



Transgene Pflanzen

EINHEIT
9

European Initiative for Biotechnology Education

Verfasser dieser Einheit

Vic Damen (Koordinator dieser Einheit), Catherine Adley, Fred Brinkman, Dorte Hammelev, Margareta Johansson, Marleen van Strydonk



Die Europäische Initiative für den Unterricht (EIBE) hat sich die Aufgabe gestellt, durch einen neartigen Unterricht in Schule und Lehrerbildung das Verständnis der Biotechnik zu fördern sowie Beiträge zu einer fundierten öffentlichen Debatte über dieses Gebiet zu liefern.

EIBE



BELGIË/BELGIQUE

Prof. Dr. Vic DAMEN/ Marleen van STRYDONCK, Universitaire Instelling Antwerpen (U.I.A.), Department Didactiek en Critiek, Universitätsplein 1, 2610 Antwerpen, email mvstryd@uia.ua.ac.be
Dr. Maurice LEX, EC, GD XII E-1, SDME 9/38, Rue de la Loi 200, 1049 Bruxelles, Fax 0032/2/299-1860



BULGARIA

Prof. Raytcho DIMKOV, University of Sofia 'St. Kliment Ohridski', Faculty of Biology, Dr. Tzankov blvd. No. 8, 1421 Sofia, email ray@biofac.uni-sofia.bg



CZESKÁ REPUBLIKA

Dr. Hana NOVÁKOVÁ, Pedagogprogram co-op Pedagogiká Fakulta UK, Konevova 241, 1300 Praha 3. Fax +420/2/684 5071



DANMARK

Dr. Dorte HAMMELEV, Association of Danish Biologists, Sønderjyllands Alle 2, 2000 Frederiksberg, email dorte@centrum.dk
Mrs Lisbet MARCUSSEN, Association of Danish Biologists, Skolebakken 13, 5800 Nyborg, email lisbetma@post2.tele.dk



DEUTSCHLAND

Prof. Dr. Horst BAYRHUBER/ Dr. Eckhard R. LUCIUS/ Mrs Renate GLAWE, Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN) an der Universität Kiel, Olshausenstr. 62, 24098 Kiel, email bayrhuber@ipn.uni-kiel.de, lucius@ipn.uni-kiel.de; glawe@ipn.uni-kiel.de

Dr. Ognian SERAFIMOV, INCS-Centre of UNESCO, c/o Jörg-Zürn-Gewerbeschule, Rauensteinstr. 17, 88662 Überlingen, email joergzuern.os@t-online.de, ognian.serafimov@t-online.de

Prof. Dr. Eberhardt TODT, Universität Giessen, FB Psychologie, Otto-Behagel Str. 10, 35394 Giessen, email Eberhard.Todt@psychol.uni-giessen.de
Prof. Dr. Michael SCHALLIES, Pädagogische Hochschule, Heidelberg, FB Chemie, Im Neuenheimer Feld 561, 69120 Heidelberg, email schallie@ph-heidelberg.de



EESTI

Prof. Dr. Tago SARAPUU, Science Didactics, Dept., University of Tartu, Vanemuise 46-211, Tartu 51014, email tago@ut.ee.



EIRE

Dr. Catherine ADLEY, University of Limerick, Biotechnology Awareness Centre, Dept. of Chemical and Environmental Sciences, Limerick, email Catherine.Adley@ul.ie
Mrs. Cecily LEONARD, University of Limerick, Dept. of Life Sciences, Limerick, email cecily.leonard@ul.ie



ELLADA

Prof. Vasilis KOULALDIS/ Ass. Prof. Vasiliki ZOGZA-DIMITRIADI, University of Patras, Dept. of Education, Rion, 26500 Patras, email zogza@upatras.gr, Koulaidi@upatras.gr



ESPAÑA

Dr. María J. SÁEZ, Dr. Angela GÓMEZ-NIÑO/ Rosa VILLAMANAN, Universidad de Valladolid, Dept. de Biología Celular y Farmacología, Geologo Hernandez Pacheco 1, Valladolid 47014, email mariaj@redestb.es, Angela@biocel.uva.es, rvillama@dce.uva.es



FRANCE

Prof. Gérard COUTOULY, LEGPT Jean Rostand, 18, Boulevard de la Victoire, 67084 Strasbourg Cedex, email coutouly@cybercable.tm.fr
Prof. Laurence SIMONNEAUX, ENFA, Toulouse, Boite Postale 87, 31326 Castanet-Tolosan Cedex, email laurence.simonneaux@educagri.fr



ITALIA

Prof. A. BARGELLESI-SEVERI/ Dr. Stefania UCCELLI/ Dr. ssa. A. CORDA-MANNINO, Centro di Biotecnologie Avanzate, Largo Rosanna Benzi 10, 16132 Genova., email dcs@ist.unige.it, ste@ist.unige.it



LUXEMBOURG

Mr. John WATSON/ Mr. Laurent KIEFFER, European School, 23 BLVD Konrad Adenauer, 1115 Luxembourg, email krit@eursc.org, john.watson@ci.edu.lu



NEDERLAND

Dr. David J. BENNETT, European Federation of Biotechnology Working Party on Education, Cambridge Biomedical Consultants, Oude Delft 60, NL-2611 CD Delfte, email efb.cbc@stm.tudelft.nl

Dr. Fred BRINKMAN, Hogeschool Holland, Communication Project, P.O. Box 261, 1110 AG Diemen, email f.brinkman@hsholland.nl

Drs. Liesbeth van de GRINT, email e.m.j.grint@student.utwente.nl

Dr. Jan F.J. FRINGS, Pr. Marijkelaan 10, 7204 AA Zutphen, email j.frings@hccnet.nl

Dr. Ana-Maria BRAVO-ANGEL, Secretariat of the Task Group on Public Perceptions of Biotechnology, Oude Delft 60, NL-2611 CD Delfte, email efb.cbc@stm.tudelft.nl



RZECZPOSPOLITA POLSKA

Dr. Anna STERNICKA, University of Gdansk, Dept. of Biology, AL. Legionow 9, 80952 Gdansk, email bioas@univ.gda.pl



SCHWEIZ

Dr. Kirsten SCHLÜTER, Höheres Lehramt Mittelschulen der Universität Zürich, Winterthurerstr. 30, CH-8033 Zürich, email kschluet@hlm.unizh.ch



SVERIGE

Mrs. Margareta JOHANSSON, Föreningen Gensyn, P.O. Box 37, 26821 Svalöv, email henrik.johansson@mbox372.swipnet.net

Dr. Elisabeth STRÖMBERG, Östrabogymnasiet, Kämpegatan 36, 451 81 Uddevalla, email es@ostrabo.uddevalla.se



THE UNITED KINGDOM

Dr. John GRAINGER/ Mr. John SCHOLLAR/ Dr. Caroline SHEARER, National Centre for Biotechnology Education, The University of Reading, Whiteknights, P.O. Box 228, Reading RG6 6AJ, email j.m.grainger@rdg.ac.uk, j.w.schollar@rdg.ac.uk, c.shearer@rdg.ac.uk
Mr. Wilbert GARVIN, email wilbert@leagland.fsnet.co.uk

Dr. Jill TURNER, The Medical Biology Centre, The Queen's University of Belfast, 97 Lisburn Road, Belfast BT9 7BL, email jill.turner@queens-belfast.ac.uk

Dr. Paul WYMER, 6 Park Way, Whetstone London N20 0XP, email paul.wymer@virgin.net

Dr. Jenny LEWIS, University of Leeds, Centre for Studies in Science and Mathematics Education, Leeds LS2 9JT, email j.m.lewis@education.leeds.ac.uk

Mr. Adam HEDGECOE, University College London, Dept. of Science and Technology Studies, Gower Street, London WC1E 6BT, email a.hedgecoe@ucl.ac.uk

EIBE co-ordinator

Prof. Dr. Horst BAYRHUBER, Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN) an der Universität Kiel, Olshausenstr. 62, 24098 Kiel, Deutschland.
Tel.: ++49-431-880-3129, Fax: +49-431-880-3132 email: bayrhuber@ipn.uni-kiel.de.

EIBE secretariat

Renate GLAWE, Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN) an der Universität Kiel, Olshausenstr. 62, 24098 Kiel, Deutschland.
Tel.: +49-431-880 3132, Fax +49-431-880 3132, email: glawe@ipn.uni-kiel.de.



Transgene Pflanzen

EINHEIT 9

European Initiative for Biotechnology Education

INHALT

Inhalt

★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★

	Entwicklungsteam und Urheberrechte	4
	Zu dieser Einheit	5
	Transgene Pflanzen	
	Einleitung	6
	Wie transgene Pflanzen erzeugt werden	6
	Wie transgene Pflanzen eingesetzt werden	9
	Welche Pflanzen?	11
	Informationskasten	13
	Fallbeispiele	
	Raps, Mais, Tomaten	14
	Sojabohnen	15
	Chancen und Risiken	16
	Anhang 1	
	Beschluss der Kommission	18
	Anhang 2	
	Musterfragebogen	20

World-Wide-Web

★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★

Es gibt nur wenig Bereiche, in denen so schnelle Fortschritte verzeichnet werden wie in der Biotechnik. Um die Informationen in diesen EIBE-Einheit bei möglichst geringen Kosten auf einen guten Stand zu halten, werden sie in elektronischer Form veröffentlicht.

Diese Seiten (wie die anderen EIBE-Einheiten) sind weltweit über das World-Wide-Web zugänglich, zu finden unter
<http://www.eibe.org>

Alle EIBE-Einheiten im World-Wide-Web sind in Form von PDF-Dateien (PDF = Portable Document Format). PDF-Dateien ermöglichen bei jedem Computersystem (Macintosh einschließlich Power PC, Windows, DOS oder Unix-Plattformen) die Übertragung qualitativ hochwertiger Illustrationen, sowie die Erhaltung der Farben, der Schriftarten und des Layouts des ursprünglichen Dokuments.

PDF-Dateien sind auch weniger umfangreich als die ursprünglichen Dateien und sind somit schneller herunterzuladen. Um die EIBE-Einheiten lesen zu können, muss allerdings ein *Adobe Acrobat Reader*® als Programm in Ihrem System installiert sein.

Das neuste *Acrobat Reader*® kann kostenlos bezogen werden. Es kann von der EIBE-Website oder von
<http://www.adobe.com/>
heruntergeladen werden. Mit dieser Software können Sie die EIBE-Einheiten lesen oder drucken. Sie können sich auch in den Dokumenten bequem bewegen und sie durchsuchen.

HINWEIS: *Adobe* und *Acrobat* sind Markenzeichen von Adobe Systems Incorporated. *Macintosh* ist ein eingetragenes Markenzeichen von Apple Computer Incorporated.

Autoren dieser Einheit

- **Vic Damen** (Koordinator der Einheit) & **Marleen van Strydonck**
Universiteit Antwerpen, R&D Groep,
VEO, Afdeling Didactiek en Critiek,
Univeriteitsplein 1, B-2610 Antwerpen
- **Catherine Adley**
University of Limerick, Plassey,
Limerick, Irland
- **Fred Brinkman**
IDO/VU, Vrije Universiteit
Amsterdam, De Boelelaan 1115, NL-
1081 HV Amsterdam
- **Dorte Hammelev**
IMFUFAA, University of Roskilde,
Dänemark
- **Margaretta Johansson**
Svalöv Science Centre, Svalöv,
Schweden

Konzept, Illustrationen und Satz:
Caroline Shearer, NCBE, The University
of Reading, The United Kingdom

Dank

Unser Dank gilt Herrn Dr. F. Folmer D. Eriksen vom toxikologischen Instituts des dänischen Landwirtschaftsministeriums, der uns in der Vorbereitung dieser Einheit außerordentliche Hilfe leistete. Ebenfalls danken möchten wir Herrn Dr. Holger Petersen und Frau Dr. Juliane Alberg vom dänischen Umwelt- und Energieministerium, sowie der Umweltschutzbehörde Dänemarks, die wertvolle Informationen und Rat gaben.

© Urheberrechte

Diese EIBE-Einheit ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte vorbehalten.

Zum Schulgebrauch. Elektronische und gedruckte Kopien dieser EIBE-Einheit oder einzelner Seiten dürfen im Unterricht eingesetzt werden, vorausgesetzt, dass die Kopien kostenlos oder zum Vervielfältigungspreis zur Verfügung gestellt werden, und dass die Autorinnen und Autoren der Einheit als solche genannt und gekennzeichnet werden.

Zum anderweitigen Gebrauch. Die Einheit darf von Einzelpersonen an Einzelpersonen zu nicht-kommerziellen Zwecken weitergegeben werden. Untersagt ist die Verbreitung über elektronische Verteilerlisten, Mail-(Listserv)-Listen, Nachrichten-gruppen, Schwarzes-Brett- oder nicht autorisierte World-Wide-Web-Postings, oder über andere Mechanismen der Massenvervielfältigung, des Zugangs oder der Reproduktion, die ein Abonnements oder den autorisierten Zugang ersetzen, oder auf eine Weise, die nicht als gutgläubiger Versuch der Einhaltung dieser Einschränkungen anzusehen ist.

Kommerzieller Gebrauch. Im Fall, dass Sie diese Einheit ganz oder auszugsweise zu kommerziellen Zwecken nutzen oder sie in jeder Form neu veröffentlichen möchten, wenden Sie sich an das

Sekretariat EIBE
c/o IPN
Universität Kiel
Olshausenstraße 62
D-24098 KIEL 1
Deutschland
Telefon: +49 (0) 431 880 3132
Fax: +49 (0) 431 880 3132
Email: glawe@ipn.uni-kiel.de

Zu den EIBE-Einheiten

Diese Materialien sind von Lehrerinnen und Lehrern im aktiven Schuldienst und von Erziehungswissenschaftlern aus mehreren europäischen Ländern entwickelt worden. Ermöglicht wurde diese Zusammenarbeit durch die finanzielle Unterstützung wie auch die Ermutigung des DGXII der Europäischen Kommission, unter der Schirmherrschaft von EIBE, der Europäischen Initiative für Biotechnologie im Unterricht.

Die EIBE-Materialien sind im Rahmen von Workshops, an denen Lehrkräfte aus mehreren europäischen Ländern teilnahmen, ausführlich erprobt.

Die Ansichten, die in dieser Einheit Ausdruck finden, sowie die hier vorgeschlagenen Aktivitäten sind die der Autorinnen und Autoren und nicht der Europäischen Kommission.

Zu dieser Einheit

Diese Einheit besteht aus aktuellen Informationen über transgene Pflanzen und ihre Verwendung. Sie soll das Stoffverständnis vertiefen und Hintergründe vermitteln, damit im Unterricht die Rolle transgener Pflanzen in der heutigen Gesellschaft fundiert diskutiert werden kann.

Folgende Abschnitte sind in dieser Einheit enthalten:

1. Eine problemorientierte Einleitung.
2. Die wissenschaftlichen Grundsätze und Technologien, die bei der Erzeugung einer transgenen Pflanze eine Rolle spielen.
3. Die Bedeutung von Freilandversuchen und ihre Folgen.
4. Informationen zur Risikoanalyse und EU-Bestimmungen.
5. Hintergrundinformationen zu ausgewählten Anbaupflanzen, die in der aktuellen Forschung über transgene Pflanzen von besonderer Bedeutung sind: Tomaten; Kartoffeln; Sojabohnen und Rapsöl.
6. Vorschläge für die Reflexion über die Vorteile wie auch die Probleme, die bei der Erzeugung und weltweiter Nutzung transgener Pflanzen zu erwarten sind.
7. Ein Fragebogen zur Auswertung von Schülervorstellungen über die Begriffswelt Pflanzen, Gene und genetische Merkmale (Anhang 2).

Wie ist diese Einheit einzusetzen?

Seitens der Schülerinnen und Schüler sind keine vertieften Kenntnisse über transgene Pflanzen oder die DNA-Technik erforderlich. Sie sollten über ein Grundwissen im Bereich der Genetik verfügen und wenn möglich einige Grundkenntnisse über die Gentechnik besitzen. Um einen Eindruck von ihrem Verständnis der Begriffe Pflanze, Gen und der Expression genetischer Merkmale zu gewinnen, kann der mitgelieferte Fragebogen (Anhang 2) eingesetzt werden. Der Bogen sollte in maximal 10 Minuten ausgefüllt werden. Es ist wichtig, dass Sie keine Hinweise zur Beantwortung geben. Die Jugendlichen sollten zur Beantwortung der Fragen ermutigt werden, auch wenn sie sich der Antworten nicht sicher sind.

Die Einheit kann in traditioneller Weise im naturwissenschaftlichen Unterricht eingesetzt

werden, um ein Verständnis des Begriffes transgene Pflanzen sowie der damit verbundenen gesellschaftlichen Fragen zu entwickeln.

Ziele des Unterrichts: Die Schülerinnen und Schüler können anschließend

- die unterschiedlichen Techniken beschreiben, die zur Erzeugung einer transgenen Pflanze eingesetzt werden können.
- begründen, warum eine niedrige Erfolgsquote zu verzeichnen ist, d.h. warum wenig gute Ergebnisse erzielt werden und die transgenen Pflanzen unter nicht-optimalen Bedingungen instabil sind.
- erklären, dass die Einführung transgener Pflanzen in den westlichen Ländern erst nach Forschung, Freilandversuchen und gründlicher Risikoanalyse erfolgt und dass es dazu ein extensives Regelwerk gibt.
- die Vor- und Nachteile des Einsatzes transgener Pflanzen erwägen, indem sie aus der biologischen sowie der ökonomischen und der gesellschaftlichen Perspektive argumentieren.

Die Einheit kann ebenfalls im problemorientierten Unterricht eingesetzt werden. Der einleitende Text dient in diesem Fall als Impuls zur Analyse eines spezifischen Problems, das in der Anwendung der transgenen Baumwollpflanze festgestellt wurde. Die Einheit enthält weitere Informationen, die es den Schülerinnen und Schülern ermöglicht, Antworten auf ihre Fragen zu bekommen. Anschließend sind sie in der Lage, die Vor- und Nachteile der verschiedenen transgenen Pflanzen zu diskutieren.

Zusätzlich zu diesen genannten Zielen können die Schülerinnen und Schüler Fertigkeiten der Problemanalyse entwickeln und auch selbst nach Informationen suchen, um einen tieferen Einblick in die im Einleitungstext dargestellten Probleme zu gewinnen.

Einleitung



Im Sommer 1996 waren zahlreiche Schlagzeilen über genetisch modifizierte Baumwolle in den Zeitungen zu lesen. In Mexiko und in den Südstaaten der USA wurde festgestellt, dass bei Baumwollpflanzen, die genetisch modifiziert waren, um gegen Raupen resistent zu sein, die zweite Pflanzengeneration in manchen Gegenden keine Resistenz mehr aufwies. Raupen zerstörten die Pflanzen in der gewohnten Weise, indem sie die Saatkapseln fraßen. Es waren 800.000 Hektar dieser besonderen Pflanzensorte angebaut, und die eingeführte Resistenzeigenschaft hätte dazu führen sollen, dass die Larven beim Verzehr der Pflanzen vergiftet wurden.

Das Gen für das Gift entstammt dem *Bacillus thuringiensis*, dem sogenannten Bt-Bakterium, das auf Blättern verbreitet ist. Das Gift des Bakteriums wird seit vielen Jahren als Pestizid gegen verschiedene Raupenarten gespritzt. Das Spritzmittel ist relativ umweltfreundlich, da es schnell abbaut und nur eine ausgewählte Tiergruppe – bestimmte Raupen und Larven – vernichtet. Das Mittel schadet keinen weiteren Tieren, die auf oder um die Baumwollpflanzen leben, noch wirkt es beim Menschen giftig. Da die Baumwollkultur seit vielen Jahren den intensiven Einsatz von Insektiziden erfordert, war es von Vorteil, die neuen, gegen Insekten resistenten Pflanzen anzubauen, um den Einsatz chemischer Vernichtungsmittel reduzieren zu können.

Die gentechnisch veränderten Baumwollpflanzen, die in Mexiko und den Südstaaten der USA angebaut wurden, wurden von drei Raupenarten befallen, die alle nach dem Verzehr der Pflanzen hätten sterben müssen, es aber nicht taten. Die Frage, die sich jetzt der Naturwissenschaft und der Landwirtschaft stellt, ist, ob die Larven gegen das Bt-Gift resistent geworden sind oder ob es andere mögliche Erklärungen gibt. Landwirte, die organische Anbauweisen pflegen, haben schon gefordert, die neuen Pflanzen zu entfernen, da die Bt-Bakterien von diesen Landwirten als biologisches Schutzmittel gegen verschiedene Arten von schädlichen Raupen benutzt werden. Sie befürchten die Entstehung von resistenten Raupen.

Eine alternative Erklärung für die extrem hohe Zahl der Raupen in den Baumwollfeldern könnte der ungewöhnlich heiße und trockene Sommer sein, der zum starken Wachstum der Raupenpopulation geführt hat. Es ist weiterhin bekannt, dass Stressfaktoren, wie zum Beispiel sehr hohe Temperaturen, die Expression genetischer Merkmale in verschiedenen Gewebearten beeinflussen können. Dieser Fall ist für uns in Europa von Interesse, da seit 1996 drei unterschiedliche Maispflanzen von der Europäischen Kommission für den Markt zugelassen werden sollen. Alle drei haben gentechnisch ein Bt-Gen erhalten, das dem der Baumwollpflanzen ähnlich ist. Einer der Gründe für die Verzögerung bei der Europäischen Kommission ist die sorgsame Überdenkung der Möglichkeit einer Insektenresistenz gegenüber dem bereits existierenden Bt-Spray und dessen Wirkung auf die Umwelt.

Definition

Unter genmodifizierten oder transgenen Pflanzen versteht man Pflanzen, in deren Genom (Erbgut) ein oder mehrere Gene aus einer anderen Pflanze oder einem anderen Organismus eingeschleust wurden. Es kann sich auch um ein Gen oder Gene handeln, die verändert oder eigens zusammengestellt wurden.

Wie eine transgene Pflanze erzeugt wird

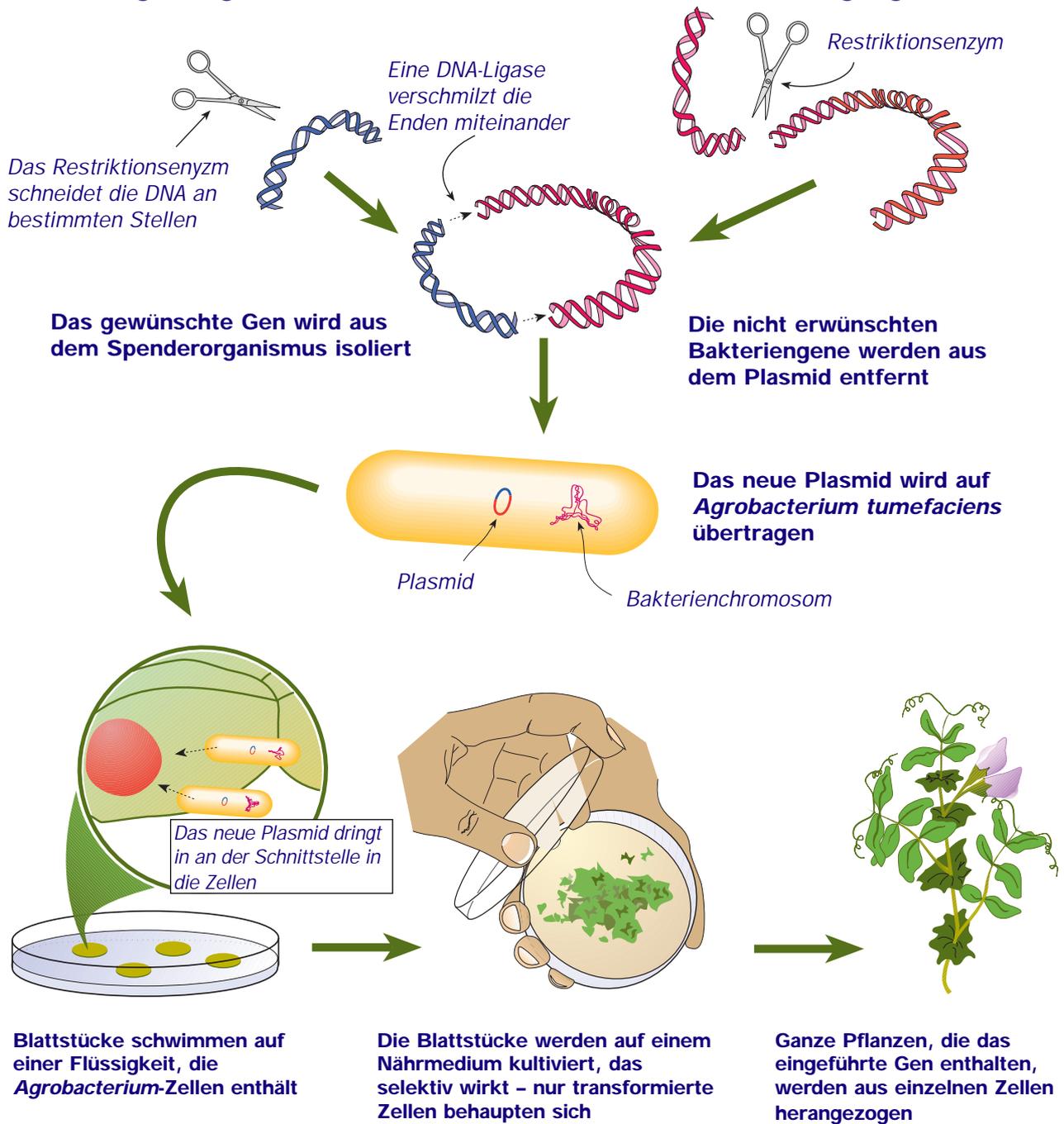
Laborverfahren

Agrobacterium tumefaciens - Methode

Die ersten transgenen Pflanzen wurden Anfang der achtziger Jahre erzeugt, nachdem die besondere Eigenschaft eines Bakteriums, *Agrobacterium tumefaciens*, entdeckt wurde, das genetisches Material auf das Erbgut von Pflanzen übertragen kann. Inzwischen sind weitere Verfahren entwickelt worden, aber diese erste Methode findet heute noch verbreitete Verwendung.

A. tumefaciens ist ein im Erdreich vorkommendes Bakterium, das neben den Chromosomen ein zusätzliches, ringförmiges Mini-Chromosom enthält, das sogenannte Tumor induzierende (Ti-)Plasmid. Dieses Stück DNA verbirgt Gene, die bei Pflanzen die Wurzelhalsgallenkrankheit

Abbildung 1: *Agrobacterium tumefaciens* und Plasmidübertragung



Quellennachweis: © Dean Madden 1997

verursachen. Es ist möglich, diejenigen Gene zu entfernen, die Tumore verursachen, und sie durch ausgewählte Gene zu ersetzen, was aus dem Ti-Plasmid eine „Gen-Fähre“ zur Übertragung neuer Gene auf die Pflanze macht (siehe Abb. 1). Diese Methode ist inzwischen ein Standardverfahren. Weitere Einzelheiten sind in der einschlägigen Literatur leicht zu finden.

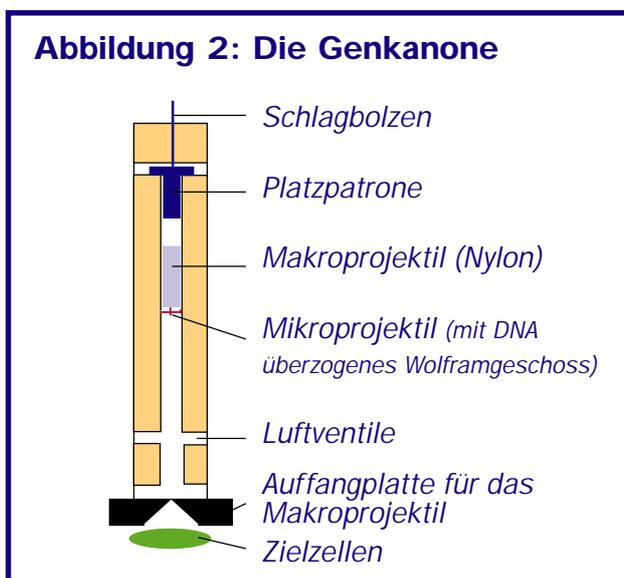
Die *In-Vivo*-Infektion setzt eine Wunde im Pflanzengewebe voraus. Aktiviert durch chemische Verbindungen, die in den verwundeten Zellen entstehen, haftet sich *A. tumefaciens* an

die Zellwände der Pflanze. Ein Teil des Ti-Plasmids (die Ti-Region) wird dann in die Chromosome der Wirtspflanze eingeschleust und dort in die DNA integriert (T-DNA). Einige Genorte des bakteriellen Chromosoms zusammen mit einem Satz Virulenzgene, die sich auf dem Ti-Plasmid befinden, codieren die Funktionen, die zur Erkennung der Pflanzenzellen und zur Anhaftung notwendig sind, sowie die Funktionen, die das Herausschneiden der T-DNA, die Übertragung auf das Zielgenom und die anschließende Integration ermöglichen.

Obwohl diese Methode zur Transformation sehr effektiv ist, ist die Erfolgsrate je nach Pflanzentyp unterschiedlich. Eine gelungene Transformation mittels *A. tumefaciens* hängt von zwei Faktoren ab. Einerseits muss das Bakterium die Zellen infizieren und seine T-DNA in das Erbgut der Pflanze einschleusen, bevor es selbst von der Pflanzenzelle vernichtet wird; andererseits müssen die transformierten Zellen zu einer ganzen Pflanze kultiviert werden können. Pflanzen der Familie Solanaceae wie der Tabak, die Tomate und die Kartoffel haben bisher die besten Ergebnisse aufgezeigt. Am anderen Ende des Spektrums befinden sich die Monokotyledonen (einkeimblättrige Pflanzen) einschließlich der vier Arten Getreide sowie Reis und Mais, die für *A. tumefaciens* nur schwer anfällig sind. Bei diesen Pflanzen, die alle in der Ernährung eine wichtige Rolle spielen und für die Wirtschaft von großer Bedeutung sind, hat es sich als schwierig erwiesen, sie durch die *Agrobacterium*-Methode zu modifizieren. Eine neue, aggressivere Art *A. tumefaciens* ließ sich allerdings in letzter Zeit in der Erzeugung transgener Maispflanzen erfolgreich einsetzen.

Die Genkanone

Einige Alternativen zur obigen Methode sind inzwischen von Pflanzengenetikern entwickelt worden. Eine davon ist die Genkanone, die winzige Metallkugeln, an die zuerst DNA gebunden wurde, direkt in die Pflanzenzellen 'schießt'. Die Pflanzenzellen reparieren die Verletzungen schnell, und manche bauen die DNA in ihre Chromosome ein.



Erfolgsrate

Bei beiden Methoden, d.h. sowohl bei *Agrobacterium* als auch bei der Genkanone steigt die Erfolgsrate selten über 1:10.000 pro Zelle. Es ist nicht möglich zu bestimmen, wo das neue Gen (oder vielleicht mehrere Kopien desselben) eingebaut wird. Dieses Problem wird zur Zeit erforscht, aber zufriedenstellende Methoden sind bisher noch nicht entwickelt worden. Andererseits lassen sich die Pflanzen ausfindig machen, die mehr als eine Kopie des erwünschten Gens haben. Sie werden entfernt, da eine Vervielfältigung oft die Expression der Eigenschaft verhindert, ein Wirkmechanismus, der noch unklar ist.

Schnellere und präzisere Pflanzenkultur

Die Entwicklung transgener Pflanzen ist im Zusammenhang mit der traditionellen Pflanzenkultur zu sehen. Seit der Vorzeit züchten die Menschen selektiv diejenigen Wildpflanzen, die gute Eigenschaften aufweisen. Merkmale wie Stärke, Ergiebigkeit, Resistenz gegen schädliche Organismen und Wetterbeständigkeit wurden verstärkt, indem die besten Exemplare miteinander gekreuzt wurden.

Unter Verwendung traditioneller Kulturmethoden bedarf es 10 bis 15 Jahre, um einen neuen Pflanzentyp zu kultivieren. Die Techniken des Gentransfers können diese Spanne auf die Hälfte reduzieren und ermöglichen darüber hinaus den selektiven Gentransfer, da bekannt ist, welche Eigenschaften übertragen werden. Die Pflanzenkultur unter der Verwendung moderner Gentechnik bietet auch die Möglichkeit, Gene aus nicht verwandten Arten zu übertragen.

'Synthetische' Gene

In manchen Fällen werden 'synthetische' Gene beim Gentransfer eingesetzt. Hier handelt es sich um einzuschleusendes Erbgut, bei dessen DNA die Basensequenz verändert wurde. In der Regel kann die letzte Base in einem Codon (einer Reihe von drei Nukleotiden) ausgewechselt werden, ohne die Aminosäure zu verändern, die von diesem Triplet codiert wird. Bevor das Bakteriengen (Bt-Gen) in eine Pflanze eingeführt wird, wird es verändert, um das Verhältnis CG:AT dem der Pflanzen ähnlich zu machen. Diese Modifizierungen sind notwendig, um eine befriedigende Expression der Gene in den Pflanzenzellen zu erzielen.

'Antisense'-Technologien

Am Ende der Obst-Reifung spielt das Enzym Polygalakturonase oder PG eine Rolle, indem es Pektin in der Zellwand abbaut. Bei der Züchtung einer Tomatensorte, die als reife Frucht nicht weich wird, zielten die Wissenschaftler der Firma *Calgene* in den USA darauf, eine 'sinnverkehrte Kopie' des PG-Gens zu produzieren und anschließend in Pflanzenzellen einzubauen. Die Ribonukleinsäuren, die einerseits aus dem ursprünglichen Gen und andererseits aus dem eingefügten Gen stammen, sind zueinander komplementär und neutralisieren sich. Die Wirkung des PG-Gens in der Tomate wird reduziert und der Abbau der Zellwände (Weichwerden der Tomate) wird verzögert. Die so veränderte Sorte *Flavr Savr*, kam ausschließlich in den USA auf den Markt, wurde aber anschließend vom Markt zurückgezogen.

In Großbritannien hat die Firma *Zeneca Plant Sciences* bei der Entwicklung einer Tomatensorte eine etwas andere Technik angewandt, um die Überreifung zu verzögern. Ein verkürztes PG-Gen wird eingefügt, das auf eine Weise, die noch nicht vollständig verstanden wird, die Produktion von Polygalakturonase reduziert. Die Ribonukleinsäuren, die von den zwei Genen produziert werden, blockieren sich wohl gegenseitig.

Mehrere Biotechnik-Unternehmen versuchen, die Zusammensetzung der Kartoffel dahingehend zu verändern, dass der Anteil an Stärke kleiner wird. Unter Verwendung der 'Antisense'-Technologie, arbeitet eine dänische Firma an der Hemmung des α -Amylase-Gens, das bei eingelagerten Kartoffeln die Umwandlung von Stärke in Zucker veranlasst. Die Zuckerbildung ist ein natürlicher Vorgang, eine Voraussetzung für die Keimung, aber sie ist bei eingelagerten Kartoffeln unerwünscht. Wenn diese Entwicklung gelingt, wird man eine Kartoffel gezüchtet haben, die eine bessere Lagerfähigkeit aufweist. Ebenfalls wird man einen verbesserten Rohstoff für die Herstellung von Chips und Pommes Frites gewonnen haben, da die niedrigeren Zuckeranteile bewirken könnten, dass die Kartoffeln beim Fritieren nicht so schnell verbrennen.

Markergene

Markergene werden eingeführt, um die transformierten Zellen zu identifizieren und sie von den Zellen, die das erwünschte Gen nicht

aufgenommen haben, zu isolieren. Markergene in Bakterien sind oft solche, die für bestimmte Antibiotikaresistenzen codieren. In Pflanzenzellen ist das Markergen oft ein Gen, das Toleranz gegenüber einem bestimmten Pflanzenschutzmittel wie z.B. Glyphosat verleiht. Eine verbreitete Sorge in der Risikoanalyse ist die Frage, ob die Übertragung eines Gens von einer transgenen Pflanze auf ein Bakterium möglich sei. Der Verdauungstrakt eines Tieres oder des Menschen könnte geeignete Bedingungen für ein solches Geschehen bieten, da die Pflanzen-DNA während der Verdauung im Beisein von Abermillionen Bakterien bloßgelegt wird. Experten halten diese Art von Übertragung für äußerst unwahrscheinlich. Nichtsdestoweniger werden zur Zeit Gene bevorzugt, die lediglich eine Resistenz gegen Bakterien bewirken, die nicht in der Humanmedizin eingesetzt werden. Aus diesem Grund gehört das Gen für Kanamycin-Resistenz zu den akzeptierten, da es in der Medizin selten eingesetzt wird und viele Bodenbakterien schon eine entsprechende Resistenz besitzen. Die Verwendung des Gens für Ampicillin-Resistenz kommt aus dem gleichen Grund als Markergen weniger in Frage, da Ampicillin als Arzneimittel verwendet wird. Weitere Untersuchungen zum Einsatz alternativer Gene für Stoffwechsellzyme als genetische Kennzeichner werden ständig vorangetrieben.

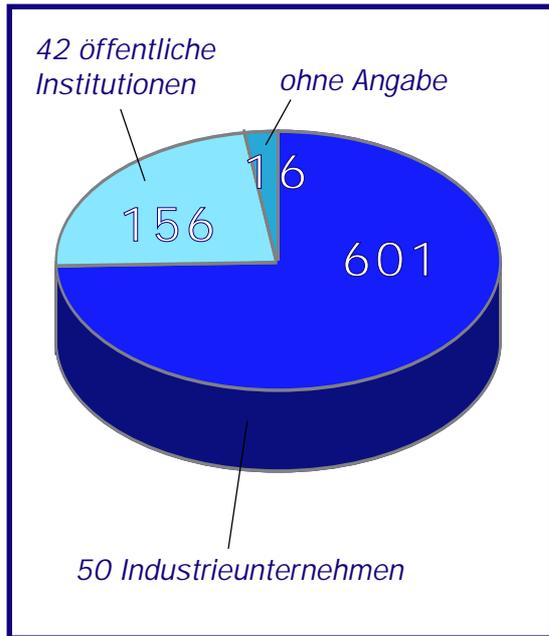
Wie transgene Pflanzen eingesetzt werden

Freilandversuche und Bestimmungen

Ökonomie und Forschung

Früher (was in dieser Branche so viel heißt wie vor etwa 15 Jahren) gab es in jedem Land eine Vielzahl kleinerer Pflanzenzuchtbetriebe. Viele dieser kleinen Firmen sind inzwischen aufgekauft worden oder haben fusioniert, und der Markt wird momentan von einigen wenigen multinationalen Firmen beherrscht. Der Einsatz biotechnischer Verfahren, um die Pflanzenzucht zu beschleunigen, ist nicht billig: die erforderlichen Arbeitskräfte sowie die zu verwendenden Materialien und Verfahren selbst sind teuer. Deswegen konnte die Biotechnik erst dann in der Pflanzenzucht eingesetzt werden, als die Firmen groß genug waren, um

Abbildung 3: Anzahl der Anträge auf Freilandversuche mit transgenen Pflanzen, nach der Gruppe der Antragsteller aufgeschlüsselt



die entsprechenden Investitionen in Forschung und Entwicklung tragen zu können. Heute ist die staatlich geförderte Forschung, die auf diesem Gebiet stattfindet, im Vergleich zum Forschungsaufwand der multinationalen Unternehmen gering.

Die starke Beteiligung der Industrie hat sowohl zu einer Reduzierung der grundlegenden Forschungsthemen als auch zu einer Verkürzung der Zeitspanne zwischen Forschungsarbeit und kommerziellem Einsatz geführt. Abbildung 3 zeigt eine Grafik, die die europäischen Anträge auf Freilandversuche nach der Gruppe der Antragsteller aufschlüsselt.

Freilandversuche

Transgene Pflanzen werden weltweit erzeugt und getestet, wie die in der Abbildung 4 aufgeführten Daten zeigen. Die Zahlen geben keine Auskunft über die Anzahl neuer Pflanzensorten, da viele Entwicklungen mehrere Freilandversuche nach sich ziehen. China soll eigene Bestimmungen für Freilandversuche erlassen haben, aber über die Arbeit vor Ort ist nur wenig bekannt.

Risikoanalyse

Die Hauptanliegen einer Risikoanalyse zu transgenen Pflanzen können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die Möglichkeit der Übertragung von Erbgut auf andere Organismen

Abbildung 4: Freilandversuche mit transgenen Pflanzen, weltweit, 1986-1994

Land	Anzahl der Versuche
Europa	
Belgien	81
Dänemark	11
Deutschland	6
Finnland	10
Frankreich	168
Großbritannien	78
Italien	14
Niederlande	84
Norwegen	1
Portugal	4
Schweden	17
Schweiz	2
Spanien	16
Ungarn	4
Asien/Pazifik	
Australien	26
China	30
Japan	8
Neuseeland	15
Thailand	2
Nordamerika	
Kanada	358
USA	1031
Afrika	
Ägypten	1
Südafrika	9
Naher Osten	
Israel	4
Lateinamerika/Karibik	
Argentinien	20
Belize	4
Bolivien	4
Chile	13
Costa Rica	5
Dominikanische Republik	1
Guatemala	1
Kuba	9
Mexiko	15
Weltweit	2053

- Die Folgen für die Umwelt
- Die Auswirkung auf die Gesundheit von Tieren und Menschen

Die Untersuchungen werden als Fallstudien unter Verwendung von Modellsystemen durchgeführt, die schrittweise durch die Einbeziehung weiterer Organismen komplexer gestaltet werden, um weitere Organismen einzubeziehen.

Modellsysteme sind klar definiert, was eine Wiederholung der Versuche vereinfacht. Nach diesen Versuchen erfolgen Studien in eher naturnahen Ökosystemen. In den Versuchen mit komplexeren Systemen tauchen viele Probleme auf, und es ist wichtig zu betonen, dass für die Risikoanalyse Informationen aus allen Systemen zweckdienlich sein können und sind.

EU-Bestimmungen

Die Vermarktung einer transgenen Pflanze in der EU setzt voraus, dass die betreffende Pflanze in Freilandversuchen getestet wurde, ohne dass es zu unvorhergesehenen Wirkungen gekommen ist. Besonders berücksichtigt werden muss die Kreuzung mit anderen Anbau- und Wildpflanzen. Die Genehmigung für einen Freilandversuch wird durch die betreffende Behörde im Land der Antragstellung erteilt. Behörden in den anderen EU-Ländern können innerhalb von 30 Tagen gegen einen solchen Antrag Einspruch erheben (siehe Anhang 1). Die Lizenzen für den Verkauf transgener Pflanzenarten oder Produkte werden jeweils nur von einem EU-Staat erteilt, die Genehmigung aber gilt automatisch gleichzeitig für alle EU-Länder. Eine Lizenz darf innerhalb von 60 Tagen von den Behörden in anderen Mitgliedsstaaten in Frage gestellt werden. In Dänemark erlaubt die dortige Gesetzgebung eine Beteiligung von interessierten Organisationen und Umweltgruppen an der Diskussion. 10 dieser

Organisationen beteiligen sich regelmäßig. Eine davon ist die Vereinigung dänischer Biologen (ein Zusammenschluss dänischer Biologielehrerinnen und -lehrer der Sekundarstufe), die durch ihre Präsenz Biologielehrkräften und dadurch auch ihren Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit bietet, aktuelle Fallbeispiele zu verstehen und mit zu verfolgen.

Welche Pflanzen?

Welche Merkmale?

Weltweit arbeiten Forscher mit vielen verschiedenen Gentypen. Da viele dieser Arbeiten von erheblichem kommerziellen Wert sind, stehen generell nicht viele Informationen zur Verfügung. Erst wenn der Antrag auf einen Freilandversuch gestellt wird, kommt die jeweilige Arbeit an die Öffentlichkeit und erlaubt die Feststellung von Tendenzen.

Einem Überblick der Freilandversuche (Abbildung 5) kann man entnehmen, dass die größte Gruppe der getesteten Pflanzen mit gentechnischen Veränderungen darauf abzielt, eine Widerstandsfähigkeit gegen verschiedene Herbizide wie *Roundup*, und *Basta* zu erreichen. Diese Zahlen spiegeln die globale Tendenz wider: Herbizid-tolerante Gene waren die ersten, die erfolgreich auf in der Landwirtschaft angebaute Pflanzen übertragen wurden.

Abbildung 5: Die fünf häufigsten genveränderten Pflanzen und ihre Modifikationsmerkmale von 1986 bis 1994

Merkmal	Anzahl der Freilandversuche* mit				
	Kartoffeln	Raps	Tabak	Mais	Tomaten
Herbizidtoleranz	16 (5)	94 (7)	29 (6)	54 (3)	21 (5)
Qualitätsverbesserung	3 (9)	57 (5)	13 (4)	15 (2)	39 (3)
Resistenz gegen Viren	60 (12)	2 (2)	24 (7)	10 (4)	20 (9)
Resistenz gegen Insekten (Bt)	34 (4)	3 (3)	19 (3)	24 (2)	16 (1)
Markergen	23 (7)	17 (5)	28 (9)	8 (4)	4 (3)
Resistenz gegen Pilz/Schimmel	9 (7)	5 (4)	9 (4)	2 (1)	
Mehrfache Merkmale	8 (7)	2 (1)	4 (3)		
Resistenz gegen Bakterien	9 (3)	1 (1)			
Nicht spezifiziert	3	1	5	5	3

* Die Zahl in Klammern gibt die Anzahl der verschiedenen Eigenschaften an, die auf die Anbaupflanzen übertragen wurden.

Quellennachweis: P.Ahl Goy y J.H. Duesing, From Pots to Plots: Genetically Modified Plants on Trial, 1995 Biotechnology Vol. 13, Mayo, 454-458.

Abbildung 6: Transgene Pflanzen, bei den Anträge auf Freilandversuche weltweit gemacht wurden (1994).

Die Angaben sind nur für die EU vollständig. Nicht alle Pflanzen auf der Liste sind tatsächlich schon getestet worden. An dieser Stelle sei auch erwähnt, dass der Feldversuch bei Raps, der 1994 in Deutschland vorgesehen war, nicht stattfinden konnte, da das Testgebiet während der Wachstumsperiode von Aktivisten blockiert wurde. Erprobungen sind inzwischen in verschiedenen Ländern erfolgt. Viele der Pflanzen, die auf der EU Versuchsliste stehen, wurden schon außerhalb der EU erprobt.

Pflanze	Erprobung EU	Erprobung nicht-EU
Gemüse, Obst und sonstige Nahrungsmittel:	Äpfel, Karotten, Blumenkohl, Chicorée, Salat, Mais, Melone, Kartoffel, Kürbis, Erdbeere, Tomate, Weizen, Wein	Spargel, Gurke, Kiwi, Papaya, Reis, Pflaume, Walnuss
Tierfuttermittel und andere Non-Food-Verwendungen:	Alfafa, rote Beete, Baumwolle, Raps, Sojabohne, Zuckerrübe, Sonnenblume, Tabak	Flachs
Blumen:	Chrysanthenen, Petunien, Tagetes, Nelken	Gerbera
Bäume:	Birke, Eukalyptus, Pappel	

Welche Anbaupflanzen?

Weltweit wird an einer Vielzahl von Pflanzenarten gearbeitet. Natürlich kommt es nicht bei jedem Projekt zu einem Freilandversuch, aber diese Versuche sind doch die Hauptquelle für Informationen über die landwirtschaftlich angebaute Pflanzen, für die transgene Sorten entwickelt werden (siehe Abb. 6).

Welche transgenen Pflanzen sind auf dem Markt?

Die Liste der genveränderten Nahrungsmittel, die den Weg zur Verkaufsgenehmigung gefunden haben, fällt kürzer aus (Abb. 7). Hinzu kommen mehrere verschiedene transgene Pflanzen, die in China kultiviert werden, wie zum Beispiel der virusresistente Tabak, Tomaten und Paprika, aber es stehen keine Informationen über eventuelle einschlägige Überwachungsprogramme oder Freilandversuche zur Verfügung (Prosamo-Bericht).

Abbildung 7: Transgene Pflanzen mit Vermarktungsgenehmigung

In der Europäischen Union (bis Februar 1997)	In den USA, Mexiko und Kanada (bis November 1996)
<p>Herbizidtolerant: Raps, (Basta, als Saatgut); Mais, (freigegeben 24.01.97 für Saatgut, Nahrungsmittel und Tierfuttermittel); Tabak (Bromoxynil, die Vermarktungsgenehmigung wird nicht in Anspruch genommen); Sojabohne, (Basta, in der EU nicht angebaut)</p> <p>Zusätzlich: Roter Chicorée-Salat (männlichsteril, Genehmigung gilt ausschließlich für Saatproduktion und -vermarktung, neue Genehmigung wäre für Nahrungsmittel und Tierfuttermittelvermarktung erforderlich)</p>	<p>Herbizidtolerant: Raps, (Basta); Mais, (Basta); Sojabohne, (Basta, Roundup,); Baumwolle, (Roundup,); Raps (Roundup,); Baumwolle, (Bromoxynil)</p> <p>Insektenresistent: Baumwolle, (Bt-Gen, 3 Firmen); Kartoffel, (Bt-Gen); Mais, (Bt-Gen, 3 Firmen)</p> <p>Zusätzlich: Virusresistenter Kürbis; Raps, veränderte Zusammensetzung der Fettsäuren; Tomaten mit veränderten Merkmalen in der Reifung und Überreifung; Flavr Savr, Tomate (Antisense-PG-Gen, inzwischen vom Markt gezogen); Zeneca, Tomate (Partial-sense-PG-Gen, nur in GB auf dem Markt); Endless Summer, Tomate (weniger Ethylen); Cocktail-Tomate; Tomate (verzögerte Reifung)</p>

Herbizidtoleranz

Glyphosphat gehört zu den stärksten der uns bekannten Breitband-Herbizide und wird unter dem Markennamen *Roundup*[®], vertrieben. *Roundup*[®], hemmt die Aktivität des Enzyms 5-Enolpyruvyl-Shikimate-3-Phosphat-Synthase (EPSP-Synthase). Dieses Enzym ermöglicht die Produktion der aromatischen Aminosäuren Tyrosin, Phenylalanin und Tryptophan, eine unabdingbare Voraussetzung für das Pflanzenwachstum. Tiere nehmen diese Aminosäuren über die Nahrung auf und haben das Enzym EPSP-Synthase nicht, was sie dem Glyphosphat gegenüber unempfindlich macht. Um das Enzym in größeren Mengen herzustellen wurde das Gen für die EPSP-Synthase unter Anwendung gentechnischer Methoden isoliert und modifiziert. Es wurde dann in bestimmte Pflanzen – wie Tomate, Sojabohne, Baumwolle und Raps – integriert, um bei ihnen eine ausreichende Toleranz gegenüber Glyphosphat zu erzeugen, damit das Herbizid gezielt gegen mitwachsendes Unkraut eingesetzt werden konnte.

Resistenz gegen Fraßinsekten

Gene des *Bacillus thuringiensis* (Bt) sind die einzigen Insektizidgene, die zur Zeit verwendet werden. Das Zellplasma der Bakterien enthält im Gegensatz zu den Tier- und Pflanzenzellen keine komplexen Organellen wie Mitochondrien und Chloroplasten. Einige Bakterienstämme enthalten jedoch „Strukturen“ im Zellplasma, wie zum Beispiel die Endospore und, im Fall *B. thuringiensis*, einen kristallinen parasporalen Körper. Dieser Körper enthält ein Protein mit toxischer Wirkung, das Kristallprotein. In *B. thuringiensis* befinden sich die Gene für die Toxine auf großen Plasmiden. Es gibt verschiedene Varianten der kristallinen Proteine, und jede Variante hat bei einer hoch spezifischen Gruppe der Insekten eine toxische Wirkung.

Die häufigsten Varianten sind

<i>Kurstaki</i>	δ -Endotoxin* Typ I	Raupen
<i>Kurstaki</i>	δ -Endotoxin * Typ II	Raupen, Käfer
<i>Tenobrionis, San Diego</i>	δ -Endotoxin* Typ III	Käfer
<i>Israelensis, Morrisoni</i>	δ -Endotoxin* Typ IV	Diptera (Mücken, Fliegen)
<i>Thuringiensis</i>	β -Exotoxin**	Fliegen und andere

* δ -Endotoxine lagern in den Bakterien in Form von Kristallen, die Vorläufer der echten Toxine enthalten. Die meisten empfindlichen Insekten haben alkalische Magensäfte, die die Kristalle abbauen; sie besitzen auch Enzyme für die Umwandlung der Vorläufer in aktive Toxine. Die Typen I-IV lassen sich weiter unterteilen.

** β -Exotoxin wird von den Bakterien ausgeschieden und blockiert die Mitose. Der Einsatz wird in Europa und den USA wegen der Möglichkeit der Chromosomenveränderung und wegen der toxischen Wirkung auf Embryonen höherer Tiere verboten. Bt-Stämme mit β -Exotoxin werden in der ehemaligen Sowjetunion hergestellt und eingesetzt.

Zusammen können sie über 100 Nachtfalterarten töten, aber sie sind für Spinnen und viele andere Insekten, höhere Tieren und den Menschen harmlos, und zwar aus drei Gründen:

- das Kristall wird nach der Aufnahme durch die alkalischen Säfte im Verdauungstrakt des Nachtfalters abgebaut
- eine spezifische Protease wird im Verdauungstrakt produziert
- die Zellen des Verdauungstraktes nehmen den Giftstoff besonders effektiv auf.

Die Toxine werden im Freien schnell und ohne schädliche Rückstände abgebaut.

Fallstudien



Raps

1995 wurde der herbizidresistente (*Basta*-resistente) Raps für die Saaterzeugung von der EU genehmigt. Diese Genehmigung erfolgte nicht einstimmig. Dänemark stimmte gegen die Zulassung und bezog sich hierbei auf die Tatsache, dass sich der Ölsaat-Raps sich mit einem wilden Artverwandten kreuzen kann, der oft auf den Feldern als Unkraut vorkommt. Eine Kreuzung mit weiteren kultivierten und wilden Rapsarten wäre auch nicht ausgeschlossen, was dazu führen könnte, dass diese Rapsarten zu hartnäckigem Unkraut würden, insbesondere im Hinblick darauf, dass Samen des Ölsaat-Raps über Jahre hinaus im Boden bleiben können, ohne ihre Keimfähigkeit zu verlieren.

Der Vorteil des Einsatzes genveränderter Rapsarten soll darin liegen, dass die Unkrautbekämpfung sich auf eine mehrmalige Behandlung mit *Basta*, einem relativ umweltfreundlichen Unkrautvernichtungsmittel, beschränken könnte. Wenn sich jedoch die resistenten Eigenschaften auf andere Arten ausbreiten, könnte es letztendlich zu einer häufigeren Behandlung mit weniger umweltfreundlichen Mitteln kommen, was den ursprünglichen Sinn herbizidresistenter Pflanzen vereiteln würde. Als Kuriosum sei hier noch erwähnt, dass dänische Studien während der Erprobung einer *Roundup*[®]-resistenten Zuckerrübe viele hybride Pflanzen aus Zuckerrübe und einer wilden Rübensorte feststellten. Untersuchungen natürlicher Populationen der wilden Rübe wiesen aus Zuckerrüben aufgenommene Gene bei dieser Art nach.

Mais

Bei bestimmten Maissorten in den USA werden jetzt genmodifizierte Pflanzen angebaut, die gegen den europäischen Maiszünsler resistent sind. Dieser Schädling bohrt sich durch Stiel und Kolben und bewirkt das Umknicken der Pflanze oder das Abfallen des Kolbens. Durchschnittlich zerstört er jährlich 4% des weltweiten Ertrags und bis zu 20% in besonders befallenen Regionen. Der europäische Maiszünsler wird konventionell mit chemischen oder biologischen Spritzmitteln bekämpft, die

die Pflanze von außen belegen. Diese Insektizide sind allerdings nur in den ersten drei Tagen des Lebenszyklus wirksam. Die neuen Maissorten enthalten ein Bt-Gen, das ein für den Maiszünsler tödliches Protein codiert. Die Bt-Gen-Varianten sind denjenigen ähnlich, die schon bei amerikanischen Baumwollpflanzen eingesetzt wurden, wie oben schon beschrieben wurde.

Diese neuen Varianten genmodifizierten Mais werden als Maiskörner nach Europa eingeführt werden, um zu Stärke und Glukosesirup verarbeitet oder als Futtermittel verwertet zu werden. Der modifizierte Mais enthält auch ein Markergen für die Ampicillinresistenz bei Bakterien, aber es ist inaktiv und im Mais nicht exprimiert. Mehrere Länder haben wegen des Ampicillin-Markergens und wegen der problematischen Produktkennzeichnung Bedenken geäußert. Der Anteil der 1996er US-Ernte (0.6%), der aus genveränderten Maissorten stammt, wurde nicht gesondert gekennzeichnet. Nichtsdestotrotz ist die Einfuhr des Mais in verarbeiteter Form zur Verwendung in Lebensmitteln genehmigt worden (Januar 1997).

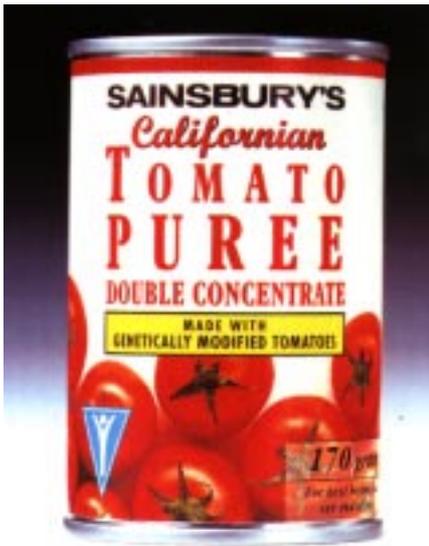
Tomaten

In Europa war ein Tomatenpurée das erste transgene Lebensmittel im Handel. Die verwendete Tomatensorte, mit einem verkürzten PG-Gen (siehe S. 9), wurde von *Zeneca Plant Sciences* in Großbritannien entwickelt. Das neue Purée hat mehrere Vorteile: weniger Verlust beim Transport, sowie Verarbeitung bei niedrigeren Temperaturen, was einen geringeren Energiebedarf und einen verbesserten Geschmack bedeutet. Die *Zeneca*-Tomaten werden in Mexiko und den USA angebaut. Das Tomatenmark ist ausschließlich als Dosenware in Großbritannien erhältlich. Die Dosen sind klar gekennzeichnet (Abb. 8).

Die *Zeneca*-Tomate hat zusätzlich ein Gen für die Kanamycinresistenz. Die eingeführten Gene werden während der Verarbeitung der Tomate zerstört. Ein wichtiger Aspekt vor der Genehmigung des Tomatenmarks war die Überprüfung auf mögliche Allergene (z.B. neue Proteine). Alle Untersuchungen haben bisher keine problematischen Ergebnisse gezeigt.

Es ist möglich, mittels der Polymerase-Kettenreaktion (PCR; siehe EIBE-Einheit 2) kleinste Mengen des in die Tomaten eingeführten

Abbildung 8: Tomatenpürée aus gentechnisch modifizierten Tomaten, in Großbritannien im Handel



genetischen Materials im fertigen Tomatenmark nachzuweisen. DNA ist ein hochstabiles Molekül. Die wenigen Gene, die im Tomatenpürée vorhanden sind, sind als harmlos einzustufen.

In den USA wurde die Tomate *Flavr Savr*, die mittels 'Antisense'-Technik entwickelt wurde, um den Reifungsprozess zu verlangsamen, wegen Anbauschwierigkeiten aus dem Handel gezogen. Der gewählte Stamm erwies sich als krankheitsanfällig. Während der Vegetationsperiode 1995 wurde sie allerdings landesweit verkauft.

Soja

Die erste in den USA entwickelte herbizid-tolerante Sojabohne (mit einer Toleranz gegenüber Roundup,) wurde im April 1996 für den EU-Markt freigegeben. Drei Länder waren wegen der ungenügenden Gesetzgebung bezüglich der Etikettierung gegen die Genehmigung. Die Öffentlichkeit sollte das Recht haben, so diese Länder, sich beim Kauf für oder gegen Lebensmittel aus gentechnisch veränderten Pflanzen zu entscheiden. Roundup, gilt wegen seines raschen Abbaus im Boden als umweltverträgliches Herbizid. Ernährungsphysiologisch besteht kein Unterschied zwischen gentechnisch veränderten und unveränderten Bohnen. Die Gefühle, die gegen den Einsatz transgener Sojabohnen sprechen, sind mit solchen vergleichbar, die beim Kauf von

Lebensmitteln aus organischem statt aus eher konventionellem Anbau zum Tragen kommen.

Aus diesem Grund machte das Schiff *Hanjin Tampa* kurz vor Weihnachten 1996 in Dänemark Schlagzeilen. Es überquerte gerade den Atlantik mit 23000 Tonnen Sojabohnen, die für die Verarbeitung in der Lebensmittelindustrie bzw. als Tierfuttermittel bestimmt waren. Im dänischen Parlament brach beinahe das Chaos aus, weil die Ladung sowohl aus gentechnisch veränderten wie auch aus „normalen“ Sojabohnen bestand. In Dänemark müssen gentechnisch veränderte Lebensmittel – nach einem Parlamentsbeschluss von 1994 – als solche gezeichnet werden. Dieser Beschluss galt bis zum Inkrafttreten der EU Gesetzesnovelle Lebensmittel 1997. Diese Novellierung fordert nicht die Kennzeichnung von Lebensmitteln, wenn das Lebensmittel zwar transgene Pflanzenerzeugnisse enthält, aber kein bedeutender Unterschied zwischen den konventionellen und den transgenen Erzeugnissen besteht. Die Herstellerfirmen dürfen sich allerdings für eine Kennzeichnung entscheiden.

Während die *Hanjin Tampa* Kurs auf den dänischen Hafen Århus nahm, wurde es der dänischen und einer breiteren europäischen Öffentlichkeit bewusst, dass Soja ein bedeutender Bestandteil der industriell hergestellten Lebensmittel ist. Mehr als 60% der Fertigprodukte enthalten Soja oder Sojaerzeugnisse. Diese Tatsache war vorher nur wenigen Verbrauchern bekannt.

Bis ins Jahr 1997 sind die Sojabohnen in Århus nach Auskunft der üblichen Abnehmer noch nicht in der dänischen Lebensmittelindustrie weiterverarbeitet worden. Das Ganze hat zu großer Unsicherheit geführt, was zu vermeiden gewesen wäre, wenn das Unternehmen einen offeneren und verbraucherfreundlicheren Ansatz verfolgt hätte. Eine Parallele kann zum Fall des in britischen Supermärkten angebotenen Tomatenmarks gezogen werden (Abb. 8). Die Dosen sind klar gekennzeichnet und finden anscheinend einen reißenden Absatz. Die Verbraucher ist nicht gegen die moderne Gentechnik *per se*, wenn sie die Vorteile erkennen können. Es ist deswegen unabdingbar, einen offenen Informationsfluss zu etablieren und aufrecht zu halten, um Misstrauen zwischen Produzenten und Verbrauchern zu vermeiden.

Chancen und Risiken



Augenblicklich werden transgene Pflanzen in vielen Bereichen der traditionellen Agrarwirtschaft entwickelt, unter Anderem zur Verbesserung des Nährwerts und der Resistenz gegen Schädlinge, Pathogene und Unkrautvernichtungsmittel, sowie zur Steigerung der Überlebenschancen gegenüber gesteigerten Stressbedingungen in der Umwelt. Transgene Pflanzen bieten auch vielen Bereichen der Industrie hohes/gutes Potential für die Erzeugung neuer und verbesserter Rohstoffe: Baustoffe, Textilien, Farbstoffe, Verpackungen und Arzneimittel. Zum Beispiel wird unter Anderem an neuen Ölsorten für die Lebensmittelindustrie gearbeitet, an biologisch abbaubaren Kunststoffen und an der Erzeugung von pflanzlichen Brennstoffen. Im medizinischen Bereich werden transgene Pflanzen entwickelt, die hochwertige Moleküle wie Antikörper, Impfstoffe und Antikoagulanzen (blutgerinnungshemmende Stoffe) produzieren.

Einige Probleme

Wie könnte sich die Entwicklung von Resistenzen bei Schädlingen auswirken?

Bt wird seit über dreißig Jahren ohne Komplikationen als Spritzmittel eingesetzt. Es gehört zu den wenigen Insektenschutzmitteln, die auch in der organischen Landwirtschaft eingesetzt werden dürfen. Seitdem Bt in den 90er Jahren verstärkt verwendet wird, kommen vereinzelte Berichte zu Tage, die auf eine mögliche Entstehung Bt-resistenter Raupenarten auf den Baumwollplantagen von Mississippi/USA hinweisen.

Wird der Einsatz transgener Pflanzen den Verbrauch von Herbiziden und Pestiziden senken?

Nach einem Bericht aus Dänemark deutet Einiges darauf hin, dass der Einsatz herbizid-resistenter Pflanzen sowohl zu einer Reduzierung des Herbizidverbrauchs führen könnte, aber auch zu einem unveränderten oder gar einem gesteigerten Verbrauch, je nach Art der Pflanze.

Die immer höher werdende Konzentration von Pestiziden im Grundwasser ist Grund zur Beunruhigung, insbesondere weil sie mit einer Verschlechterung der Qualität und der Quantität des menschlichen Spermas in Verbindung gebracht wurde. Wird die Entwicklung schädlingsresistenter Pflanzen zur einer Absenkung der Pestizidkonzentration führen?

Kommerzielle Interessen gegen gesellschaftlichen Nutzen ?

Viele Fragen politischer, ökologischer, ökonomischer, sozialer und ethischer Natur, müssen thematisiert werden, wie beispielsweise die folgenden:

- Werden die reichen Länder transgene Pflanzenarten entwickeln und dann auch anbauen, die traditionell in weniger entwickelten Ländern angebaut werden?
- Einige Firmen, die herbizid- und insektizidresistente, transgene Pflanzen entwickeln, verkaufen sowohl das Saatgut wie auch die Schutzmittel. Mächtige Monopole könnten sich in der Folge herausbilden.
- Sollten Nahrungsmittel, die Bestandteile aus transgenen Pflanzen enthalten, für den Endverbraucher entsprechend gekennzeichnet werden? Welche Informationen sind notwendig, damit eine Kaufentscheidung getroffen werden kann?
- Wie werden die Auswirkungen auf die Nährwerte der frischen Früchte und Gemüsesorten sein, oder auf die der Fertigprodukte, bei denen neue, transgene Pflanzensorten verarbeitet wurden?

Die nächsten Schritte

Vor einer Genehmigung der Freisetzung transgener Pflanzen müssen viele Faktoren berücksichtigt werden:

- Die Pflanze sollte für Menschen und andere Tiere keine Gefahr darstellen.
 - Die Pflanze darf keine ökologischen Probleme verursachen.
 - Die mit der Resistenzentwicklung verbundenen Risiken sollten analysiert und einen Plan zum Risikomanagement erstellt werden.
 - Die traditionelle Pflanzenzucht sollte neben der transgenen Pflanzenzucht weiter betrieben werden.
- 1 Jede transgene Pflanze, deren Freisetzung in Betracht gezogen wird, sollte als Einzelfall angesehen und untersucht

- werden.
- Modellsysteme sollten weiterentwickelt werden, damit für die Auswirkung einer Freisetzung auf die Umwelt Prognosen gemacht werden können.
 - Interessierte Personen und Organisationen aus Wissenschaft und Landwirtschaft sowie Umwelt-, Verbraucher- und andere betroffene Gruppen sollten informiert und zur Beteiligung an der Diskussion zugelassen werden.

Praktische Arbeit in der Schule

Pflanzen können anhand der Zusammensetzung ihrer Proteine identifiziert werden. Es ist also möglich nachzuweisen, ob unterschiedliche Pflanzenproben gleichen oder unterschiedlichen Ursprungs sind, indem man mittels Elektrophorese ihre Proteine auftrennt und die Ergebnisse vergleicht. In Forschungslabors werden Unterschiede und Ähnlichkeiten oft durch den ELISA-Test (siehe EIBE-Einheit 8) bzw. durch PCR (siehe EIBE-Einheit 2) bestimmt.

Literatur zum Thema



Veröffentlichungen und Bezugsquellen

Risikoverdnering ved gensplejsning, Munksgaard 1991.

Gensplejsede planter – regulering og anvendelse, Teknologi rådet rapport 1996/1.

Høring om gensplejsede planter, Teknologi rådet, høring _ - 1996.

The Prosamo Report: Testing the environmental impact of plant gene technology. David Fishlock. Herausgegeben von The Laboratory of the Government Chemist, Queen's Road, Teddington, Middlesex, TW11 OLY, Großbritannien.

Roush, R. (1994), *Managing Pests and their Resistance to Bacillus thuringiensis: Can Transgenic Crops be Better than Sprays?* Biocontrol Science and Technology **4**, 501-516.

Dale, P.J., J.A. Irwin & J.A. Scheffler (1993), *The Experimental and Commercial Release of Transgenic Crop Plants.* Plant Breeding **111**, 1-22.

A Public Voice on Biotechnology and Agriculture, Union of Concerned Scientists, Agricultural and Biotechnology program, 1616 P Street, NW, Washington DC 20036, USA. The Gene Exchange. Dezember 1996.

Calgene Fresh Inc., 1910 Fifth Street, Davis, CA 95616. USA.

Zeneca Plant Science, Jealott's Hill Research Station, Bracknell, Berkshire, RG12 6EY, Großbritannien.

Holmes, B. (1995), *Chips are down for killer potato.* New Scientist. **6**. Mai, S. 9.

Hoyle, R. (1995), *EPA okays first pesticidal transgenic plants.* BioTechnology **13**, Mai, 434-435.

Estruch, J.J. (1997), *Transgenic plants: An emerging approach to pest control.* Nature Biotechnology **15/2**.

Winstanley, M. & Bowles, D., *Advances in Plant Biotechnology.* Biotechnology and Biological Sciences Research Council (BBSRC), Polaris House, Swindon SN2 1UH, Großbritannien.

Straughan, R. & Reiss, M.J. (1996), *Ethics, morality and crop biotechnology.* BBSRC (Anschrift wie oben). ISBN: 0708405703.

The **New Scientist** and **Nature Biotechnology** have regular articles and comments on transgenic plants.

Entscheidung der Kommission



Dies ist ein Auszug der Entscheidung der Kommission vom 4. November 1994 zur Festlegung von vereinfachten Verfahren für die absichtliche Freisetzung genetisch veränderter Pflanzen nach Artikel 6 Absatz 5 der Richtlinie 90/220/EWG des Rates (94/730/EG) (ABI.EG Nr. L 292, 12.11.1994, S. 31 ff.)

Artikel 1: Die von Frankreich und dem Vereinigten Königreich nach Artikel 6 Absatz 5 der Richtlinie 90/220/EWG eingereichten Anträge auf Anwendung der im Anhang dargelegten vereinfachten Verfahren werden angenommen.

Artikel 2: Diese Entscheidung ist an das Königreich Belgien, das Königreich Dänemark, die Bundesrepublik Deutschland, das Königreich Spanien, die Französische Republik, Irland, die Italienische Republik, das Königreich der Niederlande, die Portugiesische Republik und an das Vereinigte Königreich von Großbritannien und Nordirland gerichtet.

Anhang

1. Das vereinfachte Verfahren ermöglicht, einen einzigen Anmeldeantrag für mehr als eine Freisetzung genetisch veränderter Pflanzen, die aus ein und derselben Empfänger-Kulturpflanzenart erhalten wurden, die sich jedoch hinsichtlich irgendeiner eingeführten/deletierten Sequenz unterscheiden oder die ein und dieselbe eingeführte/deletierte Sequenz haben, sich aber in den Phänotypen unterscheiden, nach Teil B der Richtlinie 90/220/EWG einzureichen.
2. Der Anmelder kann in einer einzigen Anmeldung Informationen über mehrere Freisetzungen von genetisch veränderten Kulturpflanzen, die an mehreren verschiedenen Orten freigesetzt werden sollen, unter folgenden Bedingungen einreichen:
 - taxonomischer Status und Biologie der Empfängerpflanzenart sind gut bekannt;
 - Informationen über die Wechselwirkungen zwischen Empfängerpflanzenart und den Ökosystemen, in denen die Freisetzungen (zu experimentellen und/oder landwirtschaftlichen Zwecken) erfolgen sollen, sind verfügbar;
 - wissenschaftliche Daten über die Auswirkungen der experimentellen Freisetzung genetisch veränderter Pflanzen derselben Empfängerpflanzenart auf die Sicherheit für die menschliche Gesundheit und die Umwelt sind verfügbar;
 - die eingeführten Sequenzen und ihre Expressionsprodukte sind unter den Bedingungen der experimentellen Freisetzung für die menschliche Gesundheit und die Umwelt sicher;
 - die eingeführten Sequenzen sind gut beschrieben;
 - alle eingeführten Sequenzen sind im Zellkern-Genom integriert;
 - alle Freisetzungen erfolgen im Rahmen eines im voraus festgesetzten Arbeitsprogramms;
 - alle Freisetzungen erfolgen während einer im voraus festgesetzten Zeitspanne.
.....
5. Voraussetzung für eine einzige Zustimmung für mehrere Freisetzungen ist, daß in der einzigen Anmeldung alle erforderlichen Informationen für jede einzelne Freisetzung anzugeben sind,

- einschließlich ausreichender Informationen über die verschiedenen Freisetzungsorte und über die Versuchsplanung wie auch Hinweise über Bedingungen zur Risikohandhabung für jede einzelne Freisetzung. In der Anmeldung sollte jede Freisetzung deutlich angegeben werden, und die erforderlichen Informationen zum Ausfüllen des SNIF sollten angegeben werden.
6. Der Anmelder kann auch eine einzige Anmeldung einreichen, die ein ganzes, im voraus festgesetztes Programm von Entwicklungsarbeit mit einer einzigen spezifischen Empfängerpflanzenart und einer festgelegten Reihe von Inserts/Deletionen über mehrere Jahre und an mehreren verschiedenen Orten umfaßt, und kann für das ganze Arbeitsprogramm eine einzige Zustimmung erhalten.
 - 6.1. In solchen Fällen müssen die einzelnen Freisetzungsorte, spätere intraspezifische geschlechtliche Kreuzungen und/oder die Bedingungen der Freisetzung nicht in Einzelheiten beschrieben werden, wie dies bei Verfahren nach Nummer 5 notwendig wäre. Die Anmeldung muß aber genügend Informationen enthalten, um eine umfassende Risikoabschätzung und eine detaillierte Risikobeurteilung zumindest für die im Arbeitsprogramm vorgesehene erste Freisetzung zu ermöglichen. Nur hinsichtlich der Orte der Freisetzung, Beschreibung der Orte und ihrer Fläche, der Anzahl der freigesetzten Pflanzen und späterer geschlechtlicher Kreuzungen der ursprünglich angemeldeten Pflanzen (einschließlich Nachkommen) untereinander und/oder in Pflanzenlinien der ursprünglich angemeldeten Empfängerpflanzenart (einschließlich der Nachkommen diese Kreuzungen) brauchen Informationen nicht gegeben zu werden.
 8. Wird die einmalige Zustimmung nach dem vereinfachten Verfahren gewährt, so können für jede von ihr betroffene Freisetzung Bedingungen gestellt werden. Diese Bedingungen können anschließend von den zuständigen Behörden gemäß Artikel 6 Absatz 6 der Richtlinie geändert werden.
 9. Nach einer oder mehreren nach dem vereinfachten Verfahren genehmigten Freisetzungen übermittelt der Anmelder der zuständigen Behörde binnen der in der Zustimmung festgelegten Frist einen Bericht über die Ergebnisse der Freisetzung(en). Diese Berichte können getrennt oder als klar identifizierbarer Teil einer Anmeldung für spätere Freisetzungen eingereicht werden.
 10. Die zuständige Behörde kann die Bedingungen der anfänglich erteilten Zustimmung ändern oder eingreifen, um die Bedingungen spezifischer späterer Freisetzungen auf der Grundlage der in den Berichten erwähnten Ergebnisse oder der bei den Inspektionen erhaltenen Informationen zu ändern.

.....

Beispiel eines Fragebogens



Zu den Begriffen Gen, Pflanze und Expression genetischer Merkmale

Name: Alter: Datum:

Klasse: männlich weiblich *(Unzutreffendes bitte streichen)*

Beantworte bitte die folgenden Fragen. Zwischen den Fragen ist jeweils Platz für deine Antwort.

1. Beschreibe in den eigenen Worten, was du unter dem Begriff Gen verstehst.

2. Wo kommen Gene vor?

3. Wo kommen Gene her?

4. Wo befinden sich Gene?

5. Enthalten Pflanzen Gene? Erläutere deine Antwort.

6. Heute ist es möglich, Gene von anderswo in Pflanzen einzubauen. Welche Gene wären deiner Meinung nach für eine solche Übertragung interessant? Warum?

7. Meinst du, dass eine solche Genübertragung sowohl einige Risiken wie auch einige Chancen birgt?
(Unzutreffendes bitte streichen)

Risiken	JA	NEIN	Vorteile	JA	NEIN
----------------	----	------	-----------------	----	------

Wenn ja, welche Risiken/Chancen siehst du?

8. Wenn du zur Gentechnik eine Meinung hast, formuliere dazu eine entsprechende Aussage.