierbar und für In-Situ-Messungen geeignet sind. Geodynamische Phänomene im Oberen Vogtland und in Nordwestböhmen regten dazu an, spezielle elektrochemische Sonden zur CO₂-Messung einzusetzen und an Bedingungen von Tiefenmessungen anzupassen. Kohlendioxid ist an zahlreichen geochemischen Prozessen maßgeblich beteiligt. Die Wechselwirkung von Gesteinen mit wässrigen Medien, Verwitterungsprozesse, magmatische Prozesse, Wechselwirkungen von Organismen mit natürlichen Wässern, die Zusammensetzung natürlicher Gewässer selbst, generell die Grenzflächen Gestein/Wasser und Atmosphäre/Wasser bis hin zum gewaltigen Carbonatsystem in den Ozeanen werden durch die Beteiligung von gasförmigem und gelöstem Kohlendioxid bestimmt. Die genaue Kenntnis dieser Vorgänge erfordert ein analytisch-chemisches Verfahren, das vor Ort einsetzbar, robust und – für Messungen in Tiefenwässern – unter Kompensation unterschiedlicher hydrostatischer Drücke funktioniert.

Geophysikalisches Problem

Das Obere Vogtland und die angrenzende Region Nordwest-Böhmen sind bekannt für ihre zahlreichen Heilbäder. Diese liegen in einer ca. 40 km breiten Mineralwasserprovinz, die sich von Bad Elster im Norden bis nach Marienbad im Süden erstreckt. Sowohl aus balneologischer als auch aus geowissenschaftlicher Sicht ist diese Region interessant, denn hier treten bemerkenswerte, eng miteinander verknüpfte Phänomene und Prozesse auf. Neben einer weit verbreiteten CO₂-Entgasung, die an den Mineralquellen (Säuerlingen) und Mofetten (franz./ital. moufette = schädlicher Dunst) zu Tage tritt, ist diese Region seismisch, also geodynamisch, aktiv. Die Seismizität ist überwiegend durch Schwarmbeben gekennzeichnet, bei denen sich zahlreiche Mikrobeben um das stärkste Ereignis gruppieren.

Bei der letzten große Schwarmbebenseerie im Spätsommer/Herbst 2000 wurden über 5.000 Einzelereignisse registriert, wobei lokale Magnituden (M_L) bis $M_L = 3,7$ erreicht wurden. Als Ursache für das Auftreten von Schwarmbeben wird ein rezenter Magmatismus angesehen, der aus dem Bereich der unteren Kruste und des oberen Mantels durch die geodynamischen Prozesse initiiert wird. Gestützt wird diese Hypothese durch die Ergebnisse der Kontinentalen Tiefbohrung (KTB) bei Windischeschenbach, an der frei migrierende Fluide noch in Tiefen von bis zu 10 km erbohrt wurden. Damit schließt sich der Kreis, hat doch das aus den Mineralquellen und Mofetten austretende CO₂ seinen Ursprung in tiefsit-

zenden Magmenherden. Aufstiegsbahnen für die aus dem Krusten- und Mantelbereich nach oben migrierenden Fluide sind tiefreichende tektonische Störungszonen. Alte Lineamente, z.B. die N-S streichende Störung von Vonsov-Schöneck-Bergen-Ronneburg, sowie zahlreiche herzynisch, variszisch und E-W streichende tektonische Elemente bilden die Grundlage für das Auftreten von mehr als 300 Säuerlingen und Mofetten im gesamten Untersuchungsgebiet. Isotopenbestimmungen der ¹³C-Gehalte sowie anomal hohe ³He-Konzentrationen liefern anerkannte Indizien für die Genese der Fluide im magmatischen Milieu. Untersuchungen zum Verhalten der Fluidemission bieten somit die Möglichkeit, Aussagen zu geodynamischen Prozessen in dieser Region abzuleiten. Eine Arbeitsgruppe der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig erforscht seit über zehn Jahren das Emissionsverhalten von Fluiden im Vogtland/NW-Böhmen, speziell das der „Wettinquelle“ in Bad Brambach. Als wesentliches Ergebnis dieser Langzeituntersuchungen wurden anomale Gaseruptionen festgestellt. Sie treten in der Regel im Vorfeld von Schwarmbeben auf, die sich in einem separaten Epizentrum um Nový Kostel (östlich von Bad Brambach) konzentrieren. Hier deutet sich ein direkter Zusammenhang zwischen den geodynamischen Prozessen in der Erdkruste und der Fluidodynamik an. So wurde am 2. August 2000, drei Wochen vor der letzten starken Schwarmbebenseerie, eine markante Gaseruption registriert. Der Gasfluß in der Wettin-Quelle stieg kurzzeitig vom Normalniveau bei 1,2 l/min auf über das

Doppelte an (Abb. 1). Parallele Messungen mittels einer von der DFG geförderten Multiparameterstation konnten diese Anomalie auch bei anderen Parametern nachweisen, z.B. im hydrostatischen Druckverhalten in der Quelfassung. Die Erklärung dieser Prozesse – also die physikochemische Beschreibung des Anomalieverhaltens – hat zur Diskussion verschiedener Modellvorstellungen geführt. Derzeit erscheint die Hypothese am wahrscheinlichsten, nach der anomale Druckzustände im Magmenkörper den Fluidtransport zur Erdoberfläche verstärken. Diese könnten sich sowohl auf das Stabilitätsverhalten der unter Spannung stehenden Störungszonen wie auch auf die Fluidfreisetzung auswirken. Kurzzeitige Gaseruptionen lassen sich damit aber noch nicht erklären. Experimentelle Untersuchungen sollen zusätzliche Interpretationsmöglichkeiten erschließen.

Im Mai 2001 wurden an einer ungenutzten Mineralwasserbohrung nahe Bad Brambach Wasserproben für hydrogeochemische Untersuchungen aus verschiedenen Bereichen entnommen. Nach der Probenahme in 135 m Tiefe kam es zu einer plötzlichen Gaseruption, welche typisch für übersättigte Fluide ist. Ursache dafür waren Turbulenzen, die in der Wassersäule durch die Bewegung der Beprobungssonde entstanden, wodurch es zur Gasentlösung und schließlich zur Bildung großer, rasch aufsteigender Gasblasen kam. Die Eruption schleuderte nicht nur die in 140 m Tiefe installierte Drucksonde, sondern auch etwa die Hälfte des Wasserinhaltes der 200 m tiefen Bohrung heraus (Abb. 2). Dieses Phänomen, in der Fachsprache auch als „slug flow“ oder „rollover“ bezeichnet, könnte als mögliche Ursache für die registrierten Anomalien in der Wetzinquelle in Frage kommen.

Eine ungestörte Probenahme zur Bestimmung des CO_2 -Gehaltes in jener Tiefe erweist sich als kompliziert, da Probenahmegefäße Turbulenzen erzeugen. Zudem ist damit zu rechnen, daß die Proben – dem normalen Atmosphärendruck ausgesetzt – durch die Entgasung unbrauchbar sind. Als geeignete Untersuchungsmöglichkeit erweist sich der Einsatz einer CO_2 -Bohrlochsonde, mit welcher der Grad der CO_2 -Sättigung über Datenlogger im Bohrlochkopf aufgezeichnet werden kann. Aus diesem Grund wurde im Herbst 2001 damit begonnen, das CO_2 -Verhalten in der Tiefe mittels einer elektrochemischen, tiefentauglichen CO_2 -Sonde des Kurt-Schwabe-Instituts zu kontrollieren.

Die CO_2 -Tiefensonde

Übliche Verfahren zur Bestimmung der CO_2 -Konzentration in Gewässern unter Entnahme von Wasserproben für die analytische Bestimmung der Säure- und Basekapazität sind bei Messungen in größeren Wassertiefen nicht anwendbar,

da sich selbst bei großer experimenteller Sorgfalt nicht vermeiden läßt, daß im Umgang mit der Probe CO_2 entweicht. Für die Untersuchungen wurde daher ein neuentwickelter elektrochemischer CO_2 -Sensor eingesetzt, der wegen seiner geringen Abmessungen in das Bohrloch eingebracht werden kann. Der Vorteil des elektrochemischen CO_2 -Sensors besteht darin, daß er die ununterbrochene In-Situ-Bestimmung der CO_2 -Konzentration auch in großer Wassertiefe bis ca. 150 m ermöglicht. Er zeigt nur geringe Quempfindlichkeiten gegenüber anderen in den zu untersuchenden Wässern vorhandenen Gasen.

Abb. 3 zeigt den Sondenkopf der CO_2 -Tiefensonde, der an einem 150 m langen (hier nicht ab-

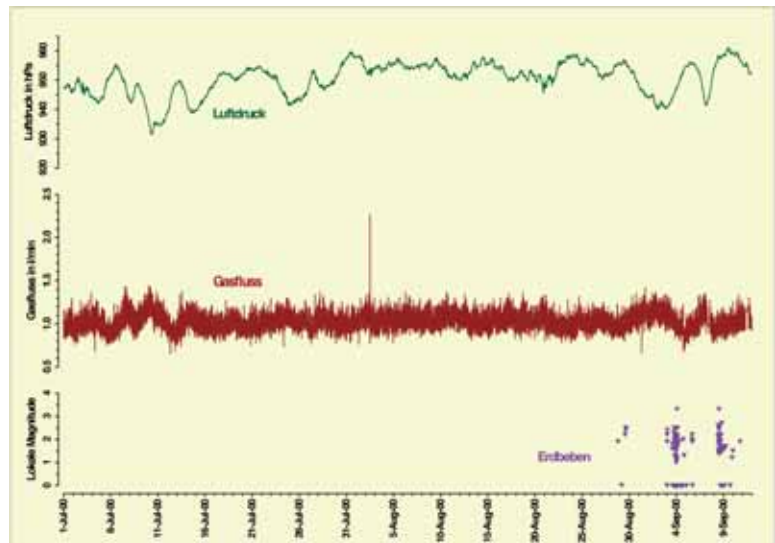


Abb. 1
Gasflußanomalie an der Wetzinquelle, Bad Brambach, einen Monat vor Beginn der Schwarmbebenserie vom Herbst 2000 im Vogtland/NW-Böhmen (Meßintervall 10 min)

Abb. 2
Eruption einer 200 m tiefen, CO_2 -übersättigten Mineralwasserbohrung im Kurpark von Bad Brambach nach Wasserprobenahme aus verschiedenen Tiefen



Abb. 3
Detailansicht des
Sondenkopfes mit
dem CO₂-Sensor und
der abgeschraubten
Schutzkappe

gebildeten) mehradrigen Kabel mit einem speziellen, auch unter hohem Wasserdruck dichten Subconn®-Steckverbinder angebracht ist. Er enthält außer dem elektrochemischen CO₂-Sensor einen Impedanzwandler, um das sehr hochohmige Ausgangssignal des Sensors über das lange Kabel übertragen zu können.

Am Kopf des Sensors befindet sich, wie aus Abb. 4 hervorgeht, eine dünne, für CO₂ permeable Polymermembran, durch die das Meßgas aus dem untersuchten Medium in das Sensorinnere gelangt. Die Sensorfunktion beruht auf der pH-Abhängigkeit des Gleichgewichtes der Komponenten CO₂, H₂CO₃, HCO₃⁻ und CO₃²⁻ des in dem Sensorelektrolyten vorhandenen Carbonatsystems. Änderungen der CO₂-Konzentration in der Meßlösung bewirken eine definierte, reproduzierbare Veränderung des pH-Wertes des Elektrolyts, die potentiometrisch gemessen wird.

Ergebnisse

Bad Brambach

Erwartungsgemäß baute sich die CO₂-Konzentration nach der Eruption vom Mai 2001 in der erwähnten Mineralwasserbohrung nahe Bad Brambach kontinuierlich auf. Bei der ersten Kontrollmessung am 22. September 2001 zeigte sich, daß die Konzentration auf 5,5 g/l in 140 m Tiefe angestiegen war. Weitere Messungen am 12. Dez. 2001 bzw. am 13. Febr. 2002 ergaben 12 g/l bzw. sogar 20-22 g/l. Der Meßfehler be-

trägt unter den gegebenen Bedingungen 5-10 %. Die Wassertemperatur lag bei 10,2 °C. Das Tiefenprofil vom 12. Dezember in Abb. 6 soll exemplarisch diesen CO₂-Anstieg mit der Tiefe verdeutlichen.

Sobald bei den geplanten Wiederholungsmessungen die Werte nicht mehr wesentlich ansteigen, kann man davon ausgehen, daß sich die CO₂-Gehalte am unteren Bohrlochende denen aus dem Kluftbereich nahezu angeglichen haben. Damit wird etwa im Frühsommer 2002 gerechnet. Dies wird auch der Zeitpunkt sein, in dem die Vorbereitungen für ein künstliches Eruptionsexperiment beginnen können. Durch einen provozierten schlagartigen Druckabfall im untersten Bereich der Bohrung soll eine Kluftöffnung simuliert werden. Das Ergebnis wird helfen, Erklärungen für das plötzliche Auftreten von Gaseruptionen vor Schwarmbeben zu finden.

Bad Reiboldsgrün

Im Jahre 1725 wurde bei Reiboldsgrün im Vogtland der Christianen-Eberhardinen-Brunnen geschürft. Das daraus gewonnene, stark mit Eisen(II)-salzen angereicherte Mineralwasser diente einst zu Trink- und Badekuren. Eine sehr geringe CO₂-Konzentration im Quellwasser ist durch die nördliche Lage außerhalb der typischen Entgasungsregion des Vogtlandes begründet. Gasegenetisch können gelöste CO₂-Gehalte von rund 20-30 mg/l mit der Nähe zum Kirchberger Granitmassiv begründet werden. Freies CO₂ ist kaum zu erkennen, Gasblasen treten selten auf.

Die markante Lage der Quelle auf N-S streichenden Störungszonen führte zu der geowissenschaftlichen Fragestellung, ob sich die geodynamischen Prozesse, welche sich nur ca. 12 km weiter südlich im Epizentralgebiet von Klingenthal abspielen, über das Störungssystem oder über die Gebirgsspannung bis nach Bad Reiboldsgrün durch Änderungen des Fluidregimes bemerkbar machen. Wegen des geringen freien Kohlendioxidanteils erweist sich hier der Einsatz einer Tauchsonde zur Insitu-Bestimmung des gelösten CO₂-Gehaltes im Quellwasser als besonders sinnvoll (Abb. 5).

Während des in Abb. 6 dargestellten Meßzeitraumes vom 15. bis 30. November 2001 sind deutliche Änderungen der CO₂-Konzentration zu beobachten, welche jedoch nicht mit meteorologischen Variationen, z. B. des für die Entgasung wichtigen Parameters Luftdruck, zu interpretieren sind. Ein relativ konstanter Wasserspiegel und geringfügige Schwankungen der Wassertemperatur lassen darauf schließen, daß die Änderungen in der CO₂-Konzentration auf eine diskontinuierliche Gaszufuhr aus der Tiefe zurückzuführen sind.

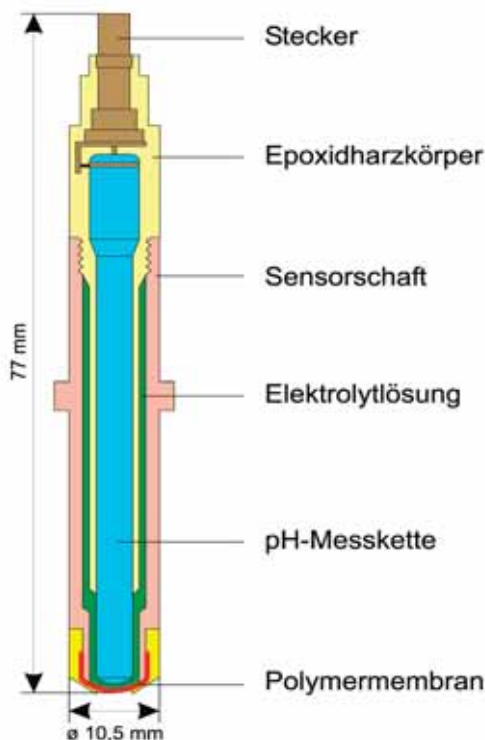


Abb. 4
Aufbau und Abmessungen des elektrochemischen CO₂-Sensors in schematischer Darstellung

Naturpark Soos (Tschechische Republik)

Nördlich von Františkovy Lázně (Franzensbad) befindet sich der Naturpark Soos nahe dem Dorf Nový Drahov. Diese mit Diatomeen-Ablagerungen aufgefüllte Moorlandschaft bietet durch ihre zahlreichen Mofetten ein spektakuläres Naturschauspiel. Die mit oberflächennahem Grundwasser gefüllten Becken und Mulden perlen durch die ständige Gaszufuhr ununterbrochen aus der Tiefe. Nur an wenigen Stellen sind Quellaustritte zu finden. Würde dieses Moor entwässert, bliebe nur der trockene CO₂-Gasaustritt aus der Tiefe.

Durch die zahlreichen sichtbaren Mofetten und eine hohe diffuse Gasfreisetzung ist das Sooser Moor eines der wesentlichen CO₂-Entgasungszentren der Region. Der Fluidstrom aus dem Bereich des oberen Erdmantels wird hier besonders deutlich, da neben Schwefelwasserstoff auch sehr hohe Helium-Isotopenverhältnisse gemessen wurden. Die relativierten ³He/⁴He-Verhältnisse (R/Ra) erreichen Werte bis zu 3,4. Das sind markante Signaturen einer starken Mantelkomponente. Im Vergleich dazu können an Gasen aktiver Vulkane Helium-Isotopenverhältnisse von maximal 8 erreicht werden.

Verglichen mit der bekannten „Kaiserquelle“, einer ca. 9 m tiefen artesischen Mineralwasserbohrung am Südrand des Parks, liegen die Mofetten im Zentralteil des Hochmoores relativ dicht beieinander. Nur wenige Meter trennen die natürlichen Gasaustritte voneinander, an manchen Stellen sind sie sogar kettenförmig aufgereiht (Abb. 7). Außergewöhnlich ist dabei, daß einzelne dieser Mofetten eine Erhöhung der Wassertemperatur aufweisen. Im Prinzip sind alle Mofetten oberhalb des Grundwasserstauhorizontes miteinander hydrologisch verbunden. Bis auf die künstlich erschlossene Kaiserquelle (T_w = 17,4 °C), die auf einen Thermalwasserzulauf im Untergrund hindeutet, gibt es keine sicht- und meßbaren Thermalwasserzutritte aus der Tiefe, die eine Erklärung für diese Unterschiede liefern könnten. Auch orientierende Zuflußmessungen ergaben kein übereinstimmendes Bild. Somit stellt sich die interessante Frage, warum mindestens acht der untersuchten Mofetten eine Temperaturerhöhung (7,5 bis 15,7 °C) zeigen, während die anderen benachbarten Gasaustritte Temperaturen entsprechend der Umgebungstemperatur aufweisen. Im Januar 2002 waren dies zum Beispiel Wassertemperaturen von 1,2 bis 3,3 °C bei Lufttemperaturen zwischen 5,5 und 6,2 °C.

Eine systematische Untersuchung der Mofettenwässer hinsichtlich Konzentration von gelöstem CO₂, pH-Wert, spezifischer Leitfähigkeit, Temperatur und Gasfluß ergab erste Hinweise auf mögliche Zusammenhänge. Da alle Mofetten den gleichen äußeren Bedingungen unterliegen, kann es sich bei den wärmeren Örtlichkeiten eventuell um eine stärkere Zufuhr von Wärmeenergie aus



Abb. 5
Meinsberger CO₂-Sonde an der Fassung der Mineralquelle von Bad Reiboldsgrün

dem Untergrund handeln. Bei den großflächigen Mofetten sollte aber vor allem von einer höheren Wärmeabgabe an die Außenluft ausgegangen werden. Höhere Temperaturen sind dabei in der Regel auch bei kleineren Mofetten zu finden. Interessanterweise wurde bei einigen Mofetten mit niedriger Temperatur und kleiner Wasserfläche eine relativ geringe CO₂-Konzentration gemessen: 1,7 g/l im Vergleich zu den anderen Mofetten mit 2,3-2,7 g/l. Dies kann daran liegen, daß an kleinen Mofetten mit besonders starker Entgasung (Turbulenz) eine intensive und rasche Durchmischung mit der kalten Außenluft erfolgt. Die Mineralisation der obersten Bodenschichten des Hochmoores ist relativ hoch. Deswegen ist es

Abb. 6
Zeitlicher Verlauf von Luftdruck, Wassertemperatur, hydrostatischem Druck und gelöstem CO₂ im November 2001 an der Mineralquelle Bad Reiboldsgrün (Meßintervall 60 min)

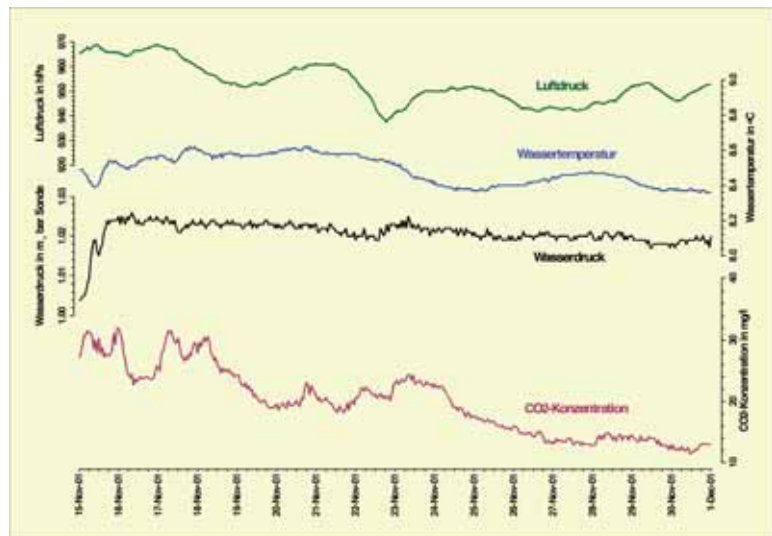




Abb. 7
Mofetten im Natur-
park Soos (CZ)

nicht möglich, anhand von Messungen der elektrischen Leitfähigkeit eventuell aus der Tiefe zuströmende Wässer von Mofetten zu identifizieren, da die meßbaren Effekte von den Eigenschaften der oberflächennahen Wässer überdeckt werden. Dagegen liefern die Messungen des gelösten CO_2 verwertbare Hinweise auf den Eintrag von CO_2 -haltigen Mineralwässern. Dies spiegelt sich auch an der artesischen Kaiserquelle wider, wo bei $17,4^\circ\text{C}$ Wassertemperatur mit $3,7\text{ g/l}$ der höchste Gehalt an gelöstem CO_2 während der Meßkampagne registriert wurde.

Anschriften der Verfasser:

Dr. Jens Heinicke
Dr. Ulrich Koch
Sächsische Akademie der Wissenschaften
zu Leipzig
Arbeitsstelle: Beiträge zur Umweltforschung mittels radiometrisch-geochemischer Methoden
08648 Bad Brambach

Prof. Dr. Heiner Kaden
Priv.-Doz. Dr. Wolfram Oelßner
Kurt-Schwabe-Institut für Mess- und
Sensortechnik e.V. Meinsberg
04720 Ziegra-Knobelsdorf

Literatur

- J. Thiede: Die modernen Erdwissenschaften – Geoforschung im Um- und Aufbruch. Akademie-Journal 1/1998, 2-3.
L. Sigg, W. Stumm: Aquatische Chemie. Zürich: Hochschulverlag an der ETH Zürich 1996.
D. Uhlmann, W. Horn: Hydrobiologie der Gewässer. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer 2001.
J. Heinicke, U. Koch, G. Martinelli: CO_2 and Radon measurements in the Vogtlandarea (Germany) – a contribution to earthquake prediction research. Geophys. Res. Letters 22 (1995), 771-774.
J. Heinicke, U. Koch: Slug flow – a possible explanation for hydro-geochemical earthquake precursors at Bad Brambach, Germany. Pure Appl. Geophys. 157 (2000), 1621-1641.
A. Spicák, J. Horálek: Possible role of fluids in the process of earthquake swarm generation in the West Bohemia/Vogtland seismoactive region. Tectonophysics 336 (2001) 1-4, 151-161.
S.M. Weise, K. Bräuer, H. Kämpf, G. Strauch, U. Koch: Transport of mantle volatiles through the crust traced by seismically released fluids: A natural experiment in the earthquake swarm area Vogtland-NW-Bohemia, Central Europe. Tectonophysics 336 (2001), 137-150.
W. Oelßner, J. Gerlach, H. Kaden: Electrochemical carbon dioxide sensor for application in fish farming. ACHEMA 2000, Abstracts of the lecture groups Automation Technology, Information Systems. Frankfurt am Main 2000, S. 67-69.

Nachrichten aus der Union der deutschen Akademien der Wissenschaften

Euro-CASE

Die Union der deutschen Akademien der Wissenschaften wird künftig von *Franz Pischinger* (Aachen, Mitglied der Nordrhein-Westfälischen Akademie der Wissenschaften) in Euro-CASE vertreten.

ALLEA

Vom 13. bis 15. März 2002 fand in Rom (Italien) die Generalversammlung des europäischen Akademiezusammenschlusses ALLEA statt. Die Union der deutschen Akademien der Wissenschaften wurde dort durch *Heinrich Nöth*, Delegierter der Union für ALLEA und Koordinator der internationalen Beziehungen der Union, vertreten. Im Rahmen der Generalversammlung wurde Deutschland und damit die Union in den geschäftsführenden Ausschuß (Steering Committee) gewählt. Damit ist die Union nach zweijähriger Unterbrechung wieder Mitglied des ALLEA-Leitungsgremiums.

InterAcademy Medical Panel (IAMP)

Der IAMP ist eine neue Initiative, die vom InterAcademy Panel (IAP) ins Leben gerufen wurde. Es handelt sich dabei um einen weltweiten Zusammenschluß von Akademien, die sich mit den Medizinwissenschaften befassen. Das erste Treffen dieses Gremiums fand vom 20.-22. März 2002 in Paris statt.

Amaldi-Konferenzen

Vom 27. bis 29. April 2002 hat die „XIV Internationale Amaldi-Konferenz“ zum Thema globale Sicherheit getagt. Die Tagung fand in Certosa di Pontignano (Siena, Italien) statt. Aus aktuellem Anlaß stand auch das Thema „Terrorismus“ auf der Tagesordnung. Von den deutschen Akademien nahmen fünf Teilnehmer an der Konferenz teil.

Akademienprogramm 2003 mit 3,85%

Steigerung verabschiedet

Das von Bund und Ländern gemeinsam geförderte Forschungsprogramm der deutschen Akademien der Wissenschaften („Akademienprogramm“) soll nach Empfehlung der Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung (BLK) im nächsten Jahr mit über 43 Millionen Euro gefördert werden. Dies bedeutet gegenüber 2002 eine Steigerung von 3,85%.

Das über lange Jahre unterfinanzierte Forschungsprogramm von Langzeitvorhaben in den Geisteswissenschaften (vor allem Editionen, Wörterbücher und Musikvorhaben) und von

Langzeitbeobachtungen in den Naturwissenschaften erhält mit der Steigerung des Finanzvolumens zum zweiten Mal in Folge die Möglichkeit zur Sanierung und Weiterentwicklung. Damit können die unmittelbaren und mittelbaren Tarifsteigerungen aufgefangen und in 26 Vorhaben zusätzliche Personal-oder Sachmittel gegeben werden. Dies ist zugleich ein entscheidender Schritt im Rahmen des Neustrukturierungskonzeptes der Zuwendungsgeber und der Union. Das gemeinsame Ziel ist dabei mittelfristig eine Erneuerung des Programms mit einem ausgewogenen Verhältnis von Projektbeendigungen und -neuaufnahmen bei gleichzeitiger Sanierung notleidender Vorhaben.

Sechs Vorhaben werden in diesem Jahr ihre Forschungen abschließen. Fünf neue Projekte werden 2003 in das Akademienprogramm aufgenommen, davon zwei der BBAW „*Census of the Antique works known in the Renaissance*“ und „*Berliner Klassik*“, die „*Edition der Predigten Friedrich Schleiermachers*“ (Göttingen), „*Frühwarnsysteme für globale Umweltveränderungen*“ (Mainz) sowie die „*Erforschung von jungen Sternen und Quasaren*“ (Düsseldorf). Aus der DFG-Förderung wird das „*Etymologische Wörterbuch des Althochdeutschen*“ (Leipzig) übernommen sowie die „*Edition des Altägyptischen Totenbuchs vom neuen Reich bis zur Römerzeit*“ (Düsseldorf). Die abschließende Entscheidung über ein weiteres DFG-Projekt steht noch aus. Damit wird das Akademienprogramm im nächsten Jahr voraussichtlich 162 Vorhaben an 210 Arbeitsstellen in ganz Deutschland umfassen.

Bärbel Lange Referentin für das Akademienprogramm

Zum 1. Januar 2002 hat Frau *Bärbel Lange* M.A. die Stelle als Referentin für das Akademienprogramm in der Geschäftsstelle angetreten und wird künftig an der inhaltlichen Koordinierung des Akademienprogramms mitwirken. Sie war mehrere Jahre als Buchhändlerin tätig, bevor sie an der Universität Mainz ein Studium der Literaturwissenschaften absolvierte. Bereits seit Sommer 2000 arbeitet Frau Lange in der Geschäftsstelle der Union und hat u.a. in der Redaktion des Akademie-Journals mitgearbeitet. (blange@mail.uni-mainz.de)

Geisteswissenschaft im Dialog im Kunstmuseum Bonn 2002

„Bergbau – Es geht nicht nur um die Kohle!“ war am 28. Februar der Titel des ersten Abends 2002 in der Reihe *Geisteswissenschaft im Dialog* im Kunstmuseum Bonn.

Beim Bergbau denkt man zunächst an die kontrovers diskutierte Stellung der deutschen Kohle. Der Steinkohlenbergbau aber ist, neben dem Bergbau auf Braunkohle, (Kali-) Salze, auf Steine, Erden und auf Industriemineralen nur ein Teil eines Wirtschaftszweiges, der die nachhaltige Rohstoffversorgung sichert. Eine störungsfreie Deckung des Rohstoffbedarfs ist notwendig für eine sichere Energieversorgung und zugleich Basis industrieller Aktivitäten.

Gesellschaftliche Entwicklung und Bergbau waren und sind eng miteinander verknüpft. Eine Kulturentwicklung der Menschheit ohne Bergbau ist undenkbar. Nachhaltige Entwicklung und Klimaschutz sind heute gesellschaftlich akzeptierte Leitziele. Das verändert auch die Rahmenbedingungen des Kohlebergbaus für die Unternehmen, die Beschäftigten und die Politik. Um eine nachhaltige Entwicklung auch in einer durch Globalisierung und Liberalisierung geprägten Welt sicherzustellen, muß die europäische Tradition des schonenden Umgangs mit Rohstoffen und das Gleichgewicht von sozialen, wirtschaftlichen und ökologischen Zielen gewahrt bleiben.

Auf diese Einsichten verständigten sich *Rainer Slotta*, Direktor des Deutschen Bergbaumuseums Bochum: „Perspektiven und gesellschaftliche Stellung des Bergbaus“, *Franz-Josef Wodopia*, Leiter der Abteilung Bergbau und Energiewirtschaft der IG Bergbau, Chemie, Energie, Hannover: „Bergbau und nachhaltige Rohstoffversorgung“ und *Peter Henricke*, Amtierender Präsident des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt, Energie GmbH, Wuppertal: „Kohle, Klima, nachhaltige Entwicklung im internationalen Kontext“.

Am 13. Juni 2002 widmete sich der zweite Abend dem Verhältnis von wissenschaftlicher Erkenntnis, öffentlicher Debatte und politischem Handeln in der Klimadebatte und diskutierte die Frage: „*Klimawandel - Was können wir dafür?*“

Es ist heute unumstritten, daß die globale Erwärmung das Ergebnis von natürlichen wie auch zivilisatorischen Ursachen ist. Vor diesem Hintergrund scheint aus naturwissenschaftlicher Sicht eine Art „Doppelstrategie“ sinnvoll, die einerseits die anthropogene Klimaexkursion auf ein tolerierbares Maß beschränkt und andererseits die Anpassung an die unvermeidlichen Umweltveränderungen (besonders in den Entwicklungsländern) befördert. Aus umweltökonomischer Sicht ist es geboten, nach den Folgen der Restriktionen einer Emissionsminderung zu fragen, genauso wie nach den Kosten eines aktiven, aber auch nach denen eines unterlassenen Umweltschutzes. Welche Schlußfolgerungen müssen aus den bisherigen Erfahrungen gezogen werden? Ein Fazit aus wirtschaftswissenschaftlicher Sicht lautet: Nicht nur eine einseitige Reduktionsstrategie, sondern auch eine möglichst gute Anpassung an den nicht mehr abwehrbaren Treibhauseffekt muß Gegenstand einer vernünftigen Klimapolitik sein.

Den offenen Dialog über die Klimadebatte und ihr gesellschaftliches Umfeld führten *Peter Weingart*, Direktor des Instituts für Wissenschafts- und Technikforschung an der Universität Bielefeld: „Alle reden vom Wetter – wir sprechen über den Klimawandel. Verständigungsprobleme zwischen Wissenschaft und Gesellschaft“, *Hans Joachim Schellnhuber*, Direktor des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung, Potsdam: „Klimawandel – Die Eingangsprüfung für globale Umweltmanager“ und *Paul Klemmer*, Präsident des Rheinisch-Westfälischen Instituts für Wirtschaftsforschung, Essen: „Umweltökonomische Antworten“.

Der nächste Abend der Reihe findet am 24. Oktober 2002, 19.00 Uhr im Kunstmuseum Bonn statt. Zum Thema: „*Ein Garten der Natur? Grünbereiche in Stadt- und Landschaftsräumen*“ sprechen der Direktor des Botanischen Gartens, Bonn, *Wilhelm Barthlott*, der Direktor des Instituts für ökologische Raumentwicklung, Dresden, *Bernhard Müller* und der Sprecher des Sonderforschungsbereiches Erinnerungskulturen der Universität Giessen, *Günter Oesterle*. Weitere Informationen und Anmeldung unter: www.gidialog.de.

Geisteswissenschaft im Dialog im Wissenschaftssommer Bremen 2002

Als gemeinsamer Beitrag der Union und der Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried Wilhelm Leibniz (dem Interessenverband von 79 von Bund und Ländern gemeinsam geförderten Forschungs- und Serviceeinrichtungen für Forschung, Politik und Gesellschaft), Bonn, zum Wissenschaftssommer werden im August drei Diskussionsabende in Bremen stattfinden.

Gefördert wird die Diskussionsreihe *Geisteswissenschaft im Dialog* vom Bundesministerium für Bildung und Forschung. Die Vortragsabende mit Publikumsdiskussion finden jeweils um 20.00 Uhr im Konsul-Hackfeld-Haus statt.

23. August

„Bergbau – Es geht nicht nur um die Kohle“
Referenten: *Rainer Slotta*, Direktor des Deutschen Bergbau-Museums, Bochum und *Franz-Josef Wodopia*, Leiter der Abteilung Bergbau und Energiewirtschaft der IG Bergbau, Chemie, Energie, Hannover.

Themen: Geschichte und Perspektiven des Bergbaus, seine gesellschaftliche Stellung und Bedeutung für eine nachhaltige Rohstoffversorgung.

26. August

„Klimawandel – Was können wir dafür?“
Referenten: *Burghard W. Flemming*, Leiter der Forschungsstation Senckenberg am Meer, Wilhelmshaven, *Stefan Rahmstorf*, Professor für Physik der Ozeane, Potsdam-Instituts für Klima-

folgenforschung PIK, Potsdam und *Jörn Thiede*, Direktor des Alfred Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven.

Themen: Natürliche und zivilisatorische Ursachen der globalen Erwärmung, notwendige Beschränkung der Schadstoffemissionen und Anpassung an unvermeidliche Umweltveränderungen.

27. August

„Wie lernt der Mensch? – Lernen im Spannungsfeld von Hirnforschung und Erziehungswissenschaften“

Referenten: *Manfred Prenzel*, Geschäftsführender Direktor des Instituts für Pädagogik der Naturwissenschaften an der Universität Kiel, *Ekkehard Nuissl von Rein*, Direktor des deutschen Instituts für Erwachsenenbildung, Frankfurt a.M und *Henning Scheich*, Direktor des Leibniz-Instituts für Neurobiologie, Magdeburg.

Themen: Sozialer Hintergrund von Lernmechanismen im Gehirn, Lernprozesse aus erziehungswissenschaftlicher Sicht und Perspektiven der Lernforschung.

Infos unter: www.gidialog.de und www.wissenschaftssommer-2002.de

54. Frankfurter Buchmesse

Gemeinschaftsstand der Akademien

Vom 9.-14. Oktober 2002 werden die deutschen Akademien der Wissenschaften und die Deutsche Akademie der Naturforscher – Leopoldina, Halle, mit einem Gemeinschaftsstand in Halle 4.2 (Wissenschaft und Technik) auf der Frankfurter Buchmesse vertreten sein.

Vorgestellt werden die neuesten wissenschaftlichen Publikationen. Verschiedene Projekte werden zusätzlich auf CD-Rom präsentiert.

Am Freitag, den 11. Oktober 2002, findet um 17.00 Uhr der gemeinsame Empfang der Akademien am Stand statt. Alle Interessenten sind zum Besuch des Gemeinschaftsstandes herzlich eingeladen.

7. Symposion der deutschen Akademien der Wissenschaften in Berlin

Unter der Federführung der BBAW wird das nächste Interakademische Symposium „Zeithorizonte in der Wissenschaft“ am 31. Oktober und 1. November 2002 im Leibniz-Saal der BBAW stattfinden. Weitere Informationen und Anmeldung unter: Hartung@bbaw.de

Donnerstag, 31. Oktober 2002

15:00 Begrüßung und Einführung: *Dieter Simon*
Moderation: *Susan Neiman*

15:15 *Volker Gerhardt*: „Wissen geht über Epochen hinaus. Zur immanenten Fortschrittlichkeit des Erkennens“

Christoph Marksches: „Fortschritte, Rückschritte, Stagnation – Zu einer immanenten Problematik des Erkennens“ (Arbeitstitel)

16:15 *Alexandra M. Freund*: „Triviale Aktivitäten oder unerreichbarer Geniestreich – Zur Dynamik der Zeitperspektive im wissenschaftlichen Planen und Handeln“

17:30 *Rainer Maria Kiesow*: „Zeitnot des Rechts“ (Arbeitstitel)

20:00 *Kurt Flasch*: „Philosophie und Epochenbewußtsein“

Freitag, 1. November 2002

Moderation: *Alexandra M. Freund*

10:00 *Klaus Mainzer*: „Zeit in dynamischen Systemen. Von der Urzeit des Universums zur Computerzeit des Internets“

11:00 *Eva-Maria Engelen/Martin Korte*: „Zur Zeitdimension in der gegenwärtigen Biologie“

12:30 *Martin Quack*: „Zeit und Zeitumkehrsymmetrie in der molekularen Kinetik“

Moderation: *Volker Gerhardt*

14:30 *Henning Schmidgen*: „Über Materialität der Zeitverhältnisse in der lebenswissenschaftlichen Forschung des 19. Jahrhunderts“

16:00 *Dieter Simon*: „Ein erfolgreiches Langzeitvorhaben“

17:00 *Jürgen Mittelstraß*: „t for two oder: warum Zeit in Theorie und Lebenswelt nicht dasselbe ist“

Neuerscheinung: Mitgliederverszeichnis

Zum Jahresbeginn hat die Union eine aktualisierte Fassung des Gesamtverzeichnisses der Mitglieder der deutschen Akademien der Wissenschaften herausgegeben. Das Verzeichnis enthält einen kurzen Überblick über die deutschen Akademien der Wissenschaften, die alphabetische Nennung der ordentlichen und der korrespondierenden Akademiemitglieder sowie deren Zuordnung zu den Akademien und ihren Fachgebieten. Die Broschüre umfaßt 150 Seiten. Sie kann direkt von der Geschäftsstelle der Union (uaw@mail.uni-mainz.de) oder über den Buchhandel bezogen werden: ISBN 3-933 490-11-1, VP 7,00 EUR.

Akademie-Journal 2/2002

Das nächste Heft des Akademie-Journals, das im Winter erscheinen soll, wird dem Themenschwerpunkt „Rechtswissenschaft“ gewidmet sein. Die dafür vorgesehenen Beiträge liefern u.a.: *Jan Assmann, Albrecht Dihle, Josef Isensee, Günther Jakobs, Paul Kirchhof, Fritz Ossenbühl, Jan Schröder, Karl Stern, Michael Stolleis und Reinhold Zippelius.*

Nachrichten aus den Akademien

Bayerische Akademie der Wissenschaften

15. April 2002 – Rundgespräch: Über die Jagd. Kulturelle Aspekte und aktuelle Funktionen
Begleitend zum Rundgespräch der Kommission für Ökologie fand eine Sonderausstellung des Deutschen Jagd- und Fischereimuseums in der Vorbibliothek der BAdW statt.

13. Mai 2002 – Öffentlicher Vortrag
Als Teil der Sommervortragsreihe anlässlich des Internationalen Jahres der Berge und des Jahres der Geowissenschaften fand der öffentliche Vortrag von Prof. Dr. Herrmann Drewes, Direktor des Deutschen Geodätischen Forschungsinstitutes (DGFI): „Beobachtung des Systems Erde aus dem Weltraum“ statt.

5. Juni 2002 – Kolloquium: Lexikographie des Bayerischen
Von Schmellers Bayerischem Wörterbuch (Band I: 1827) zum neuen Bayerischen Wörterbuch der BAdW (Band I: 2002).

12. Juni 2002 – Öffentlicher Vortrag
Die von der Deutschen Mathematiker Vereinigung getragene 2. Gauß-Vorlesung: „Breaking naval Enigma at Bletchley Park and in Washington D.C. – and the lessons for today“ hielt *Ralph Erskine*, Newtonards, North Ireland, UK im Plenarsaal der Bayerischen Akademie der Wissenschaften.

24. Juni 2002 – Öffentlicher Vortrag
Vortrag von Dr.-Ing. *Gerd Boedecker*, Bayerische Kommission für Internationale Erdmessung. Thema: „Wozu Fluggravimetrie? Zur Erdschwerefeldbestimmung.“ Teil der Sommervortragsreihe. Sitzungssaal der Philosophisch-historischen Klasse, 1. Stock, 16 Uhr s.t.

3./4. August 2002 – Gletscher-Exkursion
Anlässlich des Internationalen Jahres der Berge organisiert die Kommission für Glaziologie eine Wanderung zur Pegelstation Vernagtbach im Ötztal/Österreich mit Besichtigung der Meßstation.

18. Oktober 2002 – Wissenschaftliches Rundgespräch
Zum Thema „Gebirge: Von der Naturlandschaft zur Kulturlandschaft“ (Arbeitstitel). Ein Gemeinschaftsprojekt der Philosophisch-historischen Klasse und der Mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse. Organisation: Wissenschaftliches Komitee Gebirgsforschung

19. Oktober 2002 – Münchener Wissenschaftstage
Die Kommissionen der BAdW präsentieren sich und ihre Arbeiten zum Thema 'Gebirge' innerhalb der Münchener Wissenschaftstage und in den Räumen der Akademie. Organisation: Wissenschaftliches Komitee Gebirgsforschung, wikogebirge@mail.uniwuerzburg.de

19. Oktober 2002 – Öffentliche Präsentation
Anlässlich des Internationalen Jahres der Berge stellen mehrere Kommissionen der BAdW und das Deutsche Geodätische Forschungsinstitut (DGFI) ihre Arbeiten zum Thema Gebirge in den Räumen der Akademie vor. Organisation: Wissenschaftliches Komitee Gebirgsforschung, wikogebirge@mail.uniwuerzburg.de

Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften

Das Plenum der Akademie hat mit Beschlüssen vom Juni und November 2001 die Umsetzung einer Verfassungsreform auf den Weg gebracht, die es der Akademie ermöglichen soll, das in ihr versammelte Potential an wissenschaftlicher Kompetenz, Initiative und Innovationskraft gezielter und befreit von Reibungsverlusten für die Erfüllung ihrer Aufgaben einzusetzen. Die von den Parlamenten von Berlin und Brandenburg verabschiedete Reformklausel zum Staatsvertrag über die Akademie gestattet es der Akademie, für den befristeten Zeitraum von drei Jahren von den Regelungen des Staatsvertrages abzuweichen und die reformierten Strukturen und Regelungen zu erproben. Seit dem 1. Dezember 2001 wird die Akademie nunmehr von folgenden Gremien getragen:

Die VERSAMMLUNG aller Akademiemitglieder – sie repräsentiert zugleich die Gelehrten-gesellschaft, wird vom Präsidenten geleitet und tritt bis auf Weiteres zweimal jährlich zusammen – trägt die Verantwortung für alle wesentlichen Personalangelegenheiten der Akademie: sie wählt den Präsidenten, den 1. Vizepräsidenten, die wissenschaftlichen Mitglieder im Vorstand und im Rat, bestätigt die Wahl neuer Mitglieder, der Sekretare der Klassen und ihrer Stellvertreter, des Vorsitzenden des Ausschusses für Akademievorhaben und gleichzeitig 2. Vizepräsidenten. Sie entscheidet des weiteren über alle Satzungsfragen, über die Verleihung der Auszeichnungen der Akademie (Medaillen, Preise, Stipendien) und verabschiedet den Haushaltsplanentwurf der Akademie. Vor der Versammlung legt der Präsident Rechenschaft ab, von ihr wird er entlastet.

Als neues Gremium wurde der akademische RAT eingeführt. Der Rat bildet die institutionelle Mitte der Akademie. Im Mittelpunkt seiner Tätigkeit steht die wissenschaftliche Arbeit. Er tritt in gewisser Weise an die Stelle des bisherigen Konvents der interdisziplinären Arbeitsgruppen. Sein Aufgabenfeld ist jedoch weit umfassender. Er legt das Arbeitsprogramm der Akademie fest, entscheidet über die Bildung, Verlängerung und Beendigung von interdisziplinären Arbeitsgruppen und Langzeitvorhaben sowie über deren Organisation. Der Rat generiert – ebenso wie die Klassen – Vorschläge für die Zuwahl neuer Mitglieder. Er ist zugleich aber auch das Gremium, das, nachdem Klassen und Rat jeweils wechselseitig die Zuwahlsvorschläge mit ihrem Votum versehen haben, die eigentliche Wahl durchführt, die dann noch der Bestätigung durch die Versammlung bedarf. Der Rat entscheidet über die Auslobung von Preisen und Stipendien und berät den Haushalt in Vorbereitung auf die Verabschiedung in der Versammlung. Diesem Aufgabenprofil entsprechend setzt sich der Rat unter dem Vorsitz des Präsidenten zusammen aus den Mitgliedern der Vorstandes, fünfzehn wissenschaftlichen Mitgliedern, den Sprechern der interdisziplinären Arbeitsgruppen und Initiativen sowie drei aus dem Kreis der Vorsitzenden der Betreuungskommissionen für die Langzeitvorhaben gewählten Vertretern – der Vorsitzende des Ausschusses Akademievorhaben ist bereits durch seine Vorstandsmitgliedschaft im Rat. An seinen bis auf weiteres dreimal jährlich stattfindenden Sitzungen nehmen zwei von den wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern gewählte Vertreter mit beratender Stimme teil. Ebenfalls neu im Gremiengefüge ist der AUSSCHUSS AKADEMIEVORHABEN. Der Ausschuss konnte seine Arbeit bereits vor einem Jahr aufnehmen, da durch seine Bildung die Regelungen im Staatsvertrag nicht berührt wurden. Der Ausschuss Akademievorhaben unter dem Vorsitz des 2. Vizepräsidenten ist als klassenübergreifendes Gremium zum einen verantwortlich für die inhaltliche und organisatorische Betreuung der in der Trägerschaft der BBAW geführten Langzeitvorhaben, insbesondere der im Rahmen des Akademienprogramms von Bund und Ländern geförderten Projekte. Zum anderen obliegt ihm die Entscheidungsvorbereitung zur Einrichtung, Verlängerung und Beendigung von Langzeitvorhaben für den Rat. Dem Ausschuss gehören in seiner ersten Zusammensetzung fünf Vorsitzende von Betreuungskommissionen der Langzeitvorhaben und fünf Vertreter aller Klassen an. An seinen Sitzungen nimmt ein gewählter Vertreter der wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter beratend teil.

Die Gliederung der Akademie in die fünf alle Fächer abbildenden KLASSEN bleibt unverändert erhalten. Die Klassen repräsentieren die disziplinäre Kompetenz und Expertise der Akademie. In

ihnen wird der disziplinäre und disziplinenübergreifende Dialog in unterschiedlichsten Arbeitsformen gepflegt, zunehmend auch klassenübergreifende wissenschaftliche Arbeitsprogramme entwickelt. Aus den Klassen kommen unter disziplinären Exzellenzgesichtspunkten geprüfte Zuwahlsvorschläge.

Als Beratungs- und Unterstützungsorgan des Präsidenten wird auch fortan der VORSTAND fungieren, allerdings in deutlich veränderter Zusammensetzung. Gehörten ihm bislang unter dem Vorsitz des Präsidenten die fünf Klassensekretäre, der Vertreter des Konvents und der Generalsekretär (beratend) an – der Vizepräsident wurde gemäß Staatsvertrag aus diesem Kreis gewählt, so ist die Beratungsbasis nunmehr deutlich erweitert, die Kompetenz des Vorstandes somit erhöht worden. Neben dem Präsidenten, dem 1. und dem 2. Vizepräsidenten, den Klassensekretären und dem Generalsekretär (beratend) gehören dem Vorstand sieben von der Versammlung gewählte wissenschaftlichen Mitglieder an.

Einhergehend mit der veränderten Gremienstruktur wurde auch das Verfahren zur Wahl neuer Mitglieder in die Akademie reformiert. Stärker als bislang möglich soll auch das Zuwahlverfahren dem interdisziplinären Anspruch und dem Charakter der BBAW als Arbeitsakademie, in der die Mitglieder in disziplinenübergreifenden Arbeitsformen selbst aktiv forschend tätig sind, entsprechen. Die Wahl von Mitgliedern kann daher nicht allein unter dem Aspekt fachlicher Exzellenz erfolgen, vielmehr müssen auch Kandidaten mit besonderer Kompetenz an den Schnittstellen der Disziplinen und zur Gesellschaft bewußt gesucht werden. Vorschläge für die Zuwahl neuer Mitglieder werden daher wie bisher in den Klassen, künftig aber auch im Rat generiert. Im Unterschied zum bisherigen Verfahren werden die vor allem unter der disziplinären Perspektive gemachten Vorschläge der Klassen in erster Lesung vom Rat „begutachtet“ und umgekehrt prüft die jeweils zuständige Klasse die vom Rat unter interdisziplinären und auch akademiepolitischen Gesichtspunkten vorgelegten Kandidaten auf ihre disziplinäre Exzellenz. Erst danach kann die Wahl im Rat stattfinden. Der Wahl ordentlicher Mitglieder im Rat schließt sich ein Gespräch mit dem Präsidenten und dem zuständigen Sekretar an. Dieses Gespräch dient neben dem persönlichen Kennenlernen vor allem dem Ziel, die Möglichkeiten zur Wahrnehmung einer aktiven Mitgliedschaft zu erkunden und über das konkrete Engagement in wissenschaftlichen Projekten und anderen Arbeitsformen der Akademie zu beraten. Erst mit diesem Gesprächsergebnis wird die Wahl zur Bestätigung in der Versammlung vorgelegt.

Unionsbeschuß zum Griechischen Münzwerk

Das Präsidium der Union hat am 13. November 2001 zu den Verlängerungsanträgen der Akade-

mien Stellung genommen und beschlossen, diese den Akademien mit der Auflage zurückzugeben, eine Prioritätensetzung vorzunehmen. Hintergrund für diese Maßnahme war der hohe Anteil von Verlängerungen im Verhältnis zu Beendigungen und Neuvorhaben, der vom Ausschuß Forschungsförderung der Bund-Länder-Kommission (BLK) gerügt worden war. Die BBAW stimmte gegen diesen Beschluß und plädierte dafür, Innovationsüberlegungen nur für einen mittelfristigen Zeitraum (5-10 Jahre) anzustellen. Die Union schloß sich dieser Auffassung nicht an. Sie behielt sich eine eigene Prioritätensetzung für die Verlängerungsanträge der BBAW für den Fall vor, daß die BBAW keine Rangfolge für die von ihr beantragten Verlängerungen vorgeben würde. Auf der Sitzung des Präsidiums am 7. Dezember 2001 wurde gegen die Stimme der BBAW die Beendigung des „Griechischen Münzwerks“ zum 31. Dezember 2002 beschlossen. Der Ausschuß „Forschungsförderung“ der BLK ist am 29. Januar 2002 diesem Beschluß der Union mit dem Zusatz gefolgt, daß für das Jahr 2003 eine Auslauffinanzierung, die die BBAW sofort beantragt hat, gewährt wird. Die BBAW bedauert diese Entscheidung und wird ihre Bemühungen verstärken, für die Weiterführung des Vorhabens nach 2003 einen anderen Träger zu gewinnen.

Internationale Beziehungen

Im November 2001 unterzeichnete die BBAW einen Rahmenvertrag über eine zukünftige wissenschaftliche Zusammenarbeit mit der Malaysischen Akademie der Wissenschaften (Akademi Sains Malaysia, Kuala Lumpur).

Der Kontakt zu dieser 1995 gegründeten Akademie geht auf eine Initiative von *Hans-Joachim Freund* (Direktor des Fritz-Haber-Instituts der Max-Planck-Gesellschaft, Abteilung Chemische Physik; Mitglied der BBAW) zurück, der den Vertrag im Auftrag des Präsidenten der BBAW anlässlich einer Reise persönlich in der malaysischen Hauptstadt überbrachte und dort auch einer feierlichen Übergabe-Zeremonie beiwohnte. Das Berliner Fritz-Haber-Institut unterhält seinerseits bereits seit längerem enge Kontakte zu Institutionen und Wissenschaftlern in Malaysia. Ebenfalls unterzeichnet sind inzwischen bilaterale Rahmenverträge mit den Akademien der Wissenschaften in Estland (Eesti Teaduste Akadeemia, Tallinn) und Rußland (Moskau).

Akademiewoche an Brandenburger Schulen

Im vergangenen Jahr hat die BBAW gemeinsam mit dem Ministerium für Bildung, Jugend und Sport in Brandenburg eine im jährlichen Rhythmus stattfindende Akademiewoche ins Leben gerufen, in der Mitglieder und Mitarbeiter der Akademie Brandenburger Schulen besuchen. Für Schülerinnen und Schüler bietet sich die Mög-

lichkeit, in lebendigen Vorträgen die Faszination und Spannung von Wissenschaft vermittelt zu bekommen und Hemmschwellen abzubauen. Die Initiative fand in Schulen, Presse und Politik ein breites und durchweg äußerst positives Echo. In diesem Jahr fand die Akademiewoche vom 3. bis 7. Juni statt. Insgesamt wurden von Mitgliedern und Mitarbeitern 67 Vorträge angeboten.

Kollokationen im Wörterbuch – Wolfgang-Paul-Preis für Christiane Fellbaum

Die Alexander von Humboldt-Stiftung hat im Rahmen der „Zukunftsinitiative Hochschule“ des BMBF Anfang des Jahres das Wolfgang-Paul-Programm aus der Taufe gehoben. Das Programm will durch die Vergabe von Preisen die Internationalisierung der Spitzenforschung in Deutschland befördern. Für den Dreijahreszeitraum von 2001 bis 2003 konnten die Bewerber für ihre Forschungen bis zu 4,5 Millionen DM beantragen. Auf Initiative der Arbeitsgruppe Digitales Wörterbuch der deutschen Sprache des 20. Jahrhunderts (DWDS) hat sich die BBAW an diesem Nominierungsverfahren beteiligt. Der Vorschlag hatte Erfolg. Zu den ausgewählten Preisträgern zählt *Christiane Fellbaum*, eine in Deutschland geborene und aufgewachsene amerikanische Staatsbürgerin.

Frau *Fellbaum* gehört weltweit zu den führenden Wissenschaftlern im Bereich der elektronischen Sprachverarbeitung. Sie lehrt und forscht derzeit an der Princeton University, wo sie gemeinsam mit anderen in den letzten zehn Jahren „WordNet“, das mit Abstand bekannteste System zur Bedeutungsbeschreibung des Englischen auf dem Computer entwickelt hat.

Mit dem Preisgeld wird sie als Leiterin einer Arbeitsgruppe in den nächsten drei Jahren in enger Kooperation mit dem DWDS das Projekt „Kollokationen im Wörterbuch“ in der Akademie bearbeiten. Dieses Forschungsvorhaben begründet eine in mehreren Hinsichten einzigartige Kooperation von Computerlinguistik und Lexikographie. Kollokationen sind zusammengesetzte Ausdrücke mit eigenständiger Bedeutung wie etwa in die Quere kommen, gut und gerne, grüner Daumen usw. Sie bilden einen wesentlichen Teil der Ausdrucksmittel einer Sprache. Durch die Nutzung des von der Akademie zur Zeit aufgebauten „Digitalen Wörterbuches der deutschen Sprache des 20. Jahrhunderts“ (<http://www.dwds.de>) einerseits, der von Frau *Fellbaum* entwickelten Methoden andererseits wird eine über die bisherige Forschung weit hinausgehende systematische Erfassung solcher Kollokationen möglich. Der Erkenntnisgewinn, den diese Kooperation auf lexikographischem Gebiet für die Modernisierung der Lexikographie an deutschen und ausländischen Akademien im allgemeinen und an der BBAW mit ihren vier lexikographischen Arbeitsstellen im be-

sonderen erbringen wird, dürfte von kaum zu überschätzendem Wert sein.

Frau *Fellbaum* konnte den *Wolfgang-Paul-Preis* im September 2001 in Empfang nehmen. Das Förderungsvolumen beträgt 3,1 Millionen DM. Die Bildung der siebenköpfigen Projektgruppe wurde im November begonnen.

Akademievorlesungen zum Jahr der Geowissenschaften

jeweils 20 Uhr im Akademiegebäude:

11.4.2002

Jochen Zschau: „Erdbebenprognose und Frühwarnung: Was ist wirklich machbar?“

30.5.2002

Onno Oncken: „Plattentektonik – Vom schrumpfenden Apfel zum dynamischen Planeten Erde“

6.6.2002

Rolf Emmermann: „Vorstoß in die Erdkruste: Das kontinentale Tiefbohrprogramm“

Tagung der AG Berliner Klassik

20./21.4.2002

'Die Königsstadt' – Berliner urbane Topographie um 1800, Akademiegebäude

Interdisziplinärer Workshop

24.-26.5.2002

Computergestützte Analyse evolutionärer Optimierungprozesse in komplexen Systemen, Tagungsstätte Blankensee

Lesemarathon in der Akademie

15.6.2002

Eine Veranstaltung im Rahmen der Langen Nacht der Wissenschaft; Akademiegebäude

Midtermmeeting

5./6.7.2002

Treffen der AG Gesundheitsstandard, Akademiegebäude

Feierliche Einweihung des Plenarsaals der Akademie

27.6.2002, 19 Uhr, Akademiegebäude

Öffentliche wissenschaftliche Sitzung zum Leibniztag der Akademie 28.6.2002, 19 Uhr, Akademiegebäude

Leibniztag der Akademie

29.6.2002, 10 Uhr, Konzerthaus am Gendarmenmarkt

Festveranstaltung der Jungen Akademie

29.6.2002, 19 Uhr, Akademiegebäude

Akademie der Wissenschaften zu Göttingen

Seit 1. April 2002 ist Prof. Dr. Dr. h.c. mult. *Herbert W. Roesky*, Vorsitzender der Mathematisch-Physikalischen Klasse, Präsident der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen. Vizepräsident ist Prof. Dr. *Gustav Adolf Lehmann*, zugleich Vorsitzender der Philologisch-Historischen Klasse.

Vom 16. April bis 2. Juli 2002 veranstaltet die Akademie gemeinsam mit der Georg-August-Universität Göttingen eine öffentliche Ringvorlesung: „Abraham, unser Vater“.

16.4.02

„Ein Vater vieler Völker“ Die Verheißungen an Abraham im Alten Testament (H. Spieckermann)

23.4.02

„Zieh hinweg aus deinem Land!“ Abraham, der Mann aus Ur in Chaldäa (B. Groneberg)

30.4.02

„Ein umherirrender Aramäer war mein Vater“ Abraham im Lichte der Quellen aus Mari (D. Charpin)

7.5.02

„Öffne seinen Mund und seine Ohren!“ Wie Abraham Hebräisch lernte (R. G. Kratz)

14.5.02

„Und er hob seine Augen auf, und siehe“ Abrahams Gottesvision im hellenistischen Judentum (F. Siegert)

28.5.02

„In zehn Prüfungen erprobt“ Abrahams Versuche in Talmud und Midrash (H.-J. Becker)

4.6.02

„Durch Glauben gehorsam – durch Werke gerecht“ Streit um Abraham im Neuen Testament (E. Aurelius)

11.6.02

„Wir sind nicht von Abrahams Samen“ Abraham in der ostsyrischen Literatur (M. Tamcke)

18.6.02

„Der erste Muslim“ Abraham in Mekka (T. Nagel)

25.6.02

„Abraham, der Gottesfreund“ Eine sufische Deutung (T. Nagel)

2.7.02

„Spinoza und Hegel über Abraham“ (K. Cramer)

Öffentliche Sommersitzung
der Akademie am 14. Juni 2002 in der Aula der Universität Göttingen, Wilhelmsplatz 1, ab 17 Uhr c.t.

Jahresfeier der Akademie
am 15. November 2002 in der Aula der Universität Göttingen, Wilhelmsplatz 1, ab 17 Uhr c.t.

Gemeinsame Sitzung
der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen und des Niedersächsischen Landtages am 21. November 2002 in Hannover.
Folgende Preise stehen im Jahre 2002 zur Verleihung an: *Akademiepreise für Chemie, Physik und Biologie, Hans-Janssen-Preis, Hanns-Lilje-Preis* und *Preis der Philologisch-Historischen Klasse*.

Heidelberger Akademie der Wissenschaften

Jahresfeier 2002
Die HAdW begeht am Samstag, dem 8. Juni 2002, um 11.00 Uhr in der Alten Aula der Universität Heidelberg am Universitätsplatz ihre Jahresfeier. Den Festvortrag hält das Mitglied der Math.-nat. Klasse *Paul Leiderer* (Konstanz) zum Thema: „Kolloide – zwergenhafte Bausteine für die Nanowelt“.

Akademievorlesung
Beginnend mit dem Sommersemester startet die neue öffentliche Akademievorlesungsreihe der HAdW. In diesem Sommer werden im Akademiehörsaal vier Vorträge zum zentralen Thema: „NUR CLASH? Anmerkungen der Wissenschaft zur Begegnung von Kulturen“ gehalten. Die Reihe beginnt am 17. Mai um 18 Uhr c.t. mit dem Vortrag von *Hans-Joachim Gehrke*, Freiburg: „Ost-West-Gegensatz als europäische Erinnerungsfigur“. Am 14. Juni um 18 Uhr c.t. referiert *Wolfgang Reinhard*, Freiburg, über „Kolonialismus als Kulturkampf?“ und am 25. Juni, ebenfalls um 18 Uhr c.t. spricht *Rotraud Wielandt*, Bamberg, über „Kreuzfahrer gegen Terroristen? Probleme wechselseitiger Wahrnehmung von Muslimen und Angehörigen der westlichen Kulturtradition“. Den Abschluß dieser Vortragsreihe bildet am 13. Juli um 11 Uhr c.t. der Vortrag von *Otfried Höffe*, Tübingen, mit dem Thema: „Vielfalt der Weltkulturen in der Einheit des Weltrechts“. Jedermann ist zu diesen Vorträgen eingeladen, der Eintritt ist frei. Im Abschluß an die Vorträge bittet die Akademie zu einem Umtrunk.

Tag des offenen Denkmals/Tag der offenen Tür
Anlässlich des *Europäischen Tages des offenen Denkmals* am 8. September 2002 wird die Landesakademie Baden-Württembergs allen Interessierten die Möglichkeit zur Besichtigung des

sonst für die Öffentlichkeit nicht zugänglichen Großherzoglichen Palais bieten.
Das Gebäude und sein gesamtes Areal ist ein Komplex besonderer kunstgeschichtlicher Bedeutung. Durch seine relative Unberührtheit ist hier die Baukonzeption des 18. Jahrhunderts deutlich erhalten geblieben.
Von 10 bis 17 Uhr können die Räumlichkeiten in der Beletage sowie der Innenhof des Großherzoglichen Palais besichtigt werden.
Neben der Besichtigung des Baudenkmals wird den interessierten Besuchern ein Einblick in die Forschungsarbeiten der Akademieforschungsstellen geboten.

Vorträge
Der Sitzungsplan der Heidelberger Akademie für das laufende Sommersemester kann über das Internet abgerufen werden (<http://www.haw.baden-wuerttemberg.de/extranet/klassensitzung8.html>). Mitglieder anderer wissenschaftlicher Akademien können sich bei Interesse an einem der geplanten Vorträge an den jeweiligen Klassensekretär der Akademie wenden.

Akademie der Wissenschaften und der Literatur, Mainz

Expertengespräch „Kardiovaskuläre Erkrankungen“
Unter der Verantwortung von *E. Mutschler* (Mainz/Frankfurt am Main), *E. Ritz* (Heidelberg) und *A. M. Zeiher* (Frankfurt am Main) fand in den Räumen der Akademie am 23. und 24. November 2001 das 2. Interdisziplinäre Expertengespräch über kardiovaskuläre Erkrankungen statt. Angesichts der Spitzenposition von Herz-Kreislauferkrankungen in der Todesursachenstatistik und der unverändert dominierenden Risikofaktoren Hyperlipidämie, Hypertonie, Diabetes mellitus, Rauchen und Adipositas ist eine Trendumkehr kaum zu erkennen. Führende deutsche Kardiologen und Internisten stellten auf dem zweitägigen Kolloquium aktuelle Trends in Diagnostik und Therapie kardiovaskulärer Erkrankungen vor und förderten damit den Wissenstransfer aus der Forschung in die therapeutische Praxis.

Zukunftsfragen der Gesellschaft
Zum zweiten Mal nach 2001 thematisierte die Akademie am 22. Februar 2002 in einem öffentlichen Kolloquium neue Zukunftsfragen der Gesellschaft. Ausgehend von aktuellen Fragestellungen diskutierte die Akademie die mit der Stammzellenforschung verbundenen Hoffnungen und Grenzen (*Ulf Rapp*), die Erwartungshaltung der Gesellschaft und die Langsamkeit des Rechts (*Michael Stolleis*) sowie das Grundproblem naturwissenschaftlichen Forscherdrangs und des Ethos der Menschenwürde (*Klaus-Michael Kodalle*). Mit diesem Veranstaltungstyp

will die Akademie Chancen des interdisziplinären Dialogs zwischen den Mitgliedern und mit der Öffentlichkeit dokumentieren.

Letzter Band der Ketteler-Gesamtausgabe vorgelegt

25 Jahre nach dem Erscheinen des ersten Bandes liegt die Gesamtausgabe der Werke und Schriften des Mainzer Bischofs Wilhelm Emanuel Freiherr von Ketteler (1811 - 1877) in einer kritischen Ausgabe vor. Mit Erscheinen des Bandes „Briefe und öffentliche Erklärungen“ aus den letzten sieben Lebensjahren des Bischofs ist die Reihe abgeschlossen. In Anwesenheit des Bischofs von Mainz, *Karl Kardinal Lehmann*, und des Präsidenten der Akademie, *Clemens Zintzen*, wurde der Band in einem Festakt am 27. Februar 2002 in der Akademie des Bistums Mainz, Erbacher Hof, der Öffentlichkeit übergeben. In seinem Festvortrag würdigte der Vorsitzende der Kommission für Kirchengeschichte der Akademie, *Klaus Ganzer*, Person und Werk Kettelers, der zu den profiliertesten Gestalten des 19. Jahrhunderts gehörte.

Internet-Sicherheit

Mit einem eintägigen Kolloquium, für das *Johannes Buchmann*, Darmstadt, verantwortlich zeichnete, diskutierte die Akademie in einem öffentlich zugänglichen Expertenkolloquium am 8. März 2002 die Möglichkeiten und Gefahren des Internet. Dabei standen technische ebenso wie rechtliche und psychologische Fragestellungen im Mittelpunkt des Interesses. Über Anwendungen im Internet (Verträge, E-Geld, Online-Wahlen, Musikvertrieb etc.) referierte *Rüdiger Grimm* vom Institut für Medien- und Kommunikationswissenschaft der TU Ilmenau, zur Psychologie der Sicherheit sprach *Wolfgang Fiegenbaum*, über Möglichkeiten und Grenzen der Kryptologie *Johannes Buchmann*, über Systemsicherheit *Claudia Eckert* vom Fraunhofer-Institut für sichere Telekommunikation, zum Regulierungsbedarf stellte *Johann Bizer*, Frankfurt, Modellierungen und Erfahrungen vor und schließlich erläuterte *Herbert Walther* vom Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching die Perspektiven für eine Realisierung des Quantencomputers.

Autorenlesung

Im Rahmen der Februarsitzung fand am 21. Februar 2002 unter dem Titel „Parsifal oder Wer hat den Erlöser erlöst?“ eine Lesung mit *Herbert Rosendorfer* statt. Anlässlich der Junisitzung wird am 20. Juni 2002 die Schriftstellerin *Elisabeth Borchers* in der Akademie lesen.

Poetikdozentur/Autorensseminar

Im Wintersemester 2001/2002 war *Albert von Schirnding* aus Egling Gastdozent des Autoren-

seminars; die Werkstattgespräche fanden am 29. Januar und 5. Februar 2002 statt.

Lesung im Haus am Dom

Am 8. November 2001 stellten *Norbert Miller* und *Gabriele Söhling* im Haus am Dom die im Herbst unter dem Titel „Geben Sie bald wieder ein Lebenszeichen. Briefwechsel 1943-1956“ erschienene Edition mit Briefen von und an den Schriftsteller Hans Erich Nossack vor.

Musik im Landtag

Die diesjährige Veranstaltung am 30. April 2002 war dem Komponisten Christoph Willibald Gluck gewidmet. *Christoph-Hellmut Mahling*, Vorsitzender des Herausgeber-Gremiums der Gluck-Gesamtausgabe, präsentierte das Vorhaben der Mainzer Akademie der Wissenschaften und der Literatur mit Unterstützung von *Elisabeth Scholl* (Sopran) und Mitgliedern der Hannoverischen Hofkapelle. Im Mittelpunkt des Konzert-Abends standen Arien aus Opern der frühen und mittleren Schaffensperiode Glucks, die derzeit in der Mainzer Forschungsstelle für die Edition vorbereitet werden und die bisher noch nicht gedruckt vorliegen. Das Aufführungsmaterial wurde nach Abschriften aus dem 18. Jahrhundert eigens für den Konzert-Abend im Mainzer Landtag hergestellt.

Nordrhein-Westfälische Akademie der Wissenschaften

Jahresfeier

Am 15. Mai 2002, 17.00 Uhr, fand im Karl-Arnold-Haus der Wissenschaften in Düsseldorf die traditionelle Jahresfeier der Akademie statt. Nach der Begrüßung und dem Bericht des Präsidenten Prof. Dr. *Helmut Sies* und einem Grußwort des Innenministers des Landes Nordrhein-Westfalen Dr. *Fritz Behrens* wurde der *Karl-Arnold-Preis der Nordrhein-Westfälischen Akademie der Wissenschaften* an Dr. *Carsten Schmuck*, Köln, für seine Habilitationsschrift „Carboxylat-Erkennung durch Guanidiniocarbonylpyrrole: Von der Selbstaggregation zu Peptidrezeptoren“ verliehen.

Im Anschluss daran hielt Professor Dr.-Ing. *Franz Hillenkamp*, Münster, mit dem Thema „Auf dem Weg zur genomischen Medizin: Aufklärung der molekularen Strukturen und Funktionen“ den Festvortrag.

Hendrik Casimir-Karl Ziegler-Forschungspreis

Am 17. April 2002 erfolgte die Verleihung des diesjährigen *Hendrik Casimir-Karl Ziegler-Forschungspreises* in einer gemeinsamen Feierstunde der Königlich-Niederländischen Akademie der Wissenschaften und der Nordrhein-Westfälischen Akademie im Karl-Arnold-Haus in Düsseldorf.

Der Preis der Niederländischen Akademie wurde an Herrn Dr. *Christian Herman Krijnen*, Freie Universität Amsterdam, für sein Vorhaben „Negation und Heterothesis bei Rickert und Hegel. Systematische Explorationen. Die Transformation des Hegelschen Systemgedankens im südwestdeutschen Neukantianismus“ verliehen. Die Durchführung des Vorhabens erfolgt an der Universität Köln.

Den Preis der Nordrhein-Westfälischen Akademie erhielt Herr Dr. *Stephan Busch*, Universität Köln, für sein Projekt über das „Bellum Gallicum“, das an der Universität Leiden, Niederlande, durchgeführt wird.

Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig

Internationale Kathodolumineszenz-Konferenz in Freiberg

Vom 5.-8. September 2001 fand am Institut für Mineralogie der TU Bergakademie Freiberg die Internationale Tagung „Cathodoluminescence in geosciences: new insights from CL in combination with other techniques“ statt, zu deren Organisatoren auch die SAW gehörte.

Die Tagung, zu der etwa 100 Wissenschaftler aus 22 Ländern aller Kontinente angereist waren, hatte vor allem zum Ziel, neueste Entwicklungen auf dem Gebiet der Lumineszenzuntersuchungen in den Geo- und Materialwissenschaften zu diskutieren. Die Forschungsstelle Geochronologie Quartär der SAW am Institut für Angewandte Physik der TU Bergakademie Freiberg setzt Lumineszenz-Altersbestimmungsverfahren zur Datierung von quartären geologischen Ablagerungen in der Paläoklimaforschung ein.

Die Ergebnisse der Konferenz sind in einem Abstract-Band zusammengefaßt. Ausgewählte Beiträge werden in einem Sonderheft der Zeitschrift „Mineralogy and Petrology“ publiziert.

Fechner-Ehrung 2001

Der 200. Geburtstag Gustav Theodor Fechners (1801-1887), seines Zeichens Psychologe, Physiker, Ästhetiker und Mathematiker, waren für die Stadt Leipzig, die SAW und die Universität Leipzig Anlaß, diesen hervorragenden Gelehrten mit einer Festveranstaltung und einem Ehrensymposium (19./20.10.2001) zu ehren. Theodor Fechner gehört zu den Leipziger Gelehrten des 19. Jahrhunderts, die maßgeblich zum weltweit hohen Ansehen sächsischer Wissenschaft beigetragen haben. In der Wissenschaftsgeschichte nimmt er als Begründer der Psychophysik und der experimentellen Ästhetik einen herausragenden Platz ein. Sein Ansatz naturwissenschaftlicher Psychologie hat die Entwicklung der Psychologie zur eigenständigen Wissenschaft wesentlich mitbestimmt. Weniger beachtet wurden

bisher die vielfältigen Arbeiten Fechners in anderen Wissensgebieten.

Öffentliche Herbstsitzung

Im Rahmen der Öffentlichen Herbstsitzung, die am 9. November 2001 in der Universität Leipzig stattfand, sprachen: OM *Ulrich Groß*, Freiberg: „Über die Messung der Wärmeleitfähigkeit – erreichter Stand und aktuelle Probleme.“ KM *Günther Binding*, Köln: „Über den dreifachen Wert der Säule im frühen und hohen Mittelalter.“

Öffentliche Akademievorlesungen

Die Reihe der Öffentlichen Akademievorlesung wurde fortgesetzt: Am 27. November 2001 stellte OM *Ernst Schubert*: „Die deutschen Inschriften des Mittelalters, ihre Kommission und Arbeitsstelle an der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig“ vor, am 27. Februar 2002 sprach OM *Wolfgang Fritsche* über „Naturverständnis und Ökologie in Indien“.

Ehrenkolloquien

Anläßlich des 70. Geburtstages von Vizepräsident *Heinz Penzlin* luden das Institut für Allgemeine Zoologie und Tierphysiologie der Friedrich-Schiller-Universität Jena und die SAW am 29. Januar 2002 zu einem Festkolloquium in die Universität Jena ein. Den Festvortrag hielt Prof. Dr. *Dick Nässel* (Department of Zoology Stockholm University) über: „Neuropeptides in insects in the postgenomic era: what did the Drosophila genom teach us about peptide signalling?“

Die Sächsische Gesellschaft für Dermatologie e.V. veranstaltete in Zusammenarbeit mit dem Berufsverband der Deutschen Dermatologen, Landesverband Sachsen, und der SAW am 23. Februar 2002 in Leipzig eine eintägige Fachtagung. Anlaß war der 65. Geburtstag von OM *Uwe-Frithjof Haustein*, Sekretar der Math.-nat. Klasse der SAW.

Internationaler Workshop „Klimaänderungen am Ende einer Warmzeit“

Mehr als 80 Geowissenschaftler aus dem In- und Ausland trafen sich vom 18.-22.3.2002 im Haus der SAW zum ersten Workshop des BMBF-Verbundvorhabens „Klimaänderungen am Ende einer Warmzeit“. Die SAW beteiligt sich am DEKLIM-EEM-Projekt, das 2001 begonnen wurde und 2005 mit einer großen Konferenz auf EU-Ebene enden soll, mit zwei Teilprojekten. Kontaktadresse: junge@saw-leipzig.de; quatmi@orion.hrz.tu-freiberg.de; www.uni-mainz.de/FB/Geo/Geologie/sedi/index.html.

Leipziger Buchmesse

Die SAW präsentierte sich auch dieses Jahr auf der Leipziger Buchmesse (21.-24.3.2002) am Gemeinschaftsstand „Forschungsland Sachsen“. Am 23. März stellte sie im Rahmen eines Podi-

umsgesprächs ihre Neuerscheinung „Kommentiertes Verzeichnis der Werke und Werkausgaben Igor Strawinskys bis 1971“ von KM *Helmut Kirchmeyer* vor. An dem Gespräch nahmen außer dem Autor teil *Hermann Backes* (Rundfunkredakteur des mdr), *Rainer Peters* (Rundfunkredakteur bei SWR2), Prof. Dr. *Gesine Schröder* (Musiktheoretikerin) und Dr. *Andreas Wehrmeyer* (Musikwissenschaftler). Das Gespräch wurde von mdr-Kultur aufgezeichnet.

Öffentliche Frühjahrssitzung

Die Öffentliche Frühjahrssitzung fand am 12. April 2002 im Konzertsaal der Hochschule für Musik und Theater Felix Mendelssohn Bartholdy statt. Den Festvortrag „Bach, Mozart, Mendelssohn und der Wandel der Musikkultur um 1800“ hielt KM *Christoph Wolff*. OM *Horst Hennig* wurde mit der Wilhelm-Ostwald-Medaille 2002 ausgezeichnet. Den gemeinsam von der SAW und der Universität Leipzig ausgelobten *Theodor-Frings-Preis* erhielt Dr. Dr. *Georg Schuppe*ner, Leipzig.

Jahr der Geowissenschaften

Die Vorhaben „Schadstoffdynamik in Einzugsgebieten“, „Seismik des Vogtlandes“ und „Paläogeographie/-klimatologie“ der SAW beteiligte sich im Jahr der Geowissenschaften mit Exponaten, Filmvorführungen und Vorträgen an den Großveranstaltungen in Leipzig (17.-21.4.2002, Promenaden des Hauptbahnhofs), Köln (5.-9.6.2002) und Hannover (20.-22.6.2002).

IALE-Jahrestagung 2002

Die „International Association for Landscape Ecology – Region Deutschland“ lädt zu ihrer Jahrestagung 2002 vom 26.-28.09.2002 nach Dresden ein. Die Veranstaltung wird gemeinsam mit der Arbeitsstelle „Naturhaushalt und Gebietscharakter“ der SAW sowie mit dem Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. und dem Lehrstuhl für Landschaftslehre und Geoökologie der TU Dresden durchgeführt. Sie steht unter dem Thema „Bewertung und Entwicklung der Landschaft“. Kontakt und Information: www.iale.de/dresden-2002.

Nachrichten anderer Akademien und wissenschaftlicher Gesellschaften

Joachim Jungius-Gesellschaft der Wissenschaften, Hamburg

Öffentliche Akademie-Vorlesungen

28. Mai, 18.30 Uhr, Hörsaal Westflügel (Raum 221), Hauptgebäude der Universität: Prof. Dr. *Ralf Schwarzer*, FB Erziehungswissenschaft und Psychologie, FU Berlin: „Sozialbeziehungen wirken auf Gesundheit und Lebensqualität – Überlegungen und Befunde aus der Gesundheitspsychologie“.

25. Juni, 18.30 Uhr, Hörsaal Westflügel (Raum 221), Hauptgebäude der Universität: Prof. Dr. *Walther v. Hahn*, FB Informatik der Universität Hamburg: „Wie Menschen und wie Maschinen übersetzen. Erreichtes und Erreichbares in der maschinellen Übersetzung“.

Akademie-Vorlesung im Rahmen der Kieler Woche

26. Juni, 18.30 Uhr, Kieler Schloss, Wall 74, 24103 Kiel

Prof. Dr. Dr. *Johannes Schilling*, Institut für Kirchengeschichte und Kirchliche Archäologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel: *Lebendiger Geist oder über den gegenwärtigen Ort der Universität in Wissenschaft und Bildung*

Die Jahresfeier der Joachim Jungius-Gesellschaft wird stattfinden am 22. November 2002.

Vorstandwahl der Joachim Jungius-Gesellschaft

Die Joachim Jungius-Gesellschaft der Wissenschaften hat folgenden Vorstand gewählt (Amtsbeginn 1.1.2002):

Präsident: Prof. Dr. *Kurt Pawlik*, Hamburg (Wiederwahl)

Vizepräsident: Prof. Dr. *Jörn Henning Wolf*, Kiel
Weitere Mitglieder des Vorstandes:

Prof. Dr. *Dorothea Frede*, Hamburg; Prof. Dr. *Wilhelm Hornbostel*, Hamburg (Wiederw.); Prof. Dr. *Walter Kaminsky*, Hamburg (Wiederw.); Prof. Dr. Dr. h.c. mult. *Reimar Lüst*, Hamburg; Prof. Dr. *Lothar Pelz*, Rostock (Wiederw.)

Neue Geschäftsräume

Im Mai 2002 hat die Joachim Jungius-Gesellschaft ihre neuen Geschäftsräume im Ostflügel des Universitäts-Hauptgebäudes der Universität Hamburg bezogen. Die Postadresse: Edmund-Siemers-Allee 1, 20146 Hamburg, bleibt erhalten.

Personalia aus den Akademien

Es verstarben:

Ebeling, Gerhard, korr. Mitglied der Heidelberger Akademie der Wissenschaften (Philosophisch-historische Klasse), Professor für Systematische Theologie, † 30. September 2001

Fleischmann, Rudolf, o. Mitglied der Bayerischen Akademie der Wissenschaften (Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse), korr. Mitglied der Junigus-Gesellschaft, Professor der Experimentalphysik, † 3. Februar 2002

Fritz, Gerhard, o. Mitglied der Heidelberger Akademie der Wissenschaften (Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse), Professor für Mathematik, † 2. Februar 2002

Fröhlich, Albrecht, korr. Mitglied der Heidelberger Akademie der Wissenschaften (Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse), Professor für Mathematik, † 8. November 2001

Gadamer, Hans-Georg, o. Mitglied der Heidelberger Akademie der Wissenschaften (Philosophisch-historische Klasse); Ehrenmitglied der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, Professor für Philosophie, Heidelberg, † 13. März 2002

Garašanin, Milutin, korr. Mitglied der Bayerischen Akademie der Wissenschaften (Philosophisch-historische Klasse), Professor der Archäologie, Bundesrepublik Jugoslawien, † 4. April 2002

Gigante, Marcello, korr. Mitglied der Heidelberger Akademie der Wissenschaften (Philosophisch-historische Klasse), korr. Mitglied der Akademie der Wissenschaften Göttingen (Philologisch-historische Klasse), Professor für Klassische Philologie, † 22. November 2001

Gombrich, Sir Ernst H., korr. Mitglied der Bayerischen Akademie der Wissenschaft (Philosophisch-historische Klasse), Ehrenmitglied der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen, Professor for the History of the Classical Tradition, † 3. November 2001

Grégoire, Charles, korr. Mitglied der Akademie der Wissenschaften und der Literatur, Mainz (Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse), Professor für Elektronenmikroskopie in Lüttich, Belgien, † 8. Januar 2002

Grüß, Hans, o. Mitglied der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig (Philologisch-historische Klasse), Professor für Musikwissenschaften, † 24. November 2001

Hansen, Kurt, korr. Mitglied der Akademie der Wissenschaften und der Literatur, Mainz (Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse), Professor der Organischen Chemie, Aufsichtsrat Bayer AG, Leverkusen, † 26. Januar 2002

Jarring, Gunnar, korr. Mitglied der Bayerischen Akademie der Wissenschaften (Philosophisch-

historische Klasse), Professor der Turkologie, Schweden, † 30. Mai 2002

Jentschke, Willibald, o. Mitglied der Akademie der Wissenschaften und der Literatur, Mainz (Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse), Professor der Physik, † 11. März 2002

Jettmar, Karl, o. Mitglied der Heidelberger Akademie der Wissenschaften (Philosophisch-historische Klasse), Professor für Ethnologie, † 28. März 2002

Karlson, Peter, korr. Mitglied der Bayerischen Akademie der Wissenschaft (Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse), Professor der physiologischen Chemie, † 17. Dezember 2001

Kölver, Bernhard, o. Mitglied der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig (Philologisch-historische Klasse), Professor für Indologie, Leipzig, † 27. November 2001

Levallois, Jean-Jacques, korr. Mitglied der Bayerischen Akademie der Wissenschaft (Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse), Professor der Geodäsie und Astronomie, Frankreich, † 31. August 2001

Mosler, Hermann, o. Mitglied der Heidelberger Akademie der Wissenschaften (Philosophisch-historische Klasse), Professor für Öffentliches Recht, † 4. Dezember 2001

Nowak, Kurt, o. Mitglied der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig (Philologisch-historische Klasse), Professor für Kirchengeschichte, Leipzig, † 31. Dezember 2001

Noyer-Weidner, Alfred, o. Mitglied der Bayerischen Akademie der Wissenschaften (Philosophisch-historische Klasse), Professor der romanischen Philologie, † 26. Dezember 2001

Perutz, Max Ferdinand, korr. Mitglied der Bayerischen Akademie der Wissenschaften (Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse), Director em. am MRC Laboratory of Molecular Biology, Cambridge, England, † 6. Februar 2002

Post, Gaines, korr. Mitglied der Heidelberger Akademie der Wissenschaften (Philosophisch-historische Klasse), Professor für Mittelalterliche Geschichte, † 29. April 2002

Rieche, Alfred, korr. Mitglied der Heidelberger Akademie der Wissenschaften (Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse), Professor für Mathematik, † 6. November 2001

Schaftstein, Friedrich, o. Mitglied der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen, Philologisch-historische Klasse), Professor für Strafrecht, Prozeßrecht und Rechtsphilosophie in Göttingen, † 6. November 2001

Schmidhäuser, Eberhard, o. Mitglied der Junigus-Gesellschaft, † 6. März 2002

Thomae, Hans, korr. Mitglied der Bayerischen

Akademie der Wissenschaft (Philosophisch-historische Klasse), Professor der Psychologie, † 16. November 2001

Thompson, Homer, korr. Mitglied der Heidelberger Akademie der Wissenschaften (Philosophisch-historische Klasse), Professor für Klassische Philologie, † 2001

Weisskopf, Victor Frederick, korr. Mitglied der Bayerischen Akademie der Wissenschaften (Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse), Professor der Physik, USA, † 22. April 2002

Winterhager, Helmut, o. Mitglied der Nordrhein-Westfälischen Akademie (Klasse für Ingenieur- und Wirtschaftswissenschaften) Senator E.h., Professor em. der Metallhüttenkunde und Elektrometallurgie, † 1. April 2002

Bayerische Akademie der Wissenschaften

Die Akademie hat sich wie folgt ergänzt:

Ordentliche Mitglieder

Philosophisch-historische Klasse

Höfele, Andreas, Professor der englischen Literaturwissenschaft in München

Siems, Harald, Professor der Deutschen Rechtsgeschichte in Erlangen

Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse

Bräuchle, Christoph, Professor für Physikalische Chemie in München

Bröcker, Eva-Bettina, Professorin für Dermatologie und Venerologie in Würzburg

Durst, Franz, Professor für Strömungsmechanik in Erlangen

Hagenauer, Joachim, Professor für Nachrichtentechnik in München

Pukelsheim, Friedrich, Professor für Stochastik und ihre Anwendungen in Augsburg

Sebald, Walter, Professor für Physiologische Chemie in Würzburg

Stettner, Otto, Professor für Mikrobiologie in Regensburg

Korrespondierende Mitglieder

Philosophisch-historische Klasse

Borst, Arno, Professor für Geschichte des Mittelalters in Konstanz

Siep, Ludwig, Professor der Philosophie in Münster

Stephens, Anthony, Professor der Germanistik und Komparatistik in Sydney, Australien

Tilliette, Xavier, Professor der Philosophie in Rom, Italien

Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse

Contreras-Theurel, Rosalinda, Professorin der Chemie in Mexiko Stadt, Mexiko

Damasio, Antonio R., Professor der Neurologie in Iowa, USA

Gander, Walter, Professor für Informatik in Zürich, Schweiz

Gruber, Peter, Professor für Analysis in Wien, Österreich

Reigber, Christoph, Professor für Geowissenschaften in Potsdam

Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften

Die Akademie hat sich wie folgt ergänzt:

Ordentliche Mitglieder

Geisteswissenschaftliche Klasse

Mennighaus, Winfried, Professor für Vergleichende Literaturwissenschaft in Berlin

Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse

Diederich, François, Professor für Organische Chemie in Zürich, Schweiz

Scheffler, Matthias, Professor für Theoretische Physik in Berlin

Schnick, Wolfgang, Professor für Festkörperphysik in München

Zeilinger, Anton, Professor für Experimentalphysik in Wien, Österreich

Ziegler, Günter, Professor für Reine Mathematik in Berlin

Technikwissenschaftliche Klasse

Schubert, Helmar, Professor für Verfahrenstechnik in Karlsruhe

Wörner, Johann-Dietrich, Professor für Bauingenieurwesen in Darmstadt, Präsident der Universität Darmstadt

Biowissenschaftlich-medizinische Klasse

Ropers, Hans-Hilger, Professor für Molekulare Genetik in Berlin

Außerordentliche Mitglieder

Geisteswissenschaftliche Klasse

Fröhlich, Jürg, Professor für Theoretische Physik in Zürich, Schweiz

Treusch, Joachim, Professor für Theoretische Physik in Jülich

Technikwissenschaftliche Klasse

Gilles, Ernst-Dieter, Professor für Elektrotechnik in Magdeburg/Stuttgart

Heintzenberg, Jost, Professor für Meteorologie in Leipzig

Akademie der Wissenschaften zu
Göttingen

Die Akademie hat sich wie folgt ergänzt:

Ordentliche Mitglieder

Philologisch-Historische Klasse

Alexy, Robert, Professor für Öffentliches Recht und Rechtsphilosophie in Kiel

Frick, Werner, Professor für Deutsche Philologie in Göttingen

Kaufmann, Thomas, Professor für Kirchengeschichte in Göttingen

Nesselrath, Heinz-Günther, Professor für Klassische Philologie in Göttingen

Spiekermann, Hermann, Professor für Altes Testament in Göttingen

Mathematisch-Physikalische Klasse

Brenig, Bertram, Professor für Veterinärmedizin in Göttingen

Hasenfuß, Gerd, Professor für Innere Medizin in Göttingen

Korrespondierende Mitglieder

Philologisch-Historische Klasse

Arnold, Günter, Doktor der Philosophie in Weimar

Despinis, Giorgos, Professor für Klassische Archäologie in Athen, Griechenland

Frangesš, Ivo, Professor für Neuere Koratische Literatur in Zagreb, Kroatien

Levin, Christoph, Professor für Altes Testament in München

Mathematisch-Physikalische Klasse

Flügge, Ulf-Ingo, Professor für Biochemie in Köln

Mathey, François, Professor für Phosphorchemie in Palaiseau, Frankreich

Werner, Hans-Joachim, Professor für Theoretische Chemie in Stuttgart

Heidelberger Akademie der
Wissenschaften

Die Akademie hat sich wie folgt ergänzt:

Ordentliche Mitglieder

Philosophisch-historische Klasse

Höffe, Otfried, Professor für Philosophie in Tübingen

Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse

Burkhardt, Hans, Professor für Ingenieurwissenschaften in Freiburg

Eigenberger, Gerhard, Professor für Ingenieurwissenschaften in Stuttgart

Kipphan, Helmut, Professor für Ingenieurwissenschaften in Karlsruhe

Pritschow, Günter, Professor für Ingenieurwissenschaften in Stuttgart

Wiesbeck, Werner, Professor für Ingenieurwissenschaften in Karlsruhe

Korrespondierende Mitglieder

Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse

Ketterle, Wolfgang, Professor für Physik in Massachusetts, USA

Mattern, Friedemann, Professor für Informatik in Zürich, Schweiz

Vöhringer, Klaus-Dieter, Professor für Maschinenbau in Darmstadt

Wagner, Albrecht, Professor für Experimentalphysik in Hamburg

Akademie der Wissenschaften und der
Literatur, Mainz

Die Akademie hat sich wie folgt ergänzt:

Ordentliche Mitglieder

Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse

Buchmann, Johannes, Professor der Informatik in Darmstadt

Gottstein, Günter, Professor der Metallkunde und Metallphysik in Aachen

Wahlster, Wolfgang, Professor der Informatik in Saarbrücken

Klasse der Literatur

Schäfer, Hans Dieter, Schriftsteller und Literaturwissenschaftler in Regensburg

Korrespondierende Mitglieder

Geistes- und sozialwissenschaftliche Klasse

Belentschikow, Renate, Professorin der Slavischen Linguistik in Magdeburg

Font-Frank, Márta, Professorin der Geschichte des Mittelalters und der Frühen Neuzeit in Pécs, Ungarn

Mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse

Grehn, Franz, Professor der Augenheilkunde in Würzburg

Klasse der Literatur

Magris, Claudio, Schriftsteller und Literaturwissenschaftler in Triest, Italien

Osten, Manfred, Schriftsteller, Generalsekretär der Alexander von Humboldt-Stiftung in Bonn

Zagajewski, Adam, Schriftsteller in Courbevoie, Frankreich

Nordrhein-Westfälische Akademie der
Wissenschaften

Die Akademie hat sich wie folgt ergänzt:

Ordentliche Mitglieder

Klasse für Geisteswissenschaften

Steinecke, Hartmut, Professor für Neuere deutsche Literatur und Literaturtheorie in Paderborn
Tettinger, Peter, Professor, Direktor des Instituts für öffentliches Recht und Verwaltungslehre in Köln

Klasse für Naturwissenschaften und Medizin

Famulok, Michael, Professor für Biochemie/Bioorganische Chemie in Bonn
Havenith-Newen, Martina, Professorin für Physikalische Chemie in Bochum
Wittinghofer, Alfred, Professor, Max-Planck-Institut für Molekulare Physiologie in Dortmund

Klasse für Ingenieur- und Wirtschaftswissenschaften

Backhaus, Klaus, Professor für Betriebswirtschaftslehre in Münster
Hanswille, Gerhard, Professor für Stahl- und Verbundbau in Wuppertal
Noll, Tobias, Professor für Allgemeine Elektrotechnik und Datenverarbeitungssysteme in Aachen
Poprawe, Reinhart, Professor für Lasertechnik in Aachen

Korrespondierende Mitglieder

Klasse für Naturwissenschaften und Medizin

Boland, Wilhelm, Professor, Direktor des Max-Planck-Instituts für Chemische Ökologie in Jena
Kudrizki, Rolf-Peter, Professor für Astronomie und Direktor des Instituts für Astronomie in Maunaloa, Hawaii, USA
Schlichting, Ilme, Professorin, Direktorin am Max-Planck-Institut für Medizinische Forschung in Heidelberg.

Sächsische Akademie der
Wissenschaften zu Leipzig

Die Akademie hat sich wie folgt ergänzt:

Ordentliche Mitglieder

Philologisch-historische Klasse

Bochmann, Klaus, Professor für Romanische Sprachwissenschaft in Leipzig
Huber-Rebenich, Gerlinde, Professorin für Mittel- und Neulatein in Jena
Krummacher, Christoph, Rektor der Hochschule für Musik und Theater „Felix Mendelssohn Bartholdy“ in Leipzig

le für Musik und Theater „Felix Mendelssohn Bartholdy“ in Leipzig

Technikwissenschaftliche Klasse

Bley, Thomas, Professor für Biotechnologie in Dresden
Pompe, Wolfgang Erich, Professor für Materialwissenschaft und Nanotechnik in Dresden

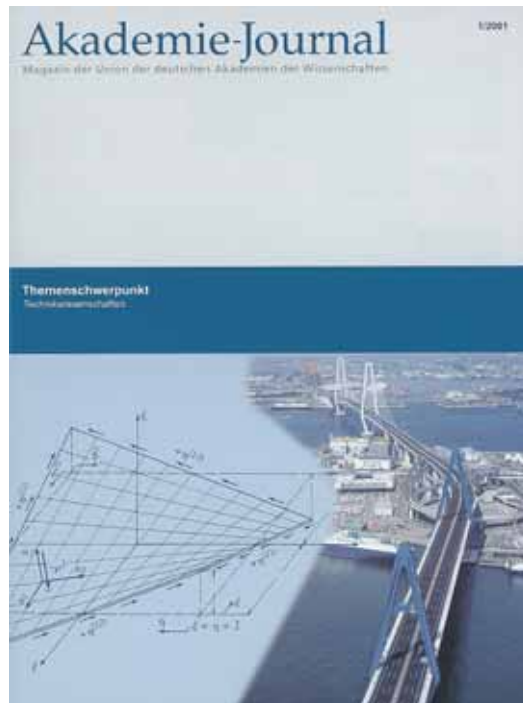
Korrespondierende Mitglieder

Philologisch-historische Klasse

Hannick, Christian, Professor für Slavische Philologie in Würzburg

Technikwissenschaftliche Klasse

Boerner, Wolfgang-Martin, Professor und Direktor des Communications, Sensing and Navigation Laboratory in Chicago, USA
Wandrey, Christian, Professor für Biotechnologie in Jülich



Akademie-Journal

Magazin der Union der deutschen Akademien der Wissenschaften

Die **Themenschwerpunkte** früherer Ausgaben:

Bewahrung des kulturellen Erbes, Heft 1/1996
Erdwissenschaften, Heft 1/1998
Geisteswissenschaften und EDV, Heft 2/1998
Neurowissenschaften, Heft 1/1999
Kultur-/Geistes-/Humanwissenschaften in der Diskussion, Heft 1/2000

Zentralasien, Heft 2/2000
Technikwissenschaften, Heft 1/2001
Sprachen in Europa, Heft 2/2001
Grüne Gentechnik, Heft 1/2002
Rechtswissenschaft, Heft 2/2002



Die deutschen Akademien der Wissenschaften:

Aufgaben, Herausforderungen, Perspektiven



BAYERISCHE AKADEMIE
DER WISSENSCHAFTEN
(HRSG.)



UNION
DER
DEUTSCHEN
AKADEMIEN
DER
WISSENSCHAFTEN

Franz Steiner Verlag Stuttgart

Die Ergebnisse des 5. Symposiums der deutschen Akademien
der Wissenschaften sind im Buchhandel erhältlich.
Union der deutschen Akademien der Wissenschaften/Bayerische Akademie
der Wissenschaften (Hrsg.), Stuttgart 2001, 200 Seiten, geb. 25 EUR, ISBN 3-515-07921-1.



**DIE DEUTSCHEN
AKADEMIEN DER
WISSENSCHAFTEN**

**UNION DER DEUTSCHEN AKADEMIEEN
DER WISSENSCHAFTEN • MAINZ, HRSG.**

MITGLIEDERVERZEICHNIS

Die deutschen Akademien der Wissenschaften. Gesamtverzeichnis ihrer Mitglieder.
Mainz ²2002, 150 S., 7 EUR, ISBN 3-933490-11-1