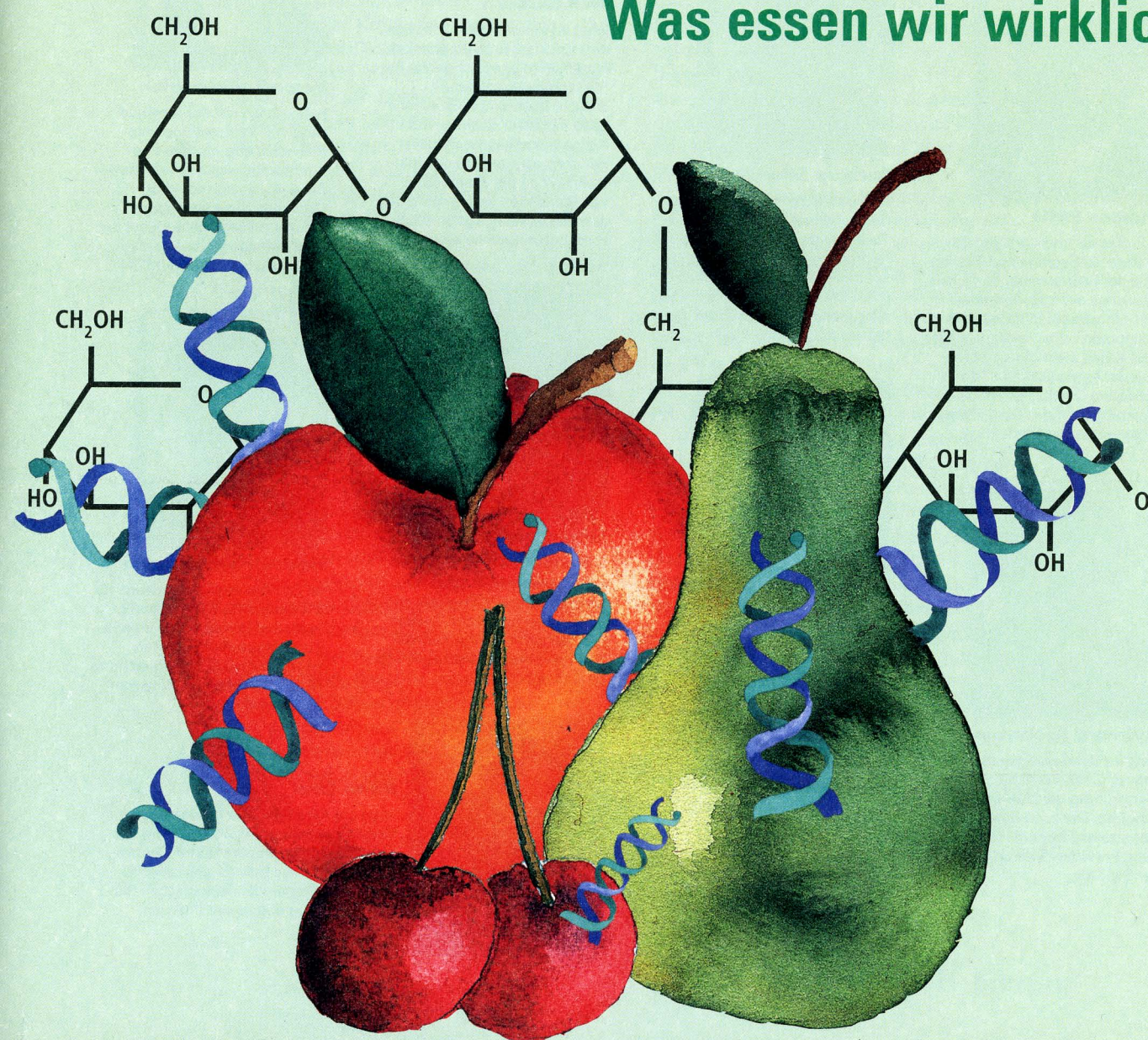


Nahrungsmittel zwischen Natur und Retorte

Was essen wir wirklich?

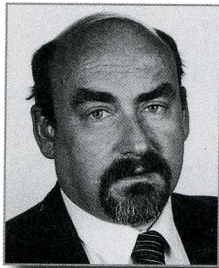


Autoren in diesem Heft



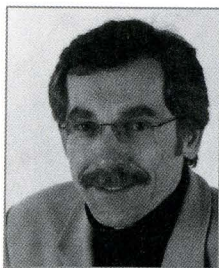
Bärbel Hüsing

ist stellvertretende Leiterin der Abteilung Innovationen in der Biotechnologie am Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung in Karlsruhe. Die promovierte Biologin befasst sich mit neuen technischen Entwicklungen in der Bio- und Gentechnik und ihren Auswirkungen auf Gesellschaft, Umwelt und Wirtschaft.



Andreas Stolle

ist Professor und Vorstand des Instituts für Hygiene und Technologie der Lebensmittel tierischen Ursprungs der Ludwig-Maximilians-Universität München. Im Mittelpunkt seiner wissenschaftlichen Arbeit steht die Verbesserung der hygienischen und substantiellen Qualität tierischer Lebensmittel und das Qualitätsmanagement in der Produktion.



Burkhard Spellerberg

leitet im Bundessortenamt das Referat für Sortenschutz und Wertprüfung bei Zier- und Forstgehölzen. Der promovierte Gartenbauwissenschaftler ist gleichzeitig Presseverantwortlicher der Behörde.



Marianna Schauzu

ist seit 1997 Leiterin der Zentralen Koordinationsstelle für neuartige Lebensmittel und Gentechnik im Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin (BgVV) in Berlin. Die promovierte Molekularbiologin arbeitete seit 1990 auf dem Gebiet der Biologischen Sicherheit und Gentechnik, seit 1994 gilt ihr Interesse verstärkt neuartigen Lebensmitteln.



Barbara Schallch

ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Hygiene und Technologie der Lebensmittel tierischen Ursprungs der Ludwig-Maximilians-Universität München. Die promovierte Tierärztin arbeitet auf dem Gebiet der Lebensmittelmikrobiologie.



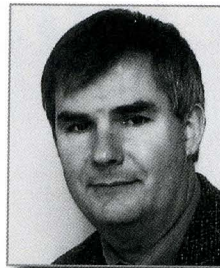
Ulrike Koller

arbeitet als Diplom-Geographin in der Umweltberatung Bayern. Das mit Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen in der GSF eingerichtete Projekt ist der zentrale Fachinformationsdienst für bayerische Behörden und Umweltberatungsstellen.



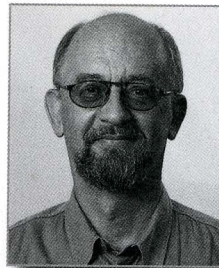
Gabi Börries

ist wissenschaftliche Mitarbeiterin des GSF-Instituts für Medizinische Informatik und Systemforschung. Die Diplom-Ökotrophologin untersucht Möglichkeiten, die Effektivität der Ernährungsberatung - auch durch den Einsatz neuer Medien - zu verbessern.



Willi Gilsbach

leitet im Landesuntersuchungsamt für das Gesundheitswesen Nordbayern das Sachgebiet für Rückstände von Pflanzenschutzmitteln und PCB. Als Mitglied mehrerer Gremien auf Bundes- und Länderebene ist der promovierte Lebensmittelchemiker an der Erarbeitung von Richtlinien und Empfehlungen für die Analytik von Pflanzenschutzmitteln beteiligt.



Erhard Deml

leitet die Abteilung für technische Sicherheit am GSF-Forschungszentrum. In seiner wissenschaftlichen Arbeit befasst sich der promovierte Biologe mit Testsystemen für kanzerogene Substanzen.



Dieter Ernst

leitet die Arbeitsgruppe Molekulare Phytodiagnostik am GSF-Institut für Biochemische Pflanzenpathologie. Der promovierte Biologe befasst sich unter anderem mit Fragen der ökologischen Risikoabschätzung transgener Pflanzen.



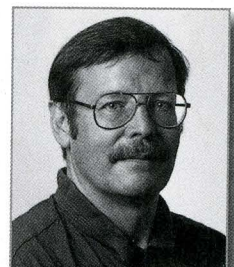
Johannes Friedrich Diehl

ist Honorarprofessor an der Universität Karlsruhe und Co-Editor der Zeitschrift Acta Alimentaria. Das Hauptinteressensgebiet des früheren Leiters der Bundesforschungsanstalt für Ernährung ist die Bewertung der gesundheitlichen Qualität der Lebensmittel und deren Beeinflussung durch Verarbeitung, Lagerung und den Gehalt an Rückständen und Verunreinigungen.



Veronika Schaeffler

befasst sich mit der Modellierung von Informationssystemen im medizinischen und ernährungswissenschaftlichen Bereich. Die promovierte Ökotrophologin ist wissenschaftliche Mitarbeiterin bei der Firma Medizinische Telematik Anwendungen GmbH (MTA).



Heinrich Sandermann

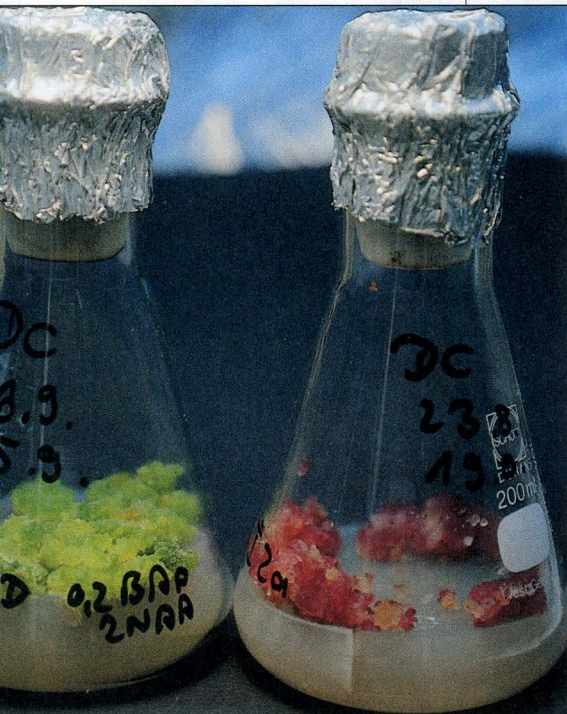
ist Direktor des GSF-Instituts für Biochemische Pflanzenpathologie und Professor für Botanik. Zu seinen Arbeitsgebieten gehört auch die Risikoforschung bei gentechnisch veränderten Nutzpflanzen.

Gentechnik bei Nutzpflanzen

Im Jahre 1983 wurden zum ersten Mal fremde Gene, nämlich bakterielle Resistenzgene für Antibiotika, die auch als Herbizid wirken, in Pflanzen überführt. Seitdem hat sich die Gentechnik bei Nutzpflanzen rasant entwickelt. Dahinter steht die Hoffnung, Erträge zu steigern, den Pflanzenschutz mit Biotechnologie statt mit Chemie zu erzielen, und Pflanzen in kleine Fabriken für wertvolle Natur- und industrielle Rohstoffe umzuwandeln.

Genübertragung bei Nutzpflanzen

Die Pioniere der pflanzlichen Gentechnologie machten sich die besonderen Fähigkeiten eines Bodenbakteriums zu Nutze: *Agrobacterium tumefaciens*, der Erreger der Wurzel-



halsgalle, einer pflanzlichen Krebsart, ist von Natur aus auf die genetische Transformation von Pflanzen spezialisiert. Es überträgt Teile seiner Erbinformation in die Chromosomen infizierter Pflanzenzellen. Das Bakterium



Versuchsanbau von transgenem Raps auf Gut Roggenstein: Bei dem Freisetzungsversuch wurden zwischen 1995 und 1997 ökologische Risiken durch Resistenzgene untersucht.

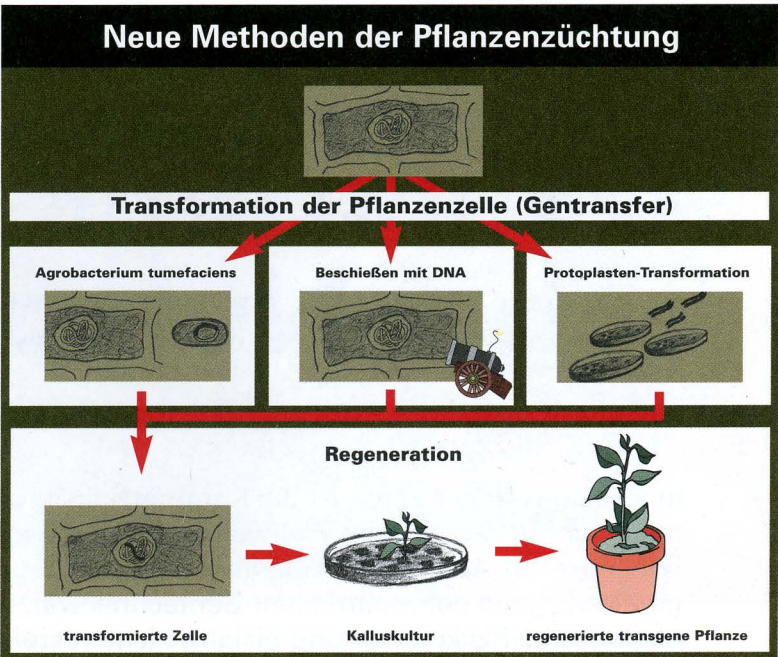
Foto: G. Fischbeck, TU München

me faciens, der Erreger der Wurzelhalsgalle, einer pflanzlichen Krebsart, ist von Natur aus auf die genetische Transformation von Pflanzen spezialisiert. Es überträgt Teile seiner Erbinformation in die Chromosomen infizierter Pflanzenzellen. Das Bakteri-

Kalluskulturen: Aus Zellkulturen lassen sich durch geeignete Hormonbehandlung wieder ganze Pflanzen heran ziehen.

Foto: C. Langebartels, GSF

um besitzt ein ringförmiges DNA-Element, in das man gewünschte Gene einfügen kann. Bei der Infektion durch das Bakterium wird die zusätzliche Erbinformation in die Pflanzenzelle übertragen. Eine weitere Technik, um fremde Gene in Pflanzenzellen einzubauen, ist der Beschuss mit kleinen DNA-beschichteten Gold- oder Wolframbügeln. Auch elektrische Verfahren – die so genannte Elektroporation – oder die Zugabe spezieller Hilfsstoffe ermöglichen die Aufnahme von DNA in zellwandfreie pflanzliche Zellen. Bei allen Verfahren ist die Trefferquote gering: Der Einbau der fremden Erbinformation erfolgt nur bei durchschnittlich einer von 10 000 Zellen. Durch geeignete Selektionsverfahren muss daher zunächst die transformierte Pflanzenzelle von der Vielzahl der nicht transformierten Zellen getrennt werden. Dies ist der Grund, warum häufig noch ein weiteres Gen für Antibiotikaresistenz eingefügt wird. Bei Zugabe des entsprechenden Antibiotikums sterben die



Abiotische Stressoren

Herbizide
Antibiotika
Allelochemikalien
Schwermetalle
Ozon
Salz
Hitze
Frost
Trocknis

Biotische Stressoren

Viren
Bakterien
Pilze
Nematoden
Insekten

Mit gentechnischen Methoden können Pflanzen gegen verschiedene Schadeinflüsse unempfindlicher gemacht werden. Durch die Resistenzen sollen Erträge gesteigert und der Pflanzenschutzmittel-Aufwand verringert werden.

nicht transformierten Zellen ab, nur die gentechnisch veränderten Zellen überleben. Nach Zugabe geeigneter Hormonkombinationen wächst aus der veränderten Pflanzenzelle in der Zellkultur wieder eine ganze Pflanze, die über Bestäubung und Samenbildung normal weiter vermehrt wird.

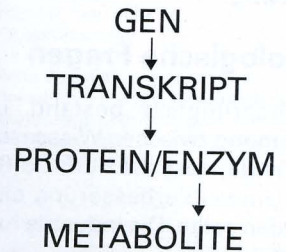
Anwendungen der Gentechnik

In der klassischen Züchtung wurden neue Sorten oft durch langwierige Rückkreuzungen oder ungerichtete Verfahren der Mutationsauslösung mit hohen Strahlendosen oder mit mutagenen Stoffen produziert. Die Gentechnik dagegen verwendet gezielte Methoden, um zu den gewünschten Eigenschaften zu kommen. Die eingeführten Gene können die Resistenzeigenschaften der Pflanzen gegen Schädlinge, Umwelt- und Klimastress verbessern. Ebenso können sie auch zur biotechnologischen Herstellung wertvoller Inhaltsstoffe wie Alkaloiden, Arzneimitteln, Kosmetika, Vitaminen, sonstigen Wirkstoffen, sowie modifizierter Stärke, Lipiden, Proteinen, Kunststoffen und sogar Antikörpern dienen. Neben der Einführung neuer Gene und deren Expression hat sich die Forschung auch auf die Inhibition der Genexpression mit „Antisense“-Techniken und auf die gesteigerte Expression bereits vorhandener, aber kaum exprimierter Schutzgene konzentriert. Allerdings stehen seit Jahren Gene für Resistenzen gegenüber Herbiziden verschiedener Hersteller-Firmen im Vordergrund. Die Gründe hierfür liegen im wirtschaftlichen Interesse der jeweiligen Firma und in dem Umstand, dass nur einzelne Gene zu übertragen sind. Der Gesetzgeber hat in den USA transgene Pflanzen

Vom Gen zur Funktion

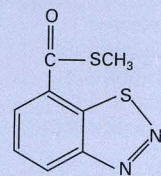
Die Desoxyribonukleinsäure (DNA) ist Träger der Erbanlagen von Mikroorganismen, Pflanzen, Tier und Mensch. Die jeweiligen Erbanlagen – die Gene – liegen auf der DNA in der Abfolge von vier Basenpaaren verschlüsselt vor. Sie steuern den Informationsfluss, der in den Zellen aller Organismen stattfindet. Das Gen wird abgelesen und führt zu einer Boten-Ribonukleinsäure, die auch als messenger-RNA (mRNA) oder Transkript bezeichnet wird. Die Strukturinformation der mRNA wird anschließend an den Ribosomen der Zelle in das entsprechende Protein übersetzt. Viele der Proteine wirken als Enzyme, die zu den Metaboliten der Zellen führen. Es besteht somit eine Hierarchie: Die Gene bilden die Informationsgrundlage für die Enzymologie und Entwicklung der Zelle. Ein Großteil der Regulation findet erst nach dem Prozess der Transkription auf der Ebene der Enzyme und Metabolite statt. Im Moment laufen bei Mikroorganismen, Pflanzen, Tieren und dem Menschen große Sequenzierungsprojekte für die Gesamtheit der jeweiligen Gene, das Genom. Dies führt zunächst nur zu einer Art von Sequenz-„Telefonbüchern“. Das eigentlich Spannende ist das Forschungsgebiet der funktionellen Genomik. Deren Ziel ist es heraus zu finden, wie die sequenzierten Gene über Transkripte, Proteine und Metabolite die Zellfunktionen steuern.

Informationsfluss in Zellen



Induzierte Resistenz bei Pflanzen

Verbesserte Resistenz gegen Pathogene lässt sich bei Kulturpflanzen auch durch eine gesteigerte Expression bereits vorhandener, aber kaum exprimierter Schutzgene erreichen. Dabei werden pflanzliche Abwehrgene aktiviert, die im Verlauf der Ertragszüchtung unserer Nutzpflanzen unterdrückt worden sind. Der neu entwickelte Wirkstoff BTH beispielsweise verstärkt die Expression von Erbanlagen, die der pflanzlichen Pilzabwehr dienen. Diese Gene sind als Teil des pflanzlichen Immunsystems bekannt. Der Wirkstoff wird zur Anwendung in Winterweizen bereits kommerziell vertrieben. Während eines ganz bestimmten Entwicklungszustandes der Weizenkeimlinge Mitte April kann durch Sprühen von BTH ein Schutz gegen Mehltau erreicht werden, der auch den Körnerertrag erhöht. Eine spätere Anwendung des Wirkstoffs erzielt keinen Schutzeffekt und kann sogar zu Verlusten an Blattgrün und einem Minderertrag führen. Die Wirkung von BTH zeigt, dass es in Kulturpflanzen versteckte und kaum exprimierte Genreserven gibt, die sich auf biochemischem Weg induzieren lassen. Der Einsatz von Pflanzenstärkungsmitteln ist auch Bestandteil ökologischer Landbaukonzepte. Hier werden verschiedene empirische Präparate, zum Beispiel aus Schachtelhalm oder Brennnessel eingesetzt, deren Wirkungen bislang mechanistisch nicht belegt sind. Erste wissenschaftliche Untersuchungen an einem aus dem Staudenknöterich hergestellten Präparat sowie an Chitosan, einem aus dem Chitin von Krabben oder Insekten hergestellten Mittel, haben eine gute Wirkung gegen bestimmte Pilze und eine Induktion pflanzlicher Abwehrgene belegt.



Bion

Aktiviert das pflanzliche Immunsystem: Der Wirkstoff BTH wird unter dem Handelsnamen Bion kommerziell in Winterweizen zur Abwehrstärkung gegen Mehltau-Befall vertrieben. Der Wirkstoff verstärkt die Expression von Genen der natürlichen pflanzlichen Pilzabwehr.

mit Herbizid- oder Insektenresistenz für den großflächigen Anbau zugelassen, obwohl die 1989 von der Ecological Society of America publizierten Prüfkriterien gerade hier besondere Untersuchungen erforderlich machten. Während in Deutschland noch um kleinflächige Freisetzungsversuche, die zum Teil der ökologischen Risikoforschung dienen, gestritten wird, sind weltweit an die 40 Millionen Hektar

Land bereits kommerziell mit transgenen Nutzpflanzen kultiviert. Berühmte Beispiele von Herbizid-resistenten transgenen Pflanzen sind die Roundup-Ready (RR-) Sojabohnen mit einer Resistenz gegen das Herbizid Glyphosat der Firma Monsanto, sowie Liberty-Link (LL-) Raps und -Mais mit einer Resistenz gegen das Herbizid BASTA der Firma Hoechst-Schering AgrEvo. Auch in der Europäischen Union wur-

Gentechnik bei Nutzpflanzen

den transgene Pflanzen bereits zugelassen, wobei wiederum die Resistenz gegen Herbizide und gegen Insekten überwog.

Ökologische Fragen

Ursprünglich bestand Übereinstimmung zwischen Wissenschaft und Industrie, dass die Herbizid-Resistenz zur Umweltverbesserung eingeführt werden sollte. Die Industrie hat jedoch

bisher keine Umweltbilanzen vorgelegt, sondern jeweils ihre eigenen Herbizide zur Entwicklung von Resistenzen eingesetzt. Darunter befinden sich auch Stoffe mit Umwelt- oder Gesundheitsproblemen, wie zum Beispiel die Herbizide Metribuzin, Atrazin und Bromoxynil. Für Glyphosat wurde vom Hersteller ein durchwegs schneller Abbau im Boden und die Unmöglichkeit der spontanen Resistenzbildung bei Unkräutern postuliert. Beide Angaben sind inzwischen widerlegt: Die Halbwertszeit im Boden kann Jahre betragen, und das Auftreten Glyphosat-resistenter Unkräuter wurde inzwischen auch von der Industrie bestätigt.

Die in den USA bereits großflächig kultivierten Nutzpflanzen mit Insekten-Resistenz tragen ein Gen für ein Toxin von *Bacillus thuringiensis* – abgekürzt Bt. Die Sporen dieses Bakteriums werden seit Jahren als biologisches Insektizid mit kurzer Lebenszeit auch im ökologischen Landbau eingesetzt. Dieses biologische Insektizid – so die Befürchtung von Ökologen – könnte schnell unwirksam werden, wenn die Bildung des Toxins in Nutzpflanzen zur Resistenzbildung bei Schadinsekten führt. Auch mögliche schädliche Wirkungen auf Nützlinge sind zu beachten: So stellten Wissenschaftler der US-amerikanischen Cornell Universität fest, dass der Bt-haltige Pollen von transgenen Maispflanzen Raupen des Monarch-Schmetterlings vergiftet. Andere Forscher fanden, dass die transgenen Pflanzen große Mengen des Bt-Toxins in den Boden abgeben. Dies könnte zum Absterben dort lebender Insekten



Feldversuch mit transgenen Petunien: Ein aus der Maispflanze stammendes Gen bewirkt die lachsrote Blütenfärbung. Die am Max-Planck-Institut für Züchtungsforschung entwickelten Pflanzen besitzen – neben der neuen Blütenfarbe – eine erhöhte Resistenz gegenüber Schadpilzen.

Foto: M. Kalda, MPI für Züchtungsforschung

Millionen Hektar		
Nutzpflanzen	1998	1999
Soja	14.5	21.6
Mais	8.3	11.1
Baumwolle	2.5	3.7
Raps	2.4	3.4
Kartoffel	< 0.1	< 0.1
Kürbis	0.0	< 0.1
Papaya	0.0	< 0.1
Transgene Eigenschaft		
Herbizidtoleranz	19.8	28.1
Insektenresistenz (Bt)	7.7	8.9
Bt / Herbizidtoleranz	0.3	2.9
Virusresistenz, andere Eigenschaften	<0.1	<0.1

Rund 40 Millionen Hektar Land wurden 1999 mit transgenen Nutzpflanzen kultiviert. Die Tabelle gibt einen Überblick über Pflanzenart, weltweite Anbauflächen und einklonierte Eigenschaften.

(übernommen aus Ferber 1999)

und zu einer Veränderung der Bodenfauna führen. Momentan wird kontrovers diskutiert, ob solche Laborergebnisse relevant für das Freiland sind. Offensichtlich ist jedoch, dass die Hersteller von Bt-Saatgut nicht ausreichend überprüft haben, wieweit Nebenwirkungen auftreten können. Auch der Frage, ob die transgenen Bt-Pflanzen sich in ihrer ökologischen Wirkung nicht doch grundlegend von den bisher eingesetzten Bt-Sporen unterscheiden, wurde nicht ausreichend nachgegangen.

Gentechnologie mit neuen Ansätzen

Der Einsatz bakterieller Gene für Antibiotika- und Herbizid-Resistenzen sowie für das Bt-Toxin lässt sich als pflanzliche Gentechnologie der „ersten Generation“ bezeichnen. Die Gentechnologie der „zweiten Generation“ beschäftigt sich mit der Übertragung definierter Pflanzengene auf eine Nutzpflanze. Die dabei eventuell immer noch eingesetzten bakteriellen Resistenz-Gene für Antibiotika, die zu ökologischen, aber auch gesundheitlichen Problemen führen könnten, lassen sich mit heutigen Methoden anschließend wieder entfernen. Ein frühes Beispiel

Prüfung für transgene Organismen

Mit Szenarien unerwünschter Umweltfolgen durch transgene Organismen hat sich die Wissenschaft bereits frühzeitig auseinander gesetzt. 1989 veröffentlichte die Ökologische Gesellschaft der USA sechs Prüfkriterien, die auf dem Vergleich von transgenen und Ausgangsorganismen basieren. Trifft eines der aufgeführten Kriterien zu, ist eine besonders gründliche wissenschaftliche Untersuchung erforderlich:

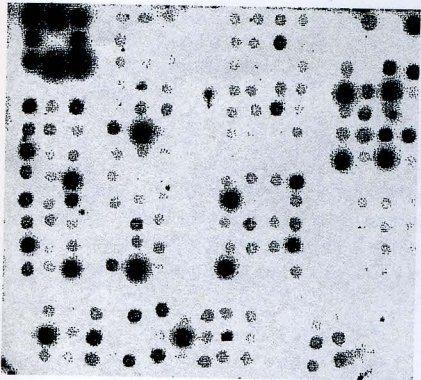
- Erhöhte Fitness
- Erhöhte Toxizität, Virulenz
- Erweitertes Habitat
- Resistenz gegen Pathogene und Pflanzenschädlinge (Herbivore)
- Selektionsvorteil unter Stress
- Auskreuzbarkeit mit verwandten Wildarten

übernommen aus Tiedje et al., 1989

für transgene Pflanzen der zweiten Generation waren die im Max-Planck-Institut für Züchtungsforschung in Köln entwickelten Petunien mit einer neuen, lachsroten Blütenfarbe. Diese waren durch die Übertragung eines Gens der Maispflanze gewonnen worden. Neben der neuen Blütenfarbe bewirkten die durch das Mais-Gen produzierten Eiweißstoffe auch eine erhöhte Resistenz der Petunien gegenüber Schadpilzen. Bis dahin war umstritten, ob man durch Übertragung eines einzigen Gens eine Pilzresistenz erreichen kann.

Immunschub für die Pflanze

Gentechnologische Methoden können auch für die Aktivierung des pflanzeigenen Immunsystems eingesetzt werden. Das GSF-Institut für Biochemische Pflanzenpathologie hat zusammen mit Partnerlabors in Belgien und in Gatersleben dafür die Antisense-Technik benutzt, mit der Gene oder Genabschnitte inaktiviert werden können. Man stattet dazu Pflanzen mit einem künstlichen Gen aus, dessen Basenfolge in Gegenrichtung zu dem „unerwünschten“ Gen entworfen ist. Das künstliche Gen inaktiviert die messenger-RNA für das Zielgen, so dass wesentlich weniger Protein gebildet wird. Mit dieser Technik wurden sowohl eine Catalase als auch Biosynthese-Enzyme für den grünen Blattfarbstoff Chlorophyll inaktiviert. In beiden Fällen reichern sich Sauerstoffradikale, die als Nebenprodukt der Photosynthese entstehen, in der Pflanzenzelle an. Die Anhäufung aktivierter Sauerstoffspezies wiederum führt zur



Genetischer Fingerprint für Quecksilber-Stress bei Pflanzen: Mit Hilfe von DNA-Chips wird es in naher Zukunft möglich sein, den Gesundheitszustand und die Vitalität von Pflanzen frühzeitig zu diagnostizieren. Auf die Chips sind Tausende von authentischen Gensonden aufgebracht. Die entsprechenden Transkripte lassen sich so mit einer Untersuchung erfassen.

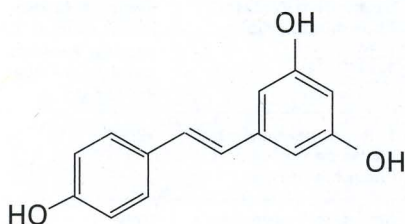
Antragsteller	Eingereicht Mitgliedsland Jahr	Produkt	Gentechnische Veränderung	Zulassung in der EU
Fa. Seita	Frankreich 1993	Tabak (PBD6-238-2)	Toleranz gegen Herbizide mit dem Wirkstoff Bromoxynil	1994
Fa. Plant Genetic Systems	Großbritannien 1994	Raps (MS1; RF1)	Männliche Sterilität (System zur Erzeugung von Hybridsaatgut) und Toleranz gegen Herbizide mit dem Wirkstoff Phosphinothricin	1996 Eingeschränkter Zweck, (noch) nicht für Lebensmittel- oder Futtermittelzwecke
Fa. Ciba Geigy	Frankreich 1994	Mais (Event 176)	Schadinsektenresistenz und Toleranz gegen Herbizide mit dem Wirkstoff Phosphinothricin	1997
Fa. Bejo Zaden BV	Niederlande 1994	Radicchio (RM3-3; RM3-4; RM3-6)	Männliche Sterilität (System zur Erzeugung von Hybridsaatgut) und Toleranz gegen Herbizide mit dem Wirkstoff Phosphinothricin	1996 Eingeschränkter Zweck, nur zur Saatguterzeugung
Fa. Monsanto	Großbritannien	Sojabohne (GTS40-3-2)	Toleranz gegen Herbizide mit dem Wirkstoff Glyphosat	1996 Eingeschränkter Zweck (Import, Lagerung, Verarbeitung), kein Anbau in der EU
Fa. Plant Genetic Systems	Frankreich 1995	Raps (2 Anträge, da 2 Linien) (MS1; RF1; RF2)	Männliche Sterilität (System zur Erzeugung von Hybridsaatgut) und Toleranz gegen Herbizide mit dem Wirkstoff Phosphinothricin	1997
Fa. AgrEvo	Deutschland 1996	Raps (Falcon GS40/90 pHoe6/Ac)	Toleranz gegen Herbizide mit dem Wirkstoff Phosphinothricin	Verfahren in der EU noch nicht abgeschlossen
Fa. AgrEvo	Großbritannien 1995	Raps (Topas 19/2, HCN92)	Toleranz gegen Herbizide mit dem Wirkstoff Phosphinothricin	1998 Eingeschränkter Zweck (Import, Lagerung, Verarbeitung), kein Anbau in der EU
Fa. AgrEvo	Frankreich 1995	Mais (T25)	Toleranz gegen Herbizide mit dem Wirkstoff Phosphinothricin	1998
Fa. Monsanto	Frankreich 1995	Mais (MON 810)	Schadinsektenresistenz	1998
Fa. Valio Ltd.	Finnland 1996	Testkit für Antibiotika	Streptococcus thermophilus Stamm mit Luciferase-Genen als Indikatoren	1997
Fa. Northrup	Großbritannien 1996	Mais (Bt11)	Schadinsektenresistenz	1998 Eingeschränkter Zweck (Import, Lagerung, Verarbeitung), kein Anbau in der EU
Fa. Florigene Europe B.V.	Niederlande 1996	Nelke (Linie 4,11,15,16)	Veränderung der Blütenfarbe	1997
Fa. Florigene Europe B.V.	Niederlande 1997	Nelke (Linie 66)	Verlängerte Haltbarkeit	1998
Fa. Florigene Europe B.V.	Niederlande 1997	Nelke (Linie 959A, 988A, 1226A, 1351A, 1363A, 1400A)	Veränderung der Blütenfarbe	1998

Zahlreiche transgene Pflanzen sind in der Europäischen Union bereits zugelassen. Saatgut dieser Sorten ist aber nicht frei verkehrsfähig, da sie bislang nicht in den gemeinsamen Sortenkatalog der EU aufgenommen wurden. Die Angaben stammen aus der Website des Robert-Koch-Instituts (www.rki.de) vom Dezember 1999.

Gentechnik bei Nutzpflanzen

Stimulierung des pflanzlichen Immunsystems. Wurden die so modifizierten Pflanzen mit Tabak-Mosaik-Viren oder bakteriellen Erregern infiziert, so zeigte sich eine deutlich erhöhte Resistenz. Allerdings ist das Verfahren bisher noch nicht in Feldversuchen überprüft worden.

Zum natürlichen Verteidigungsarsenal von Pflanzen gehört auch die Bildung von Inhaltsstoffen, die für Schaderreger toxisch sind. Bei der Firma Bayer AG machte man sich diese Abwehrstrategie versuchsweise für die Entwicklung einer Pilzresistenz zu nutze. Aus der Weinrebe wurde das Gen für den phenolischen Inhaltsstoff Resveratrol isoliert und in Tabak-, Tomaten-, Gersten-, Raps-, Reis- und Kartoffelpflanzen übertragen. Resveratrol hat eine Abwehrfunktion gegen pilzliche Erreger. Die mit dem Stilbensynthesegen aus der Weinrebe



Chemische Struktur des Phytoalexins Resveratrol aus der Weinrebe. Der Pflanzeninhaltsstoff schützt Wein vor pilzlichen Erregern.



Natürliche Abwehrstrategien des Weins funktionieren auch bei Kartoffeln: Das aus der Rebe übertragene Stilbensynthesegen macht die Pflanzen rechts im Bild gegen Pilzbefall resistent.

Foto: J. Thomzik, Bayer AG

ausgestatteten Kulturpflanzen zeigten bei Impfungsversuchen eine erhöhte Pilzresistenz. Diese Forschung war anfangs rein akademisch, da Resveratrol als Mutagen und verdächtiges Karzinogen eingestuft, und somit in Nahrungsmitteln nicht erwünscht war. In den letzten Jahren ist dieser Inhaltsstoff neu bewertet worden und gilt jetzt als Abwehrstoff gegen Herz/Kreislaufkrankungen, Arteriosklerose und Krebs beim Menschen. Transgene Nutzpflanzen mit dem Schutzgen aus der Rebe sind daher attraktiv geworden.

Ökologische Risiken durch Resistenzgene

Der 1990 vorgenommene Petunien-Freisetzungsversuch in Köln war das erste Freilandexperiment mit transgenen Pflanzen, das in Deutschland genehmigt wurde. Dieser, in der Öffentlichkeit umstrittene Versuch warf eine Reihe wichtiger Fragen für die ökologische Risikoforschung zur pflanzlichen Gentechnik auf. So widerlegte das Experiment die weit verbreitete Annahme, dass bakterielle Resistenzgene für Antibiotika von Natur aus in

Gemessenes Gen	Ungefähre Nachweiszeit	Untersuchungslabor
Kanamycin-Resistenz (npt-II)	zwei Monate	J. Becker et. al., MPI für Züchtungsforschung, Köln, 1994
Nicht spezifiziert	ein Jahr	E. Paget et al., CNRS, Villeurbanne, 1994
Kanamycin- and BASTA - Resistenz (npt-II, bar)	sechs Monate	K. Smalla et al., Biologische Bundesanstalt, 1995
BASTA -Resistenz (pat)	sieben Monate	R. C. Feldmann et al., Universität Mainz 1996
BASTA -Resistenz (pat)	acht Monate	D. Ernst et al., GSF, 1996
Kanamycin-Resistenz (npt-II)	vier Monate	R. Seidler, EPA-Corvallis, USA, 1996

Die Stabilität definierter Resistenzgene im Boden wird als ein Kriterium für den möglichen Übergang des Transgens in Bodenorganismen angesehen. In den in der Tabelle aufgeführten Untersuchungen wurde das intakte Resistenzgen bis zu einem Jahr in einzelnen Bodenproben nachgewiesen.

Kommerzielle transgene Pflanzen mit Herbizid- oder Insektenresistenz

Liberty Link (LL)-Raps

Raps mit einer Toleranz gegen das Breitbandherbizid Glufosinat (Wirkstoff Phosphinothricin, Handelsname Basta) wurde 1995 in Kanada und 1998 mit Einschränkungen in der EU zugelassen. Die Herbizidtoleranz wird durch das pat- oder bar-Gen vermittelt, das für eine N-Acetyltransferase für L-Phosphinothricin kodiert. Es stammt aus Bakterien, die L-Phosphinothricin-haltige Antibiotika produzieren. Das Gen wurde mit einem CaMV 35S - Promotor in Raps eingeführt. Hersteller ist die Firma Hoechst AgrEvo.

Roundup Ready (RR)-Soja

RR-Soja wurde 1996 in den USA kommerzialisiert. Die Pflanzen tragen eine Resistenz gegen den Wirkstoff Glyphosat, ein Breitbandherbizid, das unter dem Markennamen Roundup vertrieben wird. Glyphosat inaktiviert ein Enzym, das für das Pflanzenwachstum essentielle Aminosäuren synthetisiert (EPSP-Synthase). Das Resistenzgen CP-4 EPSP stammt aus dem Glyphosat-resistenten Stamm CP-4 des Bodenbakteriums *Agrobacterium tumefaciens*, der in einer Produktionsanlage für Glyphosat isoliert wurde. Das Gen wurde mit einem CaMV 35S-Promotor, und einer DNA für eine Leader Sequenz für den Import des Enzyms in Chloroplasten in Soja eingebracht. Round-up Ready Soja wird von der Firma Monsanto vertrieben. In der Europäischen Union sind die Pflanzen für den Anbau bislang nicht zugelassen, dürfen jedoch als Viehfutter und industrieller Nahrungsgrundstoff eingeführt werden.

Mais Guard oder Maximizer Mais

Die 1995 erstmals in den USA kommerzialisierten Pflanzen enthalten ein Gen des Bakteriums *Bacillus thuringiensis*. Das Gen codiert für ein toxisches Protein, das sehr spezifisch auf einen weit verbreiteten Maisschädling wirkt. In den Mais wurde das Cry 1A(b)-Gen für ein Bt-Toxin aus *Bacillus thuringiensis* subspec. Kurstaki zusammen mit zwei Resistenz-Genen für Phosphinothricin - ein Pflanzenschutzmittel - und Ampicillin- ein in der Humanmedizin verwendetes Antibiotikum - eingebracht. Die Resistenz-Gene dienen als Selektionsmarker. Das Gen für Ampicillin-Resistenz ist inaktiv und wird in den Pflanzen nicht exprimiert. In Kanada wurde der von der Firma Novartis entwickelte Mais 1996 zugelassen. Für die EU liegt eine eingeschränkte Zulassung vor - ein Anbau ist derzeit nicht erlaubt.



Vermehrung transgener Reispflanzen in der Klimakammer: Das Stilbensynthasegen aus der Weinrebe schützt die Pflanzen gegen den Erreger des Reisbrandes *Pyricularia oryzae*. Das Transgen ist stabil und wird auf die Nachkommengeneration vererbt.

Foto: J. Thomzik, Bayer AG



Regeneration transgener Reispflanzen: Durch geeignete Selektionsverfahren werden transformierte und nicht-transformierte Zellen getrennt. In der Zellkultur wachsen aus den veränderten Zellen Pflanzen, die normal weiter vermehrt werden.

Foto: J. Thomzik, Bayer AG



Gefürchteter Schädling: Die Raupen des Maiszünzlers verursachen erhebliche Fraßschäden und Ernteeinbußen. Transgener Mais, der ein bakterielles Toxin gegen den Schädling besitzt, ist in der Europäischen Union für den Anbau nicht zugelassen.

Foto: Dr. Zellner, Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau

zenarten sind Fremdbestäubungen und damit ein Übergang der Resistenz auf Wildpflanzen und Unkräuter zu überprüfen.

Risikoforschung in Roggenstein

Wie hoch nun tatsächlich die Transformationsraten von Bodenorganismen und Pflanzen sind und welche Rolle Pollenflug und Fremdbestäu-

bung spielen, sollte in einem mehrjährigen Versuch auf dem in der Nähe von Fürstenfeldbruck gelegenen Gut Roggenstein untersucht werden. Dieser Freisetzungsversuch wurde von der Bayerischen Forschungsförderung von 1995 bis 1997 finanziert, um die zur Beantwortung der offenen ökologischen Fragen erforderlichen Methoden zu entwickeln. In einem Verbund zwischen den Lehrstühlen für Pflanzenbau und Mikrobiologie der Technischen Universität München und den Instituten für Biochemische Pflanzenpathologie und Bodenökologie der GSF wurden auf dem Versuchsgut Parzellen mit transgenem Mais und Raps angelegt. Die transgenen Pflanzen trugen das pat-Gen, das den Pflanzen eine Resistenz gegen das Totalherbizid BASTA verleiht. Nach der Anwendung in transgenem Raps übte das Totalherbizid keinen Selektionsdruck im Boden aus, und das Resistenzgen ließ sich in den Mikroorganismen des Bodens auf den Versuchspartellen nicht nachweisen. Für Zuckerrüben wäre nach der Modellierung von Firmendaten ein wesentlich höherer Selektionsdruck zu erwarten.

Bei der Untersuchung von Pollenflug und Fremdbestäubung durch Wind oder durch Bienen ergaben sich in Roggenstein für Raps messbare Übertragungsraten, die allerdings geringer waren als in anderen Freisetzungsversuchen. Als bedeutsam erwies sich jedoch ein anderer Überdauerungsmechanismus für das Transgen: Bei der Ernte der reifen Rapspflanzen fiel ein erheblicher Prozentsatz der Rapssamen aus und ge-

allen Böden vorhanden sind. In der mit konventionellen Pflanzen kultivierten Kontrollparzelle zum Kölner Freisetzungsversuch nämlich war das in die transgenen Petunien eingeschleuste Antibiotikum-Resistenzgen nicht auffindbar. In der transgenen Parzelle hingegen konnte das intakte Resistenzgen selbst zwei Monate nach dem Unterpflügen der Petunien in einzelnen Bodenproben noch nachgewiesen werden. Spätere Versuche in Deutschland, Frankreich und den USA bestätigten dieses Ergebnis. So wurden bei insgesamt sechs Untersuchungen definierte Resistenzgene bis zu über einem Jahr lang im Boden nachgewiesen. An der Universität Oldenburg durchgeführte Forschungen zeigten zwar, dass DNA im Boden fest an Mineralpartikel gebunden und damit stabilisiert wird, dass aber trotzdem eine Transformation von Bakterien stattfindet.

Die weit verbreitete Annahme, dass der horizontale Gentransfer von der Pflanze in Mikroorganismen zu vernachlässigen sei, ist nicht schlüssig. Die entsprechenden Versuche wurden jeweils nur über kurze Zeiträume und ohne Selektionsdruck durchgeführt. Von einem Selektionsdruck des Totalherbizids muss jedoch ausgegangen werden, da der herbizide Wirkstoff auch auf Bodenorganismen schädigende Wirkungen ausübt. Von Natur oder durch Gentransfer resistente Organismen haben unter dem Einfluss des Herbizids einen Selektionsvorteil. Der Selektionsdruck ist umso stärker, je höher Aufwandmenge und Anwendungshäufigkeit des Wirkstoffes sind. Auch durch Pollenflug kann es prinzipiell zu einer unerwünschten Verbreitung des Resistenzgens in der Umwelt kommen. Bei nahe verwandten Pflan-

Gentechnik bei Nutzpflanzen

langte auf den Boden. Die Samen sind winterfest und behalten ihre Keimfähigkeit über Jahre, sodass das Resistenzgen für längere Zeit im Genpool des Bodens verbleibt. Trotz der aufgedeckten Risikomomente wurde der Roggenstein-Versuch nicht über die Pilotphase hinaus verlängert.

Risikoforschung schafft Vertrauen

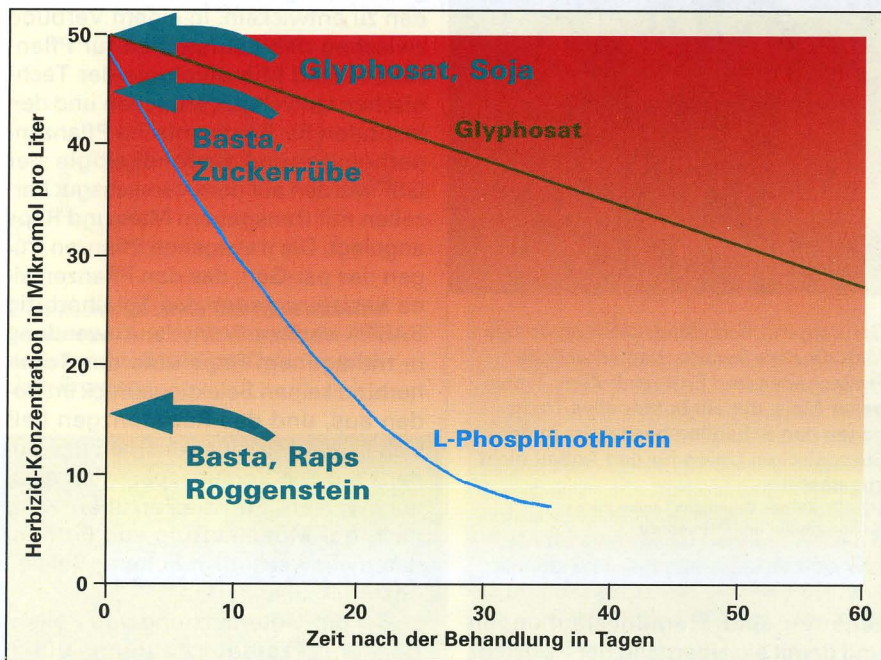
Für die ökologische Bewertung der Gentechnik bei Nutzpflanzen besteht eine bedenkliche Wissenslücke. Entgegen den Zielvorgaben von Wissenschaft und Industrie hat die schnelle Kommerzialisierung von transgenen Nutzpflanzen der „ersten Generation“ keinen nachgewiesenen ökologischen Vorteil erbracht. Ob ökologische Nachteile durch gentechnisch induzierte Antibiotika-, Herbizid-, oder Insektenresistenzen

auftreten, wurde nicht ausreichend erforscht. Trotz tausender Freisetzungsversuche mit transgenen Organismen weltweit ist für eine ökologische Risikobeurteilung noch immer keine ausreichende Datengrundlage vorhanden, stellte die Bundesregierung 1997 in ihrem Programm „Forschung für die Umwelt“ fest. Prüfkriterien für ökologische Risiken durch transgene Organismen sind von der Ecological Society of America bereits 1989 erarbeitet und veröffentlicht worden. Bei der kommerziellen Zulassung transgener Nutzpflanzen der ersten Generation wurden diese Testkriterien von den zuständigen US-Regierungsbehörden jedoch ignoriert. Die Anwendung transgener Nutzpflanzen der „zweiten Generation“ mit verstärkten natürlichen Resistenzeigenschaften oder verbesserter Nahrungsqualität lässt von ihrer Entwicklungskonzeption her keinen unmittelbaren Selektionsdruck auf Bodenorganismen und Wildpflanzen erwarten. Um diesen neuen Entwicklungen der pflanzlichen Gentechnik in der öffentlichen Akzeptanz überhaupt eine Chance zu verschaffen, müsste dringend eine solide ökologische Risikoforschung in Gang kommen.



Nährwertsteigerung mit Hilfe der Gentechnik: Durch die Übertragung von vier zusätzlichen Genen bildet der von Universitätsforschern in Zürich und Freiburg entwickelte „Goldene Reis“ Beta-Carotin, eine Vorstufe des Vitamin-A. Die Pflanze soll helfen, die in Entwicklungsländern weit verbreitete Unterversorgung mit diesem Vitamin zu lindern. Nach Schätzungen der Vereinten Nationen erblinden allein in Südostasien jährlich eine Viertel-million Kinder durch Vitamin-A-Mangel.

Foto: P. Beyer, Universität Freiburg



Unter dem Einfluss von Totalherbiziden ist im Boden ein Selektionsdruck zu Gunsten resistenter Organismen zu erwarten. Die Höhe des Selektionsdrucks hängt von Aufwandmenge und Anwendungshäufigkeit und damit auch von der Kulturart ab. Für die Wirkstoffe L-Phosphinothricin (BASTA) und Glyphosat wurde der Selektionsdruck mit Hilfe der von den Herstellerfirmen empfohlenen Aufwendungsmengen für verschiedene Nutzpflanzen modelliert. Ein noch höherer Selektionsdruck errechnete sich für Glyphosat-resistente (RR-) Sojabohnen, die in den USA bereits auf Millionen von Hektar angebaut werden und in Viehfutter und Nahrungsgrundstoffen nach Europa eingeführt werden.

nach: Berichtsband Vdbiol-Forum München: Gentechnik, Ökologie und Ernährung, Hrsg.: Verband Deutscher Biologen e.V., München (1998)

Literaturhinweise:

D. Ernst, H. Rosenbrock, A. Hartmann, G. Kirchhof, S. Bauer, W. Ludwig, K.-H. Schleifer, H. Sander-mann, G. Fischbeck: Sicherheitsforschung zu Freisetzungsversuchen in Roggenstein (Bayern). Bundesgesundheitsblatt 41, S. 523 - 530 (1999)

D. Ferber: GM crops in the cross hairs. Science, 286, 1662-1666 (1999)

ForBiosich (Hrsg.): Ergebnisse Biologischer Sicherheitsforschung in Bayern, 1993-1997, München (1997)

J. E. Thomzik: Genübertragung in Pflanzen. Pflanzenschutznachrichten Bayer, Sonderausgabe, 48, 5-23 (1995)

J. M. Tiedje, R. K. Colwell, Y. L. Grossman, R. E. Hodson, R.E. Lenski, R. N. Mack, P. J. Regal, D. Ferber: The planned introduction of genetically engineered organisms: ecological considerations and recommendations. Ecology, 70, pp. 298-315 (1989)

Internettipps:

<http://www.mpiz-koeln.mpg.de/>

Das Max-Planck-Institut für Züchtungsforschung in Köln hält allgemeine Informationen zur Gentechnik bereit.

<http://www.rdg.ac.uk/EIBE/>

Die Europäische Initiative für Biotechnik im Unterricht (EIBE) bietet Unterrichtseinheiten unter anderem zu transgenen Pflanzen, die als pdf-File herunter geladen werden können.

<http://www.rki.de>

Die Website des Robert-Koch-Instituts informiert über Gesetze, Verordnungen und Richtlinien zur Gen- und Biotechnologie und bietet eine thematische Sammlung weiterführender Links.