



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Fachbereich Ökotrophologie

Grüne Gentechnik
- Chancen und Risiken -

- Diplomarbeit -



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences
Fachbereich Ökotoxikologie

Grüne Gentechnik

- Chancen und Risiken -

- Diplomarbeit -

Verfasserin:

Sonja Teplinski

████████████████████

████████████████

████████████████████

██████████

Betreuung:

Prof. Dr. Helmut Laberenz

Koreferat:

Prof. Dr. Michael Hamm

Vorgelegt am 12. Januar 2007

Zusammenfassung

Die grüne Gentechnik gehört zu einer der umstrittensten modernen Technologien. Ziel der vorliegenden Untersuchung ist die Frage nach den Chancen und Risiken dieser Technologie und die anschließende Diskussion, ob die grüne Gentechnik in der Bundesrepublik zum Einsatz kommen sollte. Der Leser soll in die Lage versetzt werden, anhand der vorliegenden Fakten eine eigenen Meinung zur grünen Gentechnik entwickeln zu können. Dazu werden die naturwissenschaftlichen Grundlagen der grünen Gentechnik dargestellt und die Vor- und Nachteile dieser Technologie beschrieben. Ebenfalls beleuchtet werden die einzelnen Positionen der gesellschaftlichen Gruppierungen zur grünen Gentechnik in der Bundesrepublik. Nur vor diesem Hintergrund wird die öffentlich geführte Debatte verständlich.

Summary

The green gene-technology belongs to one of the most controversial modern technologies. Aim of the present investigation is the question for the chances and risks of this technology and the subsequent discussion whether the green-technology should be employed in the Federal Republic. The reader shall be put in the position to develop an own opinion regarding the green gene-technology according to the facts in hand. For that the scientific basics of the green gene-technology will be represented and the advantages and disadvantages of this technology will be described. Highlighted as well will be the single positions of the social groups for the green gene-technology in the Federal Republic. Just with this background the publicly led debate will be understandable.

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	I
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	II
1 EINLEITUNG	1
2 NUTZBARMACHUNG VON NUTZPFLANZEN	4
2.1 Pflanzenzucht	4
2.2 Naturwissenschaftliche Grundlagen der Gentechnik	8
2.2.1 Aufbau einer pflanzlichen Zelle	10
2.2.2 Realisierung der genetischen Information	13
2.2.3 Prinzip des Gentransfers	21
2.2.4 Restriktionsenzyme, Ligasen und Vektoren als Werkzeuge des Gentransfers	22
2.2.5 Methoden des Gentransfers	33
2.2.5.1 Gentransfer unter Verwendung des Vektors <i>Agrobacterium tumefaciens</i>	34
2.2.5.2 Der direkte Gentransfer	38
2.2.5.3 Die Elektroporation	38
2.2.5.4 Die Mikroinjektion	39
2.2.5.5 Der Mikroprojtilbeschuß	40
3. VOR- UND NACHTEILE GENMODIFIZierter NUTZPFLANZEN	41
3.1 Vorteile	41
3.1.1 Resistenzen	42
3.1.1.1 Herbizidresistenz	42
3.1.1.2 Insektenresistenz	45
3.1.1.3 Virusresistenz	47
3.1.1.4 Resistenz gegen Bakterien und Viren	49
3.1.2 Modifikation an Nahrungsmitteln	50

3.1.2.1 Kohlenhydrate.....	51
3.1.2.2 Fettsäuren.....	52
3.1.2.3 Proteingehalt und essentielle Aminosäuren	54
3.1.2.4 Vitamine, Mineralien und Spurenelemente	55
3.1.2.4.1 Provitamin A-Biosynthese.....	55
3.1.2.4.2 Vitamin E-Biosynthese.....	57
3.1.2.5 Lagerungsfähigkeit.....	58
3.1.2.6 Reduktion von allergieauslösenden Stoffen	59
3.1.3 Männliche Sterilität zur Erzeugung von Hybridsaatgut	60
3.2 Nachteile	62
3.2.1 Vertikaler Gentransfer	63
3.2.1.1 Horizontaler Gentransfer.....	67
3.2.1.2 Auswilderung transgener Pflanzen	68
3.2.1.3 Einschränkung der Biodiversität.....	70
3.2.1.4 Toxische Effekte auf Tiere im Ökosystem	71
3.2.1.5 Resistenzentwicklungen gegen transgene Pflanzen	73
3.2.1.6 Entstehen neuer Viren.....	75
3.2.1.7 Beurteilung der Nutzungsintensität beim Anbau transgener Pflanzen	76
3.2.2 Risiken durch den Verzehr gentechnisch veränderter Lebensmittel.....	80
3.2.2.1 Toxizität	81
3.2.2.2 Allergien.....	85
3.2.2.3 Antibiotikaresistenzen	88
3.2.3 Unzureichende Grundlagenforschung.....	93
4 GESELLSCHAFT UND GRÜNE GENTECHNIK.....	98
4.1 Politik.....	98
4.1.1 Regierungspolitik und rechtliche Gesetzgebung der Grünen Gentechnik	98
4.1.2 Einzelne Parteien.....	105

4.2 Wirtschaft und Herstellerfirmen	109
4.3 Forschung.....	114
4.4 Landwirte.....	120
4.4.1 Konventionelle Landwirte.....	120
4.4.2 Ökologisch wirtschaftende Landwirte.....	122
4.5 Verbraucher und Verbraucherverbände.....	128
4.6. Entwicklungsländer	132
5 DISKUSSION.....	141
6 LITERATURVERZEICHNIS	III
7 EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG.....	IV
8 ANHANG	V

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Variationen des Kohls unter Züchtungseinflüssen.....	5
Abb. 2: Aufbau einer pflanzlichen Zelle.....	12
Abb. 3: Aufbau eines Gens.....	15
Abb. 4: Replikation der DNA	16
Abb. 5: Translation der DNA.....	20
Abb. 6: Konstruktion von Vektoren (Ti-Plasmid).....	29
Abb. 7: Ti-Plasmid.....	36
Abb. 8: Entstehung einer transgenen Pflanze	37
Abb. 9: Die Elektroporation.....	39
Abb. 10: Mikroinjektion in Protoplasten einer Kartoffelzelle	39
Abb. 11: Partikelbeschießung.....	40
Abb. 12: Züchtungsziele durch Gentechnik.....	42
Abb. 13: Gentechnisch veränderter Mais im Feld vor (links) und drei Wochen nach einer Behandlung mit einem Breitbandherbizid(rechts).	43
Abb. 14: Die Larve des Maiszünslers bohrt sich in den Stängel der Maispflanze.....	46
Abb. 15: Virusranke (links) und gesunde Zuckerrübe (rechts).....	49
Abb. 16: Goldener Reis (links) neben konventionellem Reis (rechts).....	56
Abb. 17: Flavr-savr-Tomate.....	59
Abb. 18: Auskreuzung des Rapses auf verwandte Pflanzen	63/64
Abb. 19: Gentechnikfreie Regionen in Deutschland.....	127

1 Einleitung

Die grüne Gentechnik gehört zweifelsohne zu den wohl umstrittensten modernen Technologien. Während die Befürworter sie als Schlüsseltechnologie betrachten, die eine Anzahl von Chancen eröffnet, halten die Gegner sie für gefährlich. Beide Seiten stehen sich unversöhnlich gegenüber.

Der Großteil der Bevölkerung in Deutschland lehnt die grüne Gentechnik ab, während andere Bereiche der Gentechnik, wie z.B. die rote Gentechnik, die sich mit der Herstellung von Medikamenten beschäftigt, durchaus Zustimmung finden. So befürwortet laut Umfragen ein großer Teil der Bevölkerung, dass Medikamente wie Insulin oder der Impfstoff gegen Hepatitis B mit Hilfe von gentechnisch veränderten Bakterien hergestellt werden. Die grüne Gentechnik läuft dem Bedürfnis der meisten Menschen nach dem Wunsch von Natürlichkeit in Lebensmitteln zuwider. Viele Menschen können für sich keinen Sinn in genmodifizierten Nahrungsmitteln sehen und fürchten sich vor den Gefahren, die von solchen Lebensmitteln ausgehen können.

Doch es hilft nicht, die Augen vor der Realität zu verschließen. Genmodifizierte Nahrungsmittel gehören inzwischen längst zu unserem Alltag, und damit rückt das Thema in den Fokus jedes einzelnen. Umso wichtiger ist es für jeden einzelnen, sich ein objektives Bild über genmodifizierte Nahrungsmittel machen zu können und so zu einem Standpunkt zu gelangen.

In den USA werden beispielsweise großflächig Mais und Soja für die Lebens- und Futtermittelindustrie angebaut, die gentechnisch modifiziert sind. In den Regalen der Supermärkte stehen Nahrungsmittel, die aus gentechnisch veränderten Organismen hergestellt wurden und werden vorbehaltlos gekauft. Vielleicht auch deshalb, weil solche Produkte dort nicht kennzeichnungspflichtig sind. Bei uns dagegen herrscht eine strenge Kennzeichnungspflicht. Doch Produkte (wie z.B. Milch, Käse, Eier und Fleisch) von Tieren, bei deren Aufzucht gentechnisch verändertes Futter genutzt wurde, sind auch in Deutschland nicht kennzeichnungspflichtig. Ebenso wenig müssen Lebensmittel gekennzeichnet werden, die mit Hilfe von gentechnisch veränderten Mikroorganismen hergestellt wurden. Auf diese Weise gelangen

gentechnisch veränderte Organismen, ob wir es nun wollen oder nicht, auch in unsere Nahrungskette.

Jüngstes Beispiel ist ein durch Greenpeace Anfang September 2006 aufgedeckter Vorfall. So enthüllte die Umweltschutzorganisation, dass Aldi-Langkornreis der Marke Bon-Ri aus den USA mit dem nicht zugelassenen Gen-Reis LL601 von Bayer Crop Science verunreinigt ist (www.megawelle.com, 2006). Auf der Suche nach der Ursache für Gen-Reis-Spuren im europäischen Handel vermutet der Ernährungswissenschaftler Klaus-Dieter Jany aus Karlsruhe eine Auskreuzung der bis vor fünf Jahren testweise angebauten genmodifizierten Sorten. Über Pollenflug seien andere Reissorten mit LL601 kontaminiert worden (www.nabu.de (a), 2006). Inzwischen bestätigten Lebensmittelkontrolleure verschiedener Bundesländer die Funde. Die Sorte LL601 trägt ein zusätzliches Gen, dessen Protein die Pflanze gegen ein bestimmtes Pflanzengift resistent macht. Die in Aldi-Filialen vertriebene Ware wurde inzwischen aus dem Sortiment entfernt. Nach diesem Geschehen häuften sich die Berichte von Gen-Reis-Funden in ganz Europa (www.hr-online.de, 2006).

Die vorliegende Arbeit will den Versuch wagen, sich vorurteilsfrei mit den Chancen und Risiken der grünen Gentechnik auseinanderzusetzen. Sie konzentriert sich dabei ausschließlich auf genmodifizierte Nutzpflanzen. Gentechnisch erzeugte Pflanzen, die der Erzeugung von Medikamenten dienen sowie gentechnisch veränderte Mikroorganismen, die in der Lebensmittelherstellung verwendet werden, sind nicht Gegenstand der Betrachtung. Es soll das Potential dieser modernen Technologie überprüft werden, wobei die Betrachtung sich auf den aktuellen Stand bezieht. Ebenso werden die Gefahren dieser Technologie untersucht. Anhand der gewonnenen Erkenntnisse soll die zentrale Frage beantwortet werden, ob es zum derzeitigen Zeitpunkt angebracht ist, dass gentechnisch veränderte Lebensmittel in den Handel kommen und verzehrt werden.

Die Voraussetzungen für die Gentechnik-Diskussion werden in den ersten vier Kapiteln erarbeitet.

Das zweite Kapitel beschäftigt sich mit den naturwissenschaftlichen Grundlagen der grünen Gentechnik. Es wird erklärt, was ein Gen ist, wie es aufgebaut ist und wie der Transfer eines fremden Gens in einen Zielorganismus funktioniert. Außerdem werden die verschiedenen

Methoden eines Gentransfers erläutert. Die Erörterung der Grundlagen schafft die Basis für das Verständnis der weiteren biologischen Vorgänge.

Im dritten Kapitel werden die Vor- und Nachteile der grünen Gentechnik beschrieben. Es werden dabei nur solche Vorteile genmodifizierter Pflanzen dargestellt, die sich bereits in der praktischen Anwendung zeigen.

Das vierte Kapitel beleuchtet die grüne Gentechnik von der gesellschaftlichen Seite. Sowohl die Vertreter der Regierungspolitik, wie einzelner Parteien, der Wirtschaft, der Forschung, der konventionellen als auch der ökologischen Landwirtschaft sowie die Verbraucher und die Entwicklungsländer finden Gehör. Es wird beleuchtet, welche gesellschaftlichen Gruppierungen von der grünen Gentechnik profitieren und wer durch diese moderne Technologie benachteiligt wird. Nur vor diesem Hintergrund wird die öffentlich geführte Debatte zur grünen Gentechnik verständlich.

Im Kapitel vier schließt sich die Diskussion an. Im Rahmen dieser Arbeit diskutiert die Verfasserin unter Kenntnis der Vor- und Nachteile und unter Einbezug gesellschaftlicher Aspekte die zentrale Fragestellung, ob die grüne Gentechnik bei uns in Deutschland zum Einsatz kommen sollte.

2 Nutzbarmachung von Nutzpflanzen

In dem vorliegenden Kapitel wird die geschichtliche und biologische Entwicklung von Nutzpflanzen - die Pflanzenzucht - beschrieben. Die Gentechnik als solche stellt eine Weiterentwicklung der herkömmlichen Pflanzenzucht dar. Um das Prinzip der Gentechnik, d.h. die Einführung eines Fremdgens in einen Zielorganismus nachvollziehen zu können, wird zuvor auf den Aufbau der Pflanzenzelle und auf die Wiedergabe der genetischen Information näher eingegangen. Für das Verständnis der Funktion des gentechnisch verursachten Gentransfers wird dazu die Darstellung der beteiligten biologischen Elemente notwendig, aus denen ein modifiziertes Gen besteht. Denn nur modifizierte Gene können erfolgreich in einen Fremdorganismus eingebaut werden. Im Anschluss werden einzelne gebräuchliche gentechnische Transfermethoden ausführlicher beschrieben.

2.1 Pflanzenzucht

In der Öffentlichkeit werden stets „natürliche Nahrungsmittel“ gentechnisch veränderten gegenübergestellt.

Doch diese Gegenüberstellung ist nicht ganz passend, betrachtet man die Entwicklung von Nutzpflanzen eingehender. Schon als sich der Mensch vom mobilen Jäger und Sammler zum sesshaften Bauern entwickelte, Viehzucht und Ackerbau betrieb, übte er eine Zuchtauswahl aus, indem er für seine Zwecke die ihn am geeignetsten erscheinenden Pflanzen auslas und weiterentwickelte. So versuchte er vor allem den Ertrag von Nutzpflanzen zu steigern und die Sorten resistenter gegen Krankheiten zu züchten.

Die gesamten Nutzpflanzen, wie wir sie heute kennen, weisen nur noch wenig Gemeinsamkeiten verglichen zu den einstigen Wildformen auf, aus denen sie durch Selektion und Züchtung entstanden sind. Die heutigen Nutzpflanzen sind ihrer Stammform meist sehr unähnlich oder sehen zumindest stark abgewandelt aus.

Die Kultivierung und Zuchtauswahl wichtiger Kulturpflanzen begann bereits vor 9.000-10.000 Jahren.

Zur Veranschaulichung, wie sehr sich unsere heutigen Nutzpflanzen von ihren einstigen Wildformen unterscheiden, seien hier ein paar Beispiele angeführt.

Bereits um 7.000 v. Chr. wurde im nahen Osten Weizen domestiziert. Aus den brüchigen Ährenspindeln wurde eine festspindelige Kulturform herausgezüchtet.

Etwas späteren Datums sind ursprüngliche Maisformen, die in den Höhlen Südmexikos gefunden wurden und die sich auf 5.000 – 3.400 v. Chr. zurückdatieren lassen. Sie belegen, dass Mais (*Zea mays*) durch Mutationen aus der rispigen Teosinte (*Euchlaena mexicana*) entstanden ist, die von ihrer Form her einem büscheligen Grasgewächs ähnelt (Kempken, 2003, S. 3). Von der Teosinte mit kleinen Körnern existierten ursprünglich zwei Arten von Mutanten mit etwas größeren Körnern. Durch Kreuzung beider Mutanten erhielten die Ureinwohner den heutigen Mais, der über wesentlich größere und fester sitzende Körner verfügt, als die Teosinte (www.biokurs.de, o.J.).

Im Gegensatz zu diesen alten Kulturpflanzen sind die meisten Kohlsorten sehr viel jünger. Zwar wurde Wildkohl (*Brassica oleracea* var. *oleracea*) bereits im alten Rom verzehrt, doch ähnelte er damals in seiner Form eher einem Wildkraut, mit Stängel, Blättern und kleinen Blüten versehen. Die Kohlkopfsorten, wie wir sie heute kennen, entstanden

erst im 12. Jahrhundert, der Wirsing sogar erst im 16. Jahrhundert. Aus dem einstigen Wildgewächs sind sehr unterschiedliche Zuchtformen wie Blumenkohl, Rosenkohl, Broccoli, Kohlrabi, Grünkohl und Kopfkohl hervorgegangen, die sich nicht nur von der Urform sondern auch voneinander beträchtlich unterscheiden (Abb. 1) (Kempken, 2003, S. 5).



Abb. 1: Variationen des Kohls unter Züchtungseinflüssen

(http://www.stmwvt.bayern.de/technologie/Gruene_Gentechnik.doc; Stand: 26.10.2006)

Bei der Züchtung von Nutzpflanzen macht man sich die durch Evolution entstandene genetische Variabilität einer Art zu nutze und liest aus dieser Verschiedenartigkeit die Pflanzen aus, in denen die züchterischen Eigenschaften überwiegen. Die so ausgesuchten Pflanzen werden gezielt miteinander gekreuzt. Dabei werden die Erbinformationen der Eltern, d.h. die vollständigen Genome beider Eltern neu miteinander kombiniert. Das bestmögliche Ergebnis ist dann eine Pflanze, die einerseits die positiven Eigenschaften beider Elternteile vereint, während sich andererseits die unerwünschten Eigenschaften bei ihr nicht ausprägen. Durch Kreuzung verschiedener Linien versuchen Züchter möglichst viele positive Eigenschaften in einer Linie zu vereinigen (Busch, 2002, S. 19 – 20).

Bis zu Beginn des zweiten Jahrtausends beschränkte sich die Pflanzenzucht auf eine Auslese des bestehenden Materials (www.bdp-online.de (a), o.J.).

Zu ergänzen ist, dass neben der Auslesezüchtung viele unserer Nutzpflanzen durch Kreuzung verschiedener, wenn auch eng verwandter Arten miteinander entstanden sind. Somit ist auch die Anzahl der Gene, die übertragen werden können, begrenzt. Es kann nur ein Gen in eine Weizenpflanze hineingebracht werden, das bereits in irgendeinem anderen Weizen vorkommt. Für die herkömmliche Kombinationszüchtung ist daher die genetische Vielfalt innerhalb einer Art bzw. Gattung ganz wesentlich. (Janssen, ohne Datum, S. 15). So setzen sich unsere modernen Weizensorten aus drei verschiedenen Vorläufern zusammen: dem Emmer, dem Einkorn und dem Aegilops. Solch entstandene Pflanzen verfügen nicht mehr nur über einen diploiden, sondern über einen polyploiden Chromosomensatz. Weizensorten verfügen beispielsweise über einen sechsfachen Chromosomensatz. Da polyploide Pflanzen im Allgemeinen größer und widerstandfähiger sind als herkömmliche, haben sich diese Mutanten weitgehend unter unseren klimatischen Bedingungen durchgesetzt. Im Gegensatz zum Tierreich, wie z.B. bei der Kreuzung zwischen Pferd und Esel, sind diese Artbastarde des Pflanzenreiches in der Regel fertil (Preschel, 2000, S.103).

Mit Beginn der Industrialisierung stieg der Bedarf an Menge und Qualität der Nutzpflanzen. Die Notwendigkeit gezielten züchterischen Handelns in Verbindung mit neuen Anbautechniken wurde erkannt. Erst mit Beginn der Entdeckung der Mendelschen Regeln des Brünner Mönchs Gregor Mendel Mitte des 19. Jahrhunderts und deren Wiederentdeckung durch Correns, de Vries und von Tschermak zu Beginn des 20. Jahrhunderts brachte die dazu notwen-

digen neuen Erkenntnisse über die Abläufe der Vererbung. Durch die Anwendung der Kreuzungszüchtung in Verbindung mit modernen Agrarmethoden entstanden neue ertragreiche Sorten. Der Getreideanbau erreichte dadurch bereits 1919 ein Ertragsniveau, das mit 14 bis 15 dt/ha einer Verdoppelung der Erträge zwischen 1770 bis 1850 entsprach. (www.bdp-online.de (b), o.J.).

Die herkömmliche Züchtung birgt allerdings Mängel an sich. Zum einen ist sie sehr arbeitsaufwändig und zeitintensiv. Bis sich aus den verschiedenen Kreuzungsgenerationen eine zufrieden stellende Sorte entwickelt hat, können 15 – 20 Jahre vergehen.

Die grundlegende Schwierigkeit bei der Züchtung von Nutzpflanzen besteht darin, aus der Vielzahl der neuen Variabilitäten durch Selektion den geeignetsten Genotypen zu ermitteln und weiter zu kultivieren (Kempken, 2003, S. 9). Ein weiteres Problem liegt darin, dass sich bei der traditionellen Züchtung die Genome beider Elternteile vollkommen miteinander vermischen. Die meisten eingekreuzten Gene sind somit unbekannt, so dass unerwünschte Eigenschaften in die Zuchtlinie gelangen können und, da sie zunächst unbekannt sind, erst viel später entdeckt werden und ihr negatives Potential bereits entfaltet haben können. Erwünschte Eigenschaften können dagegen bei der Vermischung der Genome verloren gehen. (www.bdp-online.de (c), o.J.).

Darüber hinaus wird ein Merkmal einer Pflanze häufig nicht allein durch ein bestimmtes Gen festgelegt, sondern meist durch mehrere. Um eine bestimmte Merkmalskombination zu erzielen, müssen daher sehr große Nachkommenschaften mehrjährig analysiert werden. Soll beispielsweise eine erwünschte Eigenschaft aus einer Primitivform in eine bereits ertragreiche Sorte übertragen werden, so muss die Tochtergeneration mehrmals mit den Elternpflanzen rückgekreuzt werden (Busch, 2000, S. 20). Zu erwähnen wäre noch, dass es bei weitem nicht immer gelingt, bestimmte Merkmale aus den Ausgangslinien in einer neuen Linie zu vereinigen. Liegen beispielsweise zwei Merkmale einer Pflanze sehr eng nebeneinander auf dem gleichen Chromosom, lassen sie sich häufig nicht voneinander trennen - was bedeutet, dass Rekombinationen zwischen diesen Merkmalen sehr selten stattfinden oder gar nicht auftreten (Kempken, 2003, S. 9).

Einen besonderen Umschwung erfuhr die Pflanzenzüchtung seit 1986 durch die erfolgreiche Einführung gentechnischer Methoden. Mit Hilfe der Gentechnik ist es möglich geworden,

fremde Gene in eine Pflanze zu bringen und ihr damit vollkommen neue Eigenschaften zu verleihen. Das besondere an der Gentechnik ist, dass sie über Artgrenzen hinweg funktioniert. Die durch die sexuelle Kreuzbarkeit vorgegebenen Einschränkungen können umgangen werden und es können nicht nur Fremdgene aus anderen Pflanzen, sondern auch aus Bakterien, Pilzen, Tieren oder dem Menschen in die Pflanze eingeschleust werden (Janssen, o.J., S. 15).

Der Einsatz gentechnischer Verfahren in der Pflanzenzüchtung bringt den Vorteil, dass gezielt ein oder wenige Gene in eine bereits gute Pflanzensorte eingebracht werden können (Koschatoky, 1994, S.10). Das führt nicht nur zur Zeitersparnis, sondern eröffnet auch ein breiteres Anwendungsspektrum (Busch, 2002, S. 20).

Die Gentechnik wird jedoch die klassische Züchtung in Zukunft nicht vollständig ersetzen können, sondern stellt lediglich ein zusätzliches, wenn auch bedeutsames Werkzeug der Pflanzenzüchtung dar. Das liegt unter anderem daran, dass sich viele Hochleistungssorten nicht stabil transformieren lassen¹ oder eine Regeneration von intakten Pflanzen nicht gewährleistet ist (Kempken, 2003, S. 12).

2.2 Naturwissenschaftliche Grundlagen der Gentechnik

Die Gentechnik ist ein Teilgebiet der Biotechnologie. Sie umfasst die Gesamtheit aller biologischen, molekularbiologischen, chemischen und physikalischen Methoden, die dazu dienen, genetisches Material zu charakterisieren und zu isolieren, neue Kombinationen genetischen Materials zu bilden und dieses rekombinierte Material in anderer biologischer Umgebung wieder einzuführen und zu vermehren (Käppeli, 1994, S. 8 – 9). Der Begriff der Gentechnologie wird häufig synonym zu dem Begriff der Gentechnik verwendet. Die beiden Begriffe unterscheiden sich insofern, als die Gentechnologie die Lehre von der Gentechnik und der mit ihr verwandten Disziplinen, wie z.B. der Molekularbiologie und der Biochemie darstellt, sich also nur der Erforschung der Methoden zur Neukombination von DNA widmet, mit Gentechnik aber die Anwendung dieser Methoden in Forschung und Technik gemeint ist.

¹ Einbringen fremder DNA in einen Organismus

Die Gentechnik wird in Abhängigkeit vom Forschungsgegenstand in drei Anwendungsbereiche gegliedert: in die "rote", die "graue" und die "grüne Gentechnik". Die „rote Gentechnik“ bezeichnet den Bereich der Human- bzw. Veterinärmedizin. Die gentechnische Forschung wird in diesem Bereich hauptsächlich zu therapeutischen (z.B. Keimbahntherapie, Bluterkrankheit), diagnostischen (z.B. die Früherkennung von Krankheitsbildern) und kriminalistischen Zwecken (z.B. die Erstellung von „genetischen Fingerabdrücken“) betrieben. Der Anwendungsbereich der „grauen Gentechnik“ beabsichtigt Fortschritte im Umwelttechnik-Sektor (z.B. Abwasserreinigung durch Bioreaktoren oder Schadstofferkennung über Biosensoren (Algentoximeter)), bei Arzneimitteln (Wirkstoffproduktion durch genetisch veränderte Mikroorganismen (z.B. Insulin) oder bei der Energiegewinnung (z.B. Kohleentschwefelung durch gentechnisch veränderte Mikroben). Die "grüne Gentechnik" beschäftigt sich mit der Anwendung gentechnischer Verfahrenweisen im landwirtschaftlichen Bereich, wobei insbesondere Nutzpflanzen, die für die Lebensmittelproduktion relevant sind, im Vordergrund stehen (Schneider, 1998, S.21, 36).

Gegenstand dieser Arbeit bildet die grüne Gentechnik.

Wurde die Gentechnik im vorherigen Kapitel von der Pflanzenzüchtung abgegrenzt, so bietet sich an dieser Stelle eine Abgrenzung zur Biotechnologie an.

Unter der Biotechnologie werden alle Methoden und Verfahren verstanden, die die Nutzung von lebenden Organismen oder ihrer zellulären oder subzellulären Bestandteile beinhaltet (www.gmuender.org, 2001). Im Bereich der Nahrungsmittel bedeutet das die Nutzbarmachung von Mikroorganismen zur Gewinnung und zur Veredelung von Lebensmitteln. Wohl eher durch Zufall, denn die Menschen wussten in früher Zeit nicht um die Existenz von Mikroorganismen, stellten die Menschen mit Hilfe dieser Kleinstlebewesen Nahrungsmittel wie Brot, Wein und Bier unter der Verwendung von Hefe her. Als weitere Beispiele seien Milchprodukte (Käse, Yoghurt, Kefir etc.) oder Sauerkraut genannt. Die Menschen griffen damals unbewusst in biologische Abläufe ein, indem sie die Umweltbedingungen so veränderten, dass die Mikroorganismen in einem optimalen Lebensmilieu gedeihen konnten. Erst durch die Erfindung des Mikroskops durch Antonie von Leeuwenhoek im Jahre 1683 erfuhr die Menschheit von der Existenz dieser Kleinstlebewesen (Buselmaier, 2004, S. 49).

2.2.1 Aufbau einer pflanzlichen Zelle

Zellen sind die kleinsten lebensfähigen Einheiten aller Organismen. Alle lebenswichtigen Prozesse laufen in einer Zelle ab. Die Wissenschaft unterscheidet zwischen zwei Typen von Zellen, den Prokaryonten und den Eukaryonten.

Bei den Prokaryonten handelt es sich um einzellige Lebewesen, die keinen Zellkern und keine Organellen besitzen. Zu den Prokaryonten gehören die Bakterien und die Blaualgen.

Die Eukaryonten bestehen meist aus mehreren Zellen, besitzen einen Zellkern und Organellen. Zu den Eukaryonten gehören so komplexe Lebewesen wie Pflanzen, Tiere und der Mensch. Doch auch einzellige Lebewesen wie Grünalgen (Pflanzen) und Zooflagellaten (Tiere) zählen zu den Eukaryonten.

Die Zelle ist als ein abgegrenzter Raum zu betrachten, der sich mit seiner Umgebung in regem Stoffaustausch befindet. Über die Zellmembran nimmt die Zelle Substanzen auf, die sie zur Nahrungs- und Energiegewinnung benötigt, gleichzeitig scheidet sie über die Membran Abfallprodukte aus.

Die Zellwand von Pflanzen ist sehr fest, sie besteht aus einem Geflecht von Zellulosefasern. Bakterienzellwände hingegen sind aus Kohlenhydrat- und Aminosäureketten aufgebaut. Dieses Geflecht von Aminosäureketten wird als Murein bezeichnet.

Der Zellwand von Bakterien- und Pflanzenzellen liegt nach innen eine zusätzliche Membran an. Diese Membran besteht aus einer Lipid-Doppelschicht mit eingebetteten und aufgelagerten Proteinen. Auf der Außenseite der Membran sind die Lipide und Proteine mit Kohlenhydraten verbunden. Die Zuckerteile dieser Glykoproteine ragen in die Umgebung heraus und dienen als „Antennen“ dem Informationsaustausch der Zelle mit ihrer Umgebung.

Die innere Zellmembran dient aufgrund ihrer Struktur als mechanische Barriere. Sie ist nur für Wasser und kleine neutrale Moleküle durchlässig, während andere Substanzen die Membran nur mit Hilfe spezifischer Transportsysteme passieren können. Die Zellmembran umgrenzt die Grundsubstanz der Zelle, das Cytoplasma. Es handelt sich dabei um eine zähe, wässrige Lösung, die zu 70 % aus Wasser, aus 15 – 20 % aus Proteinen und zahlreichen anderen Substanzen wie Fetten und Kohlenhydraten besteht.

Bei den Prokaryonten, zu denen die Bakterien gehören, stellt die Zellmembran den alleinigen Raum für den Ablauf aller Stoffwechselvorgänge dar. Die Pflanzenzelle und alle anderen eukaryontischen Zellen verfügen dagegen über intrazelluläre „Reaktionsräume“, die auch als Organellen bezeichnet werden. In diesen Reaktionsräumen laufen alle Stoffwechselreaktionen der Zelle ab. Die Organellen erfüllen ähnlich den Organen des menschlichen Körpers spezifische Funktionen.

Im Cytoplasma einer Zelle befindet sich das genetische Material, die DNA. Die Summe der genetischen DNA-Moleküle eines Lebewesens bezeichnet man als Genom. Das Genom einer Bakterienzelle liegt im Cytoplasma in freier Form vor. Zusätzlich zu dieser Erbinformation besitzen Bakterien häufig so genannte Plasmide, die an einem Punkt an der Zellmembran des Bakterium angeheftet sind (Gassen, 1988, S. 3-5).

Plasmide sind kleine, ringförmige DNA-Moleküle. Sie verfügen über eigene Einheiten an genetischer Information. In der Regel enthalten Plasmide ein oder zwei Gene, die für das Wirtsbakterium einen selektiven Vorteil bedeuten, so z.B. eine Antibiotika-Resistenz.

Gleich einem Genom werden Plasmide vor jeder Zellteilung verdoppelt und ihre Erbinformation weitergegeben. Bakterien sind in einigen Fällen in der Lage, Plasmide auf andere Bakterien zu übertragen, wodurch es möglich ist, auch erworbene Besonderheiten wie z.B. Resistenzen weiterzugeben (www.de.wikipedia.org, o.J.)

Bei eukaryontischen Zellen wie Pflanzenzellen finden sich keine Plasmide. Die Erbsubstanz, die DNA, liegt geschützt im Zellkern. Damit das lange Erb molekül im kleinen Zellkern Platz findet, ist die DNA vielfach aufgewunden und verdrillt. Bei der Zellteilung wird die DNA in eine besondere Transportform gebracht. Diese Form ist x-förmig und wird als Chromosom bezeichnet.

Die Hülle des Kerns ist von zahlreichen Poren durchsetzt, durch die Botenstoffe aus dem Zellkern heraus- und Bausteine der DNA sowie Proteine in den Zellkern hineingeschleust werden. Auf der Zellkernmembran befinden sich die Ribosomen, die aus ribosomaler Ribonukleinsäure (RNA) und Proteinen aufgebaut sind. An den Ribosomen erfolgt die Umsetzung der Erbinformation in Proteine.

Weitere wichtige Organellen sind die Mitochondrien. Es handelt sich dabei um kapselförmige, von einer Doppelmembran umschlossene Organellen, die aus Nahrungsstoffen unter Sauerstoffverbrauch Energie in Form von ATP herstellen.

Daneben gibt es Organellen, die ausschließlich in pflanzlichen Zellen vorkommen, wie z.B. die Chloroplasten und die Vakuole. Die Chloroplasten in einer Pflanzenzelle sind für die Photosynthese zuständig. Sie sind ähnlich wie die Mitochondrien aus zwei Membranen aufgebaut. In der vielfach gefalteten inneren Membran befinden sich Farbpigmente, die vor allem den grünen Farbstoff Chlorophyll enthalten. Die Farbpigmente können bestimmte Wellenlängen des Sonnenlichts absorbieren und daraus Energie gewinnen. Enzyme im Inneren der Chloroplasten nutzen die gelieferte Energie, um aus Kohlendioxid und Wasser Stärkemoleküle aufzubauen, die dann im Inneren der Chloroplasten gespeichert werden.

Bei der Vakuole handelt es sich um einen mit Flüssigkeit gefüllten Hohlraum, der bei einer ausgewachsenen Pflanzenzelle große Teile des Zellinneren einnehmen kann. Die Vakuole wird von einer Membran, dem Tonoplasten, begrenzt und dient als „Speicher für Salze und anderen organischen Molekülen (Abb. 2) (Gassen, 1998, S. 6).

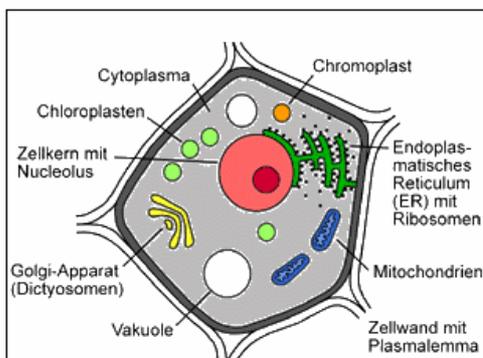


Abb. 2: Aufbau einer pflanzlichen Zelle

(<http://www.digitalefolien.de/biologie/pflanzen/aufbau/zell.html>; Stand: 27.10.2006)

Wichtig anzumerken ist, dass alle Zellen einer Pflanze die gleiche DNA enthalten. Trotzdem erfüllt jede Zelle ihre Spezialaufgabe. So übernimmt die Zelle einer Wurzel eine andere Aufgabe als die Zelle eines Blattes. Informationen der DNA, die von der betreffenden Zelle nicht gebraucht werden, werden „abgeschaltet“. Durch diese Spezialisierung einzelner Zellen ist es möglich, höhere Organismen zu bilden, die komplizierter aufgebaut sind. Nur in den einfachsten Organismen, wie beispielsweise Bakterien, macht jede Zelle dasselbe. Die ver-

schiedenen Spezialzellen stehen in jedem höheren Organismus in Kontakt und stimmen ihre Funktionen über ein kompliziertes Regelwerk aufeinander ab (Janssen, o.J., S. 7).

Nach der Besprechung des Aufbaus von Zellen, wird im nächsten Kapitel dargestellt wie die Erbinformation in einer Pflanzenzelle beschaffen ist, und wie bei Bedarf die genetische Information weiter vermittelt wird.

2.2.2 Realisierung der genetischen Information

Auf der DNA wird die Erbinformation in chemischer Form gespeichert. Die Teile dieser Information, die bis heute bekannt sind, beinhalten den Bauplan für die Herstellung von Proteinen.

Bei den Proteinen handelt es sich um universelle Bau- und Betriebsstoffe aller Organismen. Sie bauen die Zellstruktur auf, dienen dem Transport durch Membranen und wirken als Enzyme bei Stoffwechselreaktionen. Zudem sind sie an der Reizleitung und der Infektionsabwehr beteiligt (Gassen, 1988, S.8).

Das DNA-Molekül besteht aus zwei umeinander gewundenen Strängen aus Nukleotiden und ähnelt in seiner Form einer Wendeltreppe. Die Nukleotide sind aus Phosphorsäureresten, Desoxyribose (Zucker) und jeweils einer Stickstoffbase aufgebaut. Die Holme der Strickleiter bilden Zuckermoleküle und Phosphatgruppen, die abwechselnd miteinander verknüpft sind, während sich die mit Zucker verbundenen Basen in den Sprossen der Leiter zusammenlagern.

In der DNA kommen insgesamt vier Basen vor. Die Basen Adenin, Thymin, Guanin und Cytosin. Die Basen Adenin und Thymin gehören zur chemischen Stoffklasse der Purine (bestehen aus einem Fünfer- und Secherring), wogegen die Basen Thymin und Cytosin den Pyrimidinen (bestehen nur aus einem Secherring) angehören. Jeweils zwei Basen sind stets zueinander komplementär. So paaren sich jeweils nur Cytosin und Guanin und Adenin und Thymin miteinander und bilden untereinander Wasserstoffbrücken aus.

Zwischen Guanin und Cytosin bilden sich drei Wasserstoffbrücken aus, zwischen Adenin und Thymin dagegen nur zwei. Die beiden Zucker-Phosphat-Ketten der Einzelstränge sind gegenläufig angeordnet. Im Doppelstrang verläuft ein Strang in 3'→5'-Richtung, der andere in

5'→3'-Richtung. Die terminalen 5'-Hydroxylgruppen sind mit Phosphatgruppen verbunden, die terminalen 3'-Hydroxylgruppen sind frei.

Die beiden DNA-Stränge verlaufen nicht nur antiparallel zueinander, sondern sie sind zusätzlich noch ineinander verdrillt. Dadurch entstehen sich wiederholende leicht gegeneinander versetzte Windungen, die aus jeweils 10 Basenpaaren bestehen. Durch die Verdrillung entstehen auf der Oberfläche sowohl eine große und eine kleine „Rinne“. In dieser Form liegt die DNA in ihrer Sekundärstruktur vor.

Die Erbinformation eines prokaryontischen Organismus, wie z.B. eines Bakteriums, liegt wie bereits erwähnt, frei im Cytoplasma vor und entspricht der Sekundärstruktur. Auch die Plasmide eines Bakteriums weisen die Sekundärstruktur auf.

Das genetische Material von Eukaryonten hingegen ist wesentlich umfangreicher als das von Bakterien und verfügt daher noch über eine Tertiärstruktur. So ist das eukaryontische Erbmaterial auf mehrere DNA-Moleküle verteilt, die in dem kleinen Zellkern Platz finden müssen. Diese hohe Verpackungsdichte wird erreicht, indem sich die DNA um kugelige Strukturen, die aus Proteinen aufgebaut sind, so genannten Histonen, windet. Und auch diese Struktur ist wiederum verdrillt. Es existieren noch viele weitere Verpackungsstrukturen, die die platz sparende Unterbringung der DNA im Zellkern gewährleisten.

Damit die genetische Erbinformation weitergegeben werden kann, muss sie bei der Zellteilung aufgeteilt werden (Gassen, 1998, S. 13-15). Dazu wird die bei Bakterien ringförmige DNA verdoppelt; bei Tier- und Pflanzenzellen liegt die DNA in mehreren Fäden vor. Anschließend werden die DNA-Fäden so verdichtet, dass sie transportiert werden können. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von der Suprastruktur der Chromosomen. In dieser Form kann man die DNA unter dem Mikroskop erkennen (Janssen, o.J. S. 6).

Ein Gen ist nichts anderes als ein Abschnitt auf der DNA, der die Information zur Herstellung eines Proteins trägt (Abb.3). Das gebildete Protein prägt durch seine Funktion eines oder mehrere Merkmale der Pflanze. Ein Gen ist somit ein Träger von Erbinformationen. Durch Reproduktion können diese Erbinformationen an die Nachkommen weitergegeben werden (www.de.wikipedia.org, o.J.). Gene bestehen aus zwei Teilen. Sie setzen sich aus einem proteincodierenden Anteil (Strukturgen) und aus einer regulatorischen Einheit zusammen. Das

Strukturgen trägt die Information für den Bau eines bestimmten Eiweißes, die regulatorische Einheit legt fest, wann ein Gen aktiviert wird (Norten, 1997, S.32).

Das Strukturgen trägt die Information für den Bau eines bestimmten Eiweißes, die regulatorische Einheit legt fest, wann ein Gen aktiviert wird (Norten, 1997, S.32).

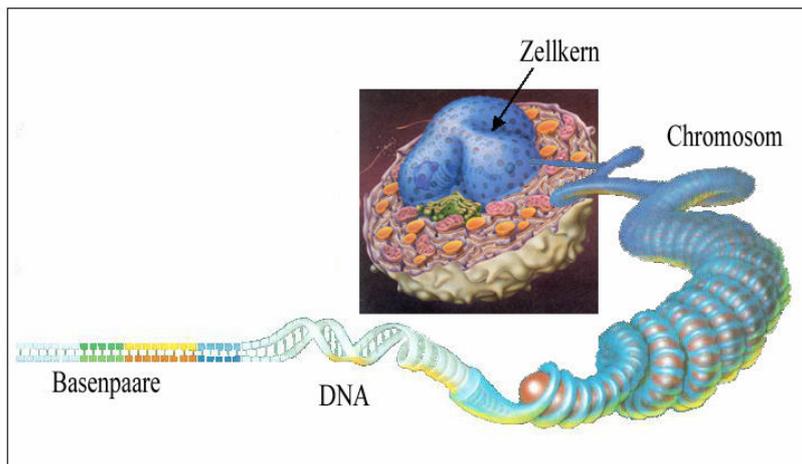


Abb. 3: Aufbau eines Gens

(<http://www.unet.univie.ac.at/~a9802743/Artikel/GVO-Seminar.ppt>; Stand: 26.10.2006)

Proteine bestehen aus Aminosäuren, die durch die Abfolge von DNA-Bausteinen codiert werden. Durch die Kombination verschiedener Nukleotide werden unterschiedliche Aminosäuren gebildet. Jede Aminosäure leitet sich von einem Codon ab, das durch die Konstellation dreier Basen (Basentriplett) determiniert wird, die sich in einer spezifischen Reihenfolge zueinander befinden. Der genetische Code beinhaltet 64 dieser Basentriplets, wovon 61 eine bestimmte Aminosäure festlegen. Die verbleibenden drei Codons werden auch als Stopp-Codons bezeichnet, da sie jeweils ein Kettenende eines Gens signalisieren. Bemerkenswerterweise treten nur 20 verschiedene Aminosäuren bei 64 möglichen Triplets auf, was impliziert, dass es Aminosäuren gibt, die nicht nur durch ein Triplett, sondern durch mehrere codiert werden. Man spricht deshalb von einem degenerierten Code.

Das einzigartige an diesem Code ist, dass er universell ist, d.h. er ist für alle Lebewesen gültig. Eine bestimmte mRNA wird in fast allen Organismen in die gleiche Polypeptidkette übersetzt. Allerdings gibt es hier kleine Abweichungen. Manche Bakterien oder Tier- und Pflanzengruppen bevorzugen für die gleiche Aminosäure aus dem degenerierten Code eine jeweils spezifische Version (Gassen, 1998, S. 21).

Benötigt die Pflanze beispielsweise ein gewisses Enzym oder einen Botenstoff, so muss hierfür zunächst das betreffende Gen aktiviert und in ein Protein übersetzt werden. Dieser Vorgang der Proteinsynthese soll im Weiteren eingehender beschrieben werden.

Festzuhalten ist, dass sich die Proteinsynthese in zwei Teilbereiche gliedert: Der Transkription und der Translation.

Transkription bedeutet soviel wie „Umschreiben“. Denn die DNA selbst wird nicht in Protein umgesetzt. Sie ist viel zu kostbar und verbleibt deshalb geschützt im Zellkern. Stattdessen wird eine Kopie von ihr angefertigt, die so genannte mRNA (messenger-RNA), die dann in Protein umgesetzt wird (Regenass-Klotz, 2000, S.24-25).

Die RNA-Polymerase ist für die Transkription des DNA-Stranges verantwortlich. Damit sie ihre Tätigkeit aufnehmen kann, benötigt sie die Information darüber, welchen Einzelstrang sie in welcher Richtung abzulesen hat. Diese Information wird ihr durch eine bestimmte Basensequenz auf der DNA, die als Promotor bezeichnet wird, vorgegeben. Die RNA-Polymerase hat eine komplexe, hohlzylinderförmige Quartärstruktur. Sie erkennt den Promotor, setzt sich dort fest und umschließt den DNA-Doppelstrang (Daumer, 1994, S. 91).

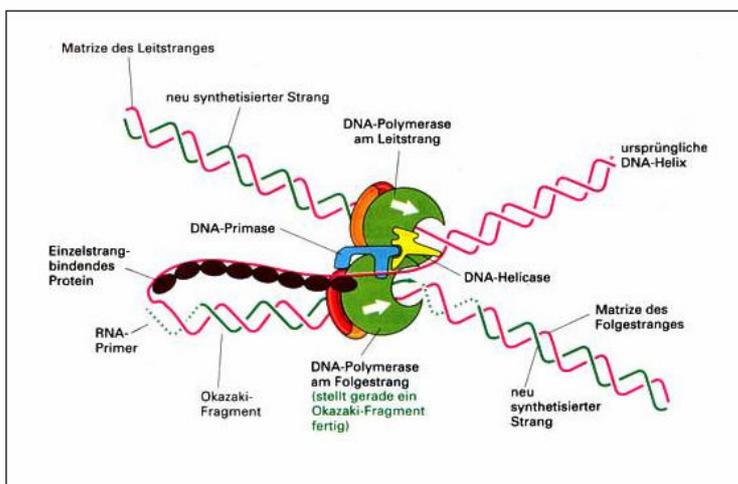


Abb. 4: Replikation der DNA

(<http://www.bphys.uni-linz.ac.at/bioph/teach/genetik/3mb300a.jpg>; Stand: 28.10.2006)

Damit die RNA-Polymerase mit dem Transkribieren anfangen kann, sind komplizierte Entwindungsaktionen der DNA notwendig. Hierbei kommen DNA-Topoisomerasen zum Zug, die eine Überspiralisierung der DNA verhindern. DNA-Helikasen sorgen anschließend dafür,

dass die DNA entwunden und die beiden Stränge voneinander getrennt werden. Das geschieht, indem sich die Helikasen entlang eines DNA-Stranges bewegen und die Wasserstoffbrücken zwischen den komplementären Basenpaaren lösen (Abb.4). So werden die beiden DNA-Stränge vergleichbar wie bei einem Reißverschluss voneinander getrennt. Nun können die DNA-Polymerasen mit der eigentlichen Replikation beginnen (Reinecke, 2004, S.21).

Der DNA-Strang, der als Matrize benutzt wird, wird auch als codogener Strang oder als Sinnesstrang bezeichnet. Welcher von den beiden Strängen in mRNA umschrieben wird, ändert sich entlang eines DNA-Moleküls und ist zudem - wie bereits erwähnt - von der Lage des Promotors abhängig. Wenn beispielsweise in einem Gen der RNA-Polymerase durch den Sitz des Promotors nur die Möglichkeit gegeben ist, von 5' nach 3' RNA aufzubauen, so muss der codogene Strang zwangsläufig von 3' nach 5' verlaufen.

Die RNA-Polymerase wandert den codogenen Strang entlang und fügt die Nukleotide nach den Regeln der Basenpaarung zusammen (Frank, 1997, S. 80). Die RNA-Kette verlängert sich, indem die Polymerase die Ribonukleotide unter Ausbildung einer Phosphordiesterbindung zwischen dem 3'-OH der wachsenden Kette und dem 5' Phosphat eines neuen Ribonukleotidtriphosphates anfügt. Dabei werden Diphosphat und Wasser abgespalten (Jannig, 2004, S.173).

Hierbei ist zu beachten, dass anstelle von Thymin Uracil in die RNA eingebaut wird. Uracil hat dieselben Paarungseigenschaften wie Thymin und paart sich wie diese Base komplementär mit Adenin. Die RNA unterscheidet sich insofern noch von der DNA, als sie als Zucker Ribose statt Desoxyribose enthält, einzelstängig ist, und wesentlich kleiner und beweglicher als die DNA ist, weil sie nur die Information eines einzigen Gens besitzt (Christner, 2000, S. 29).

Das Ende des Kopiervorganges wird durch eine bestimmte Basenfolge auf der DNA angezeigt, die als Terminator bezeichnet wird. Die Polymerase und auch die mRNA lösen sich ab. Die geöffnete Doppelhelix schließt sich wieder. Die fertig gestellte mRNA enthält bei Bakterien mehrere Gene, bei Eukaryonten jeweils nur ein Gen (Daumer, 1994, S. 91).

Die eukaryontische mRNA kann in dieser Form aber noch nicht in Eiweiß umgesetzt, sozusagen translatiert, werden. Sie muss zuvor ein wenig verändert werden. So muss die prä-

mRNA erst noch reifen. Das geschieht, indem ihre beiden Enden modifiziert werden. Das 5' Ende erhält eine 5' Cap, indem ein methyliertes Guanin an die 5'-terminale Base übertragen wird. An das 3'-Ende der prä-mRNA wird ein Poly-A-Schwanz, der aus 200 Adenin Nukleotiden besteht, angehängt. Die abgewandelten Enden an der mRNA bewirken eine erhöhte Stabilität, die für den Transport der mRNA ins Cytoplasma notwendig ist.

Eine weitere Besonderheit der eukaryontischen Gene liegt darin, dass es sich dabei um so genannte Mosaikgene handelt. Darunter versteht man Gene, die sowohl Sequenzen mit Informationsgehalt tragen, als auch solche, die keine Information beinhalten. Die Sequenzen mit Sinngehalt werden als Exons, die sinnleeren als Introns bezeichnet. Die Introns können nicht in eine Aminosäuresequenz übersetzt werden, und müssen deshalb entfernt werden. Man spricht in diesem Zusammenhang auch vom Herausspleißen. Während des Spleißvorganges bilden die Introns der prä-mRNA Schleifen aus. Diese werden aus der prä-mRNA herausgeschnitten und die Enden der verbleibenden Exons miteinander verknüpft (Reinecke, 2004, S. 26- 27).

Bei der Translation wird die Basenabfolge der mRNA an den Ribosomen in Aminosäuren übersetzt. Die Ribosomen bestehen jeweils zur Hälfte aus Proteinen und aus ribosomaler rRNA. Ribosomen werden auch als „Proteinfabriken“ der Zelle bezeichnet. Das aktive Ribosom setzt sich aus einer großen und einer kleinen Untereinheit zusammen.

Transfer-RNA-Moleküle übernehmen die Aufgabe, entsprechend der Codonabfolge der mRNA, ausgewählte Aminosäuren zur mRNA zu transportieren. tRNA Moleküle bestehen aus einem Einzelstrang von 70 bis 80 Nukleotiden, welche streckenweise gepaart sind. Daraus ergibt sich eine kleeblattförmige Struktur, die am 3' Ende über eine Anheftungsstelle für eine Aminosäure verfügt. Gleichzeitig trägt die tRNA ein Anticodon, das komplementär zu einem Codon der mRNA ist.

Obwohl die Anheftungsstelle am 3' Ende – CCA- bei allen tRNAs identisch ist, transportieren sie unterschiedliche Aminosäuren. Das liegt an den Synthetasen, die dafür sorgen, dass jede tRNA mit einer spezifischen Aminosäure beladen wird. Die Synthetasen besitzen ein aktives Zentrum mit genau zwei Anlagerungsstellen. In eine der Anlagerungsstellen passt eine der verschiedenen tRNA-Arten, in die andere Stelle eine der 20 verschiedenen Aminosäurearten. Die Synthetasen erkennen eine tRNA an ihrer spezifischen Kleeblattstruktur. Jede tRNA be-

sitzt diese Kleeblattstruktur mit herausragenden Schleifen, von denen zwei immer verschieden sind, und einer Schleife, die das Anticodon trägt, das eine bestimmte Aminosäure codiert. Die Synthetasen ordnen die dazugehörige Aminosäure zu, die sie wiederum an ihrem spezifischen Rest erkennen, der die räumliche Struktur der Aminosäure bestimmt und verknüpfen diese mit der tRNA.

Die mRNA wird in Protein übersetzt, indem sich eine t-RNA, die Träger einer bestimmten Aminosäure ist, über ihr Anticodon mit einem Codon der mRNA paart (Frank, 1997, S. 83).

Die Translation wird eingeleitet, indem die mRNA Kontakt zur kleinen Untereinheit eines Ribosoms aufnimmt. Jede mRNA beginnt mit dem Start-Codon AUG, das für die Aminosäure Methionin codiert. Entsprechend bringt sich die dazugehörige tRNA mit ihrem Anticodon UAG in die richtige Position, womit das „Leseraster“ der Translation festgelegt wird. Erst dann lagert sich die große Untereinheit des Ribosoms an. Die Aminosäure Methionin wird später von der gebildeten Peptidkette abgespalten.

An einem Ribosom haben immer zwei t-RNA-Moleküle gleichzeitig Platz. An das zweite rechts davon liegende Codon der mRNA lagert sich ein weiteres tRNA-Molekül an, das die zum Basentriplett passende Aminosäure trägt. Die so direkt nebeneinander liegenden Aminosäuren werden durch eine Peptidbindung miteinander verknüpft. Unter Energieverbrauch, der aus der Spaltung von GTP stammt, rückt das Ribosom um ein Basentriplett nach links in 5'→3' Richtung, die Boten-RNA rückt um ein Triplett nach rechts in Richtung 3'→5' weiter. Dadurch wird das nächste Codon für das passende tRNA-Molekül frei, wodurch die entsprechende Aminosäure in die richtige Position gelangt und mit der vorhergehenden Aminosäure verknüpft wird. Auf diese Weise entsteht eine Polypeptidkette mit genau festgelegter Aminosäuresequenz (Abb.5).

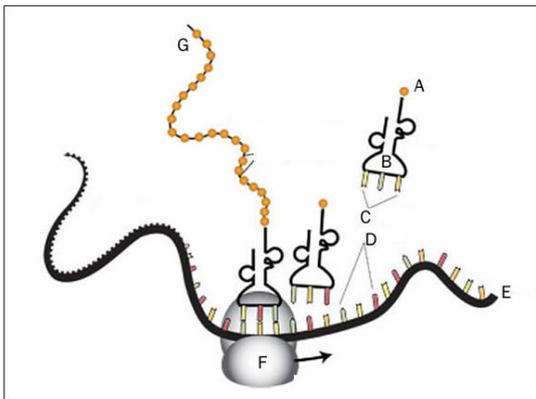


Abb. 5: Translation der DNA

(http://www.biologycorner.com/resources/translation_lettered.jpg; Stand: 27.10.2006)

Die Translation wird durch so genannte Stopp-Codons, wie UUA, UAG und UGA, für die es keine Träger-RNA-Moleküle gibt, beendet. Tauchen diese Codons auf der mRNA auf, wird die letzte Aminosäure von ihrer tRNA gelöst und die beiden Untereinheiten des Ribosoms trennen sich wieder voneinander.

Bei den Prokaryonten verläuft im Gegensatz zu den Eukaryonten die Transkription und Translation unmittelbar kombiniert ab (Daumer, 1994, S. 94).

Die gebildeten Proteine sind unterschiedlich groß. Manche bestehen nur aus einigen wenigen Aminosäuren, manche aus mehreren hundert. Wenn ein Protein beispielsweise aus 50 Aminosäuren besteht, muss die entsprechende DNA 150 Bausteine enthalten, weil eine Aminosäure immer durch ein Codon definiert wird. Hinzu kommen dann noch Bausteine, die festlegen, wie oft und wann ein Protein gebildet wird (Janssen, o.J., S. 8).

Zur Struktur der Proteine lässt sich sagen, dass diese nicht nur als Fadenmoleküle in der Zelle vorliegen. In der Sekundärstruktur liegen einzelne Molekülabschnitte des Proteins in periodisch wiederkehrenden räumlichen Anordnungen vor. So können Aminosäureketten gefaltet, helikal gewunden oder unregelmäßig geknäuelt sein. Die verschiedenen Sekundärstrukturelemente ordnen sich zu einem räumlichen Gebilde, der Tertiärstruktur eines Proteins. Erst in dieser nativen Form können Proteine biologisch aktiv werden. Von einer Quartärstruktur spricht man, wenn sich mehrere Proteine zu einem funktionellen Komplex zusammenlagern. Alle übergeordneten Strukturen eines Proteins werden stets durch die

Aminosäuresequenz bestimmt und sind damit in der genetischen Information der DNA festgelegt (Gassen, 1988, S.9).

2.2.3 Prinzip des Gentransfers

In diesem Kapitel sollen zunächst die grundlegenden Schritte des Gentransfers skizziert werden. Im Zusammenhang mit den in der Gentechnik verwendeten "Werkzeugen", die im nächsten Kapitel besprochen werden, bietet es sich an, den Gentransfer als solchen noch eingehender zu erläutern.

An dieser Stelle erscheint es noch einmal angebracht, kurz auf den Kern der Gentechnik einzugehen. Eine Neukombination von verschiedenen DNAs über Artgrenzen hinweg, wie es in der Gentechnik der Fall ist, ist möglich, weil der genetische Code bei allen Lebewesen nahezu identisch ist, und sich daher auch die Vorgänge der Transkription und der Translation ähneln. Daher ist es auch realisierbar, Gene zwischen den unterschiedlichsten Organismen hin und her zu übertragen und dabei dennoch immer das gleiche Produkt zu erhalten (Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages, 1990, S.19).

Zum Gentransfer als solchem kann gesagt werden, dass es immer fünf grundlegende Schritte sind, die durchgeführt werden müssen, damit fremde DNA in eine Zelle eingeschleust werden kann.

- 1) Die DNA aus dem Spenderorganismus muss isoliert werden und mit Hilfe von Restriktionsenzymen in kleinere Fragmente zerlegt werden.
- 2) Ein Vektor wird isoliert und mit Hilfe des gleichen Enzyms für den Einbau der Spender-DNA aufgeschnitten. Unter einem Vektor versteht man ein Transportmolekül zur Übertragung der Spender-DNA in eine Wirtszelle.
- 3) Die Vektor-DNA und die fragmentarische Spender-DNA werden in vitro zusammengebracht und es wird dafür Sorge getragen, dass die Vektor-DNA das Spenderfragment aufnimmt. Hinzugefügte Ligase verbindet die Spender-DNA und die Vektor-DNA miteinander.

- 4) Der Vektor wird mitsamt der Passagier-DNA in die Empfängerzelle eingeschleust. In der Wirtszelle sorgt der Vektor für seine eigene Replikation sowie für die der Passagier-DNA. Bei der Teilung der Wirtszelle werden die „Kopien“ des rekombinierten DNA-Moleküls an die Tochterzellen weitergegeben.
- 5) Die Zellen, die die neukombinierte DNA enthalten, müssen durch ein geeignetes Selektionsverfahren identifiziert werden. Anschließend werden die rekombinanten Zellen kloniert.

Unter den Begriff des „Klonierens“ versteht man das Hervorbringen genetisch identischer DNA-Moleküle. In Bezug auf Nutzpflanzen bedeutet das die Herstellung von vielen genetisch identischen Pflanzenzellen, die alle die gleiche rekombinierte DNA besitzen.

Wie nach dem Klonieren mit den transgenen Zellen verfahren wird, hängt von der Zielsetzung ab.

Besteht das Ziel darin, größere Mengen der eingeführten Fremd-DNA zu gewinnen, um sie beispielsweise sequenzieren zu wollen, werden die Einzelzellen zunächst vermehrt, um anschließend daraus die Fremd-DNA zu isolieren.

Sollen größere Mengen eines Proteins gewonnen werden, wie dies z.B. bei der Insulinherstellung durch Bakterien der Fall ist, werden auch hier die Einzelzellen vermehrt und zur Genexpression angeregt.

Ist es das Ziel, einem Lebewesen, wie z.B. einer Pflanze, neue Eigenschaften zu verleihen, werden aus den einzelnen transgenen Zellen mehrzellige Organismen regeneriert (Kleinert, 2005, S. 150).

2.2.4 Restriktionsenzyme, Ligasen und Vektoren als Werkzeuge des Gentransfers

Eine Spender-DNA, die das gewünschte Gen enthält, das kloniert werden soll, muss zunächst einmal, bevor sie überhaupt in einen Vektor eingesetzt werden kann, aus einem Organismus isoliert werden.

Dazu gibt es verschiedene Methoden, die hier kurz vorgestellt werden sollen.

Eine der Methoden besteht darin, den gewünschten DNA-Abschnitt direkt aus dem Genom des Spenderorganismus zu gewinnen. Voraussetzung hierfür ist die Kenntnis über die Anordnung der Gene auf dem Chromosom bzw. auf einem längeren DNA-Abschnitt. Ebenso müssen die Schnittstellen für die Restriktionsenzyme² bekannt sein. Letzteres ist besonders wichtig, weil nicht das gesamte DNA-Molekül benötigt wird, sondern nur ein bestimmter Abschnitt. Außerdem kann mit dem gesamten DNA-Molekül nicht gearbeitet werden, da es hochempfindlich ist und aufgrund von Scherkräften zerfallen würde. Die Anordnung der Gene und ihrer Schnittstellen sind allerdings in der Regel nur bei kleinen Organismen, wie z.B. Viren, vollständig bekannt, weshalb dieses Verfahren nur im eingeschränkten Umfang anzuwenden ist.

Zunächst wird das Genom des Spenderorganismus durch ein Restriktionsenzym in DNA-Fragmente unterschiedlicher Größe zerlegt (Kleinert, 2005, S. 155). Durch Gel-Elektrophorese werden die Fragmente ihrer Größe nach getrennt. Dazu wird ein elektrisches Feld an einem bestimmten Trägerstoff, in dem Fall ein Gel, angelegt. Auf dem Gel werden zuvor die Nukleinsäuren aufgebracht. Da die Nukleinsäuren aufgrund ihres Phosphatrestes negativ geladen sind, wandern sie unter Spannung zur Anode (Pluspol). Dabei dient das Gel als eine Art Molekularsieb, durch das sich kleinere Moleküle wesentlich schneller fortbewegen können als größere. Während der Trennung sammeln sich DNA- oder RNA-Fragmente gleicher Größenordnung in so genannten Banden an. Auf dem Gel entsteht dadurch ein spezifisches Bandenmuster (Reinecke, 2004, S. 62). Mit Hilfe einer Gen-Sonde wird das gewünschte Gen anschließend aufgespürt und von dem Gel isoliert.

Eine Gen-Sonde ist ein synthetisch hergestellter kurzer einsträngiger DNA- oder RNA-Abschnitt. Voraussetzung für den Gebrauch der Gen-Sonde ist, dass bereits ein Teil der DNA-Sequenz bekannt ist. Die Gen-Sonde beruht auf dem Prinzip, dass Einzelstränge von DNA oder RNA dazu neigen, mit komplementären Gegensträngen zu einer ganzheitlichen doppelsträngigen DNA zu verschmelzen (Ibelgauf, 1990, S. 239-240).

Eine zweite Methode der Gengewinnung besteht darin, statt der DNA die mRNA zu isolieren, was vor allem angebracht ist, wenn eine Genexpression erwünscht ist. Die mRNA hat den

² stellen eine Art molekulare Schere dar, die in der Lage sind, DNA-Moleküle zu „zerschneiden“.

Vorteil, dass sie keine Introns mehr enthält, sondern nur Exons, die für ein Gen kodieren. Zudem hat sie den Vorzug, dass sie sich im Vergleich zu einer DNA relativ leicht aus einer Spenderzelle isolieren lässt. Das liegt unter anderem daran, dass die mRNAs für die Herstellung eines bestimmten Eiweißes verantwortlich sind. Zellen, die auf die Herstellung eines gewissen Eiweißes spezialisiert sind, bestehen daher zu einem hohen Prozentsatz aus dieser mRNA. Da sich die mRNA aber nicht transkribieren und translatieren lässt und daher keine Proteinsynthese stattfinden kann, ist es zuvor notwendig, die mRNA in DNA zurückzuübersetzen.

Zur Rückübersetzung der mRNA in DNA bedient man sich des Enzyms Reverse Transkriptase, das ursprünglich bei krebserregenden Retroviren entdeckt wurde, deren Genom nur aus mRNA besteht (Kleinert, 2005, S. 156). Die Reverse Transkriptase synthetisiert einen komplementären DNA Strang zur m-RNA. Anschließend wird die überflüssige mRNA entfernt und mit Hilfe der DNA-Polymerase der zweite komplementäre DNA-Strang ergänzt. Die zurückübersetzte DNA wird auch als komplementäre DNA oder cDNA (engl. complementary DNA) bezeichnet. Da die cDNA auf der Vorlage einer mRNA entsteht, enthält sie auch keine Introns mehr (Reinecke, 2004, S. 59).

Gene können auch isoliert werden, wenn die dazugehörigen Aminosäuren bekannt sind. Denn jede Aminosäure wird durch eine spezifische Basenabfolge determiniert. Das Problem in dieser Methodik besteht allerdings darin, dass manche Aminosäuren von bis zu sechs verschiedenen Basenkombinationen kodiert werden können (Kleinert, 2005, S. 156). Einschränkung muss hinzugefügt werden, dass sich die verschiedenen Basenkombinationen für eine Aminosäure meist ähneln und häufig nur eine Base des Codons variiert (Frank, 1997, S. 81). Die Auswahl der passenden Codogene in diesem Fall erfolgt nach praktischen Gesichtspunkten. Eine nähere Erläuterung an dieser Stelle würde zu weit führen. Die Herstellung solcher Gene erfolgt meist künstlich durch einen speziellen Computer, einen so genannten DNA-Synthesizer, der die Nukleotidsequenzen einzelner Gene automatisch herstellt. Allerdings vermag der DNA-Synthesizer nur Gene von geringer Länge herzustellen (Kleinert, 2005, S. 156).

Nachdem hier bislang beschrieben worden ist, wie einzelne Gene gewonnen werden können, was eine unabdingbare Voraussetzung des Gentransfers darstellt, sollen nun die „Werkzeu-

ge“, die für einen Gentransfer erforderlich sind, erläutert werden. Den Anfang machen die Restriktionsenzyme, gefolgt von den Ligasen. Abschließend werden in diesem Kapitel die Vektoren betrachtet, die als Plasmide oder Viren vorkommen.

Das Zerlegen der Fremd-DNA aus dem Spenderorganismus in Fragmente geeigneter Größe sowie das Aufschneiden des Vektors zum Einfügen des Spender-DNA-Fragments erfolgt durch Restriktionsenzyme (Kleinert, 2005, S.150). Restriktionsenzyme wurden Ende der sechziger Jahre durch den Schweizer Aber und die Amerikaner Smith und Wilson entdeckt (Gassen, 1988, S. 47). Es wurde beobachtet, dass Bakterien sich mit Hilfe dieses Enzyms vor Bakteriophagen schützen können, indem sie die Phagen-DNA durch das Enzym in Bruchstücke zerlegen und damit unwirksam machen. Die eigene DNA der Bakterien ist dagegen durch ein bestimmtes Methylierungsmuster vor den Angriffen der Phagen geschützt. An jedem Cytosin der DNA-Gruppe hängt ein Methylrest. Die Bakterie schützt sich vor der fremden Phagen-DNA, indem sie die fehlenden Methylreste erkennt, ihre Restriktionsenzyme einsetzt und die Phagen damit unschädlich macht (Reinecke, 2004, S. 41).

Das Außergewöhnliche an den Restriktionsenzymen ist, dass sie auch in der Lage sind, jede andere DNA zu „zerschneiden“. Die Restriktionsenzyme werden auch als Restriktionsendonukleasen bezeichnet; die Silbe „endo“ deutet daraufhin, dass die Spaltung innerhalb der Nukleinsäure erfolgt. Heute sind 500 verschiedene Arten von Restriktionsenzymen bekannt, die jeweils spezifische Basenfolgen von vier, sechs oder acht Basen erkennen und die DNA an diesen Stellen zerschneiden (Gassen, 1988, S. 47). Damit steht den Gentechnikern ein breites Repertoire an Enzymen zum Zerschneiden von DNA beliebiger Herkunft in Fragmente beliebiger Größe zur Verfügung (Kleinert, 1998, S.151).

Die beiden Stränge der DNA können durch das Restriktionsenzym an besagter DNA-Sequenz entweder mittig oder versetzt geschnitten werden, so dass die entstandenen DNA-Stücke gleichlange Enden oder jeweils ein längeres und kürzeres Ende besitzen. Im ersten Fall spricht man von „glatten“ Enden (engl.: blunt ends), im letzteren Fall von „klebrigen“ Enden (engl.: sticky ends). Die „klebrigen“ Enden werden so genannt, weil die aufgetrennten überhängenden Basenenden zueinander komplementär sind und aufgrund von Wasserstoffbrücken dazu neigen, sich wieder aneinander zu lagern (Reinecke, 2004, S. 41).

Eine weitere Auffälligkeit besteht darin, dass die Restriktionsenzyme die beiden DNA-Stränge immer dort zerschneiden, wo die Basen auf beiden Strängen palindromisch³ zueinander angeordnet sind. Betrachtet man beide Stränge, so lesen sie sich in beiden Richtungen gleich. Als Beispiel sei das am häufigsten verwendete Enzym EcoRI angeführt, dessen Erkennungssequenz in 5'→3' Richtung 5'-GAATTC-3' und in 3'→5' Richtung 3'-CTTAAG-5' lautet (Reinecke, 2004, S.42).

Ein spezielles Restriktionsenzym schneidet die Passagier-DNA rechts und links von dem zu klonierenden Gen. Ebenso schneidet das gleiche Restriktionsenzym den Vektor auf. Durch das Schneiden mit dem Restriktionsenzym entstehen sowohl bei der Passagier-DNA als auch bei dem Vektor komplementäre klebrige Enden, die sich leicht miteinander verbinden lassen. Mit Hilfe der „klebrigen“ übereinstimmenden Enden passt sich die Spender-DNA genau in die DNA des Vektors ein. Ein Vektor mit eingebauter Fremd-DNA wird auch als Hybrid-Vektor bezeichnet. Vorerst werden die beiden DNA-Stränge nur durch Wasserstoffbrückenbindungen der Nukleotid-Ketten zusammengehalten (www.u-helmich.de (a), 2005).

Nun kommt die Ligase zum Zug. Ligasen stellen den „Klebstoff“ der Gentechnik dar. Sie werden eingesetzt, um beliebige DNA-Fragmente im Reagenzglas miteinander zu verknüpfen. Die eigentliche Aufgabe von DNA-Ligasen im Organismus besteht zum einen in der Reparatur des DNA-Stranges, zum anderen in der Verknüpfung der bei der Replikation am Folgestrang entstandenen Okazaki-Fragmente⁴ (Reinecke, 2004, S. 45).

Ligasen können zwei Nukleinsäuren miteinander verbinden, indem sie in einer doppelsträngigen DNA die Ausbildung der Phosphodiesterbrücke zwischen der 5'-Phosphatgruppe der einen und der 3'-Hydroxylgruppe der Ribose der zweiten Nukleinsäurekette katalysieren. Ligasen sind aber auch in der Lage, ein einzelnes Nukleotid an eine DNA-Kette anzufügen. (Gassen, 1988, S. 48).

Prokaryonten besitzen im Gegensatz zu eukaryontischen Zellen nur eine DNA-Ligase, die als Co-Faktor NAD (Nicotinamid-Adenin-Dinukleotid) braucht. In der eukaryontischen Zelle sind

³ gegenläufig

⁴ Bei der DNA-Duplikation (Repliation) entstehen auf dem unkontinuierlichen Strang nicht zusammenhängende DNA-Stücke, die sog. Okazaki Fragmente. Die einzelnen Fragmente werden dauerhaft durch Ligasen miteinander verbunden.

hingegen zwei verschiedenen DNA-Ligasen wirksam, die als Co-Faktor ATP (Adenosintriphosphat) benötigen (www.chemgapedia.de, o.J.).

Wie bereits angeschnitten wurde, wird die Spender-DNA nicht allein, sondern mit Hilfe eines Vektors in die Wirtszelle geschleust.

Ein Vektor ist ein Nukleinsäure-Molekül, das in der Lage ist, fremde DNA aufzunehmen und sich selbst samt eingebauter Spender-DNA in einer Wirtszelle zu vermehren. Man bezeichnet Vektoren auch als „Genfähren“ - ein Ausdruck, der den Transportcharakter dieser Molekülarart unterstreicht (Reinecke, 2004, S. 71).

Die Spender-DNA ist meist auf den Einbau in einen Vektor angewiesen, denn ein Stück Fremd-DNA in einer Wirtszelle würde, sich selbst überlassen, von den Enzymen der Zelle abgebaut oder bei den kommenden Replikationen verloren gehen. Damit dies nicht geschieht, wird die Spender-DNA in einen Vektor eingebaut, der über einen eigenen Replikationsstartpunkt sowie über einen Promotor und einen Operator verfügt. Der Replikationsstartpunkt des Vektors ist dafür verantwortlich, dass der Vektor unabhängig von der DNA der Wirtszelle repliziert wird und damit sozusagen „huckepack“ auch die Spender-DNA repliziert (Vogel, 1992, S. 96).

Der Promotor des Vektors sorgt dafür, dass das entsprechende proteinbildende Gen der Spender-DNA abgelesen werden kann und auf diese Weise das betreffende Protein überhaupt exprimiert werden kann. Der Promotor bezeichnet einen Abschnitt auf der DNA des Vektors, an dem sich die RNA-Polymerase anheften und mit der Transkription beginnen kann. Promotoren können verschieden stark wirksam sein. So gibt es Promotoren, die eine höhere Umsetzungsrate an Eiweiß bewirken als andere (Vogel, 1992, S. 147). Zwischen dem Promotor und dem zu translatierenden Struktur-Gen der Spender-DNA liegt der Operator des Vektors. An dem Operator kann sich ein Repressor-Protein anlagern und damit die Transkription blockieren. Das Gen wird dann inaktiviert (Christner, 2000, S. 32).

Des Weiteren müssen Vektoren Markergene besitzen. Es handelt sich dabei meist um chemisch angefügte Gruppen im Vektor, mit deren Hilfe biologische Reaktion verfolgt werden sollen. So sollen beispielsweise Markergene im Vektor unter anderen anzeigen, ob eine

Transformation⁵ geglückt ist. Markergene verschaffen somit der Empfängerzelle einen selektiven Vorteil, weil damit Zellen, die den Vektor aufgenommen haben, ausgelesen und gezielt vermehrt werden können (Vogel, 1992, S. 108).

Daneben müssen Vektoren - wie bereits erwähnt - geeignete Schnittstellen für Restriktionsenzyme besitzen, um den Einbau von Fremd-DNA zu ermöglichen (Kleinert, 1998, S. 152). Sie sollten zudem klein sein, damit sie leicht und unversehrt in die Wirtszelle eindringen und sich dort einbauen können (Preschel, 2000, S.106).

Als Vektoren bei Pflanzenzellen eignen sich Plasmide und Viren.

Zu den gebräuchlichsten Vektoren zählen die Plasmide, die aus Bakterien gewonnen werden. Es handelt sich dabei um kleine, ringförmige doppelsträngige DNA-Moleküle, die im Bakterium neben dem Hauptchromosom existieren. Auf den Plasmiden liegen lediglich zwei bis vier Gene, die nicht für wesentliche Zellfunktionen kodieren, sondern dem Bakterium zusätzliche, vorteilhafte Eigenschaften verleihen. In einem Bakterium können auch mehrere solcher Plasmide vorkommen. Eine dieser vorteilhaften, wenn auch gefürchteten Eigenschaft der Plasmide ist ihre Antibiotikaresistenz (Kleinert, 1998, S.152). Die Antibiotikaresistenz haben Bakterien als Schutz vor Pilzen entwickelt, die sich durch Ausscheiden dieses giftigen Stoffwechselproduktes vor Angriffen durch Bakterien wehren (www.u-helmich.de (b), 2005).

In der Gentechnik werden entweder natürliche oder künstliche Plasmide verwendet, die aus natürlichen hervorgegangen sind, indem man ihnen einige gewünschte Gene einbaut. Die Konstruktion künstlicher Plasmide ist notwendig, da natürliche Plasmide nicht alle Voraussetzungen mitbringen, die für ihren Einsatz als Vektor notwendig sind. Man baut natürlichen Plasmiden beispielsweise eine Replikationsstartstelle, Antibiotika-Resistenzgene oder Schnittstellen für mehrere Restriktionsenzyme ein (Kleinert, 1998, S.153).

Ein Beispiel für einen künstlichen Plasmidvektor ist pBR322, der aus der Kombination verschiedener natürlicher Plasmide entstanden ist. pBR322 besteht aus drei Teilen: pMB1 mit dem Ursprung der Replikation, Tn3 mit dem Ampicillinresistenzgen und pSC101 mit dem Tetrazyklinresistenzgen (Abb.6) (Gassen, 1988, S. 54).

⁵ Einfügen der Spender-DNA im Vektor

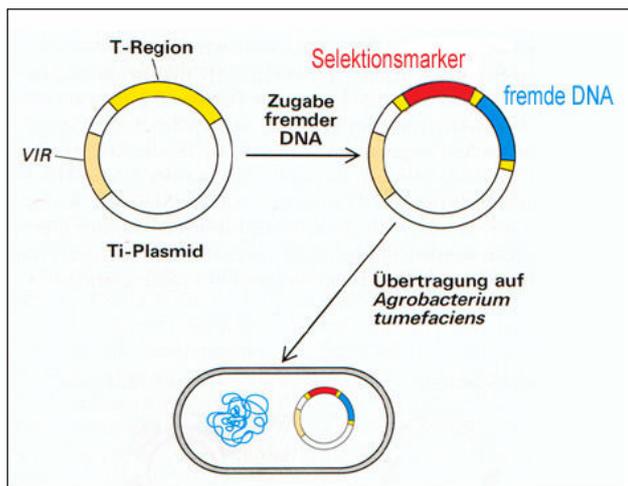


Abb. 6: Konstruktion von Vektoren (Ti-Plasmid)

(<http://www.unet.univie.ac.at/~a9802743/Artikel/GVO-Seminar.ppt>; Stand: 28.10.2006)

Daneben gibt es als Vektoren noch die Gruppe der Viren.

Viren als Vektoren haben gegenüber Plasmiden den Vorteil, dass sie ihre Wirtszellen sehr spezifisch infizieren und hohe Zahlen an Nachkommen erzeugen können. Auch kann man in Viren größere DNA-Fragmente einbauen als in Plasmiden. Die eingebauten DNA-Fragmente können 10.000 – 20.000 Basenpaare umfassen. Das gentechnische Arbeiten gestaltet sich allerdings aufgrund der Größe des Genoms von Viren komplizierter als bei Plasmiden (Gassen, 1988, S. 56-64).

Ein Virus besitzt keinen eigenen Stoffwechsel, sondern es besteht nur aus einer Nukleinsäure (DNA oder RNA), die seine Erbinformation trägt und in einer Proteinhülle verpackt ist. Es zeigt weder eigenen Stoffwechsel noch Wachstum oder Vermehrung. Zu seiner Vermehrung dringt das Virus, besser gesagt seine Erbsubstanz, in eine Wirtszelle ein und benutzt deren Stoffwechsel dazu, neue Viren zu bilden (Vogel, 1992, S.196).

Es gibt verschiedene Arten von Viren. So besteht z.B. der Phage E.coli T4 aus einem Kopf, in dem die doppelsträngige DNA eingeschlossen ist und einem Schwanz, der aus einem hohlen Stift besteht, der wiederum von einer kontraktilen Scheide umgeben ist. Eine mit Spikes besetzte Platte bildet mit sechs Schwanzfäden einen Haftapparat. Die Schwanzfäden sind in der Lage, eine spezifische Wirtszelle zu erkennen (Gassen, 1988, S. 37).

Im Vergleich dazu sieht der Bakteriophage M13 vollkommen anders aus. Es handelt sich hier um ein fadenförmiges Virus, mit einer ringförmigen einzelsträngigen DNA und einer Proteinhülle. Es gehört zu den filamentösen⁶ Phagen, die ebenfalls häufig für Klonierungsexperimente benutzt werden (Reinecke, 2004, S.75).

Bei einer Infektion heftet sich das Virus, in der Regel ein Phage, an eine bestimmte Zelle an, die es aufgrund von spezifischen Rezeptoren auf der Zelloberfläche als Wirtszelle identifiziert. Damit ein Kontakt zustande kommt, müssen die Rezeptoren der Zelle genau mit dem Oberflächenstrukturen des Phagen übereinstimmen. Ist dies der Fall, fusionieren Virus-hülle und Zellmembran, und die virale Nukleinsäure wird in die Wirtszelle eingeschleust.

Der Phage E.coli T4 erkennt anhand seiner Schwanzfäden die zu ihm gehörige Wirtszelle und benutzt seinen kontraktilen Schwanzschaft wie eine Spritze, um die Wirtszelle mit seiner DNA zu infizieren.

Beim lysogenen Vermehrungszyklus wird die virale DNA in das Genom der Wirtszelle integriert, mit diesem zusammen repliziert und bei einer Teilung an die Tochterzellen weitergegeben.

Beim lytischen Vermehrungszyklus wird die virale DNA nicht integriert, sondern repliziert und in virale mRNA transkribiert. Bei der anschließenden Translation der mRNA entstehen viele Proteine. Phagen-DNA und Proteine lagern sich zu neuen Phagenpartikeln zusammen. Die Zellwand der Wirtszelle wird durch die Viren enzymatisch aufgelöst und die Phagen damit freigesetzt. Sie können dann erneut weitere Zellen befallen.

Unter besonderen Umwelteinflüssen wie UV- oder Röntgenstrahlung kann ein Virus von seinem lysogenen Vermehrungszyklus auf einen lytischen Vermehrungszyklus wechseln.

Etwa ein Drittel der linearen Phagen-DNA, genauer gesagt der Mittelteil, enthält genetische Informationen, die für den lysogenen Lebensweg des Virus codieren. Dieses mittlere DNA-Fragment kann durch Passagier-DNA ersetzt werden, was zur Folge hat, dass sich ein derart rekombiniertes Virus nur noch auf lytischen Wege vermehren kann. Zwecks Rekombination wird das Virus mit einem passenden Restriktionsenzym fragmentiert, ebenso die dazugehö-

⁶ fadenförmigen

rige Spender-DNA. Die rekombinierte Virus-DNA wird anschließend in Phagenköpfe verpackt. Allerdings muss hierbei beachtet werden, dass die Spender-DNA von der Länge her exakt dem herausgeschnittenen Virus-Mittelteil entsprechen muss, um sich dort einbauen zu können (Gassen, 1988, S. 57).

Der „rechte und linke Arm“ des Phagen beiderseits vom Mittelteil enthält alle für die Phagenvermehrung notwendigen Gene, die für Kopf- und Schwanzproteine codieren sowie für die Montage, Replikation und die Lyse der Zelle (Reinecke, 2004, S. 57).

Beim Einbau der rekombinierten DNA werden zwei Mutanten des Bakteriophagen verwendet. Die erste Mutante besitzt eine genetische Veränderung in einem Gen, welches für ein Protein codiert, das für den Bau des Kopfes des Phagen verantwortlich ist. Die zweite Mutante enthält ebenfalls ein Gen, das die Information für ein Protein enthält, das für den Bau des Phagenkopfes notwendig ist, allerdings handelt es sich bei diesem Gen um ein anderes als bei Mutante 1. Beide Mutanten sind darüber hinaus noch in dem Gen mutiert, das für den lytischen Weg, d.h. für die Produktion von Nachkommen und das Abtöten der Wirtszelle verantwortlich ist.

Beide Mutanten werden in E.coli. Kulturen getrennt voneinander solcherart vermehrt, dass es ihnen nicht möglich ist, Phagenköpfe zu produzieren oder die Zellen zu lysieren.

Die durch Kälteschock gefrorenen Wirtszellen werden anschließend aufgebrochen und miteinander vermischt. Der Extrakt enthält nun alle Gene, die zum Bau der Phagenköpfe erforderlich sind. (Gassen, 1988, S.57).

Die Spender-DNA wird mit Hilfe des Vektors in die Pflanzenzelle eingeschleust. Dazu existieren verschiedene Methoden, die in den nächsten Kapiteln noch eingehender beschrieben werden.

Anschließend ist von Interesse zu erfahren, welche der Pflanzenzellen ein Plasmid aufgenommen haben, und ob es sich dabei um ein rekombiniertes Plasmid handelt. Oft verhält es sich nämlich so, dass nur das Plasmid mit Hilfe der Ligase zusammengeklebt wird, teils wird die Fremd-DNA selbst zusammengeklebt. Auch wird das Plasmid nicht immer in die Zielzelle zurückgeschleust. Nur ein Teil der Bakterien erhält auf diese Weise das rekombinierte Plas-

mid. Damit das rekombinierte Plasmid leicht zu erkennen ist, bedient man sich der Antibiotikaresistenz. Denn nur Pflanzenzellen mit rekombinanter DNA sollen anschließend zu ganzen transgenen Pflanzen aufgebaut werden (Janssen, o.J., S. 14).

Spezialisierte Pflanzenzellen verhalten sich in der Hinsicht ganz besonders, dass sie im Gegensatz zu menschlichen spezialisierten Zellen, wie z.B. einer Herz- oder Leberzelle die Fähigkeit besitzen, sich zu unspezialisierten Zellen rückbilden zu können.

Aus einer spezialisierten Pflanzenzelle lässt sich unter geeigneten Bedingungen wieder eine ganze Pflanze mit all ihren spezialisierten Zellen aufbauen. Diese Fähigkeit der Pflanzenzellen wird auch als Omni- oder Totipotenz bezeichnet (Bublath, 2003, S. 166–167).

Durch die Totipotenz der Pflanzenzellen ist es möglich, eine beliebige Pflanzenzelle gentechnisch zu verändern und anschließend aus der veränderten Zelle wieder eine ganze Pflanze herzustellen (Janssen, o.J., S. 15). Besonders leicht lassen sich ganze Pflanzen aus Knospenzellen, jungen Sprossen oder Wurzelspitzen züchten, weil sich in diesen Bereichen noch unspezialisierte teilungsfähige Zellen befinden (Bublath, 2003, S. 166–167).

Um aus einzelnen Pflanzenzellen eine ganze Pflanze aufzubauen, werden Hormone verwendet, die die Zellen zur Teilung in der Suspension anregen. Das Ergebnis sind Mikrocalli; kleine Stücke undifferenzierten Gewebes. Diese werden dann auf einen sterilen Nährboden mit Nähr- und Wachstumsstoffen gebracht. Dadurch wird die Entwicklung von Wurzeln und Sprossen angeregt, so dass der Kallus (Zellhaufen) in einem Röhrchen oder einem Schälchen zu einer vollständigen Pflanze heranwachsen kann (Schellekens, 1994, S. 141).

Für einige Zeit sind die Zellen in dem Kallus noch unspezialisiert, so dass der Kallus immer wieder auseinandergezupft werden kann und dadurch neue Anfänge für weitere Kulturen und damit für neue Pflanzen entstehen. Allerdings werden nur Kallusse weitervermehrt, die sich durch Resistenz als transgen erweisen (Bublath, 2003, S. 166–167).

Um die Resistenz bei Pflanzenzellen feststellen zu können, wird auf einer Petrischale das Antibiotikum Ampicillin aufgetragen. All diejenigen Pflanzenzellen, die ein Plasmid enthalten, wachsen zu Kolonien heran, denn Plasmide sind gegen Ampicillin resistent.

Als nächstes wird überprüft, welche dieser Klone die neu rekombinierte DNA aufgenommen haben.

Hierzu wird das zweite Antibiotika-Resistenzgen für Tetrazyklin benötigt. Die Pflanzenzellen, die ein rekombiniertes Plasmid tragen, können nicht auf einem Tetrazyklinnährboden gedeihen, weil das Gen für die Tetrazyklinresistenz durch das Einsetzen der Spender-DNA zerstört und deshalb inaktiviert worden ist. Die Klone werden deshalb auf eine neue Petrischale, die das zweite Antibiotikum, in dem Fall Tetrazyklin enthält, übertragen.

Dieser Arbeitsschritt wird als Replikaplattierung bezeichnet. Ein Samtstempel von der Größe der Petrischale wird ganz vorsichtig auf die erste Petrischale, die mit Ampicillin beschichtet ist, aufgedrückt. Von jeder Kolonie bleiben dabei einige Zellen am Samt hängen. Der Stempel wird auf die zweite Petrischale, die Replikaplatte mit Tetrazyklin, aufgedrückt, und die Zellen bleiben auf der Replikaplatte hängen. Auf der antibiotikahaltigen Replikaplatte wachsen nur solche Pflanzenzellen, die das zweite Antibiotika-Resistenzgen in aktiver Form enthalten und damit die Spender-DNA nicht tragen.

Durch Vergleich der Koloniemuster von Original- und Replikaplatte lassen sich die Zellen mit Passagier-DNA erkennen. Die rekombinierte Pflanzenzelle lässt sich daran erkennen, dass sie nur auf der Original- aber nicht auf der Replikaplatte wächst (Kollmann, 2001, S. 139).

Die zuvor ausführlich geschilderte Genmanipulation verläuft jedoch in der Realität nicht so einwandfrei wie beschrieben. Mitunter können verschiedene Probleme auftauchen, die später ebenfalls erwähnt werden sollen.

2.2.5 Methoden des Gentransfers

Nachdem im vorigen Kapitel die Instrumente der Gentechnik und die einzelnen Schritte des Gentransfers im Besonderen dargestellt wurden, sollen jetzt die verschiedenen Methoden aufgezeigt werden, mit der fremde Spender-DNA in Pflanzenzellen eingeschleust werden kann.

2.2.5.1 Gentransfer unter Verwendung des Vektors *Agrobacterium tumefaciens*

In der Natur finden Prozesse des Gentransfers, wie z.B. beim *Agrobacterium tumefaciens*, ohne menschliches Zutun statt. Diese Tatsache machen sich Wissenschaftler zunutze.

Das Bodenbakterium *Agrobacterium tumefaciens* kann durch Verletzungen in eine Pflanze eindringen, die natürlichen Abwehrschranken der Pflanze durchbrechen und sein Plasmid, genauer die virulente tDNA, in einzelne Pflanzenzellen einschleusen. Anschließend wird die tDNA an einer willkürlichen Stelle der pflanzlichen DNA integriert. Als Ergebnis entsteht eine transformierte Pflanzenzelle, die die tDNA exprimiert.

Äußerlich ist die transformierte Pflanze anhand von Wucherungen zu erkennen, die auch als Wurzelhalsgalle bezeichnet wird. Die tDNA enthält Informationen für wichtige Enzyme, die für die Synthese von zusätzlichen Pflanzenhormonen sorgen. Hierbei gerät allerdings der gesamte Hormonhaushalt der Pflanze durcheinander, was die Bildung von Wucherungen nach sich zieht. Die von der Wurzelhalsgalle betroffenen Pflanzenzellen wachsen schneller und teilen sich rascher; es sind so genannte Tumorzellen entstanden, die äußerlich als Geschwür sichtbar werden (Schellekens, 1994, S. 136-137).

In den Wurzelhalsgallen kommen Verbindungen vor, die durch Kondensation von einer Aminosäure und einer Carbonylverbindung (2-Ketosäure oder Glucose) entstehen. Diese Verbindungen werden als Opine bezeichnet. Die Opine werden von den Pflanzenzellen synthetisiert und können von den Bakterien als alleinige Quelle von Stickstoff und Energie verwendet werden. Die Bakterien sind somit gleichzeitig Opininreduzierer und -verwerter (Gasen/Minol, 1996, S. 153).

Für die Gentechniker ist das tumorinduzierende Plasmid interessant, weil die virulente tDNA des Plasmids entfernt und durch eine gewünschte Spender-DNA ersetzt werden kann. Das Bakterium verliert dadurch seine krank machende Wirkung. Der Rest des Plasmidringes, der die Gene besitzt, die für die Fähigkeit codieren, in die pflanzliche Zelle einzudringen, sich in das pflanzliche Genom zu integrieren und exprimiert zu werden, bleibt dagegen erhalten, so dass dessen Zellen das Instrument darstellen, mit dessen Hilfe die Spender-DNA umgesetzt werden kann (Schellekens, 1994, S. 136-137).

Das so veränderte Plasmid dient damit als Vektor für eine beliebige Fremd-DNA, die exprimiert werden soll.

Ehe das rekombinierte Plasmid in Pflanzen eingesetzt werden kann, muss es in ausreichender Menge vorhanden sein. Dazu wird es über Bakterien vervielfältigt. Plasmide besitzen nämlich den Vorteil, dass sie auch in andere Bakterien eindringen können. Da sich Bakterien sehr rasch vermehren und das Plasmid auch bei der Teilung der Bakterien erhalten bleibt und verdoppelt wird, ergibt sich bald eine große Anzahl an transgenen Plasmiden (Abb. 7).

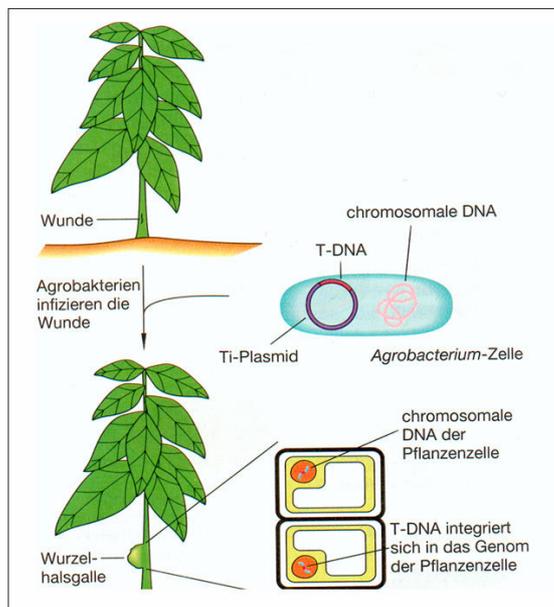


Abb. 7: Ti-Plasmid

(<http://www.unet.univie.ac.at/~a9802743/Artikel/GVO-Seminar.ppt>; Stand: 28.10.2006)

Für den Gentransfer werden die Pflanzenzellen mit den veränderten Agrobakterien tumefaciens in Kontakt gebracht und dadurch infiziert. Am leichtesten gelingt eine Infektion bei Protoplasten - das sind junge Pflanzenzellen, deren Zellwand enzymatisch entfernt worden ist. Die betroffenen Pflanzenzellen werden entsprechend dem neuen genetischen Informationsangebot umfunktioniert. Anschließend werden die nicht mehr benötigten Bakterien durch ein Antibiotikum abgetötet.

Mit dem Wachstum der Pflanze vermehren sich die so veränderten Pflanzenzellen. Sie werden anschließend von der Mutterpflanze getrennt und können sich in einer Nährlösung weiterentwickeln.

Es entsteht ein Kallus, der wieder in Einzelzellen zerlegt werden kann, so dass in kurzer Zeit viele auf diese Art genetisch veränderte Pflanzenzellen zu gewinnen sind, aus denen sich wieder vollständige Pflanzen regenerieren lassen.

Im Idealfall tragen alle Zellen der Pflanzen die gewünschten Genveränderungen in sich und können dadurch die neuen positiven Eigenschaften zeigen (Abb.8). (Bublath, 2003, S. 171).

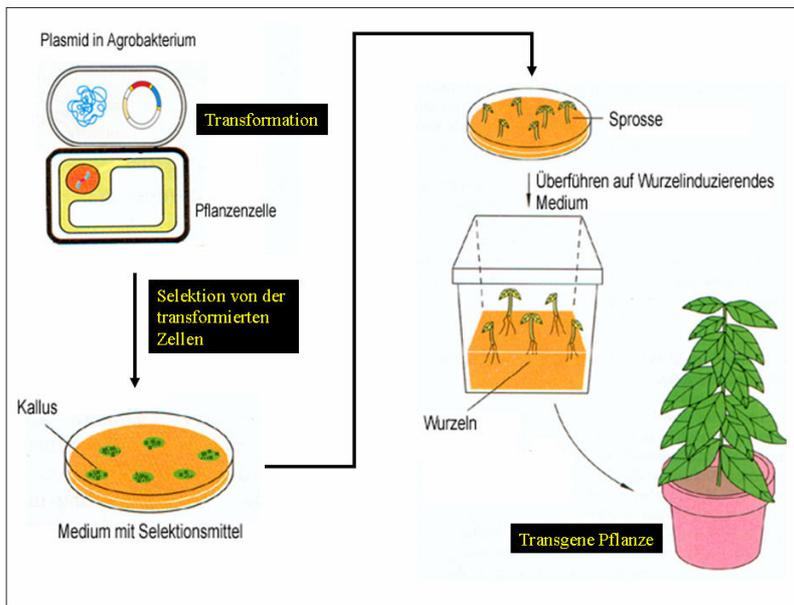


Abb. 8: Entstehung einer transgenen Pflanze

(<http://www.unet.univie.ac.at/~a9802743/Artikel/GVO-Seminar.ppt>; Stand: 28.10.2006)

So konnten zunächst dank dieses Verfahrens zweikeimblättrige Pflanzen wie Tomate, Kopfsalat, Kartoffel, Sonnenblume, Sojabohne, Raps, Gurke, Spargel, Meerrettich und die Zuckerrübe erfolgreich transformiert werden (Schneider, 1998, S. 26). Der Nachteil dieser Methode ist jedoch, dass sie eben nur bei zweikeimblättrigen Pflanzen und nicht bei einkeimblättrigen Nutzpflanzen einzusetzen ist.

Folglich benutzt man pflanzliche Viren als Vektoren, deren Wirte in der Regel einkeimblättrige Pflanzen sind und somit ein Gentransfer auf verschiedene Feldfruchtgewächse wie z.B. Mais, Roggen und Weizen möglich ist.

Jedoch überwiegen eindeutig die Nachteile dieser Methodik. Oft findet eine Integration des Vektors in das Wirtsgenom nicht statt, was zur Folge hat dass die neuen genetischen Eigenschaften nicht an die nächsten Generationen von Pflanzen weitergegeben werden können. Zusätzlich machen die Genome während des natürlichen Infektionszyklus Umordnungen und Kreuzungen durch, die auch die eingebaute fremde DNA mit einschließen. Des Weiteren lassen sich Infektionen an den Nutzpflanzen durch das virale Genom nicht gänzlich ausschließen.

Diese Nachteile sind der Grund dafür, dass Pflanzenviren in der Regel nicht als Vektoren genutzt werden (Gassen/Minol, 1996, S. 155, 399).

Da die bewährten Vektorsysteme aus *Agrobacterium tumefaciens* nicht bei allen Pflanzenarten funktionsfähig sind, wurden seit 1985 verstärkt Methoden des direkten oder vektorlosen Gentransfers entwickelt. Darunter versteht man Verfahren, die die Überführung von DNA ohne ein weiteres Vektorsystem ermöglichen oder auch membrandestabilisierende Verfahren

2.2.5.2 Der direkte Gentransfer

Beim direkten Gentransfer stört zunächst die starke Zellwand der Pflanzenzelle; deshalb wird sie zunächst von der Pflanzenzelle gelöst. Es entstehen Protoplasten (Janssen, o.J., S. 16). Die nackten Zellen der Zielpflanze und die zu übertragende DNA-Sequenz werden anschließend in ein Polyäthylenglykol- oder Calciummilieu gegeben, welches die Membran der Protoplasten chemisch destabilisiert. Nach Durchmischung wird die Suspension ca. 30 Min. leicht geschüttelt. Hierbei kann die DNA in die Protoplasten dringen und sich in die chromosomale Protoplasten-DNA integrieren. Durch geeignete Zellkulturtechniken werden die Protoplasten zu Teilungen angeregt. Während der Teilung bilden sich wieder Zellwände um die Protoplasten und es entstehen kleine Zellanhäufungen; so genannte Mikrocalli. Aufgrund der Omnipotenz pflanzlicher Zellen können daraus voll funktionsfähige Pflanzen hervorgehen (Gassen/Minol, 1996, S.399). Die Erfolgsrate bei dieser Technik ist allerdings ebenso wie bei der Methode der Elektroporation, die im nächsten Kapitel besprochen wird, gering. Das liegt vor allem daran, dass die DNA nicht nur die äußere Membran durchdringen, sondern auch noch zum Pflanzengenom in den Zellkern gelangen muss, wo sie erneut eine Hülle, die Kernmembran, durchqueren muss (Janssen, o.J., S.16).

2.2.5.3 Die Elektroporation

Bei der Elektroporation werden Pflanzenprotoplasten in einer Kammer in einem Medium suspendiert, das die Fremd-DNA enthält. Die Kammer wird dann an Elektroden angeschlossen. Hochspannungsimpulse von bis zu 1500 Volt sorgen dafür, dass die pflanzliche Membran löchrig wird, und die Fremd-DNA so die Membran durchdringen kann. Die Transformationsrate, d.h. die Wahrscheinlichkeit, dass die Fremd-DNA auch tatsächlich im pflanzlichen

Genom integriert wird, liegt bei dieser Methode nur bei 1% (Abb.9) (Gassen/Minol, 1996 S. 400).

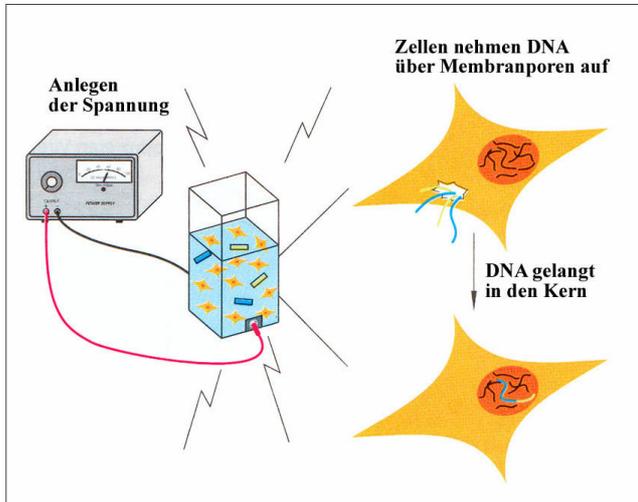


Abb. 9: Die Elektroporation

(<http://www.unet.univie.ac.at/~a9802743/Artikel/GVO-Seminar.ppt>; Stand: 28.10.2006)

2.2.5.4 Die Mikroinjektion

Eine weitere Methode des gentechnischen Transfers ist die Mikroinjektion, deren Transformationswahrscheinlichkeit (jedoch auch nur) bis zu 15% beträgt. Bei diesem Verfahren wird über eine Mikropipette, die einen Durchmesser von 0,5-10µm besitzt, versucht, Fremd-DNA direkt in eine Pflanzenzelle zu bringen. Durch den Einstich dieser hauchdünnen Kanüle in die Protoplastenmembran wird Druck erzeugt und so die Fremd-DNA in Kernnähe des pflanzlichen Genoms gebracht (Abb.10) (Gassen/Minol, 1996, S. 399).

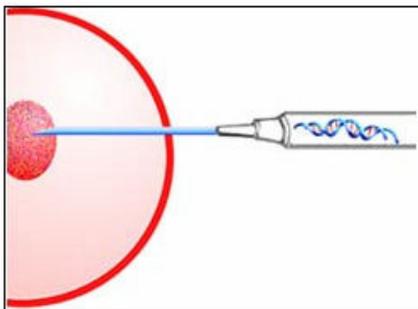


Abb. 10: Mikroinjektion in Protoplasten einer Kartoffelzelle

(<http://www.genvagar.slu.se/evolution/gymnasie/bild/18b.jpg>; Stand: 28.10.2006)

2.2.5.5 Der Mikroprojektilbeschuss

Der Mikroprojektilbeschuss, auch „gene gun“ oder „Partikelkanone“ genannt, wurde als Methode der DNA-Übertragung 1987 entwickelt und gehört zur erfolgreichsten Methode des direkten Gentransfers (Abb. 11).

Bei der Partikelkanone handelt es sich um ein Gerät, mit dem intakte Pflanzenzellen, d.h. Zellen mit Zellwand, mit DNA-beschichteten Mikroprojektilen beschossen werden. Als Mikroprojektile werden Kugeln aus Wolfram oder Gold benutzt, die einen Durchmesser von 1-3µm besitzen. Vor dem Beschuss der Pflanzenzelle werden die Gold- oder Wolframkügelchen mit Fremd-DNA beschichtet und durch eine Explosionsdruckwelle in die Pflanzenzelle geschossen. Dabei verbleiben die Mikroprojektile im Gegensatz zur eingebrachten Fremd-DNA nicht in der Zielzelle. Ob sich das Fremdgen in der Zielzelle integriert oder exprimiert wird, bleibt dem Zufall überlassen.

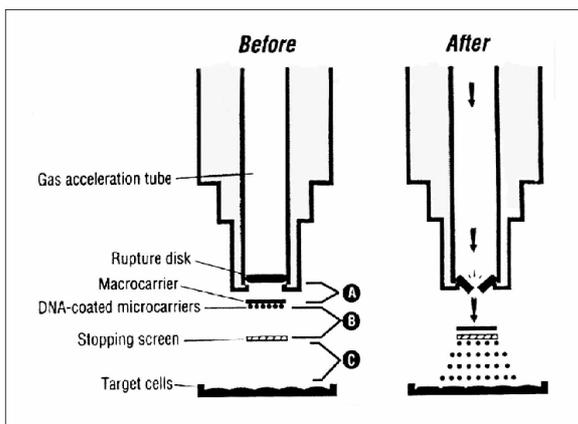


Abb. 11: Partikelbeschussung

(<http://www.unet.univie.ac.at/~a9802743/Artikel/GVO-Seminar.ppt>; Stand: 28.10.2006t)

Mit dieser Methode konnten bislang die Sojabohne und die Tabakpflanze verändert werden (Gassen/Minol, 1996, S. 400).

Gemeinsam für alle erwähnten Gentransfer-Methoden kann festgehalten werden, dass die Hauptschwierigkeit nicht vorwiegend in der Übertragung oder in der anschließenden Integration der Fremd-DNA besteht, sondern in erster Linie in dem Gelingen der Regeneration der transformierten Zelle zur voll funktionsfähigen Pflanze. Dementsprechend werden gegenwärtig Verbesserungen der Gewebekulturtechniken angestrebt (Schneider, 1998, S. 28).

3 Vorteile und Nachteile genmodifizierter Nutzpflanzen

In diesem Kapitel sollen sowohl die Vorteile als auch die Nachteile, die mit der grünen Gentechnik einhergehen, genauer beleuchtet werden. Es wird angeführt, was sowohl Befürworter wie beispielsweise Saatgutunternehmen wie Monsanto, die CDU und FDP, als auch Gegner wie Greenpeace, die Grünen, Ökolandbau, Verbraucherschutzverbände und andere zu dieser jungen Technologie zu sagen haben. Deutlich wird, dass die Fronten verhärtet sind und die Meinungen zu diesem Thema sehr einseitig verlaufen. So verurteilen beispielsweise die Gegner die grüne Gentechnik rundweg, ohne ihr irgendetwas Gutes abzugewinnen. Doch auch die Befürworter verhalten sich ähnlich und lassen Zweifel an dieser neuen Technologie unter den Tisch fallen. Angesichts dieser konträren Einstellungen im Hinblick auf die Gentechnik wird es dem Laien äußerst schwierig gemacht, sich ein objektives Urteil bilden zu können und so zu einer eigenen Meinung zu gelangen.

3.1 Vorteile

Aus Sicht der Befürworter bietet die grüne Gentechnik eine Vielzahl von Vorteilen. Zunächst seien in diesem Zusammenhang die Resistenzen gegen Herbizide, Schadinsekten, Viren und Bakterien und Pilzen genannt. Ein weiterer Vorteil, den die Gentechnik bietet, ist die Produktion männlicher steriler Pflanzen, die für die Herstellung von Hybridsaatgut wichtig sind. Ferner ist es gelungen, Nutzpflanzen mit einer längeren Haltbarkeitsdauer zu erzeugen. Einen neuen interessanten Schwerpunkt der grünen Gentechnik, der für Verbraucher von Interesse sein dürfte, stellt die Veränderung von essentiellen Bestandteilen in Nahrungsmitteln dar, wie beispielsweise eine veränderte Fett- oder Eiweißzusammensetzung.

Noch in der Erprobung befinden sich Versuche von Wissenschaftlern, transgene Pflanzen zu entwickeln, die gegen umweltbedingte Stressfaktoren resistent sind. Zu den genannten Stressfaktoren zählen unter anderem große Hitze, Kälte und Trockenheit, hoher Salzgehalt und Mineralmangel des Bodens. Gelingt es solche Pflanzen zu entwickeln, könnten bislang ungeeignete Böden in den Tropen und Subtropen für die agrarische Nutzung erschlossen werden. Da sich die Herstellung solcher Nutzpflanzen noch im Versuchsstadium befindet, wird hier auf diese Art von Pflanzen nicht näher eingegangen. Nutzpflanzen können aber auch für die Gewinnung von Rohstoffen herangezogen werden, was für die Industrie von In-

teresse sein dürfte, hier aber auch nicht eingehender betrachtet werden soll. Ebenfalls nicht Gegenstand der Betrachtung sollen transgene Pflanzen sein, die medizinischen Zwecken dienen. Mittels Gentechnik können Nutzpflanzen dazu veranlasst werden, bestimmte Inhaltsstoffe wie Proteine zu bilden, die als Impfstoffe oder Arzneimittel dienen.

3.1.1 Resistenzen

Es muss in diesem Zusammenhang ausdrücklich erwähnt werden, dass das Spektrum transgener Pflanzen gegenwärtig auf wenige Sorten und chnisch einfach zu realisierende Merkmalsveränderungen begrenzt ist. Die auf dem Markt befindlichen transgenen Pflanzen sind entweder herbizidresistent (zu 71 %), insektenresistent (zu 22 %) oder mit einer kombinierten Herbizid- und Insektenresistenz (zu 7 %) ausgestattet (Abb. 12). Veränderte Qualitätsmerkmale, die auch den Verbrauchern einen zusätzlichen Nutzen versprechen, wie etwa eine Reduktion von toxischen Inhaltsstoffen und Allergenen, sind im kommerziellen Anbau (bislang) noch von keiner Bedeutung. Entsprechende Produkte dürften erst in fünf bis zehn Jahren technisch realisierbar sein und auf den Markt kommen.

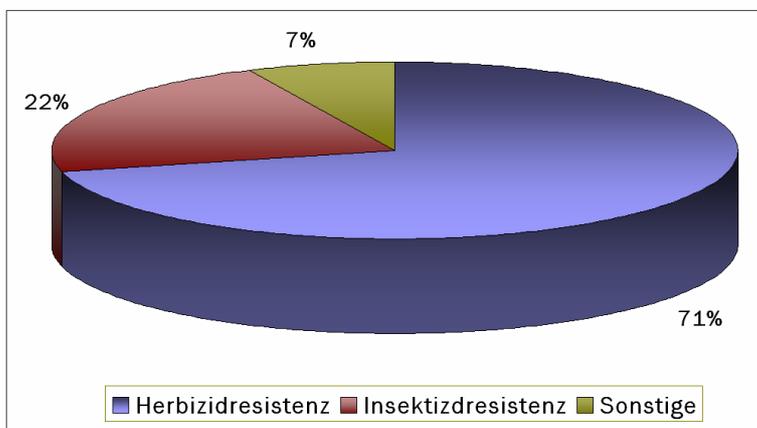


Abb. 12: Züchtungsziele durch Gentechnik

Quelle: selbsterstellt:

3.1.1.1 Herbizidresistenz

Der Name Herbizid leitet sich von den lateinischen Wörtern „herba“ (Pflanze) und „caedere“ (töten) ab. Herbizide sind chemische Verbindungen, die auf landwirtschaftliche Flächen aufgebracht werden, um „Unkräuter“ zu vernichten. (Minol, Gassen, 1996, S. 403). Unkräuter auf Äckern sind unerwünscht, weil sie mit Nutzpflanzen um Nährstoffe, Licht und Wasser

konkurrieren und damit die Erträge schmälern. Weltweit kommt es durch Unkräuter bedingt zu Ernteeinbußen von 10-15% des Ertrages (Kempken, 2003, S. 126).

Man unterscheidet in der Landwirtschaft zwischen selektiven Herbiziden und Breitbandherbiziden. Selektive Herbizide wirken, wie der Name verrät, nur auf bestimmte Unkräuter, weil sie nur spezifische Stoffwechselwege einiger Pflanzen stören. Sie besitzen aber den bedeutenden Nachteil, dass sie lange in Böden und Grundwasser verweilen. Neueren Datums sind dagegen Breitbandherbizide, die seit den 80iger Jahren existieren und die unspezifischer wirken. Sie vernichten sowohl Unkräuter als auch Nutzpflanzen, weil sie grundlegende Stoffwechselwege in Pflanzen schädigen, besitzen aber den Vorteil, dass sie wesentlich schneller abbaubar sind und eine vergleichsweise geringe Persistenz besitzen (Minol, Gassen, 1996, S. 403-404).

Die Idee der Gentechnik ist es nun gewesen, Pflanzen zu konzipieren, die gegen solche Breitbandherbizide unempfindlich sind (Abb. 13). Dadurch kann die gespritzte Menge der wesentlich unschädlicheren und preisgünstigeren Breitbandherbizide signifikant reduziert werden, was wiederum der Natur zu Gute kommt. Auch entfällt durch herbizidresistente Nutzpflanzen das prophylaktische Spritzen im Frühjahr gegen auskeimendes Unkraut. Der Landwirt muss erst spritzen, wenn eine Unkrautbekämpfung wirklich notwendig ist. Die länger tolerierte Unkrautbedeckung schützt den Boden vor Erosion durch Wind und Regen, was besonders bei Hackfrüchten wie Mais und Rüben von Bedeutung ist (BioRegio, 2002, S.12).



Abb. 13: Gentechnisch veränderter Mais im Feld vor (links) und drei Wochen nach einer Behandlung mit einem Breitbandherbizid (rechts).

(Grüne Gentechnik, Max Planck Institut für Züchtungsforschung, 2000, S. 13;

http://www.forum.mpg.de/archiv/20040524/docs/gruene_gentechnik_mpiz.pdf Stand: 26.10.2006)

Prinzipiell sind drei molekularbiologische Wege denkbar, wie Pflanzen herbizidresistent gemacht werden können. Zu einem können herbizidresistente Pflanzen erzeugt werden, indem das Vordringen des Herbizids an seinem Wirkort in der Pflanze verhindert wird. Hierfür werden in die Nutzpflanze Gene eingeführt, die die äußeren oder inneren Membranen in der Pflanze derart verändern, dass sie für das jeweilige Herbizid nicht mehr passierbar sind. Diese Methode wurde erfolgreich bei dem selektiven Herbizid Atrazin angewendet. In Nutzpflanzen wurden Gene eingeführt, die die Membran der Chloroplasten so umstrukturiert haben, dass das Atrazin an seinem eigentlichen Wirkort, den Chloroplasten, nicht mehr eindringen kann.

Eine andere Methode zur Erzeugung von Herbizidresistenz in Pflanzen besteht darin, dass das Herbizid in der Pflanze zu einem unwirksamen Stoffwechselprodukt abgebaut wird. Hierzu wird der Pflanze eine genetische Ausrüstung gegeben, die das Herbizid enzymatisch zu einem unschädlichen Folgeprodukt abbaut.

Eine weitere Methode zur Herstellung von herbizidresistenten Pflanzen funktioniert, indem das vom Herbizid blockierte Enzym für das Herbizid unangreifbar gemacht wird. Dies wird erreicht, indem in die Nutzpflanze ein Gen eingebracht wird, welches das vom Herbizid angegriffene Enzym in seiner Struktur so verändert, dass es zwar noch seine Funktion wahrnehmen kann, aber das Herbizid sich nicht mehr an ihm festhalten kann (Enquete-Kommission, 1990, S. 61-62).

Im Folgenden sollen exemplarisch zwei Beispiele aus der letzten Gengruppe beschrieben werden, die bei Breitbandherbiziden Anwendung finden.

Zum einen wäre da der Wirkstoff Glufosinat, der in den Pflanzenschutzmitteln Basta® und Liberty® enthalten ist. Glufosinat hemmt in der Pflanze ein bestimmtes Enzym, das für den Abbau von Ammonium verantwortlich ist. Ammonium entsteht im Stoffwechsel der Pflanze und muss entsorgt werden. Wenn dies nicht geschieht, stirbt die Pflanze ab.

Es ist gelungen, Glufosinat unwirksam zu machen, nachdem man ein glufosinattolerantes Gen sowohl in der Luzerne als auch in den beiden Bodenbakterien *Streptomyces hygroscopicus* und *S. viridochromogenes* identifiziert hat. Dieses gefundene Gen codiert für ein En-

zym, das in der Lage ist, an Glufosinat ein Essigsäuremolekül anzuhängen und es dadurch unwirksam zu machen (BioRegio, 2002, 11-12).

Auf diese Weise wurden unter anderem resistente Luzerne, Tomate, Mais, Reis, Weizen und Sojabohne erzeugt (Kempken, 2003, S. 128).

Der andere Wirkstoff ist Glyphosat, der in dem Produkt RoundUp vorkommt. Bei Glyphosat handelt es sich um eine organische Phosphorverbindung, die zur Gruppe der Ammoniumderivate gehört (Minol, Gassen, 1996, S. 405).

Glyphosat ist in Pflanzen wirksam, indem es die EPSP-Synthase hemmt. Bei der EPSP-Synthase handelt es sich um ein essentielles Enzym, das von Pflanzen zur Synthese aromatischer Aminosäuren wie Phenylalanin, Tryptophan und Tyrosin benötigt wird. Durch die Verwendung von Glyphosat wird der Aminosäurestoffwechsel der Pflanze empfindlich gestört, wodurch die Pflanze abstirbt.

Um glyphosatresistente Pflanzen zu erhalten, wurde auf ein bakterielles Gen, das aus dem Agrobakterium tumefaciens aus dem Stamm CPU stammt, zurückgegriffen. Die isolierte bakterielle EPSP-Synthase ist aufgrund einer veränderten Aminosäuresequenz unempfindlich für das Herbizid und übernimmt in den Pflanzenzellen die Aufgabe des blockierten Enzyms (BioRegio, 2002, S. 12).

Auf Mensch und Tier wirkt Glyphosat nicht toxisch, weil beide über keine EPSP-Synthase verfügen. Sowohl der Mensch als auch das Tier sind nicht dazu fähig, essentielle Aminosäuren selbst herzustellen, sondern müssen diese über die Nahrung aufnehmen. Glyphosat wird im Boden von Mikroorganismen zersetzt und hinterlässt keine schädlichen Abbauprodukte (Kempken, 2003, S. 128).

3.1.1.2 Insektenresistenz

Insekten können Pflanzen auf zweierlei Weise schädigen: zum einen sind sie Überträger von Krankheitserregern wie z.B. Viren, Bakterien und Pilzen, zum anderen werden die Pflanzen direkt durch fraßbedingten Gewebeverlust geschädigt (Kempken, 2004, S.130).

Die heutigen Monokulturen in der Landwirtschaft tragen sehr zur Ausbreitung von Fraßschädlingen bei, welche dann mit Pestiziden bekämpft werden müssen (Enquete-Kommission, 1990, S. 67).

Die Verwendung von Pestiziden ist aus ökologischer Sicht als bedenklich einzustufen, da verbleibende Rückstände die Umwelt schädigen und sich unter Umständen in der Nahrungskette anreichern können. Ferner wirken viele Pestizide auf Tiere toxisch (Kempken, 2003, S. 131).

Ein weiteres Problem, das zu beobachten ist, besteht in der zunehmenden Resistenz von Schädlingen gegen Pestizide (Enquete-Kommission, 1990, S. 67).

Hier sind insbesondere Schmetterlingsraupen zu nennen. Schmetterlingsraupen verfügen über ein großes Schädigungspotenzial. Sie ernähren sich bis zum Erreichen des Adultstadiums von Blättern und Früchten verschiedener Pflanzenarten (Gassen, Minol, 1996, S. 409).

Als Beispiel sei die Raupe des Maiszünslers genannt, die zu den wichtigsten Maisschädlingen gehört. Sie höhlt den Stängel der Maispflanze aus und bringt so die Maispflanze zum Umknicken. Die durch die Raupe am Stängel verursachten Wunden bieten außerdem Eintrittsstellen für schädliche Pilze (Abb.14) (BioRegio, 2002, S. 13).



Abb. 14: Die Larve des Maiszünslers bohrt sich in den Stängel der Maispflanze.

(Grüne Gentechnik, Max Planck Institut für Züchtungsforschung, 2000, S. 11

http://www.forum.mpg.de/archiv/20040524/docs/gruene_gentechnik_mpiz.pdf Stand: 26.10.2006)

Um Mais und andere Nutzpflanzen vor Schaderregern schützen zu können, hat man gezielt nach Abwehrstoffen gesucht, die nur auf Insekten, nicht aber auf den Menschen toxisch wirken. Ein solches Endotoxin hat man im Bakterium *Bacillus thuringiensis* (Bt) gefunden.

Das Bakterium *Bacillus thuringiensis* gehört zu den natürlichen Feinden von Pflanzen fressenden Raupen, z.B. Larven von Schmetterlingen und einigen Larven von Zweiflüglern und Käfern. Es bildet in seinen Sporen einen Kristall aus, der je nach Bakterienstamm aus verschiedenen Endotoxinen besteht. Die Bakterien werden von der Raupe mit der Nahrung aufgenommen. Im Darmtrakt der Raupe werden die Endotoxine der Bakterien ausgeschieden, wo sie eine Perforation des Darmepithels bewirken und damit zum Tod des Tieres führen (Minol, Gassen, 1996, S. 410).

Die Gene, die für die Synthese des Endotoxins verantwortlich sind, werden isoliert und mit pflanzlichen regulatorischen Sequenzen versehen. Dies ist notwendig, um sicherzustellen, dass die Pflanze erst nach dem Fraßbefall die Proteine produziert (Schneider, 1998, S. 31). Übrigens werden B.t.-Präparate seit Jahrzehnten in der biologischen Schädlingsbekämpfung eingesetzt (BioRegio, 2002, S. 13).

3.1.1.3 Virusresistenz

Durch Viren verursachte Pflanzenkrankheiten stellen bei Nutzpflanzen ein ernsthaftes Problem dar und sind für hohe Ernteverluste beim Produzenten verantwortlich. Es gibt bisher keine wirkungsvollen chemischen Bekämpfungsmethoden gegen Viren. Nur die Bekämpfung von Virusüberträgern wie beispielsweise Pilzen ist gelegentlich möglich, wenn auch äußerst schwierig.

Auch ist es bisher nicht gelungen, virusresistente Pflanzen auf züchterischem Wege zu erzeugen, so dass man ein großes Interesse daran hatte, auf gentechnischem Wege virusresistente Pflanzen zu hervorbringen.

Bei der Herstellung von virusresistenten Pflanzen hat man von einer seit 1929 durch McKinney bekannt gewordenen Entdeckung profitiert. McKinney beobachtete, dass die von einem schwachen Stamm des Tabakmosaikvirus befallenen Tabakpflanzen gegenüber einer nachfolgenden Infektion mit einem stärker virulenten Virus derselben Art geschützt waren. Die

Vermehrung des stärker virulenten Stammes unterblieb dann oder war zumindest stark reduziert. Man bezeichnet diesen Effekt auch als Cross protection. Daraus lässt sich ableiten, dass eine Pflanze gezielt vor Virusbefall geschützt werden kann, wenn sie zuvor mit einem schwächeren Virus der gleichen Art infiziert worden ist. Somit werden Pflanzen gentechnisch dazu befähigt, diese Art von Antikörper zu produzieren (Minol, Gassen, 1996, S. 408).

Die meisten Viren besitzen Gene für die Bildung von Virushüllproteinen für die Replikation ihrer Erbinformation, die aus DNA oder RNA bestehen kann sowie ein Gen für die Mobilität, um sich innerhalb der Pflanze von Zelle zu Zelle fortbewegen zu können.

Bei der gentechnischen Präimmunisierung werden Gene, die für einen Virusbestandteil, die Hüllproteine, kodieren, isoliert und anschließend in die betreffende Pflanze eingebracht. Zusätzlich werden die Hüllproteingene mit regulativen Sequenzen von pflanzlichen Genen ausgestattet, so dass das Hüllprotein nach dem Transfer in den Zellen von höheren Pflanzen gebildet werden kann (Kempken, 2003, S. 134). Die Biosynthese des Hüllproteins hemmt die Replikation infizierender Viren (Menrad, 2003, S. 81).

Eine weitere Strategie zur Erzeugung von Virusresistenz besteht in der Übertragung viraler Antisense-cDNA-Sequenzen⁷. Dadurch wird der Translationsprozess zur Herstellung des Virushüllproteins gehemmt, wodurch die Virusvermehrung in der Zelle unterbunden wird (Menrad, 2003, S. 81).

Als Beispiel sei die virusresistente Zuckerrübe erwähnt, die seit 1993 freigesetzt wird. Wird die Zuckerrübe vom BNY-Virus oder dem Bodenpilz *Polymyxa* (der als Überträger des Virus dient) befallen, führt das zur Verkümmern der Wurzelachse. Dadurch entstehen Bündel von Seitenwurzeln. Diese Krankheit wird auch als Wurzelbärtigkeit oder Rizomania bezeichnet, und hat hohe Ernteauffälle zur Folge (Abb.15) (BioRegio, 2002, S.14).

⁷ Bei der Antisense-cDNA handelt es sich um eine Nucleinsäuresequenz, die sich zur transkribierenden DNA invers komplementär anlagert und mit dieser hybridisiert. Durch die Paarbildung wird der codierende m-RNA-Strang inaktiviert, so daß das entsprechende Protein, wie z.B. die Herstellung von viralen Eiweißhüllen nicht gebildet werden kann.



Abb. 15: Virusranke (links) und gesunde Zuckerrübe (rechts)

(Grüne Gentechnik, Max Planck Institut für Züchtungsforschung, 2000, S. 11

http://www.forum.mpg.de/archiv/20040524/docs/gruene_gentechnik_mpiz.pdf;Stand: 26.10.2006)

3.1.1.4 Resistenz gegen Bakterien und Viren

Durch Bakterien und Pilze verursachte Ernteauffälle stellen ein großes Problem in der Landwirtschaft dar, weshalb die Verwendung von Fungiziden nahezu unumgänglich ist.

Werden mit Pilzen befallene Nutzpflanzen nicht mit Fungiziden behandelt, so besteht die Gefahr, dass sich Mycotoxine bilden. Es handelt sich dabei um in ihrer Struktur sehr unterschiedliche Giftstoffe, die bei Mensch und Tier zu ernsthaften Erkrankungen führen können (Kempken, 2003, S. 137).

Um Toleranz gegen Pilz- und Bakterieninfektionen zu erzielen, wurden verschiedene gentechnische Ansätze gewählt, die sich teilweise noch im Experimentierstadium befinden (Dingermann, 1999, S. 221).

Eine Strategie zur Erzeugung resistenter Pflanzenlinien beruht auf der Verwendung natürlich vorkommender Resistenzgene in Pflanzen. Solche natürlichen Resistenzgene werden als R-Gene bezeichnet und sind im Verlauf der Evolution in einigen Pflanzenlinien entstanden. Sie verleihen Pflanzen jeweils Resistenz gegen krankmachende Bakterien, Pilze aber auch Viren. Wird ein solches R-Gen in eine andere Pflanze übertragen, entwickelt auch sie eine Resistenz gegen das spezifische Pathogen (Kempken, 2003, S. 135-137).

Eine andere Methode zum Schutz vor Pilzen besteht in der Expression von Genen, die für Chintinasen und Glucanasen exprimieren. Die meisten pilzlichen Zellwände bestehen aus Chintin, das durch die Chintinase abgebaut wird. Die Coexpression von Chintinase und β -1 Glucanase verstärkt noch den Angriff auf die pilzliche Zellwand. Leider ist diese Methode nicht auf alle Pflanzenlinien übertragbar, so dass davon ausgegangen werden muss, dass hier artspezifische Unterschiede eine Rolle spielen

Eine weitere Möglichkeit zur Resistenzzeugung gegen Pilze besteht in der Übertragung von RIP-cDNA (Ribosomen-inaktivierende Proteine), die die Peptidsynthese von Pilzen hemmt, deren Zellwände kein Chintin, sondern Zellulose enthalten.

Darüber hinaus wurde zu den vermittelnden Proteinen noch eine breite Familie von Peptiden entdeckt, die antimikrobielle und fungizide Eigenschaften haben. Diese Peptide kommen sowohl in Tieren als auch in Pflanzen vor (Menrad, 2003, S. 82). So ist es beispielsweise gelungen, aus Gerste das Gen für α -Thionin zu exprimieren, das der Tabakpflanze eine Resistenz gegen das Bakterium *Pseudomonas syringae* vermittelt (Kempken, 2003, S. 138). Ein anderes Peptid aus der Luzerne mit fungizider Eigenschaft wurde erfolgreich in Kartoffeln übertragen.

Eine weitere Strategie zur Erzeugung von Pilzresistenz besteht schließlich darin, den Tod der befallenen Zellen gentechnisch herbeizuführen, um so eine Begrenzung der Schädigung des betroffenen Gewebes zu erzielen und auf diese Weise die Ausbreitung des Pathogens zu verhindern. So hat man eine Klasse von Resistenzgenen in Pflanzen transformiert, die für Proteinkinasen kodieren, das entsprechende Pathogen erkennen und am Befallsort einen Zelltod auslösen. Das betroffene Pflanzengewebe stirbt dann ab (Menrad, 2003, S. 82).

3.1.2 Modifikation an Nahrungsmitteln

Ansätze zur Veränderung der Nahrungsmittelqualität zielen darauf ab, Inhaltsstoffe in ernährungsphysiologisch oder lebensmitteltechnologisch günstigere Formen umzuwandeln. Ebenso sollen Inhaltsstoffe, die nicht oder nur in unzureichenden Mengen in Pflanzen enthalten sind, verstärkt beziehungsweise neu eingebracht werden.

Bei der Veränderung von Pflanzeninhaltsstoffen wird immer in komplexe Stoffwechselwege von Pflanzen eingegriffen. Gentechnische Eingriffe erfordern deshalb die genaue Kenntnis der Stoffwechselwege und ihrer regulatorischen Prozesse, da ansonsten unerwartete und unerwünschte Effekte auftreten können (Menrad, 2003, S. 88).

3.1.2.1 Kohlenhydrate

Grüne Pflanzen besitzen die Fähigkeit zur Photosynthese. Bei der Photosynthese gewinnt die Pflanze aus Wasser und Kohlendioxid unter Verwendung von Lichtenergie Glukose (Traubenzucker) und Sauerstoff.

Die Speicherung von Kohlenhydraten wie beispielsweise Glukose oder Saccharose innerhalb der Pflanze erfolgt in Form von Stärke, die in der Pflanze in den so genannten Amyloplasten gebildet wird (Kempken, 2003, S. 141).

Stärke besteht hauptsächlich aus zwei verschiedenen Komponenten: Amylose und Amylopektin. Bei der Amylose handelt es sich um eine lange unverzweigte Kette aus Zuckermolekülen, während Amylopektin aus stark verzweigten Zuckermolekülen besteht. Aufgrund ihrer abweichenden Struktur besitzen beide Stoffe unterschiedliche Eigenschaften. So ist Amylose wasserunlöslich, während Amylopektin wasserlöslich ist. Für verschiedene Anwendungen in der verarbeitenden Lebensmittelindustrie ist es aber von Vorteil, nur Stärke zu verarbeiten, die überwiegend entweder aus Amylose oder Amylopektin besteht, d.h. amylopektin- bzw. amylosefrei ist (BioRegio, 2002, S.29).

Als Beispiel einer veränderten Stärkezusammensetzung sei die Kartoffel angeführt. Durch Antisense-Expression ist es gelungen, die Stärkesynthetase in den Stärkekörnern zu hemmen. Auf diesem Weg werden Kartoffeln erzeugt, die nur noch Amylopektin, aber keine Amylose mehr enthalten. Auch konnte in der Kartoffel durch Einführung der AGPase (ADP-Glucosephosphorylase) aus dem Darmbakterium *E. coli* die gebildete Menge an Stärke erhöht werden.

Leider haben diese Kartoffeln den Nachteil, dass sie nur eine kleine Knollengröße aufweisen, wodurch die Erträge niedrig ausfallen (Kempken, 2003, S. 143).

Daran wird deutlich, dass viele Aspekte der Kohlenhydratsynthese bei Pflanzen und ihre Kopplung an verschiedene Stoffwechselprozesse noch nicht vollständig verstanden sind und dass hier noch ein Forschungsbedarf besteht.

Neben den bereits erwähnten Anwendungen ist aber auch die Bildung von völlig neuen Kohlenhydraten möglich. So kann durch die Einführung eines bakteriellen Gens in Kartoffeln Cyclodextrin erzeugt werden. Cyclodextrin wird in der Lebensmittelindustrie zur Stabilisation flüchtiger Substanzen und aromatischer Komponenten verwendet (Menrad, 2003, S. 89).

Mittlerweile wurden auch transgene Kartoffeln und Rüben entwickelt, die neben Stärke noch Inulin erzeugen. Inulin gehört zur Stoffklasse der Fruktane, die natürlicherweise in Artischocken oder Chicorée vorkommen. Fruktane sind Kohlenhydrate, deren Grundelement die Fructose ist, die im Molekül lange Ketten bildet. Die Bindungen zwischen den Fruktaneinheiten können vom menschlichen Darm nicht mehr aufgespalten werden, weshalb die Fruktane zu den Ballaststoffen zählen.

Im Darm regen die Fruktane das Wachstum von diversen Bakterien an, denen eine gesundheitsfördernde Wirkung zugeschrieben wird. So soll das Wachstum dieser Bakterien zu einer verbesserten Aufnahme mancher Mineralien und zu einer guten Verdauung führen.

Die Bildung von Inulin (Fruktanen) wurde durch die Expression zweier Gene erreicht. Zum einen wurde das Gen für das Enzym Saccharose-Fruktosyl-Transferase (1-SST), welches aus Topinambur 1-Saccharose bildet und , und zum anderen das Gen für das Enzym 1-Fruktosyl-Transferase 1 (α -FFT) aus der Artischocke, das für Fruktan exprimiert, in die Kartoffel bzw. Zuckerrübe eingebracht (Kempken, 2003, S. 143).

3.1.2.2 Fettsäuren

Fette sind esterartige Verbindungen von Glycerin und Fettsäuren. Die Fettsäuren unterscheiden sich in der Länge der Kohlenstoffkette und der Anzahl und Position ihrer Doppelbindungen. Fettsäuren mit Doppelbindungen werden als ungesättigt bezeichnet, solche ohne Doppelbindungen als gesättigt. Die Länge der Kohlenstoffkette sowie der Sättigungsgrad bestimmen die chemischen Eigenschaften von Fettsäuren.

Der Sättigungsgrad beispielsweise definiert den Schmelzpunkt der Fettsäure. So besitzen ungesättigte Fettsäuren einen geringeren Schmelzpunkt als gesättigte Fettsäuren.

Pflanzliche Öle werden vor allem durch den unterschiedlichen Gehalt an bestimmten gesättigten und ungesättigten Fettsäuren charakterisiert (www.margarine-institut.de (a), o.J.).

Die Fettsäurespektren der hauptsächlich angebauten Ölfrüchte unterscheiden sich relativ wenig, weil es sich dabei im Wesentlichen um sieben verschiedene Fettsäuren handelt. Zu ihnen gehören Laurinsäure, Myristinsäure, Palmitinsäure, Stearinsäure, Ölsäure, Linol- und Linolensäure. Allerdings kann der jeweilige Gehalt der einzelnen Fettsäuren stark variieren.

Charakteristisch für die meisten Pflanzenöle ist, dass sie überwiegend aus einfach und mehrfach ungesättigten Fettsäuren bestehen, im Gegensatz zu den tierischen Fetten, die größtenteils aus gesättigten Fettsäuren bestehen. Besonders die mehrfach ungesättigten Fettsäuren sind für den Menschen lebensnotwendig, weil er diese nicht selbst zu synthetisieren vermag und sie deshalb mit der Nahrung aufnehmen muss. (www.margarine-institut.de (b), o.J.).

Zu den langen mehrfach ungesättigten Fettsäuren gehören auch die Linol- und Linolensäure, die der Gruppe der Omega-Fettsäuren zugerechnet werden. Omega Fettsäuren können in ihrer Funktion als Antioxidantien den Cholesterinspiegel senken, freie Radikale binden und eine Blutgerinnung verhindern (www.gentechnikfreie-regionen.de (a), o.J.).

Das zeigt, dass pflanzliche Fette aus ernährungsphysiologischer Sicht als überaus positiv einzustufen sind. Dennoch gibt es mögliche Ansatzpunkte für eine gentechnische Veränderung.

Zum einen kann das Verhältnis von gesättigten zu einfach und mehrfach ungesättigten Fettsäuren in Fetten verändert werden, zum anderen können Fette produziert werden, die besonders langkettige ungesättigte Fettsäuren enthalten.

So wurde zum Beispiel in Raps das Gen aus *Umbellularia californica*, das für eine spezifische Thioesterase kodiert, eingebracht (Kempken, 2003, S. 90).

Langkettige Fettsäuren entstehen durch wiederholte enzymatische Anheftung von jeweils zwei Kohlenstoff. Die Anheftungsreaktionen werden von verschiedenen Ketoacyl-ACP-Synthasen (KAS) katalysiert. In den meisten Pflanzen wird die Anheftungsreaktion bei C16 und C18 durch verschiedene Thioesterasen (TE) enzymatisch gestoppt. Einige Pflanzen wie *Umbellularia californica* besitzen Medium-Chain-TEs, welche die Verlängerungsreaktion schon bei Kettenlängen von C8 – C14 abbrechen. Die künstlich eingebrachte Thioesterase bricht die Verlängerungsreaktion schon bei C12 ab, wodurch es zur Akkumulation von Laurinsäure (12:0) und in einem geringen Ausmaß von Myristinsäure (14:0) kommt (www.food-monitor.de (a), o.J.). Der erhöhte Laurinsäuregehalt in Rapsöl bewirkt, dass das Fett härter wird und so auch zur Herstellung von Margarine benutzt werden kann (Kempken, 2003, S. 144).

Zudem ist es gentechnisch möglich, die Fettsäureprofile von Soja, Raps und Sonnenblumen derart zu verändern, dass sie vermehrt über einfach und mehrfach ungesättigte Fettsäuren verfügen. Dazu werden FAD 3 und FAD 2 Gene kloniert, die für Desaturasen kodieren. Die Desaturasen fügen zusätzliche Doppelbindungen in bestehende Fettsäuren ein (Menrad, 2003, S. 90). So katalysiert die $\Delta 9$ -Desaturase die Reaktion Stearinsäure/18:0 zu Ölsäure. Ölsäure wird anschließend durch die $\Delta 12$ -Desaturase in Linolsäure 18:2 und diese wird zu Linolensäure $\Delta 18:3$ umgewandelt (www.food-monitor.de (b), o.J.).

3.1.2.3 Proteingehalt und essentielle Aminosäuren

Der Proteingehalt sowie die Zusammensetzung der Aminosäuren variieren stark in den einzelnen Pflanzen.

Für die menschliche Ernährung ist besonders der Gehalt an essentiellen Aminosäuren entscheidend. Da diese im menschlichen Körper nicht selbst synthetisiert werden können, müssen sie daher mit der Nahrung aufgenommen werden.

Insbesondere Lysin ist in vielen Nahrungsmitteln, aber auch in Futtermitteln, die auf Soja und Mais basieren, nicht in ausreichender Menge vorhanden. Bei Futtermitteln herrscht ebenfalls ein Mangel an den Aminosäuren Methionin, Threonin und Tryptophan, die deshalb künstlich zum Futter zugesetzt werden müssen (Kempken, 2003, S. 89).

Laufende Forschungsarbeiten beschäftigen sich daher damit, Gene zu identifizieren, die reich an essentiellen Aminosäuren sind und in Sojabohne, Mais und anderen wichtigen Nutzpflanzen kloniert werden können (Menrad, 2003, S. 89).

3.1.2.4 Vitamine, Mineralien und Spurenelemente

Vitamine, Mineralien und Spurenelemente sind für die menschliche Ernährung existentiell und müssen deshalb über die Nahrung aufgenommen werden. Mit Ausnahme der Vitamine B12 und D enthalten Pflanzen, die die Hauptnahrungsquelle für Menschen in der Dritten Welt bilden, alle lebensnotwendigen Vitamine, Mineralien und Spurenelemente. Allerdings sind einzelne Vitamine und Mineralstoffe in Pflanzen in unterschiedlicher Menge enthalten; auch kann es vorkommen, dass der Gehalt an Vitaminen und Mineralstoffen in den einzelnen Linien einer Pflanzenart schwankt. Letzteres ist darauf zurückzuführen, dass Nutzpflanzen vorrangig im Hinblick auf eine möglichst hohe Ausbeute gezüchtet wurden und der Gehalt an Vitaminen in den einzelnen Zuchtlinien dabei nicht immer überprüft wurde (Kempken, 2003, S. 145).

3.1.2.4.1 Provitamin A-Biosynthese

Für etwa 2,4 Mrd. Menschen ist Reis oft das Hauptnahrungsmittel, obwohl es sich als Grundnahrungsmittel nicht eignet. Die hauptsächliche Aufnahme von Reis bewirkt eine schwerwiegende Mangelernährung durch Unterversorgung mit Vitamin A, Eisen und anderen Spurenelementen sowie wichtigen Proteinen. Ca. 800 Mio. Menschen leiden weltweit unter einem akuten Vitamin A-Mangel.

An den Folgen dieses Mangels sterben nach UNO-Schätzungen jährlich etwa 2 Millionen Kinder unter fünf Jahren, 500.000 Kinder erblinden jährlich. Weitere Folgen sind andere schwerwiegende Augenkrankheiten, verminderte Immunabwehr, erhöhte Sterblichkeit. Ebenso werden die Blutbildung und das Skelettwachstum geschädigt. Normaler Reis enthält zudem Phytate, die die Eisenresorption hemmen. Nahezu 3 Mrd. Menschen leiden unter Eisenmangel, darunter 1,8 Mrd. Frauen mit Eisenmangel-Anämie (www.learn-line.nrw.de, o.J.)

Aus diesem Grund haben Gentechniker transgenen betacarotinhaltigen Reis entwickelt, der über eine bessere Bioverfügbarkeit von Eisenoxid verfügt. Dieser Reis wurde unter dem Na-

men „Golden Rice“ bekannt und wird den Menschen in der Dritten Welt unentgeltlich zur Verfügung gestellt.

Beim Golden Rice ist es gelungen, einen Reis zu erzeugen, der größere Mengen an β -Carotin produziert, welches im menschlichen Körper zu Vitamin A umgebaut werden kann (Abb. 16).



Abb. 16: Goldener Reis (links) neben konventionellem Reis (rechts)

(<http://www.bio-pro.de/en/region/freiburg/magazin/01431/index.htm>; Stand: 05.11.2006)

Reiskörner enthalten kein β -Carotin, aber sie beinhalten Geranylgeranylpyrophosphat, das durch die Abfolge von vier enzymatischen Reaktionen in β -Carotin umgewandelt werden kann.

Geranylgeranylpyrophosphat wird durch das Enzym Phytoensynthase in Phytoen umgewandelt, welches durch die Phytoendesaturase in ξ -Carotinsaturase in Lycopon umgebaut, und dieses durch die β -Cyclase in β -Carotin (Provitamin A) umgeformt wird. Die notwendigen Enzyme dazu wurden aus Bakterien und Pflanzen isoliert und dann mittels A.tumefaciens-Transformation in den Reis übertragen.

Durch die Verwendung der Phytoendesaturase aus dem Bakterium Erwinia konnte die Zahl der benötigten Enzyme sogar auf drei reduziert werden, da das bakterielle Enzym die katalytischen Eigenschaften des Enzyms Phytoendesaturase und des Enzyms ξ -Carotindesaturase in sich vereinigt (Kempken, 2003, S. 146).

Der Eisengehalt von Reis konnte erhöht werden, indem man ein Gen aus der Bohne, das für die Expression von zellularem Ferritin zuständig ist, einbrachte (www. gentechnikfreie_regionen (a), o.J.).

Die Phytinsäure, die die Eisenresorption hemmt, konnte durch das Einbringen eines Phytase Gens, das aus *Aspergillus fumigatus* stammt, reduziert werden (Menrad, 2003, S. 91).

Der transgene Reis enthält bis zu 2100 µg β-Carotin pro 100 Gramm Reis. Bei einer Portion von 300 g Reis pro Tag nimmt ein Mensch damit nur 10 % der empfohlenen Tagesdosis auf (Kempken, 2003, S. 146). Damit ist die Konzentration des β-Carotins eindeutig zu niedrig. Greenpeace weist darauf hin, dass ein Mensch das zwölfwache der üblichen Menge an Reis essen müsste, um die Menge an Carotin aufzunehmen, die aus ernährungswissenschaftlicher Sicht notwendig ist, um seinen Vitamin-A-Bedarf zu decken.

Das Problem der klinischen Unterversorgung mit Vitamin A ist bereits seit den 70er Jahren bekannt. Seitdem gibt es eine Reihe von Bemühungen, den Mangel an Vitamin A zu bekämpfen. Laut der Micronutrient-Initiative, die eng mit UNO-Organisationen zusammenarbeitet, gibt es in über 40 Ländern Programme, bei denen Vitamin A in Tablettenform verabreicht wird. Eine hochdosierte Vitaminpille ist vergleichsweise preiswert. Sie kostet nur zwei US-Cent. Zwei Drittel der Kinder werden über diese Programme erreicht. Zudem gibt es Programme, die auf eine verbesserte Ernährung insgesamt zielen und mit Erfolg umgesetzt werden. So werden z.B. in diesen Projekten kleine Hausgärten für die Einheimischen angelegt, in denen Spinat gezogen werden kann. Spinat enthält viel Vitamin A und kann an vielen Orten problemlos wachsen. Länder wie Sambia wiederum reichern Zucker mit Vitamin A an, Marokko reichert Speiseöl mit Vitamin A an. Die Entwicklung von Golden Rice hat 100 Millionen US-Dollar gekostet, und 50 weitere Millionen US-Dollar waren für die Bewerbung des Projektes notwendig. Mit diesem Geld wären vergleichsweise viele andere Projekte finanzierbar gewesen (Zarher, 2005, S. 81).

3.1.2.4.2 Vitamin E-Biosynthese

Vitamin E ist chemisch gesehen ein Gemisch verschiedener Tocopherole und Tocotrienol-Derivate, von denen insbesondere die α-Tocopherole positive Effekte auf die menschliche Gesundheit aufweisen. Hierbei ist insbesondere die antioxidative Wirkung zu nennen (Kempken, 2003, S. 147).

Durch eine regelmäßige Zufuhr von Vitamin E kann Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Krebs vorgebeugt werden (www.gentechnikfreie_regionen (b), o.J.).

In *Arabidopsis thaliana* und dem Cyanobakterium *Synechocystis* hat man die ersten Gene identifiziert, die für Enzyme der Vitamin-E-Biosynthese kodieren. Damit konnten bereits erfolgreich Pflanzen hergestellt werden, die veränderte Vitamin E-Mengen oder Zusammensetzungen aufweisen (Kempken, 2003, S. 148).

3.1.2.5 Lagerungsfähigkeit

In den Industrieländern stehen eine Anzahl von Früchten und Gemüse dem Verbraucher ganzjährig zur Verfügung. Die geernteten Nutzpflanzen müssen gelagert und oft über weite Strecken transportiert werden. Daraus ergibt sich das Problem der Haltbarkeit, denn reifen die Früchte zu schnell, werden sie weich und unansehnlich (Kempken, 2003, S.148).

Deshalb werden beispielsweise Tomaten noch grün geerntet und gekühlt transportiert. Damit die Früchte heranreifen können und ihre schöne rote Farbe erhalten werden sie mit Ethylen begast. Bei Ethylen handelt es sich um ein Gas, das bei höheren Pflanzen als Hormon wirkt und für Wachstum und Reifung verantwortlich ist (Minol, Gassen, 1996, S. 143).

Die Flavr-savr-Tomate wurde mit dem Ziel entwickelt, eine Tomate zu erhalten, die möglichst lange am Strauch natürlich ausreifen kann, um so ein besonders volles Aroma erreichen zu können, ohne jedoch bei der Ernte und dem darauf folgenden Transport weich zu werden. Natürlicherweise verrotten Tomaten, um ihre Samen freizusetzen. Zu diesem Zweck produziert die Pflanze Enzyme, die die Zellwände abbauen. Unter diesen Enzymen befindet sich auch die Polygalacturonase, die das Pektin im Gewebe der Tomate abbaut. Pektin sorgt im Pflanzengewebe für eine gewisse Festigkeit (Reggenass-Klotz, 2000, S. 115).

Mit Hilfe gentechnischer Methoden hat man die Polygalacturonase ausgeschaltet. Dazu hat man sich eines Antisense-Konstruktes bedient. Ein Teil des isolierten Gens für die Polygalacturonase wird einfach umgedreht und falsch herum hinter einen Promotor gesetzt, sodass nicht der Sense-Strang, sondern der Antisense Strang abgelesen und in RNA kopiert wird (Abb. 17). Diese RNA ist nicht informativ und kann daher nicht in ein Protein übersetzt werden. Allerdings ist die betreffende RNA komplementär zur m-RNA, in der die Information

zur Bildung des eigentlichen Proteins zwischengespeichert ist, dessen Synthese verhindert werden soll. Zwischen den beiden RNAs bildet sich ein RNA/RNA-Doppelstrang. Dadurch wird die Möglichkeit zur Translation der mRNA verhindert und somit die Synthese des unerwünschten Proteins unterbunden (Dingermann, 1999, S. 224).

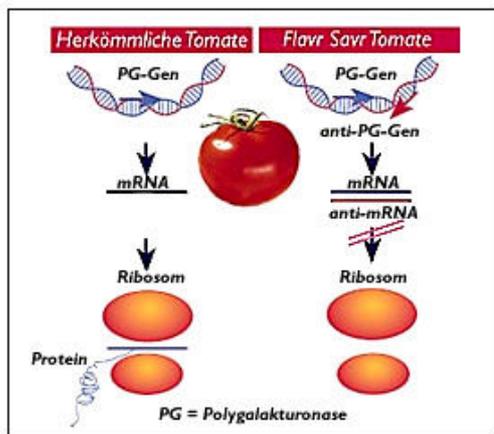


Abb. 17: Flavr-savr-Tomate

(<http://www.zum.de/Faecher/Materialien/beck/bilder/pabb20.jpg>; Stand: 0511.2006)

1994 kam die Flavr-savr-Tomate auf den Markt. Die Verbraucher waren zunächst sehr gespannt. Doch das Marketing der Herstellerfirma hatte zu viel versprochen. Flavr-savr schmeckte weder übermäßig gut, noch hielt sich diese Tomate signifikant länger. Die Tomate wurde in den Supermärkten nicht gekauft. 1996 wurde sie letztlich vom Markt genommen. Bis zu diesem Zeitpunkt hatte das Unternehmen Calgene, das vom Nahrungsmittelhersteller Campbell finanziell unterstützt worden war, 150 Millionen Dollar verloren. 1997 wurde Calgene schließlich von Monsanto aufgekauft (Zarcher, 2005, S. 13).

3.1.2.6 Reduktion von allergieauslösenden Stoffen

Unter einer Allergie versteht man eine Überreaktion des Immunsystems. Fremdkörper, die normalerweise harmlos sind, werden vom Immunsystem als gefährliche Eindringlinge betrachtet und deshalb angegriffen (www.kantonslabor-bs.ch, o.J.). Lebensmittelallergien werden häufig durch Nüsse, Kiwi und Soja hervorgerufen, was besonders problematisch ist, da gerade Nüsse und Soja Bestandteile vieler Nahrungsmittel sind. Allein Soja ist schätzungsweise in 20.000 Lebensmittelprodukten enthalten.

Neben erworbenen Lebensmittelallergien treten in der Bevölkerung noch vererbte Nahrungsmittelunverträglichkeiten auf. Weit verbreitet ist die Zöliakie, eine genetisch bedingte Unverträglichkeit des Dünndarms gegen Gluten, einem Eiweiß, das vor allem in Weizen, Roggen, Gerste und Hafer vorkommt. Die Zöliakie ist schwerwiegend, weil Gluten in vielen Lebensmitteln versteckt enthalten ist. Betroffene müssen eine lebenslange Glutenfreie Diät einhalten.

Bislang besteht der Umgang mit Allergien und Nahrungsunverträglichkeiten darin, das betreffende Lebensmittel zu meiden, was mitunter recht schwierig ist. Wissenschaftler arbeiten momentan daran, allergenfreie Pflanzen zu entwickeln.

Um allergenfreie Pflanzen zu erzeugen, muss zunächst das Allergie auslösende Protein identifiziert und seine Biosynthese in der Pflanze aufgeklärt werden. Danach wäre es möglich, die Enzyme die für die Bildung des Proteins verantwortlich sind, so zu verändern, dass sie das Protein verringert herstellen beziehungsweise das Enzym müsste vollständig ausgeschaltet werden, so dass überhaupt kein allergenes Protein mehr gebildet werden kann.

Es gibt bereits kleine Erfolge. So wurden zum Beispiel aus Reispflanzen Proteine mit allergenem Risiko isoliert und die dazu gehörenden Gene identifiziert. Mittels Antisense-RNA-Strategie ist es schließlich gelungen, die Menge des allergenen Proteins im Reis zu reduzieren (Kempken, 2003, S. 149).

Bei Erdnüssen hingegen macht das allergene Protein den Großteil des pflanzlichen Proteins aus, weshalb eine Elimination nicht möglich erscheint (Menrad, 2003, S. 92).

3.1.3 Männliche Sterilität zur Erzeugung von Hybridsaatgut

Bereits vor vielen Jahrzehnten hat man die Feststellung gemacht, dass Saatgut, welches aus der Tochtergeneration F1 zweier Hybride (Mischlinge) hervorgeht, wesentlich leistungsfähiger ist als herkömmliches Saatgut. Aus Hybriden stammendes Saatgut weist eine bessere physische Konstitution auf und liefert höhere Erträge im Vergleich zu üblichem Saatgut. Dieses Kennzeichen wird auch als Heterosiseffekt bezeichnet (Kempken, 2003, S. 162).

In der Natur entsteht Hybridsaatgut durch die Übertragung der Pollen der väterlichen Linie auf den Stempel der Blüte der mütterlichen Linie. Ein Problem stellt die Tatsache dar, dass viele Pflanzen selbstfertil sind, d.h. sich selbst befruchten können, was jedoch in der Praxis nicht erwünscht ist. Bei sich selbst befruchtenden Pflanzen kommen ausschließlich die mütterlichen Gene zum Tragen, eine Einkreuzung fremder Gene findet nicht statt, so dass der erwünschte Heterosiseffekt unterbleibt (Gassen, Minol, 1996, S. 411).

Um eine Selbstbestäubung zu vermeiden, entfernte man beispielsweise beim Maisanbau die männlichen Blüten manuell, was sehr arbeitsaufwändig war. Zudem war dieses Verfahren bei vielen anderen Pflanzen nicht durchführbar (Kempken, 2003, S. 162).

So war man darauf angewiesen, sich neuer Methoden zu bedienen, um eine männliche Sterilität bei Nutzpflanzen herbeizuführen. Auf diese Methoden soll an dieser Stelle jedoch nicht eingegangen werden. Es sei hier nur angemerkt, dass die Erzeugung männlicher steriler Nutzpflanzen insgesamt sehr aufwändig ist, weshalb man gezielt nach Genabschnitten gesucht hat, die in der Lage sind, eine männliche Sterilität herbeizuführen (Minol, Gassen, 1996, S. 411).

Die gesuchten Genabschnitte wurden schließlich in dem Bakterium *Bacillus amyloliquefaciens* entdeckt. Das die männliche Sterilität bei Nutzpflanzen erzeugende Enzym im Bakterium wird Barnase genannt, und wird von dem Bakterium in die Umgebung abgegeben, um die RNA konkurrierender Bakterien abzubauen. Das Bakterium selbst schützt sich vor dem Abbau seiner eigenen RNA, indem es das Enzym Barnstar bildet; ein Protein, welches die Barnase hemmt.

In der Pflanze sorgt das Enzym Barnase durch einen spezifischen Promotor - den TA 29 - dafür, dass das Enzym nur in den Tapetumzellen wirksam werden kann und dort die RNA abbaut (Kempken, 2003, S. 111). Bei den Tapetumzellen handelt es sich um die Zellschicht, die die Pollenzellen während der Entwicklung mit Nährstoffen versorgt (Gassen, Minol, 1996, S. 142). Als Folge sterben die Tapetumzellen ab, und der Pollen degeneriert mangels ausreichender Nährstoffversorgung.

Für die kommerzielle Anwendung von männlichen sterilen Pflanzen ist es aber notwendig, wieder fertile Pflanzen zu erhalten, damit sich erneut Pollen bilden, die weibliche Linien von

Pflanzen bestäuben können und somit wieder Hybridsamen gebildet werden kann (Kempken, 2003, S. 164). Dazu hat man Pflanzen der gleichen Art geschaffen, die statt des Gens für die Barnase ein Gen für das Enzym Barstar enthalten. Kreuzt man beide Pflanzen, so sind die männlichen Sexualorgane der Nachkommen wieder fertil, da das Barstargen mit der Barnase einen Komplex bildet, wodurch das Barnasegen inaktiviert wird (Dingermann, 1999, S. 223-224). Dementsprechend kann in den Tapetumzellen keine RNA abgebaut werden. Die Tapetumzellen bleiben unbeschädigt, so dass sich wieder normal Pollen bilden kann. Das Barnase-Barstar-System wird erfolgreich bei Raps, Tomate und Mais eingesetzt.

Eine weitere Methode, männliche sterile Pflanzen zu erhalten, beruht auf der Verwendung eines Gens aus dem Bakterium *E.coli*, das für die N-Acetyl-L-Ornithinacetylase exprimiert. Unter Verwendung des gleichen Promotors wie beim Barnase-Barstar-System wird auch hier die Expression des Gens nur auf die Tapetumzellen beschränkt. Werden die Pflanzen nun zur Blüte mit dem Wirkstoff N-Acetyl-L-Phosphinothricin besprüht, so wird diese nicht toxische Verbindung durch das Enzym N-Acetyl-L-Ornithinacetylase in den Wirkstoff L-Phosphinothricin, einem Glufosinat, umgewandelt. Dieses Herbizid tötet die Tapetumzellen ab.

Der Vorteil letzterer Methode liegt darin, dass die Pflanzen allein durch das Besprühen männlich steril werden und die Nachkommen stets fertil sind. Nachteilig an dieser Methode ist, dass das Besprühen der Pflanzen durch negative Umwelteinflüsse nicht immer sicher gewährleistet ist (Kempken, 2003, S. 163–165).

3.2 Nachteile

Kritiker der grünen Gentechnik sehen einige große Probleme für die Menschheit.

Sie mutmaßen, dass sich gentechnisch veränderte Organismen (GVO) durch vertikalen bzw. horizontalen Gentransfer ungewollt in der Natur ausbreiten und dadurch Folgeprobleme verursachen können. Besonders gefürchtet ist hierbei die Entstehung von Resistenzen bei Pflanzenschädlingen. Außerdem argwöhnen sie, dass GMO bisherige Arten und Gene verdrängen könnten. Dieser Verdrängungsprozess könnte noch verstärkt werden, falls Bauern vermehrt von der breiten Vielfalt der natürlichen Pflanzen auf die wenigen GMO-Produkte der Agro-Konzerne umsteigen. Die schon durch Klimawandel und Verschlechterung wichtiger

Lebensräume gefährdete Biodiversität würde noch weiter verringert. Arten und mit ihnen Gene, die sich in Zukunft als wichtig erweisen könnten, würden so auf immer vernichtet werden. Sie äußern zudem die Besorgnis, dass Unverträglichkeiten und allergische Reaktionen beim Menschen durch den Verzehr transgener Pflanzen und daraus hergestellter Lebensmittel auftreten könnten.

3.2.1 Vertikaler Gentransfer

Unter vertikalem Gentransfer versteht man die sexuelle Erbübertragung von Eltern auf Nachkommengenerationen mit Hilfe von Pollen innerhalb einer Art bzw. auf verwandte Arten und Gattungen. Im letzteren Fall spricht man von einer Hybridisierung. Voraussetzung für eine Hybridisierung sind gleichzeitiges Blühen von Spender- und Empfängerpflanze und ein starker Überhang an Spenderpflanzen im Vergleich zu Empfängerpflanzen (www.wiz.uni-kassel (a), 2004/05).

Zu Auskreuzungen in Europa und in Deutschland kommt es vor allem bei Nutzpflanzen wie der Zuckerrübe und dem Raps. Für die Zuckerrübe wurden beispielsweise Einkreuzungen von Transgenen in nah verwandte Kulturarten wie Schnittmangold, Blattmangold, Rote Bete, Gelbe Bete und Futterrüben belegt. Darüber hinaus ist die Einkreuzung in verwandte Wildarten wie die Wildrübe möglich. Bei transgenem Raps wurden unter Freilandbedingungen Hybridisierungen mit Rübsen, Ruderalraps, Grausenf, Ackersenf, Sareptasenf und Schwarzem Senf nachgewiesen (Abb. 18) (www.blauen.institut.ch (a), o.J.).



Rübsen
(*Brassica rapa*)

Hederich
(*Raphanus raphanistrum*)

Grausenf
(*Hirschfeldia incana*)



Abb. 18: Auskreuzung des Rapses auf verwandte Pflanzen

(<http://www.unet.univie.ac.at/~a9802743/Artikel/Auskreuzung-powerpoint-korrigiert.ppt>; Stand: 28.10.2006)

Unter Einbeziehung der gesamten Flughöhe befinden sich in 100m Entfernung von einem Rapsfeld noch zwischen 64% und 75% der Pollen in der Luft. Die Verbreitung der Pollen erfolgt darüber hinaus noch durch Insekten, an denen Pollen haften. Hier sind besonders in Bezug auf Raps die Schädlinge Rapsglanzkäfer und Kohlschotenrüssler zu nennen. Aber auch Schmetterlinge, Bienen und Schwebfliegen verbreiten die Pollen auf diesem Wege (www.wiz.uni-kassel (b), 2004/05).

Besonders Bienenvölker, die einen Flugkreis von drei bis zehn Kilometern haben, können sehr zur Verbreitung von transgenen Pollen beitragen (Zarzer, 2005, S. 126).

Aber auch transgene Samen können z.B. durch Kleintiere verbreitet werden. So sammeln Mäuse verstreute Samen ein und legen damit Wintervorräte an, von denen aber nicht immer alle gefressen werden. Vögel sammeln die Samen vom Feld ab. Die Samen können die Verdauungspassage der Vögel überleben oder die Vögel werden von natürlichen Feinden erlegt und so die Samen freigesetzt. Die Wahrscheinlichkeit, dass es zu einer Auskreuzung kommt, ist von mehreren Faktoren abhängig, die berücksichtigt werden müssen. Zunächst muss erwogen werden, dass eine Auskreuzung nur stattfinden kann, wenn verwandte Kreuzungspartner vorhanden sind. Die daraus entstehenden Hybride müssen zudem fortpflanzungsfähig sein, damit das transgene Erbgut überhaupt weitergegeben werden kann. Des Weiteren muss die Überlegung angestellt werden, ob die so entstandenen Kreuzungsnachkommen aufgrund der neu erworbenen transgenen Eigenschaft einen selektiven Vorteil besitzen, so

dass sie sich langfristig im Ökosystem etablieren, eventuell aber auch nachteilige Auswirkungen verursachen können.

Bezüglich der Auskreuzung auf Arten bestehen große Unterschiede. Da verschiedene wichtige Kulturpflanzen in Deutschland keine verwandten Wildarten besitzen, in die sie einkreuzen könnten (wie z.B. Mais, Kartoffel, Tomate, Soja, Zuckerrübe, Rotklee), bzw. strenge Selbstbefruchter sind (z.B. Weizen, Reben) oder sich vegetativ vermehren und steril sind (z.B. Kartoffel), ist eine Auskreuzung entweder gar nicht möglich oder zumindest höchst unwahrscheinlich. Anders verhält es sich beim bereits erwähnten Raps, der in Deutschland verwandte Wildkrautpopulationen besitzt und fremdbestäubend ist (www.wiz.uni-kassel.de (c), 2004/05).

So konnte wissenschaftlich gezeigt werden, dass die Glyphosat-Resistenz von Raps auf Rüb-
sen (*Brassica rapa*) übertragen werden kann, wobei die Hybriden fertil und herbizidresistent sind (Menrad, 2003, S. 197).

Weiterhin muss geprüft werden, ob das aus der Kulturpflanze erworbene transgene Gen der Wildpflanze einen selektiven Vorteil verschafft. Eine Übertragung von Krankheits- und Schädlingsresistenzen auf verwandte Wildpflanzenarten würde den Nachkommen nur dann einen selektiven Vorteil vermitteln, wenn diese auch zum Wirtsspektrum der Schaderreger gehören würden. Einschränkend muss hier erwähnt werden, dass die Vermittlung einer Herbizidtoleranz auf eine Wildpflanzenart nicht zwangsläufig bedeuten muss, dass sich diese Eigenschaft im natürlichen Ökosystem ausbreiten muss. Die Herbizidresistenz wäre für die Wildpflanze nur dort von Vorteil, wo das Herbizid auch tatsächlich eingesetzt wird, d.h. auf dem Acker (www.wiz.uni-kassel.de (d), 2004/05).

Generell lässt sich sagen, dass die Wahrscheinlichkeit zur Auskreuzung mit zunehmender Distanz zwischen Pollenspender und -empfänger abnimmt. In Betracht gezogen werden muss auch noch die bei vielen Pflanzenarten oft begrenzte Lebensdauer des Pollens.

Im Hinblick auf die untersuchten Auskreuzungsraten verschiedener Pflanzensorten konnten mittels Versuchen nicht eindeutig festgelegt werden, ab bzw. bis zu welchen Entfernungen eine Auskreuzung erfolgreich ist. Es konnte aber festgestellt werden, dass die Auskreuzungsrate abhängig ist von dem Verhältnis der Größe von bestäubender zu bestäubter Pflanzen-

population. Weiterhin spielen die Wind- und Wetterverhältnisse, das Ausmaß an Insektenbestäubung (Vorkommen, Art, Radius), und die verwendete Sorte einer Pflanze eine Rolle (Menrad, 2003, S. 199). Die Ausbreitung des Pollens ist auch noch abhängig von seinem Gewicht und seiner Form sowie der unmittelbaren Umgebung (Bewuchs, Hindernisse) (www.blauen.institut.ch (b), o.J.).

Einkreuzungen durch transgene Pflanzen stellen keine Seltenheit dar und erweisen sich als ein globales Phänomen. So sind beispielsweise eingefügte Gene der Maissorte „Star Link“ der Firma Aventis auch in anderen Maissorten in den USA gefunden worden. Selbst in den abgelegenen mexikanischen Bergregionen sind Sequenzen von gentechnisch verändertem Mais gefunden worden. In Hawaii haben sich gentechnisch veränderte virusresistente Papayas in den gesamten Papayabestand der Insel eingekreuzt. In Kanada ist der größte Teil des angebauten Rapses zum Schutz vor Herbiziden gentechnisch verändert. Aus diesem Grund sehen sich kanadische Ökobauern außerstande, Ökoraps anzubauen. Sie haben deshalb vor Gericht geklagt, Raps anbauen zu können, ohne sich der Gefahr von Einkreuzungen mit transgenen Raps aussetzen zu müssen (www.wiz.uni-kassel.de (e), 2004/05).

Zum Schutz vor Auskreuzungen werden in Deutschland oft Mantelsaaten um die Felder der transgenen Pflanzen angelegt. Dabei handelt es sich um ca. 8 m breite Streifen, die aus nicht transgenen Pflanzen der gleichen Art bestehen. Sie sollen die transgenen Pollen abfangen. Man erhofft sich dadurch eine Einschränkung des Pollenfluges. Tatsächlich kann dadurch das Auskreuzungspotential reduziert werden (Kempken, 2003, S. 188).

Pflanzenforscher sind sich der potentiellen Ausbreitung von Fremdgenen durch Pollen bewusst. Seit Jahren wird daher intensiv nach Möglichkeiten geforscht um derartige Genübertragungen bei Pflanzen auszuschließen.

Eine mögliche Variante besteht darin, die gentechnische Veränderung nicht mehr im pflanzlichen Zellkern, sondern in Plastiden (Organellen) wie den Chloroplasten (grüne Blattkörner) vorzunehmen. Diese enthalten ebenfalls genetische Informationen, welche bei vielen Kulturpflanzen während der Befruchtung (im Gegensatz zur DNS im Zellkern vom männlichen Pollenkorn) nicht auf die weibliche Eizelle übertragen werden. Somit werden die Eigenschaften dieser Gene zur Fortpflanzung nicht an die Nachkommen weitervererbt. Bei verschiedenen

Pflanzenarten wie Tabak oder Reis ist diese Art der Geneinführung bereits gelungen (www.wiz.uni-kassel.de (f), 2004/05).

3.2.1.1 Horizontaler Gentransfer

Als Horizontaler Gentransfer wird die asexuelle Weitergabe von Genen über Familien- und Artgrenzen hinweg bezeichnet.

Es ist bekannt, dass ein solcher Transfer vor allem bei Prokaryonten wie z.B. Bakterien stattfindet, die durch verschiedene Mechanismen in der Lage sind, Genmaterial untereinander auszutauschen.

Im Fall von transgenen Pflanzen ist es denkbar, dass pflanzliche Gene, die von Mikroorganismen abgebaut werden, in das Genom dieser Kleinstlebewesen integriert werden und auf diese Weise - so die Befürchtung - könnte genetisches Material auch auf andere Organismen übertragen werden. So könnten beispielsweise Bakterien durch die Übertragung von transgenem Pflanzenmaterial resistent gegen Schädlinge, Viren und Herbizide werden.

In diesem Zusammenhang wird auch intensiv darüber diskutiert, inwiefern ein horizontaler Gentransfer von Antibiotikaresistenzgenen, die in vielen Pflanzen als Selektionsmarker dienen, möglich ist (Menrad, 2003, S. 199, 200).

Als Transfermechanismen kommen die Transformation, die Konjugation und die Transduktion in Frage.

Unter der Transformation versteht man die Fähigkeit von Mikroorganismen, freie DNA durch ihre Zellwand aufzunehmen. Dazu müssen die Mikroorganismen zunächst kompetent sein, was so viel heißt wie aufnahmebereit. Dies trifft immer dann zu, wenn die Mikroorganismen optimale Lebensbedingungen vorfinden, wie es z.B. bei verrottenden Pflanzenteilen der Fall ist.

DNA wird normalerweise sehr schnell im Boden abgebaut, kann aber durch die Adsorption an z.B. Tonteilchen über lange Zeit konserviert und anschließend wieder freigesetzt werden.

Bei der Konjugation findet der direkte Austausch meist zwischen Bakterien statt. Der Genaustausch kann aber auch zwischen Bakterie und Pflanze stattfinden. Die auszutauschende Erbinformation befindet sich in diesem Fall auf Plasmiden. Das sind ringförmige DNA-Stränge. Die Menge der gespeicherten Erbinformation auf dem Plasmid ist meist sehr gering und besteht oft nur aus einzelnen Resistenzinformationen. Als gut untersuchtes Objekt gilt *E. coli*. Bei diesem Bakterium sind 10-16% des Erbgutes durch Konjugation aufgenommen und somit nicht arteigen.

Eine weitere Variante des horizontalen Gentransfers ist die Transduktion. Bei diesem Mechanismus erfolgt der Gentransfer zwischen Mikroorganismen über Viren (www.wiz.uni-kassel.de (g), 2004/05).

Phagen, die eine Bakterienzelle infizieren, sind in der Lage, Teile der Bakterien-DNA von einem Bakterium auf ein anderes Bakterium zu übertragen. Im Fall von transgenen Pflanzen wird die transgene Gensequenz durch den Phagen auf ein Bakterium übertragen. Das pflanzliche DNA-Teilstück kann über Rekombination in das Chromosom des neu infizierten Bakteriums gelangen (www.fvdhgp.de, o.J.).

Neben der Hürde der Kompetenz im Falle der Transformation minimiert die Integration ins bestehende Genom und die Exprimierung der Gene die Wahrscheinlichkeit des Horizontalen Gentransfers beträchtlich (www.wiz.uni-kassel.de (h), 2004/05).

Bislang gibt es für die Annahme des Horizontalen Gentransfers nur vereinzelte Hinweise. So konnte beispielsweise im Bienendarm der Transfer eines Gens aus transgenen Pflanzen auf Bakterien beobachtet werden. Unter optimalen Laborbedingungen konnte zudem ein Gentransfer aus Zuckerrüben in ein Bakterium festgestellt werden (Menrad, 2003, S. 199).

3.2.1.2 Auswilderung transgener Pflanzen

Transgene Samen können durch Wind, Wasser, Tiere oder Menschen über zum Teil sehr weite Strecken verbreitet werden. Gelingt es ihnen, sich außerhalb der ursprünglich vorgesehenen landwirtschaftlichen Flächen zu etablieren und dort ohne den Eingriff des Menschen zu existieren, so bezeichnet man sie als „verwildert“. Dies gilt sowohl für transgene Kulturpflan-

zen als auch für Hybride, die durch Einkreuzung transgener Erbinformation in wild wachsende Pflanzen entstanden sind (www.blauen.institut.ch (a), o.J.).

Die Befürchtung, die mit der Auswilderung transgener Nutzpflanzen und ihrer Hybride einhergeht, ist, dass diese in der Lage sind, einheimische Pflanzen zurückzudrängen (Menrad, 2003, S. 200).

Das Verwilderungsvermögen hängt u. a. von der Durchsetzungsfähigkeit der Art ab sowie von der Anzahl der Individuen, die erforderlich sind, um eine neue Population zu gründen (www.blauen.institut.ch (b), o.J.).

Tendenziell verringert sich das Auswilderungspotential von transgenen Nutzpflanzen mit dem Grad ihrer züchterischen Bearbeitung. So sind die meisten der in Deutschland angebauten Kulturarten relativ wenig konkurrenzfähig. Eine Ausnahme stellt Raps dar, der zum einen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen häufig Durchwuchsprobleme verursacht, zum anderen regelmäßig verwildert und an so genannten Ruderalstandorten wie z.B. Wegrändern oder Schuttplätzen auftritt (Menrad, 2003, S. 200).

Die verwilderten Kulturpflanzen können an ihrem neuen Standort transgene Pollen bilden, was wiederum zu einem Eintrag transgener Erbinformation in ursprünglich gentechnikfreie Kulturen der Umgebung führen kann (www.blauen.institut.ch (c), o.J.).

Wissenschaftler haben transgene Pflanzen in solche unterteilt, die ein hohes Risiko zur Auswilderung haben und in solche, die ein geringes Risiko besitzen. Ein hohes Auskreuzungsrisiko beherbergen demzufolge transgene Pflanzen, die über Gene verfügen, die die Fitness erhöhen. Dazu zählen insbesondere Resistenzgene, aber auch Gene die die Öl- und Stärkezusammensetzung beeinflussen, wodurch z.B. die Überwinterungsfähigkeit der Pflanzen verbessert wird.

In diesem Zusammenhang sehen Wissenschaftler eine besonders große Gefahr der Auskreuzung bei zukünftigen transgenen Pflanzen, die Toleranzen gegen abiotische Faktoren wie Nässe, Dürre, Salzgehalt oder Nährstoffmangel aufweisen, da diese Faktoren die Überlebensfähigkeit erheblich (Menrad, 2003, S. 201, 202).

3.2.1.3 Einschränkung der Biodiversität

Der Begriff Biodiversität bedeutet nicht nur Artenvielfalt, sondern beinhaltet auch die genetische Vielfalt innerhalb von Arten.

Darüber hinaus schließt der Begriff der Biodiversität auch die Wechselwirkung dieser so genannten Artenvielfalt auf die nahe ökologische Umgebung mit ein, und gibt Auskunft darüber, wie beispielsweise eine spezifische Artenvielfalt das ökologische System im Hinblick auf Landschafts- und Populationsstruktur sowie bestimmte Stoffkreisläufe beeinflusst. Anders als der klassische Naturschutz umfasst die Biodiversität nicht nur wildlebende Tiere und Pflanzen, sondern auch jene Genotypen, die vom Menschen gezüchtet werden.

Kritiker der Gentechnik fürchten, dass die Vorteile, die transgene Pflanzen im Vergleich zu herkömmlichen Nutzpflanzen mit sich bringen, dazu führen könnten, dass transgene Nutzpflanzen verstärkt angebaut werden und Verbreitung finden, wodurch die existierende Artenvielfalt erheblich eingeschränkt werden würde, was wiederum Auswirkung auf das bestehende Ökosystem haben dürfte.

Bereits seit Jahrhunderten versucht der Mensch auf züchterischem Wege immer wieder in die bestehende Artenvielfalt einzugreifen. Die zunehmende Intensivierung der Landwirtschaft in den Industrieländern und die damit einhergehende Spezialisierung und Rationalisierung bewirkte eine Einschränkung der Kulturartenvielfalt auf wenige Nutzpflanzen. Darüber hinaus kam es aufgrund einer sich entwickelnden systematischen Pflanzenzüchtung, der Zulassungskriterien für neue Sorten (u. a. Homogenität) und der gesetzlichen Regelungen zum Handel mit Saatgut auch zu einer Einengung der genetischen Vielfalt innerhalb dieser Pflanzenarten.

Diese Entwicklung spiegelt sich z.B. in der Verbreitung weniger Hochleistungssorten. Viele ältere Sorten verfügen aufgrund dieser Kriterien über keine Zulassung mehr und dürfen deshalb nicht gehandelt werden.

Auch wenn die derzeitigen aktuellen Sorten bei entsprechender Düngergabe hohe Erträge liefern, besteht aufgrund der schmalen genetischen Basis solcher Sorten ein hoher Krank-

heitsdruck. Schadorganismen finden hierdurch ideale Bedingungen für eine schnelle Ausbreitung, was bedingt, dass der Bedarf an Pestiziden gesteigert wird.

Vielfach konnte belegt werden, dass weniger hochgezüchtete Sorten und ein genetisch weniger einheitlicher Bestand in der Regel eine höhere Widerstandsfähigkeit gegen abiotischen Stress, wie Nährstoff- und Wassermangel, Trockenheit und erhöhten Salzgehalt aufweisen. Diesen Umstand macht sich beispielsweise die ökologische Landwirtschaft zunutze.

Ähnlich negative Folgen wie bei den bereits erwähnten Hochleistungssorten befürchten Kritiker beim verstärkten Anbau transgener Pflanzensorten.

Dass ein verstärkter Anbau von genetischen Nutzpflanzen zu einer Einschränkung genetischen Pflanzenmaterials führen könnte, ist Wissenschaftlern seit langem bekannt. Um die genetische Vielfalt von Zuchtmaterial abzusichern, haben Wissenschaftler deshalb weitläufige Gendatenbanken angelegt in denen das Genmaterial archiviert ist (www.food-monitor.de (c), o.J.).

3.2.1.4 Toxische Effekte auf Tiere im Ökosystem

Der Anbau insektenresistenter Sorten kann nicht nur die Population des Target-Insekts negativ beeinflussen, sondern auch unbeteiligte Organismen in Mitleidenschaft ziehen (www.food-monitor.de (d), o.J.). Zu diesen gehören Mikroorganismen sowie niedere und höhere Tiere, die sich von solchen Pflanzen ernähren.

Am weitesten verbreitet und daher am besten untersucht sind die in resistenten Pflanzen enthaltenen Bt-Toxine, die z.B. beim Maisanbau als Schutz vor der Raupe des Maiszünslers dienen. Der Verzehr des Maises durch die Raupe des Maiszünslers setzt das betreffende Toxin frei, das zu einer irreversiblen Durchlässigkeit der Darmwand beim Insekt und damit zu dessen Tod führt.

Die Wirkungen von Bt-Sprays, die im ökologischen Landbau Anwendung finden, werden derzeit intensiv untersucht. Die Auswirkungen dieser aufgesprühten Gifte sind aber nicht mit den Bt-produzierenden Pflanzen gleichzusetzen. Während die aufgesprühten Gifte nur für

kurze Zeit haltbar sind und relativ schnell abgebaut werden, produzieren Bt-Pflanzen besagtes Gift über den gesamten Zeitraum der Vegetationsperiode. (www.gene.ch, 2000).

Eine Gefährdung von Wirbeltieren durch Bt-Toxine scheint nur in geringem Umfang zu bestehen. Die orale Aufnahme von Bt-Präparaten war für die bisher getesteten Säugetiere ungefährlich, da die Bt-Toxine im sauren Milieu des Wirbeltiermagens nur für kurze Zeit existieren können. Tests wurden an Mäusen, Fasanen, Hühnern, Wachteln, Schafe, Schweine, Fischen und dem Menschen durchgeführt (Menrad, 2003, S. 203).

In Zusammenhang mit der Kommerzialisierung von Bt-Sorten wurde in den USA eine Studie von Gegnern der Gentechnik? mit der Fragestellung durchgeführt, ob der Anbau von Bt-Mais die Population des Monarchfalters in den USA beeinträchtigen könne. Die Studie bestand ausschließlich aus Laborversuchen, in denen mit Pollen von Bt-Mais präparierte Pflanzen an Larven des Monarchfalters verfüttert wurden. Die Ergebnisse deuteten daraufhin, dass das über den Pollen aufgenommene Bt-Toxin eine toxische Wirkung auf die Larven besitzt (www.food-monitor.de (e), o.J.). Die Studie ist heftig umstritten. Befürworter der Gentechnik führen an, dass das Experiment unter Bedingungen durchgeführt worden sei, die entschieden von denen im Freiland abweichen. So wird im Freiland Maispollen nur während einer kurzen Zeit der Vegetationsperiode gebildet und überlappt sich mit dem Larvenstadium des Monarchfalters nur geringfügig (Menrad, 2003, S. 203). Ferner führen die Befürworter an, dass sich die Raupen des Monarchfalters normalerweise von einem Wolfsmilchgewächs ernähren, das nicht direkt neben Maisfeldern wächst (Kempken, 2003, S. 194). Zum anderen seien in der Regel nur Seidenblumenpflanzen von der Polleneinlagerung betroffen, welche sich in unmittelbarer Nähe eines blühenden Maisfeldes befinden. Es sei ungeklärt, so meinen die Befürworter, ob der Monarchfalter mit Pollen verunreinigte Seidenblumen als Nahrung nutzen würde, wenn andere Pflanzen wie beispielsweise besagtes Wolfsmilchgewächs als Nahrung zur Verfügung stünden (Menrad, 2003, S. 203).

Spekuliert wird zudem über eine indirekte Gefährdung von Nicht-Target-Organismen. Es gibt Hinweise darauf, dass Insektenarten wie die Florfliege oder der Marienkäfer, deren Nahrungsquelle solche Organismen sind, die das Bt-Toxin direkt aufnehmen, auf indirektem Wege geschädigt werden könnten. Inwieweit das Bt-Toxin hier ein Gefährdungspotential darstellt, ist durch Untersuchungen nicht geklärt.

Auch eine Schädigung von Bodeninsekten und Bodenfauna kann durch Genpflanzen auftreten, weil diese ihr Gift an den Boden abgeben, dessen Tonpartikel sich damit anreichern. Die gesamte Bodenfruchtbarkeit wird somit in Mitleidenschaft gezogen (www.food-monitor.de (f), o.J.).

3.2.1.5 Resistenzentwicklungen gegen transgene Pflanzen

Unter Resistenz versteht man im Allgemeinen die Fähigkeit eines Organismus, ob Pflanze, Bakterium, Pilz oder Tier, im Gegensatz zu anderen Organismen derselben Art einen bestimmten äußeren Einfluss zu tolerieren (www.umweltbundesamt.at (a), 2000).

Eine Resistenzentwicklung gegen Schädlinge oder Herbizide ist schon bei herkömmlichen Pflanzen im konventionellen Landbau zu beobachten und kann daher auch beim Einsatz resistenter transgener Pflanzen beobachtet werden (Menrad, 2003, S. 204). Aus der konventionellen Landwirtschaft weiß man, dass enge Fruchtfolgen und im Extremfall Monokulturen, verbunden mit dem Einsatz stets gleicher Pflanzenschutzmittel, die Entwicklung resistenter Schadorganismen begünstigen (www.dfg.de (a), 2004).

Generell kann davon ausgegangen werden, dass alle Schaderreger das Potential zur Ausbildung von Resistenzen besitzen. Wichtige Parameter zur Entstehung von Resistenzen stellen der Genotyp des entsprechenden Organismus und der vorhandene Selektionsdruck dar.

Das Vererbungsmuster, das von den Genotypen festgelegt wird, stellt einen wichtigen Faktor für die Resistenzentwicklung von Schaderregern dar. Es umfasst sowohl den Vererbungsmechanismus (dominant, intermediär, rezessiv) als auch die Frequenz der Resistenzallele. Der Selektionsdruck, der auf die Schadorganismen wirkt und sie zur Bildung von Resistenzen veranlasst, ist abhängig vom Expressionsniveau und -muster der gebildeten Bt-Gifte in transgenen Pflanzen oder dem Grad der eingesetzten Komplementärherbizide und der Größe der Anbaufläche transgener Pflanzen (www.umweltbundesamt.at (b), 2000).

Im Mittelpunkt bei herbizidresistenten Pflanzen stehen die dominierenden Resistenzen gegen die Wirkstoffe Glyphosat und Glufosinat, die in diversen Pflanzenschutzmitteln enthalten sind (Menrad, 2003, S. 204).

Bei jedem Herbizid, das in großem Umfang eingesetzt wird, ist zu erwarten, dass Unkräuter unter diesem hohen Selektionsdruck Resistenzen gegen diese Herbizide entwickeln. 1996 wurde erstmalig berichtet, dass ein glyphosatresistentes Gras (*Lolium rigidum*) in Australien durch RoundUp nicht mehr beseitigt werden konnte. Dieser Fall hat Aufsehen erregt, weil eine Resistenzbildung gegen Glyphosat bis dahin für sehr unwahrscheinlich gehalten wurde.

Im Fall von transgenen Pflanzen können Unkräuter aber nicht nur auf klassischem Wege Resistenzen entwickeln. Gentechnisch veränderte herbizidresistente Pflanzen können ihre Transgene auch auf verwandte Kultur- oder Wildpflanzen und Unkräuter übertragen, so dass diese ebenfalls resistent gegen die betreffenden Herbizide werden (siehe dazu auch das Kapitel Auskreuzung). Diese Pflanzen können, wenn sie sich ausbreiten, als Unkräuter in verschiedensten landwirtschaftlichen Kulturen, die mit den entsprechenden Komplementärherbiziden behandelt werden, Probleme verursachen.

Kritiker der Gentechnik sehen bei der Entwicklung von Herbizidresistenzen die Gefahr, dass die verwendeten Komplementärherbizide vermehrt gegen Unkräuter aufgebracht werden müssen, um überhaupt wirksam sein zu können. Es ist sogar anzunehmen, dass die Komplementärherbizide durch stärkere und damit schädlichere Unkrautbekämpfungsmittel ersetzt werden müssen.

Auch bei insektenresistenten transgenen Pflanzen gibt es Befürchtungen, dass bei einem großflächigen Anbau von Bt-Pflanzen die relativ umweltfreundlichen Bt-Toxine durch Resistenzentwicklungen der Schädlinge rasch unbrauchbar würden (Menrad, 2003, S. 204).

Bislang wurden nur wenige Resistenzen gegen Bt-Präparate bei Schädlingen von Nahrungspflanzen gefunden, wie z.B. bei der Kohlschabe. Allerdings sind die resistenten Populationen der Kohlschabe auf massive Spritzungen mit Bt-Präparaten zurückzuführen.

Laboruntersuchungen haben gezeigt, dass Insekten gegen einzelne Bt-Toxine, wie sie in transgenen Pflanzen enthalten sind, resistent werden können. Ersten Berichten zufolge traten resistente Stämme von der Kohlschabe auf Bt-Raps und von Raupen der Baumwolleneule sowie des roten Kapselwurmes auf Bt-Baumwolle auf. Diese Resistenzen werden wahrscheinlich rezessiv vererbt.

Allgemein wird für transgene Bt-Pflanzen eine schnellere Resistenzentstehung als gegen Bt-Sprays angenommen, da Pflanzensorten im Vergleich zu Bt-Sprays in der Regel nur ein einzelnes sehr wirksames Toxin enthalten, das dann in allen Wachstumsstadien in allen Pflanzenteilen exprimiert wird (Menrad, 2003, S. 205).

Um einer erhöhten Resistenzentwicklung bei Schadinsekten gegenüber Bt-Toxinen der transgenen Pflanzen vorzubeugen, werden verschiedene Resistenzmanagements erwogen.

So sollen beispielsweise Refugien nicht transgener Wirtspflanzen neben solchen angebaut werden, die Bt-Toxine in hohen Konzentrationen bilden. Auch die gleichzeitige Anwendung verschiedener Toxine ist im Gespräch. Eine weitere Überlegung ist der Einsatz von Toxingenen mit induzierbaren Promotoren.

Weitere Forschungen sind hier notwendig, da die Mechanismen von Resistenzentwicklungen unter Freilandverhältnissen im Detail noch unverstanden sind (www.dfg.de (b), 2004).

3.2.1.6 Entstehen neuer Viren

Eine besondere Art von Gefährdung für die Umwelt stellen virusresistente transgene Pflanzen dar. Da ihre Transgene häufig viralen Ursprungs sind, besteht die Möglichkeit einer Rekombination mit Pflanzenviren.

Der Begriff der Rekombination beschreibt dabei den Austausch von Gensequenzen von Viren untereinander. Befällt beispielsweise ein Virus A eine transgene Pflanze, der man Gene des Virus B eingefügt hat, so kann sich das genetische Material des Virus A mit den eingefügten Genen des Virus B mischen (rekombinieren), wodurch ein neues Virus C entsteht.

In mehreren Laboruntersuchungen konnte gezeigt werden, dass das so rekombinante Pflanzenvirus mitunter virulenter sein kann, d.h. dass es stärkere Krankheitssymptome verursachen und damit vermehrt sowohl Nutz- als auch Wildpflanzen schädigen kann. Auch konnte in Laborversuchen nachgewiesen werden, dass rekombinante Pflanzenviren ein erweitertes Wirtsspektrum besitzen.

Ändert sich beispielsweise das Wirtsspektrum, so kann das rekombinante Virus unter Umständen Wildpflanzen infizieren, die es vorher nicht infizieren konnte. Als Folge könnte sich

die natürliche Zusammensetzung der bestehenden Pflanzenpopulation verändern, was Auswirkungen auf das gesamte Ökosystem hätte (www.nabu.de (b), o.J.).

3.2.1.7 Beurteilung der Nutzungsintensität beim Anbau transgener Pflanzen

Von Seiten der Hersteller wird häufig angeführt, dass herbizidresistente Pflanzen bzw. Bt-Pflanzen (*Bacillus thuringiensis*-resistente Pflanzen) zur Reduktion der aufgetragenen Mengen an Herbiziden und Spritzmitteln gegen Schadinsekten führten. Auch kämen durch die Anwendung von Breitbandherbiziden weniger bedenkliche Herbizide zum Einsatz. Beides, so Befürworter, schone die Umwelt. Außerdem würden durch den Einsatz von Herbiziden und Bt-Pflanzen deutlich höhere Erträge erzielt (Menrad, 2003, S.206).

Breitbandherbizide, wie sie bei transgenen Pflanzen Anwendung finden, verfügen im Vergleich zu gewöhnlichen Herbiziden über ein sehr breites Wirtsspektrum. Sie vernichten bis auf die Genpflanze alles pflanzliche Leben. So werden auch Ackerunkräuter zerstört, die Nahrung für Insekten bieten, von denen sich Vögel und Säugetiere ernähren (www.dosto.de (a), 2004).

Die Anwendung von Breitbandherbiziden bringt den Vorteil mit sich, dass der Boden weniger bearbeitet werden muss. Denn das Feld muss erst beim Entstehen der Unkräuter mit Herbiziden bespritzt werden. Dadurch entfällt die Notwendigkeit für den Bauern, das Feld vor dem Aufbringen der Saat umpflügen zu müssen, damit die im Boden befindlichen Samen von Unkräutern nicht auskeimen können.

Da die herbizidresistenten Pflanzen dem Boden so erlauben, länger mit Unkräutern und Pflanzenresten bedeckt zu bleiben, vermindert sich so auch die Gefahr der Bodenerosion. Durch die verringerte Bodenbearbeitung entsteht zudem weniger Staub, der Austrag von Pflanzenschutzmitteln ist geringer und die Wasserhaltefähigkeit des Bodens verbessert sich. Der Nachteil besteht darin, dass durch das fehlende Umpflügen die Unkräuter nicht vorzeitig am Wachstum gehindert werden. Es bilden sich daher vermehrt Unkräuter, die verstärkt durch Herbizide bekämpft werden müssen. Die verwendete Menge an Herbiziden nimmt deshalb zu (www.profil.iva.de, o.J.).

Die Behauptung von Befürwortern der Gentechnik, dass sich durch den Einsatz von transgenen Pflanzen die aufgewendete Menge an Spritzmitteln deutlich reduziert hätte, ist nicht haltbar.

In diesem Zusammenhang sei auf eine Studie von Charles Benbrook, Agrarökonom und ehemaliger Geschäftsführer des Landwirtschaftsausschusses der US-Akademie der Wissenschaften verwiesen. Die Studie umfasst mehrere Technical Papers, in denen Benbrook alle vorhandenen Daten seit der Einführung der Gentechnik in den USA bis zum Jahre 2003, die Auskunft über den Einsatz von Spritzmitteln geben, zusammenfasst und auswertet. „Gentechnisch veränderte Pflanzen und der Verbrauch an Pflanzenschutzmitteln in den USA: Die ersten neun Jahre“ ist der siebte und derzeit aktuellste Bericht in der Serie Technical Papers, die von Benbrook erstellt wurden.

Die Studie zeigt, dass der Einsatz von Spritzmitteln auf den gentechnisch bebauten Feldern in den ersten drei Jahren zwar rückläufig war, seitdem jedoch wieder steigt. Dieses Anwachsen des Pestizidverbrauchs verursachen in erster Linie herbizidresistente Pflanzen wie Mais, Sojabohnen und Baumwolle. Bei den insektenresistenten Pflanzen wie Mais und Baumwolle war dagegen ein Rückgang des Pestizidverbrauchs um 5% zu beobachten. Da in den USA jedoch weitaus mehr herbizid- als insektenresistente Pflanzen angebaut werden, ist der Pestizidverbrauch seit 1996 insgesamt wieder gestiegen (Zarzer, 2005, S. 118).

Eine weitere Untersuchung zum Thema Herbizideintrag, die von Greenpeace kritisiert wird, wurde vom amerikanischen Gentechnikkonzern Monsanto in Auftrag gegeben. In der Studie wird der Herbizideintrag auf Feldern mit RoundUp-Ready-Sojabohnen geprüft. Diese Bohne ist gentechnisch gegen das Herbizid RoundUp der Firma Monsanto immun gemacht worden. In der Studie wurden die unterschiedlich hohen Auftragungsmengen verschiedener Herbizide (auch von anderen Herstellern) in Gewichtseinheiten miteinander verglichen. Unberücksichtigt blieb dabei die Art der verwendeten Herbizide. Ergebnis der Studie war, dass bei gentechnisch veränderten Sojabohnen in den USA weniger Herbizide eingesetzt werden müssen als bei herkömmlicher Soja.

Greenpeace stellt dieses Ergebnis in Frage, denn nach Ansicht der Umweltorganisation spielt auch die Art des verwendeten Herbizids eine wichtige Rolle. So entfalten einige Herbizide wie

RoundUp ihre Toxizität schon in kleinsten Mengen, während andere Herbizide ungiftiger sind und von den Landwirten in größeren Mengen aufgebracht werden müssen. Ein reiner Gewichtsvergleich ist demnach nicht aussagekräftig. Für eine ökologische Bewertung ist nach Meinung von Greenpeace allein die Giftigkeit der ausgebrachten Herbizide für die Umwelt von Bedeutung (Harreus, 1999, S. 226).

Ursache für den stagnierenden oder steigenden Verbrauch an Pflanzenschutzmitteln bei transgenen Pflanzen sind sich ausbildende Resistenzen gegen Herbizide oder Schadinsekten. Es ist nur eine Frage der Zeit, wann die transgenen Pflanzen ihre Wirksamkeit einbüßen, indem die Unkräuter unempfindlicher gegen Herbizide werden oder die Insekten sich den Giften in den Bt-Pflanzen anpassen (Zarzer, 2005, S. 21). An dieser Stelle sei auf das Kapitel 3.2.1.6 verwiesen, in dem die Ausbildung von Resistenzen ausführlich behandelt wird.

Ein zusätzliches Problem, das in Verbindung mit der Resistenzentwicklung zu sehen ist, ist die Auskreuzung. So können gentechnisch veränderte Pflanzen ihre Pollen auf andere verwandte Kultur- und Wildpflanzen übertragen und sich so mit diesen kreuzen. Die Hybride können dann ebenfalls herbizidresistent oder schadinsektenresistent sein.

Dieser Faktor und die Aussicht, dass HT-Pflanzen (herbizidresistente Pflanzen) und Bt-Pflanzen (*Bacillus thuringiensis*-resistente Pflanzen) ihre Wirksamkeit verlieren können, würde die Bauern in Zukunft dazu zwingen, mehr und problematischere Herbizide und Insektenvernichtungsmittel anzuwenden (Zarzer, 2005, S.15).

Zu einem hartnäckigen Unkraut ist bereits herbizidresistenter Gen-Raps geworden. Gen-Rapssorten, die jeweils gegen verschiedene Herbizide resistent waren, haben sich untereinander gekreuzt und sind nun gegen alle eingesetzten Breitbandherbizide resistent.

Bei etlichen Pflanzensorten führt die Genmodifikation zu einer zusätzlich erhöhten Anfälligkeit gegenüber anderen Schädlingen oder Krankheiten. Diese müssen dann wiederum mit Gift bekämpft werden. Selbst in Fällen, in denen kurzzeitige Rückgänge der eingesetzten Pestizidmenge zu verzeichnen sind, scheint dies nicht von Dauer zu sein. (www.dosto.de (b), o.J.).

Laut Aussagen chinesischer Forscher hätten Laboruntersuchungen gezeigt, dass die Empfindlichkeit des Schädling Baumwollkapselwurm, gegen den die genmodifizierte Baumwolle entwickelt wurde, nach 17 Generationen auf etwa ein Drittel des ursprünglichen Wertes gefallen sei. Die Forscher gingen davon aus, dass die Bt-Baumwolle nach etwa 8 – 10 Jahren durchgehenden Feldanbaus ihre Wirksamkeit gegen den Baumwollkapselwurm verlieren würde. Außerdem hätte der Bt-Baumwollanbau die natürlichen Feinde des Schädling reduziert. Die Pestizidreduktion fällt nicht so hoch aus wie angegeben. So muss z.B. gegen den Baumwollkapselwurm weiter gespritzt werden, und die Anfälligkeit der Bt-Baumwolle für andere Insekten scheint sich ebenfalls zu bestätigen (Zarzer, 2005, S. 52).

Als besonders positiv wird von Befürwortern der Gentechnik herausgestellt, dass die Wirkstoffe in Breitbandherbiziden wie Glufosinat und Glyphosat weniger gefährlich seien als die in herkömmlichen Herbiziden. So konnte beispielsweise bei dem Herbizid Atrazin eine hormonähnliche Wirkung in lebenden Organismen belegt werden. Mittlerweile ist Atrazin in Deutschland verboten.

Doch in den letzten Jahren mehren sich die wissenschaftlichen Hinweise darauf, dass Glyphosat bei weitem nicht so ungefährlich ist, wie oft angenommen wird. Das Institut für Veterinärpharmakologie und -toxikologie an der Universität Zürich zeigt zwei Fallbeispiele auf, in denen Tiere bereits unangenehme Bekanntschaft mit dem Unkrautvernichtungsmittel machten.

Im ersten Fall hatten vier junge Ziegen im Alter von drei Monaten Gras gefressen, welches zwei Wochen zuvor mit Glyphosat (RoundUp) behandelt worden war. Zwei Tiere starben, zwei zeigten nur Durchfall und eine leichte Dehydratation. Behandelt wurden sie mit Metamizol, Atropin und einer Mischinfusion. Sie erholten sich zwar, blieben aber kümmerer. Im anderen Fallbeispiel hatte eine fünf Jahre alte Kuh, die 500 kg wog, eine unbekannte Menge an Glyphosat aufgenommen. Sie zeigte eine halbe Stunde später Koliksymptome, Durchfall und Pansenatonie. Die Behandlung erfolgte mit einem Spasmolytikum, die Kuh erholte sich auch nur unzureichend. In Dänemark ist Glyphosat aufgrund der Gefahr von Grundwassereinträgen nicht mehr erlaubt (Zarzer, 2005, S. 117).

Auch die Behauptung von Befürwortern der Grünen Gentechnik, dass HT-Pflanzen und Bt-Pflanzen signifikant höhere Ertragssteigerungen mit sich bringen, hat sich nicht bewahrheitet. (An manchen Stellen ist sogar von Ertragssteigerungen von 80 - 300 % zu lesen). HT-Pflanzen und Bt-Pflanzen sind nicht direkt auf Ertragssteigerungen gezüchtet worden. Dazu bedarf es aufwändiger Verfahrens- und Züchtungsprozesse, die sich technisch schwierig gestalten. HT-Pflanzen und Bt-Pflanzen können lediglich indirekt höhere Ertragssteigerungen mit sich bringen, indem sie Verluste durch Unkrautwuchs oder Schädlingsbefall etwas ausgleichen (Zarzer, 2005, S.2).

Der Ertrag von gentechnisch veränderten Pflanzen liegt im Allgemeinen nicht über dem konventionell gezüchteter Sorten. Genmodifizierte Sojabohnen erzielen im Gegenteil einen Minderertrag von 6 - 10 %. Den Nachweis von geringfügigen Herbizideinsparungen gibt es nur für die ersten Jahre. Bei transgenen Zuckerrüben und Raps liegen die Erträge 5 - 8 % unter den konventionellen Vergleichssorten. In den USA verzeichnet man nur minimale Ertragssteigerungen bei Bt- Mais (www.dosto.de (c), 2004).

In Indonesien und insbesondere in Indien, im südlichen Bundesstaat Andrah Pradesh, dem Hauptanbaugebiet für Baumwolle, brachen nach dem großflächigen Anbau transgener Baumwolle die Erträge um 75 % ein. So mussten die indischen Bauern die Erfahrung machen, dass sich der Baumwollkapselwurm mit Hilfe der Bt-Technologie nur in begrenztem Umfang bekämpfen ließ. Es traten noch andere Schädlinge auf, und Spritzmittel mussten weiter eingesetzt werden. Außerdem erwies sich die Qualität der geernteten Baumwollfasern als minderwertig. Der Grund für dieses Phänomen ist vermutlich, dass die Genmodifikation den Stoffwechsel von Pflanzen auf nicht steuerbare Weise verändert. Letztlich waren die Kosten wesentlich höher als die Erlöse aus den Erträgen. So mussten die indischen Bauern das transgene Saatgut viermal so teuer bezahlen als konventionelles und waren daher aufgrund der Missernten hoch verschuldet. Im Mai 2005 griff der Staat ein und beantragte das Verbot transgener Baumwollpflanzen der Firma Monsanto (Zarzer, 2005, S. 57, 58).

3.2.2 Risiken durch den Verzehr gentechnisch veränderter Lebensmittel

Aufgrund der mangelnden Verbraucherakzeptanz sind gentechnisch veränderte Nutzpflanzen und Lebensmittel in Europa und in Deutschland noch selten in Geschäften zu finden. Die

meisten der genmodifizierten Nutzpflanzen (zu 80%), vor allen Dingen Soja und Mais, werden aus den USA und Argentinien in Europa und damit auch in Deutschland eingeführt und hier zu Tierfutter verarbeitet. Durch den Verzehr von Fleisch und tierischen Produkten gelangen gentechnisch veränderte Organismen auch in unsere Nahrungskette. Das genmodifizierte Futter muss zwar gekennzeichnet werden, aber den Landwirten wird es aufgrund künstlicher Verknappung zunehmend schwerer gemacht, sich für konventionelles, nicht genmodifiziertes Tierfutter zu entscheiden, zumal letzteres zu bedeutend höheren Preisen verkauft wird (www.umweltinstitut.org (a), 2004).

Die Hersteller behaupten, die lückenlose Trennung von kennzeichnungspflichtiger und nicht-kennzeichnungspflichtiger Ware in allen Stufen des Transports, der Lagerung und der Verarbeitung sei nahezu unmöglich und nehmen dies zum Anlass, auch weit unter dem Schwellenwert kontaminierte Futtermittel als Gen-Futter zu deklarieren. Dadurch können sie mit vermeintlich rarer gentechnikfreier Ware wesentlich höhere Gewinne erzielen (Zarzer, 2005, S. 27, 28).

3.2.2.1 Toxizität

Mögliche humantoxische Effekte von Lebensmitteln, die mit Hilfe der Gentechnik erzeugt werden, können über zwei Mechanismen entstehen.

Zum einen könnte die eingeführte DNA ein Protein herstellen, das selbst toxisch wirkt. Beispielsweise könnte sich die Übertragung eines Endotoxin-Gens aus dem Bakterium *Bacillus thuringiensis*, ursprünglich benutzt, um Raupenfraß bei Pflanzen zu verhindern, als Gefährdung für die Gesundheit des Menschen herausstellen.

B. thuringiensis-Endotoxine werden als Proteine von Bakterien bei der Sporenbildung synthetisiert. Durch Proteasen des Insektendarms werden sie in die aktive Form überführt. Dieses toxische Fragment bindet an spezifische Rezeptoren der Darmzellen von Insektenlarven und führt durch Zellschädigung zum Tode.

Seit 1969 sind in Deutschland Bt-Präparate auf dem Markt. Bisher konnten jedoch keine negativen Folgen durch über die Nahrung aufgenommene Proteine oder Protoxinkristalle im menschlichen Organismus nachgewiesen werden (Behrens, 1995, S. 202, 203).

Zum anderen können in der Pflanze durch die Einführung eines Fremdgens unerwartete Sekundäreffekte, worunter unerwünschte Nebeneffekte im Stoffwechsel der Pflanze verstanden werden, auftreten und zur Bildung toxischer Produkte führen.

Denkbar sind solche Effekte durch Stoffwechselverschiebungen innerhalb der Pflanze. So können Stoffwechsel abbauende Enzyme in verringerten Maß synthetisiert werden, so dass es zu einer Akkumulation von schädlichen Abbauprodukten in der Pflanze kommen kann.

Des Weiteren können transgene Pflanzen in der Lage sein, schädliche Abbau- oder Inaktivierungsprodukte herzustellen. Dementsprechend kann z.B. ein auf einer herbizidresistenten Pflanze aufgebrachtes Herbizid zu toxischen Abbauprodukten metabolisiert werden (Menrad, 2003, S. 209). So wird durch das Besprühen mit Glyphosat bei Bohnen die Bildung von östrogenwirksamen Isoflavonoiden hervorgerufen. Die Akkumulation erfolgt in allen mit dem Herbizid in Kontakt kommenden Pflanzenteilen. Im Tierversuch zeigten solche toxischen Verbindungen deutliche Wirkungen auf das Uteruswachstum von Mäusen (Behrens, 1995, S. 207).

Eine andere Möglichkeit ist das Auftreten pleiotroper Effekte. Unter einem pleiotropen Effekt versteht man die Eigenschaft eines Gens, für die Ausbildung mehrerer Eigenschaften gleichzeitig verantwortlich zu sein. So ist es vorstellbar, dass ein Gen neben der erwünschten Eigenschaft auch eine oder mehrere ungewollte Eigenschaften in sich trägt, die zusätzliche unerwartete Effekte hervorrufen.

Es muss eingeräumt werden, dass die Auswirkungen von Eingriffen in den Sekundärstoffwechsel von Pflanzen und damit verbunden auf die Nahrungsmittelqualität und -sicherheit nur schwer voraussagen sind, da in den meisten Fällen die komplexen biochemischen Abläufe bei der Synthese und dem Abbau der beteiligten Pflanzeninhaltsstoffe bislang nur unvollständig verstanden werden (Menrad, 2003, S. 209).

In der EU wird die mögliche Toxizität eines gentechnisch veränderten Lebensmittels nach dem Konzept der „Substantiellen Äquivalenz“ abgeschätzt. Das Konzept der Substantiellen Äquivalenz wurde 1993 von der Economic Cooperation and Development (OECD) formuliert, um die Sicherheit von Lebensmitteln aus gentechnisch veränderten Organismen beurteilen zu können. Das Konzept geht von der Annahme aus, dass ein gentechnisch verändertes Le-

Lebensmittel mit dem nicht gentechnisch veränderten Pendant bis auf die zusätzlich eingeführte gentechnische Eigenschaft identisch bzw. gleichwertig ist. Dabei werden ausgewählte Eigenschaften des gentechnisch veränderten Produktes mit den entsprechenden Eigenschaften des Lebensmittels aus dem nicht gentechnisch veränderten Organismus verglichen. Für die zusätzliche gentechnisch eingefügte Eigenschaft wird abgeklärt, ob sie den Charakter eines gentechnisch veränderten Lebensmittels im Vergleich zum herkömmlichen Produkt wesentlich (substantiell) verändert oder nicht. Ist das zusätzliche Protein für die neue Eigenschaft in einem gentechnisch veränderten Produkt in seiner biochemischen Zusammensetzung den pflanzeigenen Proteinen ähnlich und in seiner Wirkung weder toxisch noch allergen, wird von einer substantiellen Äquivalenz des ganzen Produkts ausgegangen. Das Produkt gilt dann als „im Wesentlichen gleichwertig“. Bewirkt die gentechnische Veränderung aber einen toxikologisch oder immunologisch bedeutsamen Unterschied, so gelten die verglichenen Produkte nicht mehr als „im Wesentlichen gleichwertig“ (www.umweltschweiz.ch, 2003). Das Konzept der substantiellen Äquivalenz wird teilweise scharf kritisiert. Insbesondere die Abschätzung unerwarteter Sekundäreffekte der übertragenen Gene steht im Mittelpunkt der Kritik

Bei allen bisher in Verkehr gebrachten gentechnisch veränderten Lebensmitteln wurde zunächst eine toxikologische Untersuchung zum übertragenen Protein durchgeführt. Bei diesen Untersuchungen konnte keine humantoxische Wirkung des neu eingeführten Genprodukts nachgewiesen werden. Ausführlichere Untersuchungen wurden zur Neomycinphosphotransferase II (nptII) sowie beim Bt-Toxin durchgeführt. Auch α -Amylaseinhibitoren aus Bohnen haben sich in mehreren Versuchen als unbedenklich für den Verzehr erwiesen (Menrad, 2003, S. 209, 210).

Fütterungsstudien, die das Gefahrenpotential untersuchen, das von gentechnisch veränderten Pflanzen und Lebensmitteln ausgehen kann, sind bereits von Unternehmen durchgeführt worden. Kritiker weisen aber darauf hin, dass die einzelnen Fütterungsstudien methodische und von der Versuchsanordnung her wesentliche Unterschiede aufweisen. Bemängelt wird ferner, dass es im Gegensatz zur Zulassung von Medikamenten, die zuvor genauen Vorgaben zur Testpraxis unterliegen müssen, keinen einheitlichen Leitfaden zur Durchführung von Fütterungsstudien gibt. So wird kritisiert, dass bei Fütterungsstudien gelegentlich nur das im

Mais eingeführte Bt-Toxin getestet wird und nicht das Endprodukt als solches, in dem Fall der Bt-Mais.

Der Risikoforscher Werner Müller regt an, die Versuchsdauer bei Fütterungsversuchen von bislang 90 Tagen auszuweiten, um die toxikologische Sicherheit von gentechnisch veränderten Pflanzen zu gewährleisten. Seiner Meinung nach belegen die 90 Tage-Tests bei Ratten nur Kurzeffekte, schließen Langzeitwirkungen, wie z.B. mögliche Einflüsse auf das Immunsystem und das Potential, Krebs auszulösen, aus. Bei Pflanzenschutzmitteln seien dagegen zur Abschätzung von Langzeitfolgen Tests von der Dauer von 720 Tagen vorgesehen.

Eine Fütterungsstudie mit der von Monsanto gentechnisch veränderten Maissorte MON863 belegt das Risiko, das von gentechnisch veränderten Pflanzen ausgehen kann. Der insektenresistente Mais durchlief einen 90-Tage-Fütterungsversuch mit 400 Ratten. Ausgewertet wurden Körper- und Organgewichte, negative Effekte im Blutbild, mikroskopische Gewebeanalysen und pathologische Befunde. In jener Gruppe, die mit MON863 gefüttert worden war, fiel auf, dass männliche Tiere nach vierzehn Tagen eine leicht erhöhte Anzahl weißer Blutkörperchen im Blut aufwiesen. Das Gewicht der Nieren lag bei diesen Tieren leicht unter dem Durchschnitt.

Monsanto beantragte jedoch trotz dieser Ergebnisse die Zulassung für MON863 und reichte dafür auch die Gesamtdokumentation bei den europäischen Behörden ein. Im April 2004 kam die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) zu dem Schluss, dass die gefundenen Abweichungen toxisch nicht relevant seien und sich statistisch in einer nicht ungewöhnlichen Bandbreite bewegten. Französische Wissenschaftler äußerten jedoch massive Zweifel. Erst unter dem Druck der Öffentlichkeit wurden einige Tiere noch einmal untersucht. Das Ergebnis war ähnlich. Die EFSA hingegen hält an ihrer Einschätzung der Unbedenklichkeit fest. Im EU-Ministerrat fand sich allerdings keine qualifizierte Mehrheit für eine Zulassung. Nun liegt die Entscheidung bei der EU-Kommission. Sie muss demnächst darüber befinden, ob MON863 für den Import und die Verarbeitung zu Lebens- und Futtermitteln genehmigt wird (Menrad, 2003, S. 210).

Eine andere Studie, die für Aufsehen sorgte, war der Rattenversuch des Wissenschaftlers Arpad Pustai 1998 am schottischen Rowett-Institut. Er verfütterte Kartoffeln an Ratten, de-

nen ein Gen vom Schneeglöckchen eingebaut war, das Lektin erzeugt. Bei Lektin handelt es sich um einen Wirkstoff, der gentechnisch veränderte Kartoffeln widerstandsfähig gegen Schädlinge machen soll. Lektin gilt grundsätzlich als ungefährlich für Ratten und Menschen. Drei Gruppen zu je sechs Ratten wurden zehn Tage lang mit rohen und gekochten Kartoffeln gefüttert. Eine Versuchsgruppe erhielt die gentechnisch veränderten Kartoffeln, die zweite Gruppe ganz normale und die dritte bekam nicht veränderte Kartoffeln, denen jedoch das Lektin untergemischt war. Nur die mit gentechnisch veränderten Kartoffeln versorgten Ratten zeigten auffällige krankhafte Veränderungen, wie Wandverdickungen im Dünndarm und signifikant längere Darmzotten. Befürworter der Gentechnik werfen Pustai vor, dass der Versuchsaufbau keine allgemein gültigen Schlüsse zulässt und daneben viele Details einer korrekten wissenschaftlichen Arbeitsweise nicht beachtet worden seien. So wird von Befürwortern auch angeführt, dass rohe Kartoffeln von Ratten ohnehin schlecht vertragen würden. Viele Einwände scheinen berechtigt zu sein. Entscheidend aber ist, dass andere Forscher weder daraus ableitbare Hypothesen überprüften oder diese noch in andere Versuche mit einfließen ließen. Eine Vermutung war zum Beispiel, dass nicht das Lektin-Gen die Ursache für die schädlichen Wirkungen war, sondern andere Teile der eingeschleusten Gensequenzen wie der Promotor oder das Plasmid aus dem Agrobakterium tumefaciens, die auf noch unbekannte Weise der Kartoffel eine neue Toxizität verliehen (Zarzer, 2005, S. 103).

3.2.2.2 Allergien

Allergien sind Überempfindlichkeitsreaktionen des Immunsystems, die in den meisten Fällen durch Proteine ausgelöst werden. Etwa 1% - 2% der Erwachsenen und 2% - 5% der Kinder unter sechs Jahren sind von einer IgE vermittelten Lebensmittelallergie betroffen. Die meisten Lebensmittelallergien werden durch Proteine aus Kuhmilch, Fisch, Schalentieren, Erdnuss, Soja, Hühnerei und Nüssen ausgelöst (www.lebenswissen.de (a), o.J.).

Mit Hilfe gentechnischer Verfahren werden neue oder veränderte Proteine in den pflanzlichen Organismus transferiert. Dadurch entsteht für den Verbraucher ein Problem. Konnte er bisherigen bekannten Allergenen durch Konsumverzicht ausweichen, wird ihm dies durch den Verzehr von transgenen Pflanzen und daraus hergestellten Produkten erschwert, weil ihm die enthaltenen Allergene unter Umständen nicht bekannt sind. Hier ist eine klare Kennzeichnungspflicht sinnvoll, die den Verbraucher schützt (www.food-monitor.de (g), o.J.).

Bei der Feststellung des allergenen Potentials gentechnisch veränderter Lebensmittel können zwei Fälle unterschieden werden. Im ersten Fall kann es vorkommen, dass aus Versehen Gene für Proteine aus bekannten allergenen Nahrungsmitteln übertragen werden. Im zweiten Fall können Gene transformiert werden, die für Proteine kodieren, deren Allergenität nicht noch nicht festgestellt ist (Menrad, 2003, S. 211). So ist nicht bekannt, ob beispielsweise die Eiweißbausteine des *Bacillus thuringiensis* ein allergenes Potential besitzen, weil Bt-Proteine normalerweise nicht in Nutzpflanzen und somit bisher nicht in Lebensmitteln vorkommen (www.tierschutzpartei-bw.de (a), 2004).

Im ersten Fall ist die Abschätzung des allergenen Potentials gentechnisch veränderter Lebensmittel relativ einfach möglich, da zu diesem Zweck verschiedene immunologische Tests zur Verfügung stehen. Beispiele dafür sind In-vitro-Tests, in denen allergenspezifische IgE-Antikörper bestimmt werden sowie Hauttests (Prick-, Intrakutan- oder Scratch-Tests), in denen Antikörper-vermittelte Reaktionen auf Allergene nachgewiesen werden.

Schwieriger ist das Allergierisiko abzuschätzen, wenn Gene übertragen werden, die für Proteine mit unbekannter Allergenität kodieren. In diesem Fall kommen indirekte Methoden zur Anwendung, die auf gemeinsame Charakteristika bekannter Allergene beruhen (Menrad, 2003, S. 211).

Allergene Proteine haben häufig folgende Eigenschaften gemeinsam: Sie besitzen eine bestimmte Mindestgröße (10 – 70 Kilodalton), sind stark glykolisiert (d.h. haben viele Zuckerreste) und sind sehr stabil. So überstehen sie Kochen und saures Milieu im Magen und treten in den Geweben bzw. den Pflanzenorganen in größeren Mengen auf (www.food-monitor.de (h), o.J.).

Zunächst wird die Struktur des Proteins über Datenbank-Recherchen auf immunreaktive Sequenzabschnitte von bekannten allergenen Proteinen analysiert (www.lebenswissen.de (b), o.J.). Zeigt ein neu eingeführtes Protein eine ähnliche Aminosäuresequenz wie ein bekanntes Allergen, ist die Gefahr einer Allergenität besonders groß. Die gastrische Stabilität des Proteins ist gleichfalls von Bedeutung. Bekannte Allergene bleiben im Magensaft relativ lange erhalten, während Proteine, die bislang nie als Allergene in Erscheinung traten, schnell zu Fragmenten kleiner als 10 kDA abgebaut werden.

Diese Informationen können jedoch immer nur einen Hinweis auf ein mögliches Allergiepotehtial geben. Eine präzise Voraussage lässt sich aus den erwähnten Charakteristika nicht ableiten.

Es kann beispielsweise nicht vollkommen ausgeschlossen werden, dass ein bekanntes Protein in einer transgenen Pflanze, die einen genetisch und physiologisch fremden Background darstellt, ein ganz anderes Verhalten zeigt. So kann das Protein in Abhängigkeit vom Wirtsorganismus verschiedenartig umgesetzt werden. Dies kann z.B. den Bau der Aminosäurekette des Proteins betreffen, die je nach Abhängigkeit des Wirtsorganismus verschieden lang sein kann, wodurch das Protein in seiner Größe variieren kann. Ebenso wird das Glykolisierungsmuster - damit ist die Art der Anheftung der Zuckermoleküle an der Oberfläche des betreffenden Proteins gemeint - vom Wirtsorganismus gesteuert.

Darüber hinaus können noch zwei weitere, eher seltene Ereignisse stattfinden. So können durch Sequenzumlagerungen im Genom der Pflanze völlig neue Proteine entstehen, oder ein bis dahin in geringen Mengen vorkommendes Protein kann durch Veränderung eines Regulationsschrittes in seiner Konzentration ansteigen (www.food-monitor.de (i), o.J.). Das US-Unternehmen Pioneer Hi-Bred entwickelte eine Sojabohne, in die das Paranuss-Albumin exprimiert wurde, welches sich im Nachhinein als allergen herausstellte. Das Paranuss-Albumin enthält verhältnismäßig viel Methionin und vermag daher den Methioningehalt in Samen verschiedener Pflanzenarten wie Raps und Tabak signifikant zu erhöhen. Eine Begleitforschung, die die Allergenität des eingebrachten Proteins in der Sojabohne untersuchte, fand zwar gleich zu Beginn der Entwicklung statt, allerdings deutete die Sequenz des Paranuss-Albumins nicht auf allergene Eigenschaften hin. Auch Tierversuche zeigten keinerlei Hinweise auf ein allergenes Potential des neu eingeführten Proteins. Schließlich konnte jedoch anhand verschiedener immunologischer Tests das Proteinprodukt des übertragenen Gens als ein wesentliches Fremdallergen identifiziert werden. Daraufhin wurde die Entwicklung dieser Sojabohneart von Pioneer abgebrochen (Menrad, 2003, S. 212).

Eine andere Gen-Pflanze, die in den Verdacht geriet, Allergien auszulösen, ist die Maissorte Star Link von Aventis Crop Science. Die insektenresistente Maissorte Star Link produziert die Bt-Toxin-Variante Cry9C. Cry9C besitzt einige Eigenschaften, die auf ein allergenes Potential hindeuten. Auch wenn Sequenzvergleiche mit bekannten Allergenen keine Hinweise hierfür

liefern (dieser Test hatte schon im Fall des Paranus-Proteins versagt), deutet die hohe Stabilität gegenüber Pepsinverdau und Hitze auf ein solches Potential hin. Eine erneute Untersuchung im Jahre 2000 des Federal Insecticide, Fungicide and Rodenticide Act (FIFRA) und des Scientific Advisory Panel (SAP) bescheinigte Cry9C eine mittlere Wahrscheinlichkeit dafür, ein potentiell Allergen zu repräsentieren (www.food-monitor.de (j), o.J.).

Trotzdem geriet dieser Mais in den USA in die Nahrungskette. Mittels PCR-Analysen konnten Reste der gentechnisch modifizierten Getreideart in 297 Nahrungsmitteln nachgewiesen werden. Dies führte zu einer großen Verunsicherung seitens der Verbraucher. Im Zuge des Skandals war die Firma Aventis gezwungen, die gesamte Ernte zurück zu kaufen. Allein im Jahr 2000 musste für Einsammeln, Entschädigen und Vernichten der kontaminierten Lebensmittel und des noch vorhandenen Saatguts eine Summe von 500 Mio. US-\$ aufgewendet werden (www.tierschutzpartei-bw.de (b), 2004).

Die kontaminierten Lebensmittel sind auf eine nicht vollständige Trennung der Saatgutvertriebssysteme für Futtermittel und Nahrungspflanzen zurückzuführen (www.food-monitor.de (k), o.J.).

3.2.2.3 Antibiotikaresistenzen

Im Labor nehmen nur wenige Pflanzenzellen das einzuschleusende Gen auf: Daher werden in Pflanzenzellen Markergene eingesetzt, um die wenigen Pflanzenzellen zu finden, in die das gewünschte Gen korrekt eingebaut worden ist. Bei diesen Markergenen handelt es sich häufig um Antibiotika-Resistenzgene, die zusammen mit dem interessierenden Gen in die Pflanzenzelle eingebracht werden. Die Zellen werden daraufhin auf ein antibiotikahaltiges Nährsubstrat überführt. Dort können sich nur diejenigen Zellen zu ganzen Pflanzen regenerieren, die den Marker samt gewünschtem Gen aufgenommen haben (BioRegio, 2003, S. 18). Während das Antibiotikaresistenzgen als Selektionsgen nur einmalig im Labor benötigt wird, trägt als Folge die genmodifizierte Pflanze das dann unbrauchbare Gen in jeder einzelnen Zelle (Grössler, 2005, S. 249)

Das Vorhandensein von Antibiotikaresistenzgenen in Pflanzen wird als Risiko diskutiert. Kritiker fürchten, dass nach dem Verzehr von Lebensmitteln aus transgenen Pflanzen krank-

heitsauslösende Antibiotikaresistenzgene oder Bruchstücke davon von Darmbakterien im menschlichen Organismus aufgenommen und integriert werden könnten. Weiterhin wird befürchtet, dass diese Darmbakterien ihre Antibiotikaresistenz an andere Bakterien weitergeben könnten. In diesem Fall würde bei bestimmten Antibiotika eine Therapie nicht mehr anschlagen (BioRegio, 2002, S. 18).

Bisher besitzen sechs von den zehn gentechnisch veränderten Nutzpflanzen, die in der EU in Verkehr gebracht worden sind, Antibiotikaresistenzgene. Fünf dieser Pflanzen enthalten das Kanamycinresistenzgen, das eine Resistenz gegen die Antibiotika Kanamycin, Neomycin und Aminoglycosiden vermittelt.

Aminoglycosid-Antibiotika werden in der Humantherapie mittlerweile weitgehend durch neuere Antibiotikaformen ersetzt. Auch Kanamycin wird in der Humantherapie kaum noch angewendet, wenngleich es in der Augenheilkunde bei Infektionen mit gramnegativen Bakterien unverzichtbar bleibt, da es hier kaum Ausweichpräparate gibt.

Neben dem Kanamycinresistenzgen sind noch zwei weitere Antibiotika-Resistenzgene von Bedeutung. Das bla-Gen vermittelt eine Resistenz gegenüber Ampicillin, welches bei Enterokokkeninfektionen und bei Befall mit Grippe eingesetzt wird. Als weiteres Antibiotikaresistenzgen vermittelt das npt III-Gen neben einer Resistenz gegen Kanamycin und Neomycin auch Resistenzen gegen die Antibiotika Amikazin und Isepamicin. Bei Amikazin handelt es sich um ein Notfallantibiotikum, das einen hohen Stellenwert bei der Bekämpfung von humanpathogenen Bakterien hat.

Antibiotikaresistenzen sind innerhalb von Bakterienpopulationen teilweise weit verbreitet. Im menschlichen Darm sind beispielsweise durchschnittlich 27% aller E.coli-Bakterien resistent gegenüber Ampicillin. Die starke Verbreitung von Antibiotikaresistenzgenen in Bakterienpopulationen zeigt die Fähigkeit von Bakterien an, genetische Informationen durch Horizontalen Gentransfer untereinander auszutauschen. Eine Genübertragung von pflanzlichem Material auf Mikroorganismen gestaltet sich dagegen ungleich schwerer (Menrad, 2003, S. 214).

Eine Studie des Instituts Louis Pasteur kommt zu dem Schluss, dass ein Gentransfer im menschlichen Körper durch die im Darm vorherrschenden idealen Bedingungen begünstigt

wird. So herrschen im Darm eine hohe Bakteriendichte, warme Temperaturen und große Feuchtigkeit (www.tierschutzpartei-bw.de (c), 2004).

Ein wesentlicher Grund für die Schwierigkeit eines Gentransfers von Pflanzenzellen auf Mikroorganismen besteht darin, dass viele einzelne Schritte geordnet ablaufen müssen, damit ein solcher Transfer überhaupt stattfinden kann.

Je nach Ernährungsweise gelangen ca. 1 - 3 g DNA täglich in den Gastrointestinaltrakt. Damit ein horizontaler Gentransfer stattfinden kann, muss zunächst die DNA aus der Pflanzenzelle in ausreichend großen Fragmenten freigesetzt werden. Allerdings sollen nur wenige Gene die menschliche Verdauung funktionstüchtig überleben. Anschließend muss die DNA durch kompetente Bakterien oder humane Zellen aufgenommen und in das Plasmid oder Genom integriert werden, um überhaupt abgelesen und in ein Protein umgesetzt werden zu können. In der Regel wird die aufgenommene Fremd-DNA in den Zellen weiter degradiert. Die Kompetenz der Bakterien und Humanzellen ist, wie bereits erwähnt, von den äußeren Bedingungen im Darm abhängig. Der vollständige Ablauf dieses Vorganges und damit eine gesundheitliche Gefährdung für den Menschen scheint aber für Befürworter eher unwahrscheinlich. (www.lebenswissen.de (c), o.J.).

Im Fall des Kanamycinresistenzgens wurde nämlich errechnet, dass nach dem Verzehr von 200 g gentechnisch veränderten Tomaten die Anzahl resistenter Bakterien um 0,000001 % ansteigen würde. Auch für das bla-Gen, das eine Resistenz gegen das Antibiotikum Ampicillin vermittelt, legen die zur Verfügung stehenden Daten nahe, dass die Wahrscheinlichkeit der Übertragung dieses Gens auf Bakterien gering ist und nur sehr wenige ampicillinresistente Bakterien durch den Verzehr gentechnisch veränderter Pflanzen hinzukommen.

Kritiker halten einen Gentransfer dagegen durchaus für möglich. Sie weisen auf ein Experiment hin, das mit Bienen durchgeführt wurde, die nur Pollen von gentechnisch verändertem Raps sammeln konnten. Die Jungbienen ernährten sich von den Pollen, die die Arbeiterinnen von den Pflanzen sammelten. Eine anschließende Untersuchung der Darmflora der Jungbienen ergab, dass die darin befindlichen Bakterien das Gen für die Herbizidresistenz trugen, das in den Raps eingeführt worden war (www.srzg.de, 2001).

Eine weitere Gefahr wird darin gesehen, dass nach neuesten Kenntnissen ein geringer Teil der pflanzlichen DNA während der Verdauung nicht vollständig abgebaut wird und in das Genom von Epithelzellen im Darm von Mensch und Tier integriert werden kann. In Zellen fixierte DNA ist dabei besser vor dem Angriff von Nukleasen während der Verdauung geschützt als nackte DNA. Allerdings geben Wissenschaftler hier Entwarnung, da Epithelzellen nur sehr kurzlebig sind und laufend durch neue Zellen ersetzt werden.

Gentechnik-Gegner sehen das dagegen vollkommen anders. Sie wehren sich gegen die landläufige Meinung, dass Fremd-DNA im menschlichen Körper überwiegend abgebaut werden würde, und daher ungefährlich sei. Sie halten dagegen, dass eine begrenzte Anzahl neuerer Publikationen gezeigt habe, dass fremde DNA und auch Proteine ihrem Abbau entgehen könnten, im Magen-Darm-Trakt verbleiben und sogar von den Eingeweiden aufgenommen werden und mit dem Blut in biologisch bedeutsamen Versionen zu inneren Organen transportiert werden könnten. Fremd-DNA befindet sich demnach nicht nur in den Epithelzellen des Darmes, sondern darüber hinaus auch in den weißen Blutkörperchen, in der Leber, der Milz und in den Nieren. Des Weiteren können der Zustand des Magen-Darm-Trakt-Inhaltes und die Zusammensetzung der Nahrung den Verbleib der Fremd-DNA und deren Aufnahme beeinflussen. Komplexbildungen von DNA mit Proteinen oder anderen Makromolekülen können gegen den Abbau schützen. Die Gentechnik-Gegner führen weiter an, dass, hochgerechnet aus einer Anzahl von Experimenten mit Zellkulturen von Säugetieren und Versuchstieren, es denkbar wäre, dass in einigen Fällen die Einbringung von fremder DNA zu Veränderungen in den Methylierungs- und Transkriptionsmustern des Empfängergenoms führen kann, was dann unabsehbare Folgen bei der Exprimierung der menschlichen Gene hätte. Ferner führen die Gegner an, dass schon kleine Einlagerungen der Fremd-DNA in menschliche Zellen einen Destabilisationsprozess ergeben könnten, an dessen Ende bösartige Krebszellen stehen könnten (Grössler, 2005, S. 247).

Eine weitere Möglichkeit ist die Übertragung von Antibiotikaresistenzgenen auf Bodenbakterien, die an Pflanzen haften und mit der Ernährung aufgenommen werden können. In Laborexperimenten konnte in einzelnen Fällen nachgewiesen werden, dass DNA im Boden an Bodenpartikel absorbieren kann und von Mikroorganismen transformiert werden kann. Doch waren die im Labor stattfindenden Transformationsfrequenzen sehr gering. Die Transforma-

tionsfrequenzen im Freiland werden von Wissenschaftlern noch deutlich niedriger eingeschätzt.

Obwohl die Wahrscheinlichkeit eines Gentransfers von Antibiotikaresistenzgenen von Pflanzen auf Mikroorganismen und humanen Zellen als eher gering einzuschätzen ist, hat die EU die Verwendung von Resistenzgenen inzwischen verboten. Das im Bt 176-Mais der Firma Novartis enthaltene bla-Gen, das eine Resistenz gegenüber Ampicillin vermittelt, war auch der ausschlaggebende Grund dafür, dass das Bundesgesundheitsministerium im Jahr 1999 die Sortenzulassung für diesen Mais in Deutschland unterband. Die damalige Bundesgesundheitsministerin Fischer begründete ihre Entscheidung mit „vorbeugendem Gesundheitsschutz“, da nach dem Stand der wissenschaftlichen Ergebnisse Gefahren für die menschliche Gesundheit, die vom Ampicillinresistenzgen ausgehen könnten, nicht ausgeschlossen werden könnten.

Deshalb werden verschiedene Methoden entwickelt, die darauf abzielen, das Vorhandensein von Antibiotikaresistenzgenen im Endprodukt zu vermeiden.

Eine Möglichkeit wäre der Verzicht auf Selektionsmarker und der Versuch, die transformierten Zellen von nicht transformierten Zellen mit Hilfe von molekularbiologischen Methoden wie z.B. der PCR zu unterscheiden. Des Weiteren könnte der Versuch unternommen werden, nach der Selektion die Antibiotikaresistenzgene aus der transformierten Pflanze durch spezielle Rekombinationssysteme zu entfernen und die Pflanzenzellen anschließend mit speziellen induzierbaren Promotoren auszustatten. Aber auch mögliche Alternativen zu Antibiotikaresistenzgenmarkern befinden sich in der Diskussion. So könnten z.B. als selektierende Gene solche Gene übertragen werden, die in den transformierten Zellen bestimmte Phytohormone freisetzen oder bilden. Auch ist die Verwendung des Phosphomannose-Isomerase-Gens aus *E. coli* als selektierbarem Gen und Mannose als selektierendem Agen im Gespräch (Menrad, 2003, S.214 – 216).

Ein möglicher Horizontaler Gentransfer von transgenen Pflanzen auf Bakterien trägt zur Verbreitung von Antibiotikaresistenzen nur unwesentlich bei. Das eigentliche Problem liegt in der extensiven Anwendung von Antibiotika in der Human- und Tiermedizin, aber auch in der

Tierhaltung. Antibiotika wurden insbesondere bei Schweinen standardmäßig dem Futter zugesetzt, um das Wachstum anzuregen (www.springerlink.com, 1999).

3.2.3 Unzureichende Grundlagenforschung

Die Gentechnik-Kritikerin Mae-Wan Ho beanstandet die stark vereinfachende Sicht der Gentechniker, mit der die Öffentlichkeit über die wesentlich komplizierteren Vorgänge und Wechselwirkungen, von denen gentechnisch veränderte Pflanzen bestimmt sind, hinweggetäuscht werde.

Der Öffentlichkeit werde suggeriert, dass man nur ein Gen bestimmen müsse, welches das erwünschte Merkmal trägt, und dass man es dann einfach nur herausholen, kopieren und die Kopie in einen anderen Organismus einsetzen könne. Mae-Wan Ho bemängelt in diesem Zusammenhang besonders den genetischen Determinismus, demgemäß ein Gen ein Merkmal steuere (Zarzer, 2005, S. 8).

In Wirklichkeit sind an der Ausprägung eines Merkmals wie z.B. der Blütenfarbe nicht nur ein Gen, sondern mehrere beteiligt. In den meisten Fällen ist den Forschern und Züchtern nicht bekannt, wie viele Gene direkt oder indirekt an der Ausprägung des jeweiligen Merkmals beteiligt sind. Dabei kann die Bedeutung einzelner Gene an dem Merkmal Blütenfarbe sehr verschieden sein (Wöhrmann, 1999, S. 72).

Weiterhin können sich Gene gegenseitig beeinflussen. Diese Erscheinung wird als Pleiotrophie bezeichnet. Unter Pleiotrophie versteht man die Wirkung eines Gens auf ein oder mehrere andere Gene, und damit dessen Einflussnahme auf die Eigenschaften dieses oder anderer Gene (Wöhrmann, 1999, S. 75).

Die bis heute entwickelten transgenen Pflanzen sind nicht so arteigen, wie der Öffentlichkeit vermittelt wird. Sie enthalten in der Regel immer ein synthetisches Konstrukt, das naturgemäß in dieser Zusammensetzung nicht vorkommt. Es werden einzelne Gensequenzen wie Promotoren, Enhancer, Stopp-Module und Ähnliches mehr aus verschiedenen Organismen verwendet, um ein synthetisches Genkonstrukt mit den erwünschten Eigenschaften zu gestalten, das dann in die Pflanze transformiert werden kann (Zarzer, 2005, S. 8).

Auch gestaltet sich das Einschleusen des betreffenden Fremdgens mittels Vektor in den Wirtsorganismus schwieriger als oft angenommen. Unzählige Versuche müssen unternommen werden, ehe ein Fremdgen in der Wirtspflanze überhaupt integriert wird. Es kann unter Umständen auch ein großes Problem bereiten, ein bakterielles Gen in einer Pflanze zu exprimieren. Im Fall der Bt-Toxin-Gene aus *Bacillus thuringiensis* mussten zum Beispiel diverse Modifizierungen des Originalgens vorgenommen werden, bevor das Produkt, die Crystal-Proteine, in ausreichender Menge in pflanzlichen Zellen gebildet wurde.

Erschwerend kommt hinzu, dass die gebildeten Proteine in verschiedenen Organismen, d.h. verschiedenen Pflanzenarten, unterschiedlichen Ausprägungen unterliegen. So kann die gebildete Aminosäurekette verschieden lang sein, oder die Art der Anheftung von Zuckermolekülen an der Oberfläche der Proteine kann variieren. Auch können die Proteine in unterschiedlichen Wirtsorganismen verschiedene Transportwege innerhalb der Zelle einschlagen (www.food-monitor.de (m), 2002).

Die Integration eines fremden Gens erfolgt zufällig, ohne dass sich die Position des transgenen Genortes innerhalb des Empfängergenoms kontrollieren ließe. Der Beschuss von Fremdgenen mittels der Gen-Kanone oder sonstiger gentechnischer Verfahren verursacht Störungen im Genom, da es anhand der bisherigen Methoden nicht möglich ist, das Fremdgen exakt an einem vorgesehenen Platz im Genom der Wirtspflanze zu platzieren. Es entstehen sozusagen Wunden.

Bei großen Wunden, wenn ein lebenswichtiges Gen getroffen und zerstört wurde, ist die Pflanze nicht mehr lebensfähig. Sie stirbt ab (Zarzer, 2005, S. 9). Des Weiteren kann es vorkommen, dass ein Gen zerstört wird, das für ein wichtiges Enzym kodiert. Dieses Enzym kann z.B. eine wichtige Funktion beim Auf- und Abbau von Stoffwechselprodukten erfüllen. Fällt dieses Enzym aus, kann mitunter ein bestimmter Stoffwechselkreislauf in der Pflanze nicht stattfinden. Als Folge könnten in der transgenen Pflanze schädliche Nebenprodukte gebildet werden (Wöhrmann, 1999, S. 73).

Bei mittleren Wunden im Genom der Pflanze kommt es zu Veränderungen in der Wuchsform oder im Verhalten. Zum Beispiel weisen solche geschädigten Pflanzen eine verringerte Trocken-Stresstoleranz auf.

Wenn das neue Gen nach seiner Integration ungünstig im Genom der Wirtspflanze liegt, können auch Toxine oder allergene Inhaltsstoffe der Pflanze gebildet werden (Zarzer, 2005, S. 9). Letzteres Phänomen wird auch als Positionseffekt bezeichnet. Der Positionseffekt beschreibt die Konsequenzen, die die Position eines Gens für den Organismus besitzt. Ein Gen wird in Abhängigkeit von seiner Position von benachbarten Genen beeinflusst, was wiederum Auswirkungen auf die Ausbildung seines Merkmales haben kann (Wöhrman, 1999, S. 76).

Was bisher auch nur unzureichend beachtet wurde, ist die Ungewissheit, welche Region der DNA bei der Integration innerhalb der Pflanzenzelle zerstört wurde und welche Funktion sie zuvor erfüllte. Bis vor wenigen Jahren gingen Wissenschaftler davon aus, dass der Großteil der DNA in Lebewesen aus nicht kodierender DNA bestünde und daher keinen besonderen Zweck erfülle. Doch mehren sich im Hinblick auf die Entschlüsselung des menschlichen Genoms zunehmend die Hinweise darauf, dass ein Drittel aller Gene von dem nicht codierenden Teilbereich des Genoms gesteuert werden. Ähnliches ist auch für das pflanzliche Genom denkbar, so dass ein willkürlicher Beschuss mit Fremd-DNA die Zerstörung wichtiger Teilbereiche der DNA innerhalb der Pflanze bedeuten würde (Zarzer, 2005, S. 9, 10).

Bei der Transformation des Fremdgens in die Nutzpflanze ist allein die Wirkung des Fremdgens bekannt, aber nicht sein Wirken im Zusammenhang mit anderen Genen der Empfängerpflanze (Wöhrmann, 1999, S. 73).

Darüber hinaus finden vor und während der Integration des Fremdgens in der pflanzlichen Zelle mehr oder weniger vielfältige Sequenzumlagerungen statt, die auch benachbarte Teile des Empfänger-genoms zumeist einschließen. Sowohl die Sequenzumlagerungen als auch die zuvor beschriebenen Proteinmodifizierungen veranschaulichen eindrucksvoll, dass jede transgene Linie, die im Labor unter gleichen Bedingungen hergestellt wird, einmalig ist (www.food-monitor.de (I), o.J.).

Des Weiteren ist vorstellbar, dass ein so genanntes „springendes Fremdgen“, welches als Transposon bezeichnet wird, in die Pflanze integriert wird. Dabei handelt es sich um ein Gen, das innerhalb des Genoms seine Position wechseln kann. Solche Gene kommen naturgemäß in Mais, Hefen, der Taufliede und vielen anderen Organismen vor. Der Sprung eines solchen Gens hat für die Zelle weit reichende Konsequenzen. Das Transposon kann am

Sprungziel Chromosomenbrüche verursachen, die Wirkung der Gene, in die es hineinspringt, ausschalten und sogar eine komplette Umstrukturierung benachbarter Gene verursachen. Heutzutage mutmaßen Wissenschaftler, dass die Transposons in der Evolution eine wichtige Rolle gespielt haben dürften. Anscheinend haben diese Transposons in der Summe keine nachteiligen Wirkungen für diejenigen Arten, in denen sie in der Natur auftreten. Welche Konsequenzen Transposons aber nach ihrer Integration in eine ganz andere Art nach sich ziehen, ist derzeit kaum vorhersagbar (Wöhrmann, 1999, S. 78).

Bei der Übertragung von genetischen Informationen gelangt nicht immer nur eine Kopie des Genkonstruktes in die Zielpflanze, sondern bis zu hundert und mehrerer solcher Kopien. Je mehr Gene für ein bestimmtes Merkmal in eine Pflanze eingebracht werden, umso mehr Proteine der Art werden produziert. Kritiker befürchten, dass z.B. natürlich in Pflanzen gebildete Toxine auf diese Weise zur Gefahr werden könnten. Werden durch Mehrfachkopien im Stoffwechsel der Pflanze zu viele Toxine gebildet, so könnten daraus für den Konsumenten ernstzunehmende Folgen entstehen (Wöhrmann, 1999, S. 78, 79).

Ein anderes Problem, das sich bei der Transformation von transgenen Pflanzen auftut, ist die Instabilität der Genprodukte. So kann das fremde übertragene Gen bezüglich der Expression ein instabiles Verhalten zeigen, da der neue gentechnische Kontext, in dem es sich befindet nicht passt oder bislang wenig verstandene molekulare Mechanismen das Gen abschalten. Auch kann das transformierte Gen in seiner Stabilität gefährdet sein, weil aufgrund von Sequenzumlagerungen bei der Integration ein instabiler Locus entstanden ist. Das Interesse des Züchters liegt aber in der Konstruktion von leistungsfähigen Pflanzen mit stabilen Merkmalsausprägungen (www.food-monitor.de (m), o.J.).

Anschließend seien noch einige bekannte Fälle über Nebenwirkungen erwähnt, die auf Pleiotropien, Positionseffekte oder Instabilität zurückzuführen sind. Das wohl bekannteste Beispiel ist der vom Max-Planck-Institut im Jahre 1989 in Köln durchgeführte Freilandversuch mit Petunien. In weißen Petunien wurde ein Gen vom Mais transformiert, das die Blütenfarbe in Lachsrosa verändern sollte. Viele der im Freiland ausgesetzten Petunien verloren allerdings im Sommer bei starker Sonneneinstrahlung ihre rosa Farbe und wurden wieder weiß. Sie waren darüber hinaus in ihrer Wüchsigkeit und Fruchtbarkeit reduziert, fielen allerdings durch eine höhere Widerstandsfähigkeit gegen Pilzerkrankungen auf.

1996 wurden zum ersten Mal in den USA großflächig Baumwollpflanzen angebaut, denen ein Gen des *Bacillus thuringiensis* (Bt) zum Schutz vor Schadinsekten eingebaut worden war. Trotz dieses Schutzes wurde ein großer Teil der transgenen Pflanzen in einem hohen Maße von Schadinsekten befallen. Die Farmer waren gezwungen, Insektizide einzusetzen, um weitere Schäden abzuwenden und Ernteauffälle zu vermeiden. Als Ursache für diesen unerwarteten Effekt kommen umweltbedingte Instabilitäten in Frage. Möglich ist aber auch, dass die Schädlingspopulation bereits Resistenzen gegen die Toxine der transgenen Pflanzen aufgebaut hatte.

Einige Herbizidresistenzgene in transgenen Pflanzen führten zu Ertragseinbußen bis zu 25%. Dieser Effekt ist im Englischen als „yield penalty“ bekannt. Außerdem war nach dem Einbau solcher Herbizidresistenzen eine verzögerte Blütenbildung bei geringem Wachstum zu beobachten (Wöhrmann, 1999, S. 81, 82).

4 Gesellschaft und grüne Gentechnik

In dem vorliegenden Kapitel sollen alle wichtigen gesellschaftlichen Vertreter der grünen Gentechnik in der Bundesrepublik zu Wort kommen. Die Einstellung der jetzigen Bundesregierung sowie einzelner Parteien zur Gentechnik wird aufgezeigt. Ebenso finden die Wirtschaft und die Herstellerfirmen, die Forschung und die konventionell und ökologisch anbauenden Landwirte, Verbraucher und deren Verbände Gehör. Aber auch die Haltung der Entwicklungsländer zur grünen Gentechnik wird eingehend beleuchtet.

4.1 Politik

In dem Kapitel 4.1 soll kurz die Situation der Europäischen Union im Umgang mit gentechnischen Pflanzen angerissen werden, die den Rahmen für nationale Gesetzgebungen in der grünen Gentechnik in Deutschland liefern. Des Weiteren soll der Umgang der alten und neuen Bundesregierung mit der grünen Gentechnik skizziert werden.

In dem Kapitel 4.2 wird die Einstellung der einzelnen Parteien zur grünen Gentechnik in Kürze wiedergegeben.

4.1.1 Regierungspolitik und rechtliche Gesetzgebung der grünen Gentechnik

Seit 1998 bestand in der Europäischen Union ein Moratorium, das bisher jede Zulassung und Vermarktung von gentechnisch veränderten Organismen (GVO) innerhalb der Europäischen Union verhinderte.

Das Moratorium kam zustande, weil eine Mehrheit der Eu-Mitgliedstaaten die bestehenden Gesetze für ungenügend hielt und aus diesem Grunde jede neue Zulassung von GVO ablehnte.

Auch nachdem die EU-Verordnungen über die Kennzeichnung und Rückverfolgbarkeit von GVO im Jahre 2004 in Kraft getreten waren, fand sich unter den Mitgliedstaaten keine Mehrheit für Neuzulassungen von GVO's. Die Mitgliedstaaten bemängelten die fehlenden Regeln zur Haftung und Koexistenz, d.h. dem Nebeneinander einer Landwirtschaft mit und ohne Gentechnik.

Das EU-Moratorium dauerte insgesamt sechs Jahre. Im Mai 2004 wurde erstmals durch die EU-Kommission Bt 11-Mais als gentechnisch veränderte Pflanze wieder zugelassen. Die EU-Kommission war zu dieser Entscheidung befugt, weil sich innerhalb der Mitgliedstaaten keine Zwei-Drittel-Mehrheit für oder gegen eine GVO-Zulassung herausgebildet hatte.

Die Aufhebung des Moratoriums durch die EU-Kommission ist vor allem auf den Druck der USA zurückzuführen, die im Sommer 2003 bei der Welthandelsorganisation (WTO) Klage gegen das EU-Moratorium eingereicht hatten (Bund für Umwelt und Naturschutz e.V., 2004, S. 12).

Nach der Bundestagswahl 1998 hatte Bundeskanzler Schröder ein Programm zur schrittweisen Kommerzialisierung transgener Nutzpflanzen angekündigt (www.bund.net, o.J.).

In dem Programm war vorgesehen, dass gentechnisch veränderter Bt-Mais auf bis zu 5.000 Hektar freigesetzt werden sollte. Man versprach sich davon Auskünfte über die Auswirkungen von insektengiftigem Mais auf die Bodenfauna, auf nützliche Insekten oder auf die eventuelle Ausbreitung auf Pflanzen von Nachbarfeldern (www.freitag.de (a), o.J.).

Schröder wollte dieses Programm durch einen Diskurs sowie durch wissenschaftliche Begleitforschung stützen. Ziel Schröders war es, die grüne Gentechnik in Deutschland als Zukunftsbranche zu fördern (www.novo-magazin.de, o.J.).

Doch Schröder sagte das Anbauprogramm wieder ab. Er begründete den Ausstieg aus der grünen Gentechnik mit der starken Verunsicherung des Verbrauchers, die durch die BSE-Krise entstanden war. Gleichzeitig gab er bekannt, die ökologische Landwirtschaft im Agrarbereich gezielt stärken zu wollen.

Als Konsequenz aus der BSE-Krise wurde die Agrar- und Verbraucherpolitik neu ausgerichtet. Das ehemalige Landwirtschaftsministerium wurde in ein Ministerium für Verbraucherschutz umgewandelt.

Da Schröders Meinung nach die grüne Gentechnik eng mit Verbraucherschutz verknüpft ist, übergab er die grüne Gentechnik in den Zuständigkeitsbereich der neuen Landwirtschafts- und Verbraucherministerin Renate Künast von den Grünen (www.freitag.de (b), o.J.).

Während ihrer Amtszeit setzte Frau Künast die EU-Verordnung zur Kennzeichnung genetisch veränderter Lebens- und Futtermittel (Nr. 1829/2003), die EU-Verordnung über die Rückverfolgbarkeit genetisch veränderter Organismen (Nr. 1830/2003) und die von der EU beschlossenen Leitlinien zur Koexistenz und Haftung in nationales Recht um (Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V., 2004, S. 11).

Seit 2003 ist die neue verschärfte Kennzeichnungspflicht in Deutschland in Kraft. Die Politik formulierte Wahlfreiheit und Transparenz als Zielsetzung für das Kennzeichnungsgesetz.

Das neue Gesetz löst die Novel Food-Verordnung von 1997 ab. Diese umfasste nicht nur gentechnisch veränderte Lebensmittel und solche, die mittels Gentechnik verändert wurden, sondern umfasste auch alle neuartigen Lebensmittel, die sich beispielsweise durch chemische Strukturen oder bisher nicht verwendete Rohstoffe von herkömmlichen Erzeugnissen unterschieden. Im Gegensatz dazu unterliegen dem neuen Gesetz nur Lebens- und Futtermittel, die mittels GVO's gewonnen wurden oder solche enthalten (Genanet-Leitstelle Geschlechtergerechtigkeit & Nachhaltigkeit, 2005, S. 5).

Nach dem neuen Kennzeichnungsgesetz ist alles, was aus gentechnisch veränderten Organismen (GVO) hergestellt ist, GVO enthält oder selbst gentechnisch verändert ist, kennzeichnungspflichtig. Das stellt eine deutliche Verbesserung im Vergleich zur alten Novel Food-Verordnung dar. Laut dieser waren nur solche Produkte kennzeichnungspflichtig, in denen die fremde Erbsubstanz auch nachweisbar war. Das hatte zur Folge, dass auf vielen Verpackungen die gentechnischen Veränderungen nicht vermerkt waren, obwohl das Produkt GVO's enthielt. Bestes Beispiel hierfür sind pflanzliche Öle und Fette, die aus Gentech-Soja, -Mais oder -Raps gewonnen werden. Sie mussten bislang nicht als Gentech-Produkte ausgewiesen werden, weil bei ihrer Herstellung sämtliche Spuren der gentechnischen Veränderung durch Erhitzungs- und Reinigungsprozesse getilgt wurden.

Die neue Kennzeichnung weist allerdings Schwachstellen auf. Produkte, die weniger als 0,9% gentechnisch veränderte Bestandteile enthalten, sind von der Kennzeichnungspflicht ausgenommen, sofern die Verunreinigung zufällig oder technisch nicht zu vermeiden war. Landwirte oder Hersteller, die bewusst Gentechnik einsetzen, müssen auch unterhalb des

Schwellenwertes kennzeichnen. Auch in Kantinen und Gaststätten muss gekennzeichnet werden.

Nach dem neuen Gesetz durchlaufen erstmals auch gentechnisch veränderte Futtermittel ein Zulassungsverfahren und unterliegen der Kennzeichnungspflicht. So wissen Landwirte, ob sie gentechnisch veränderte Futtermittel kaufen oder nicht. Dieses Wissen müssen sie nach geltender Gesetzeslage jedoch nicht an die Konsumenten weitergeben. Denn Produkte von Tieren, die mit Gentech-Futter gefüttert wurden, wie Milch, Fleisch und Eier müssen nicht gekennzeichnet werden (Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V., 2004, S. 16).

Des Weiteren müssen nur Produkte gekennzeichnet werden, die aus GVO stammen, nicht aber solche, die mit Hilfe von GVO gewonnen wurden. Das betrifft vor allem die Zusatzstoffe. Das Vitamin B2, auch als Farbstoff Riboflavin bekannt, die Vitamine B12, C und E, der Geschmacksverstärker Glutamat, Aspartam als Süßungsmittel sowie Enzyme, wie z.B. Amylasen in Backmischungen, Chymosin (Labersatz) in Käse, Pektinasen in Fruchtsäften können mit Hilfe gentechnischer Verfahren hergestellt werden, und müssen daher nicht gekennzeichnet werden. Darin liegt ein großer Unsicherheitsfaktor. GVO's können durchaus in den Vitaminen von Brausetabletten, als Zusätze zu Säften oder Softdrinks enthalten sein, ohne dass der Verbraucher darüber informiert sein muss (Ökologische Plattform der PDS, 2005, S. 38, 39).

Ergänzt wird das Gesetz zur Kennzeichnungspflicht durch das Gesetz über die Rückverfolgbarkeit von GVO's. Das Gesetz verpflichtet die beteiligten Akteure dazu, ein System aufzubauen, durch das über einen Zeitraum von 5 Jahren die Herkunft und Verwendung von GVO'S und gentechnisch veränderten Bestandteilen nachvollziehbar ist (Genanet-Leitstelle Geschlechtergerechtigkeit & Nachhaltigkeit, 2005, S. 7). So muss der Ursprung und der Verbleib der verwendeten Produkte über den gesamten Verarbeitungsprozess beziehungsweise durch die Vertriebskette hindurch dokumentiert werden. Jede Annahme und Weitergabe eines Gentech-Produktes muss schriftlich festgehalten werden. Das Gesetz zur Rückverfolgbarkeit soll den Rückruf eines GVO-Produktes ermöglichen, wenn sich trotz erteilter Marktzulassung herausstellt, dass es umwelt- oder gesundheitsschädlich ist (Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V., 2004, S. 15).

Die EU-Richtlinie zur Koexistenz und Haftung schuf nur einen Rahmen, der erst noch als nationales Recht ausgearbeitet werden musste. Landwirtschaftsministerin Renate Künast setzte dieses Gesetz gegen die Mehrheit der Bundesländer durch. Es sieht vor, dass Genbauern bei GVO-Kontamination von Feldern benachbarter Landwirte gesamtschuldnerisch und verschuldensunabhängig haften (www.dradio.de (a), 2004).

Unter dem Begriff gesamtschuldnerisch versteht man, dass beim Vorhandensein mehrerer Genkulturen im Pollenflugradius von verschiedenen Gentech-Landwirten vermutet wird, dass diese gemeinsam zu gleichen Teilen die Ursache der Verunreinigung gewesen sind. In diesem Fall haften die Eigner dieser Kulturen gemeinsam (Bioland e.V., 2004, S. 8).

Laut Kabinettsentwurf bedeutet verschuldensunabhängig, dass ein Anbauer einer Genkultur als Ausgleich für die Verunreinigung Schaden zu zahlen hat, weil er ihn verursacht und nicht, weil er ihn verschuldet hat (Bioland e.V., 2004, S. 6).

Nach dem Beschluss von SPD und Grünen war beabsichtigt, dass das Gesetz greifen soll, wenn sich nicht zuordnen lässt, wer die Verunreinigung der Ernte eines Nachbarn verursacht hat. Nach dem Prinzip der Verschuldensunabhängigkeit kann demnach jeder GVO anbauende Landwirt in einem bestimmten Umkreis für den ökonomischen Schaden seiner Nachbarn zur Rechenschaft gezogen werden, selbst wenn er die Gute Fachliche Praxis des GVO eingehalten hat (Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V., 2004, S. 17).

Unter der Guten Fachlichen Praxis versteht man die Erfüllung sämtlicher Sicherheitsauflagen, wie z.B. das Einhalten von Mindestabständen zu Nachbarfeldern, oder das Anlegen von Hecken, um zu verhindern, dass der Wind Gen-Pollen auf die Nachbarfelder trägt (www.welt.de, 2005).

CDU, CSU und FDP haben sich gegen die Einführung dieses Gesetzes gewehrt. Ihrer Meinung nach beinhaltet das Gesetz ein unverhältnismäßiges Haftungsrisiko, dass praktisch auf ein Anbauverbot von gentechnisch veränderten Pflanzen hinausläuft (Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V., 2004, S. 17).

Mit der Ablösung der alten Bundesregierung bekam die grüne Gentechnik erneut Aufwind. Laut Koalitionsvertrag von CDU, CSU und SPD von Oktober 2005 stellt die grüne Gentechnik

eine wichtige Zukunftsbranche für Forschung und Wirtschaft dar und soll daher gefördert werden. Im Koalitionsvertrag ist festgelegt, dass gemäß des Vorsorgeprinzips der Schutz von Mensch und Umwelt oberstes Ziel des Gentechnikrechts bleibt. (www.koalitionsvertrag.spd.de (a), 2005).

Das Vorsorgeprinzip besagt, dass mögliche Risiken und ökologische Schäden jeweils nach dem neuesten Stand der Wissenschaft beurteilt werden müssen, so dass im Schadensfall der Anbau eines gentechnisch veränderten Organismus gestoppt werden kann. Das Vorsorgeprinzip schließt auch ein, Schadensmöglichkeiten in Betracht zu ziehen, die nach dem derzeitigen Stand der Wissenschaft als nicht eindeutig gefährlich klassifiziert werden können. Das bedeutet, dass bei der Gesetzgebung auch ein so genannter Gefahrenverdacht oder ein bestimmtes Besorgnispotential von GVO's Berücksichtigung finden muss (www.nabu.de (c), 2004). Die Wahlfreiheit der Landwirte und Verbraucher und die Koexistenz der unterschiedlichen Bewirtschaftungsformen müssen laut Koalitionsvertrag gewährleistet bleiben. Das Gentechnikrecht soll den Rahmen für die weitere Entwicklung und Nutzung der Gentechnik in allen Lebens- und Wirtschaftsbereichen setzen. Gemäß Koalitionsvertrag soll die EU-Freisetzungsrichtlinie zeitnah umgesetzt und das Gentechnikgesetz novelliert werden. Die Regelungen sollen so ausgestaltet werden, dass sie Forschung und Anwendung in Deutschland fördern (www.koalitionsvertrag.spd.de (b), 2005).

Anders als seine Amtsvorgängerin Renate Künast verkündete der neue Landwirtschaftsminister Horst Seehofer im Dezember 2005, den Anbau genveränderter Pflanzen voranzutreiben und die im Koalitionsvertrag vereinbarte Novellierung des Gentechnikgesetzes durchzusetzen. Gleichzeitig kündigte er einen Wegfall spezieller Förderungen für den biologischen Landbau an.

Am 14. Dezember wurden nach Beendigung des EU-Moratoriums von 1994 erstmals drei Gentechnik-Maissorten uneingeschränkt für den kommerziellen Anbau in Deutschland zugelassen (www.presseportal.de (a), 2006).

Bei den zugelassenen Gentechnik-Mais handelt es sich um Bt-Sorten, die selbst Gifte produzieren und so Schäden durch bestimmte Insekten verhindern können (www.heise.de, 2004).

Landwirtschaftsminister Seehofer und Bauernpräsident Gerd Sonnleitner sprachen sich untermessen für einen wissenschaftlich begleitenden und abgesicherten Versuchsanbau von gentechnisch veränderten Pflanzen in Deutschland unter Beteiligung aller relevanten Gesellschaftsgruppen aus (www.presseportal.de (b), 2006).

Die Bundesregierung hat bis zum 18. Februar 2006 die EU-Freisetzungsrictlinie (2001/18/EWG) in nationales Recht umgesetzt. Die EU hatte der Bundesregierung zur Umsetzung der Richtlinie eine Zweimonatsfrist eingeräumt und im Falle von Verzögerungen mit täglichen Strafzahlungen von 792.000 Euro gedroht. Die neue EU-Freisetzungsrictlinie von 2001, die die alte aus dem Jahre 1990 ablöst, enthält eine Reihe von Verbesserungen (www.gentechnikfreie-regionen.de (b), o.J.).

So ist in der neuen Freisetzungsrictlinie das Vorsorgeprinzip verankert. Die neue Freisetzungsrictlinie sieht vor, dass GVO's vor ihrer Marktzulassung einer Umweltverträglichkeitsprüfung unterliegen. Sie beinhaltet zudem die Pflicht zur Information der Öffentlichkeit über GVO-Standorte und legt fest, dass GVO's nach dem Inverkehrbringen auf Langzeiteffekte (Monitoring) hin überwacht werden müssen. Außerdem befristet sich die Zulassung von GVO's auf 10 Jahre (Bund für Umwelt und Naturschutz e.V., 2004, S. 11).

Landwirtschaftsminister Horst Seehofer will den Novellierungsprozess des grünen Gentechnikgesetzes durch Gesprächsrunden ergänzen. Im April dieses Jahres hatte er sich zwei Tage lang in vier Gesprächsrunden von Vertretern aus Wirtschaft, Forschern, Umweltschützern und Kirche zur grünen Gentechnik beraten lassen. Genkritiker beobachteten einen nachdenklichen, skeptischen und einsichtigen Landwirtschaftsminister (www.presseportal.de (c), 2006).

Die neue Bundesregierung plant eine Entschärfung der Haftungsregeln. Demnach sollen Landwirte nur haften, wenn sie die Gute Fachliche Praxis nicht eingehalten haben. Für alle anderen Fälle soll ein Haftungsfond aufkommen (Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V., 2004, S. 17).

Der Staat will sich jedoch nicht - wie früher beabsichtigt - an der Finanzierung dieses Fonds beteiligen. Damit hat sich die Bundesregierung deutlich gegen die Einführung einer Gentech-

Steuer ausgesprochen. Sie will, dass sich die Saatgutindustrie und die Züchter genveränderter Pflanzen an diesem Fond beteiligen (www.dradio.de (b), 2004).

Allerdings haben die Hersteller genveränderten Saatguts deutlich werden lassen, dass sie sich an einer Haftung nicht freiwillig beteiligen möchten. Daraus resultiert das Problem, dass eine Vielzahl entstandener Schäden nicht kompensiert werden kann. Denn GVO-Landwirte müssen für verursachte Schäden nicht aufkommen, sofern sie beweisen können, dass sie die Gute Fachliche Praxis eingehalten haben, und die durch GVO geschädigten Landwirte würden damit keinerlei Entschädigung erhalten (Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V., 2004, S. 17).

4.1.2 Einzelne Parteien

Die CDU betrachtet die grüne Gentechnologie als sichere und beherrschbare Hochtechnologie (www.keine-gentechnik.de, o.J.).

Nach Anschauung der CDU ist ein rohstoffarmes Land wie Deutschland besonders auf neue Technologien angewiesen. Sie will deshalb die Bio- und Gentechnologie voranbringen und den notwendigen und verantwortbaren Rechtsrahmen zur Entwicklung schaffen.

Angemessene gesetzliche Rahmenbedingungen sind ihrer Meinung nach dazu angetan, die deutsche Forschung und die mittelständische Industrie im Bereich der grünen Gentechnik zu fördern, die für Deutschland von Bedeutung sind. Forschung und Anwendung der grünen Gentechnologie sollen in Deutschland möglich sein.

Die CDU hat im Koalitionsvertrag mit der SPD geregelt, dass eine Novellierung des Gentechnikgesetzes erfolgen soll. Sie will vor allem durch die Novellierung eine Beendigung der Benachteiligung der grünen Gentechnik erreichen. Sie will die im Gesetz verankerten Haftungsregelungen der alten Bundesregierung entschärfen und sicherstellen, dass wissenschaftliche Freisetzungsversuche kein Inverkehrbringen von GVO's bedeuten.

Nichtsdestotrotz will auch die CDU einen verlässlichen Verbraucherschutz. So strebt sie praktikable und verständliche Kennzeichnungsregeln gentechnisch veränderter Lebensmittel an (www.transgen.de (a), o.J.).

Die FDP sieht in der Gentechnologie eine Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts. Ihrer Meinung nach bietet sie vielseitige Chancen, die Lebensmittelproduktion sicherer zu machen und die Umweltverträglichkeit des Anbaus zu verbessern.

Die FDP findet, dass der Landwirt wieder zum Unternehmer werden muss und dass eine unternehmerische Landwirtschaft auf die Nutzung des technischen Fortschritts angewiesen ist.

Sie will deshalb die Rahmenbedingungen der grünen Gentechnik so gestaltet sehen, dass vor allem die vielen kleinen und mittleren Unternehmen ihr Potential zur Schaffung hochqualifizierter Arbeitsplätze abschöpfen können. Sie möchte deshalb auch, dass alle Forschungsmittel weiterhin in vollem Umfang zur Verfügung stehen.

Die FDP sieht in der grünen Gentechnik eine Wachstumsbranche und findet es deshalb unverantwortlich, sie aus ideologischen Gründen zu blockieren.

Die FDP sieht aber auch, dass die Verbraucher der grünen Gentechnik zum Teil kritisch gegenüber stehen. Sie sieht die Ursache darin, dass die Verbraucher den Nutzen eines gentechnisch veränderten Produktes nicht deutlich erkennen können. Ihrer Ansicht nach ist es Aufgabe der Politik, diese Blockade zu brechen. Die FDP fordert deshalb, dass die Debatte über die grüne Gentechnik offen geführt werden muss. Die Beratungen müssen für die Öffentlichkeit transparent und nachvollziehbar sein.

Sie fordert, dass die Bundesregierung parallel dazu eine breit angelegte und von allen wesentlichen gesellschaftlichen Gruppen getragene Aufklärungskampagne einleitet. Ziel dieser Kampagne soll sein, das Informationsdefizit in der Bevölkerung zu beheben und damit die Voraussetzungen für die gesellschaftliche Akzeptanz der grünen Gentechnik zu schaffen (www.transgen.de (b), o.J.).

Ziel der SPD ist es, für Verbraucher und Landwirte eine gentechnikfreie Landwirtschaft und Lebensmittelproduktion sicher zu stellen. Die SPD will eine Wahlfreiheit für die Verbraucher. Dazu gehört auch eine umfassende und verständliche Kennzeichnung der Produkte. Zudem möchte die SPD für Rahmenbedingungen sorgen, die eine Koexistenz der unterschiedlichen Bewirtschaftungsformen in der Landwirtschaft ermöglichen. Sie will insbesondere die gentechnikfreie Landwirtschaft vor Beeinträchtigungen durch den Gentechnik anwendenden

Anbau schützen. Dazu gehören am Verursacherprinzip orientierte Sicherheitsauflagen und Haftungsregelungen, die der GVO-Anbauer einzuhalten hat (SPD-Parteivorstand-Kommission, 2003, S. 12).

Für eintretende Schadensfälle, die der GVO-Anbauer nicht zu verantworten hat, soll ein durch die Wirtschaft finanzierter Ausgleichsfond eingerichtet werden.

Weiterhin setzt sich die SPD für eine Kennzeichnung für Produkte wie Fleisch, Eier, Milch und Milchprodukte von Tieren ein, die mit Futtermitteln gefüttert wurden, die Bestandteile aus gentechnisch veränderten Pflanzen enthalten. Sie tritt auch für eine Kennzeichnungspflicht für GVO-haltiges Saatgut ein, die sich an der Nachweisgrenze von 0,1% orientiert (Vorstand der SPD, Referat Parteiorganisation, 2005, S. 139).

Die SPD setzt sich aber auch für einen verantwortlichen Umgang mit den Potentialen der grünen Gentechnik ein und ist bereit, kalkulierte Risiken in Kauf zu nehmen. Sie sieht durchaus das Risiko von Allergien, die Gefahr des Überspringens von Genen von Kulturpflanzen auf verwandte Wildkräuter sowie das Entstehen von Resistenzen als Risiko an und will daher in Abstimmung mit den Unternehmen ein sorgfältig ausgearbeitetes langfristiges Forschungs- und Begleitprogramm zum Anbau von gentechnisch veränderten Pflanzen durchführen (www.transgen.de (c), o.J.).

Die Grünen wollen keine gentechnisch veränderten Lebensmittel. Sie wenden sich gegen die schleichende Einführung der Gentechnik in der Ernährung und gegen die Freisetzung von gentechnisch veränderten Pflanzen.

Sie halten gentechnische Veränderungen in der Landwirtschaft und in Lebensmittel für nicht notwendig, weil sie ihrer Meinung nach ein unkalkulierbares Risiko für Mensch und Umwelt darstellen.

Für die Grünen steht die Wahlfreiheit der Landwirte und Verbraucher an erster Stelle. Deshalb muss es ihrer Ansicht nach auch künftig weiter möglich sein, gentechnikfreie Lebensmittel zu produzieren und zu kaufen (www.transgen.de (d), o.J.).

Ihrer Meinung nach bedroht die grüne Gentechnik die gentechnikfreie Landwirtschaft und gefährdet Arbeitsplätze im ökologischen Landbau.

Die Grünen beanspruchen für sich, ein Gentechnikgesetz mit auf den Weg gebracht zu haben, das durch klare Kennzeichnungsregeln Transparenz für den Verbraucher schafft und zudem eine schlüssige Verursacherhaftung bei der Koexistenz eingeführt zu haben, um so den Verursacher eventueller Schäden haftbar machen zu können (Bündnis 90/Die Grünen, 2005, S. 64).

Die Grünen fordern zudem, dass bei Saatgut, das am Anfang der Produktionskette steht, weiterhin keinerlei Verunreinigungen durch gentechnisch verändertes Saatgut zugelassen werden darf. Die Landwirte sollen auch weiterhin gentechnikfreies Saatgut erwerben können.

Darüber hinaus verlangen die Grünen, dass Freisetzungen nur im Rahmen eines klar umgrenzten und mit der Industrie vereinbarten Forschungs- und Beobachtungsprogramms zur grünen Gentechnik stattfinden. Damit sollen die nach wie vor noch offenen Fragen des großflächigen Anbaus und des kommerziellen Einsatzes von gentechnisch veränderten Pflanzen geklärt und mögliche Risiken ermittelt und bewertet werden (www.transgen.de (e), o.J.).

Die PDS lehnt die Gentechnik zur Schaffung neuer Pflanzen- und Tierarten und zur Nutzung in der landwirtschaftlichen Praxis ab.

Sie begründet dies, indem sie auf die Komplexität ökologischer Prozesse, auf die Nichtrückholbarkeit von GVO's bei der Freisetzung und der Ausbildung von Resistenzen hinweist. Sie betrachtet diese Faktoren als eine Gefährdung der landwirtschaftlichen Produktion, die die Basis der Lebensmittelherstellung bildet.

Die PDS tritt vorrangig für das Vorsorgeprinzip des Verbrauchers ein, das auch im neuen Gentechnikgesetz verankert ist. Sie setzt sich auch für die Wahlfreiheit des Verbrauchers ein. Um dieses Recht zu gewährleisten, muss nach Sicht der PDS eine vollständige, auffällige und gut sichtbare Kennzeichnung von gentechnischen Produkten erfolgen. Diese Deklarationspflicht muss nach Meinung der PDS auch für Nahrungsmittel tierischen Ursprungs gelten, wenn zur Fütterung gentechnisch modifiziertes Futter eingesetzt wurde.

Des Weiteren lehnt die PDS die Patentierung von Lebewesen und Genen durch die Herstellerfirmen ab.

Die PDS tritt dafür ein, dass die Landwirte freien Zugang und Wahlfreiheit beim Saatgut behalten, und nicht in die Abhängigkeit von Saatgutfirmen geraten.

Sie fordert eine demokratische Kontrolle bei der Entwicklung, Einführung und Regelung von GVO's. So bedarf ihrer Meinung nach jeder Schritt in der Nutzbarmachung der grünen Gentechnologie strikter, gesetzlich gesicherter Kontrolle, öffentlicher Aufklärung und hoher parlamentarischer Aufmerksamkeit.

Ebenso müssen ihrer Meinung nach gesetzliche Regelungen geschaffen werden, die eine Auskreuzung von GVO auf Pflanzen der gleichen Art oder verwandte Wildpflanzen verhindern.

Die grüne Gentechnik bürdet der Gesellschaft nach Erachten der PDS immense Kosten auf. Sie weist darauf hin, dass die Entwicklung, Forschung, Kontrolle, Haftung, politische Behandlung und Trennung zwischen GVO und konventionellen Produkten in der Lagerung und Verarbeitung zu einem erheblichen Teil aus Steuermitteln des Staates finanziert wird oder in den Produktpreis als Kostenfaktor auf den Verbraucher umgelegt wird. Die Haltung der PDS ist es daher, dass die Herstellerfirmen, die GVO entwickeln, auch im vollen Umfang für die Folgen von Schädigungen und gesellschaftlichen Kosten aufkommen müssen. Zur Haftung ökologischer und wirtschaftlicher Schäden seien nicht die GVO-Anbauer als Verursacher, sondern vor allem die Entwickler und Hersteller als Schuldner für die Sicherheit des Produktes hinzuzuziehen.

Die PDS tritt zudem für die Schaffung gentechnikfreier Zonen auf gesetzlicher Grundlage ein. Die biologische Landwirtschaft als nachhaltigste Form der landwirtschaftlichen Produktion hält sie dabei für besonders unterstützungswürdig.

Die PDS setzt sich auch dafür ein, dass den Entwicklungsländern kein GVO-Saatgut, GVO-Nahrungsmittel oder GVO-Futtermittel aufgezwungen werden (Ökologische Plattform der PDS, 2005, S. 62 – 64).

4.2 Wirtschaft und Herstellerfirmen

In den vergangenen sechs Jahren konzentrierte sich die agrochemische Branche. Derzeit beherrschen sechs Konzerne den Markt: Syngenta, Bayer Crop Science, Monsanto, DuPont,

BASF und Dow. Diese Firmen teilen sich drei Viertel des Umsatzes für Saatgut und Pflanzenschutzmittel. Bei transgenem Saatgut dominiert Monsanto mit einem Marktanteil von 90 % (Zarzer, 2005, S. 61).

Kleine Firmen wurden von Branchen-Riesen aufgekauft. Während früher einzelne Firmen für Saatgut sowie für Pflanzenschutzmittel, Futtermittelzusätze und Dünger existierten, befinden sich diese jetzt aufgrund der stattgefundenen Konzentrationsprozesse zumeist unter einem Firmendach vereint. Selbst die großen Firmen fusionierten.

Diese Firmen agieren längst nicht mehr nur national, sondern kosmopolitisch und global, sie sind rund um die Welt in vielen Staaten vertreten (Ökologische Plattform der PDS, 2005, S. 17).

Insgesamt werden von der agrochemischen Branche weltweit jährlich Umsätze von ca. 42 Milliarden US-Dollar erwirtschaftet, wovon 29 Milliarden US-Dollar auf Pflanzenschutzmittel und 13 Milliarden auf Saatgut entfallen (Zarzer, 2005, S. 65).

Die führenden Agro-Konzerne verfolgen eine Doppelstrategie: Sie verkaufen dem Landwirt nicht nur ihr transgenes Saatgut, sondern gleichzeitig dazu das genau darauf abgestimmte Komplementärherbizid und erhöhen damit ihre Gewinne. Der Landwirt wird somit gezwungen, beides jeweils von der gleichen Herstellerfirma zu beziehen (Ökologische Plattform der PDS, 2005, S. 18).

Die hohen Forschungs- und Entwicklungskosten für transgenes Saatgut lassen sich die Firmen bezahlen, indem sie ihre Forschung patentieren lassen. Mit der Patentierung entfällt das Landwirteprivileg. Dieses Privileg erlaubte dem Landwirt bisher, einen Teil seiner Ernte einzubehalten und im nächsten Jahr erneut zur Aussaat zu verwenden. Will der Landwirt gentechnisch verändertes Saatgut erneut aussähen, so muss er jetzt Lizenzgebühren an die Herstellerfirmen zahlen (Zarzer, 2005, S. 67). Das wiegt umso schwerer, weil es für die Landwirte zumindest in Amerika mittlerweile schwierig geworden ist, überhaupt noch konventionelles Saatgut bekommen zu können. Da Monsanto nahezu sämtliche Saatgutfirmen aufgekauft hat, ist es für den Landwirt dort fast aussichtslos, gentechnisch nicht verändertes Saatgut zu beziehen (Zarzer, 2005, S. 24).

In Amerika wacht Monsanto streng über die Einhaltung des Patentgesetzes. Laut des US-Zentrums für Nahrungsmittelsicherheit (CFS), einer angesehenen Non-Profit-Organisation, beschäftigt Monsanto allein 75 Angestellte, die nur mit Ermittlungen und Klagen wegen Patentverletzungen beschäftigt sind und hat für diesen Zweck ein jährliches Budget von 10 Millionen US-Dollar vorgesehen (Zarzer, 2005, S. 69).

Bekanntestes Beispiel einer angeblichen Patentrechtsverletzung stellt der Fall Percy Schmeiser in Kanada dar. Schmeiser wurde vom Konzern Monsanto wegen genetischen Diebstahls vor Gericht verklagt. Der Konzern verlangte von Schmeiser technologische Abgaben in Höhe von 15 kanadischen Dollar pro Acre. Schmeiser wehrte sich und versicherte, nie RoundUp-Ready-Raps ausgesät zu haben. Er vermutete, dass seine Felder durch Pollenflug oder durch verwehtes gentechnisch verändertes Saatgut von vorbeifahrenden Lastwagen verunreinigt worden waren. Tatsächlich besitzt Raps ein sehr hohes Auskreuzungspotential. Die erste und zweite Instanz des Gerichtes entschieden gegen Schmeiser. 200.000 Dollar Gerichtskosten sollte der Landwirt zahlen. Schmeiser ging, inzwischen von zahlreichen nicht-staatlichen Organisationen unterstützt, zum Höchsten Gericht und verlor knapp. Die Richter billigten dem Konzern die volle Nutzung seiner Patentansprüche zu, entbanden Schmeiser aber von jeglicher Schadensersatzzahlung an Monsanto, da er keinen finanziellen Vorteil aus dem RoundUp-Ready-Raps ziehen konnte. Die Gerichtskosten wurden ihm ebenfalls erlassen. (www. heise.de, 2004).

Monsanto führt nach Angaben von CFS jährlich durchschnittlich 500 Ermittlungen wegen angeblicher Patentrechtsverletzungen durch. Laut CFS erreicht die Gesamtsumme aller dokumentierten Gerichtsurteile, die dem Konzern aufgrund von Klagen zugesprochen wurde, eine Höhe von 15 Millionen Dollar, die außergerichtlichen Vergleiche nicht mit einberechnet (Zarzer, 2005. S. 62).

Seit 1998 hält die Firma Delta & Pine, die inzwischen zu Monsanto gehört, ein Patent auf ein gentechnisches Verfahren, welches verhindert, dass eine Pflanze nach der Frucht noch einmal auskeimen kann. Inzwischen haben zahlreiche Firmen bei der Entwicklung nicht keimungsfähiger Pflanzen nachgezogen. Solche Pflanzen können zwar Frucht hervorbringen, sich aber nicht vermehren, sobald das entsprechende Gen eingeschaltet ist. Die Methode

der Firma Zeneca beruht beispielsweise darauf, dass das Gen, das die Keimung in der Pflanze verhindert, durch die Zugabe spezieller Chemikalien aktiviert wird.

Damit wäre es für die Landwirte unmöglich, Saatgut aus der Vorjahresernte nochmals auszusäen und das zuvor beschriebene Problem eventueller Patentschwierigkeiten wäre damit anscheinend beseitigt. Die Herstellerfirmen sehen in diesem nichtkeimungsfähigen Saatgut nun das Problem der Auskreuzung von transgenen Pflanzen gelöst und machen sich daher für eine Einführung dieses Saatgutes stark. Die Möglichkeit der Pollendrift transgener Pflanzen wurde übrigens von den gleichen Herstellerfirmen zuvor immer bestritten. Die Zulassung nicht keimungsfähigen Saatgutes ist aber in den meisten Ländern, und vor allem in Europa nicht erlaubt.

Nach Meinung des Risikoforschers Werner Müller beherbergt aber nicht keimungsfähiges Saatgut wie viele andere genetisch veränderte Pflanzen die Gefahr der genetischen Instabilität in sich. Die Expression des Gens, das die Keimung verhindert, könnte durch besondere klimatische Bedingungen, wie z.B. exzessive Sonneneinstrahlung, außer Kraft gesetzt werden. Des Weiteren besteht die Gefahr, dass die Pollen der nicht keimungsfähigen Pflanzen auskreuzen und keimungsfähige Pflanzen der gleichen oder verwandter Art kontaminieren, wodurch diese ungewollt unfruchtbar würden (Zarzer, 2005, S. 76–78).

Dr. Ricardo Gent, Geschäftsführer der Deutschen Industrievereinigung Biotechnologie, die die Interessen von 175 deutschen Biotech-Unternehmen vertritt, begrüßt es, dass die Bundesregierung die Forschung im Bereich der grünen Gentechnik fördert. So hatte die Bundesregierung in der Biotechnologie arbeitende Institutionen und Forschungsprojekte im Jahre 2003 mit mehr als 480 Mio. Euro unterstützt. Damit hatten sich die Fördermittel im Bereich der grünen Gentechnik im Vergleich zu den vorhergehenden fünf Jahren mehr als verdoppelt. So unterstützte das Bundesministerium im Bereich der Pflanzenbiologie unter anderen die Programme „Nachhaltige Bioproduktion“ und „Moderne Verfahren der Lebensmittelerzeugung“. Dr. Gent bemängelt hingegen, dass die Bundesregierung die Forschung im Bereich der grünen Gentechnik zwar fördern würde, aber keine klaren Zeichen gegen den Vandalismus auf Feldern, auf denen Freisetzung stattfinden, setzen würde. Er fordert, dass die Bundesregierung solche Feldzerstörungen öffentlich verurteilen müsse, zumal mit der Zerstörung von Versuchsfeldern auch Steuergelder vernichtet würden. Herr Gent sieht einen

deutlichen Widerspruch in der Förderung der Forschung durch die Bundesregierung einerseits und in der konkreten Handhabung der grünen Gentechnik durch die Regierung andererseits. Er kritisiert die Blockade bei der praktischen Umsetzung der grünen Gentechnik. So seien von der Bundesregierung seiner Meinung nach ohne stichhaltige wissenschaftliche Gründe Sortenzulassungen transgener Maissorten verzögert oder gestoppt und eine EU-weite Anbaugenehmigung von gentechnisch verändertem Mais sei in Deutschland ausgesetzt worden (Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland Pfalz, 2005, S. 30, 31). Der DIB-Vorsitzende Dr. Bernward Garthoff lässt wissen, dass die Branche auf innovationsfreundliche Rahmenbedingungen in der Pflanzenbiotechnologie angewiesen sei. Er fordert, dass die große Koalition das neue Gentechnikgesetz zügig verabschieden müsse (www.dib.org (a), 2006). Das neue Gentechnikgesetz, dessen Beschluss auf 2007 vertagt wurde, sieht diverse Lockerungen zugunsten der Wirtschaft und Wissenschaft vor. So soll die umstrittene Haftungsregelung entschärft werden. Streitpunkt ist hier die gesamtschuldnerische Haftung. Wenn das Feld eines konventionellen oder ökologischen Landwirts mit Pollen von gentechnisch verändertem Saatgut verunreinigt wird, haften alle in Frage kommenden Landwirte in der Umgebung gemeinsam, sofern der Verursacher nicht gefunden werden kann (www.taz.de (a), 2004). Diese Regelung würde nach Garthoff Landwirte davon abhalten, gentechnisch veränderte Pflanzen anzubauen. Landwirte sollten seiner Meinung nach die Chance erhalten, transgene Pflanze anzubauen, falls sie dies wünschten. Zudem beabsichtigt die Bundesregierung, die Bestrafung für Schäden an Feldern zu mildern, die durch Auskreuzung gentechnisch veränderter Pflanzensamen verunreinigt wurden. Auch Genforscher würden nach Garthoff durch die zurzeit harten Strafen von einem Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen abgeschreckt. Garthoff vertritt die Auffassung, dass mit dem Warten auf das neue Gentechnikgesetz Deutschland den Anschluss in dieser Schlüsseltechnologie verlieren würde. Unternehmen und wissenschaftliche Institutionen müssten endlich die Möglichkeit erhalten, die Ergebnisse ihrer Forschungs- und Entwicklungsprodukte in marktreife Produkte umzusetzen (www.dib.org (b), 2006).

Iris Wolf, Abteilungsleiterin Forschung und Technologie der Industriegewerkschaft Bergbau Chemie Energie sieht die Gefahr, dass Deutschland den Durchbruch in der grünen Gentechnik erst dann schaffen werde, wenn gentechnisch veränderte Produkte als Nahrungsmittel bei uns aus dem Ausland importiert würden. Unterdessen seien zahlreiche Unternehmen, die

sich mit der Entwicklung von gentechnisch veränderten Pflanzen beschäftigen, ins Ausland abgewandert. Frau Wolf weist darauf hin, dass seit Jahren zu beobachten sei, dass mittelständische Betriebe ihre Forschungsabteilungen ins Ausland verlegen würden. Damit würden viele qualifizierte Arbeitsplätze verloren gehen. Nach Meinung von Frau Wolf fördert die Bio- und Gentechnologie die Schaffung von Arbeitsplätzen in Deutschland (Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland Pfalz, 2005, S. 26).

Dieser Ansicht schließen sich viele Vertreter der Wirtschaft an und verlangen deshalb, dass die grüne Gentechnik gefördert werden müsse. Das Gegenteil ist eher der Fall. Durch den Erwerb kleinerer Firmen und Fusionen werden Einsparungen erzielt und Kapazitäten zusammengelegt, was Arbeitsplätze vernichtet. Wenn Arbeitsplätze geschaffen werden, dann in den Forschungsabteilungen; auf der Produktionsebene entfallen Stellen. (Zarzer, 2005, S. 138).

Arbeitsplätze könnten in Zukunft in der Sicherheitsforschung oder in den Kontrolllabors für gentechnisch veränderte Pflanzen entstehen. Diese Arbeitsplätze würden dann aber zum größten Teil aus Steuergeldern finanziert werden (www.boelw.de (a), o.J.).

Die Übernahme von Aventis Crop Science durch den Bayer-Konzern war beispielsweise mit dem Abbau von 4.000 Stellen verbunden. Die deutsche Bundestagsabgeordnete Ulrike Höfken von den Grünen schätzte im Juni 2005, dass in Deutschland bisher max. 200 Arbeitsplätze in der Agro-Gentechnik geschaffen worden seien (Zarzer, 2005, S. 139).

Im Vergleich dazu verzeichnete der ökologische Landbau im Jahre 2004 ein Umsatzwachstum von 10% auf 3,5 Mrd. Euro. Im Jahre 2003 wurden im ökologischen Landbau 75.000 neue Arbeitsplätze geschaffen (www.boelw.de(b), o.J.).

4.3 Forschung

Weltweit arbeiten rund 90% der Forscher im Dienst der Industrie, was den Schluss zulässt, dass es so gut wie keine unabhängige Forschung gibt (www.nabu.de (d), 2005). In der offiziellen Risikoforschung herrschen große Mängel. So gibt es bis dato weltweit keine Langzeitstudien, in denen die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen der Verfütterung gentechnisch veränderter Futtermittel über ausgedehnte Zeiträume von über zwei Jahren untersucht wur-

den, so dass man auf Auswirkungen auf Folgegenerationen schließen könnte. Die durchgeführten 90-Tage-Fütterungstests von Ratten sind Studien, mit denen nur Kurzzeiteffekte untersucht werden können. Langzeiteffekte, wie z.B. Einflüsse auf das Immunsystem und das Potential, Krebs auszulösen, können in dieser kurzen Zeitspanne nicht festgestellt werden.

Als äußerst problematisch stellt sich die Tatsache dar, dass die Untersuchungen für die Zulassung von gentechnisch veränderten Pflanzen von den Antragstellern selbst durchgeführt werden. Oder die Konzerne beauftragen Firmen, die die Untersuchung an den gentechnisch veränderten Pflanzen vornehmen. Die Behörden, die die gentechnisch modifizierten Pflanzen zulassen prüfen lediglich die Plausibilität der schriftlichen Ergebnisse der Untersuchungen, führen aber keine eigenen Studien zur Kontrolle der Ergebnisse durch. Viele Studien bleiben sogar unter Verschluss und gelangen nicht an die Öffentlichkeit.

Als zentrales Entscheidungskriterium für die Marktzulassung von gentechnisch modifizierten Nahrungs- und Futtermitteln dient die substantielle Äquivalenz. Unter der substantiellen Äquivalenz versteht man die wesentliche Gleichwertigkeit eines gentechnisch veränderten Produktes in seinen Eigenschaften zu einem herkömmlichen nicht gentechnisch veränderten Produkt. Die substantielle Äquivalenz wurde ausführlich in Kapitel 3.2.2.1 besprochen. Ist die substantielle Äquivalenz nach Meinung der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) gewährleistet, so gilt der GVO als sicher eingestuft.

Doch die substantielle Äquivalenz berücksichtigt keine Wechselwirkung im menschlichen und tierischen Organismus. Ebenso bleibt außer Acht, dass bereits geringste gentechnische Veränderungen tief greifende Effekte haben können. So kann es zur möglichen Bildung neuer toxischer Verbindungen kommen (Grössler, 2005, S. 237).

Von den wenigen Wissenschaftlern, die sich der Erforschung des Risikos von gentechnisch veränderten Pflanzen zugewandt hatten, und die auch Effekte fanden, die ein Gesundheitsrisiko vermuten lassen, haben die meisten nach der Veröffentlichung ihrer Daten ihre Anstellung verloren.

So wurde beispielsweise der Vertrag von Angelika Hilbek an einer schweizer Forschungsanstalt nicht weiter verlängert, nachdem sie herausgefunden hatte, dass Bt-Mais Nebenwirkungen auf Florfliegerlarven hat (Grössler, 2005, S. 240).

Auch das Vertragsverhältnis von Ignacio Chapela an der Universität von Berkeley wurde nicht verlängert, als er nachwies, dass in Mexiko genmodifizierter Mais Gebiete verschmutzt hatte, die keinen genmodifizierten Mais angebaut hatten. Mexiko ist ein Vielfaltszentrum von Mais. Es wird vermutet, dass der modifizierte Mais auch auf jene mexikanischen Felder gelangte, wo bisher nur Landsorten angebaut wurden (Genanet-Leitstelle Geschlechtergerechtigkeit & Nachhaltigkeit, 2005, S. 2).

Arpad Pusztai, der genmodifizierte Kartoffeln an Ratten verfütterte und danach unerwünschte Nebenwirkungen feststellen musste, wurde ebenfalls nach Veröffentlichung seiner Ergebnisse vom Rowett-Institut in Aberdeen nach 35 Jahren Dienst und 270 wissenschaftlichen Erstveröffentlichungen entlassen und bis auf den heutigen Tag nicht rehabilitiert. So sehr die Versuchsanordnung Pusztais von der Fachwelt (teilweise auch zu Recht) kritisiert wird - nicht leugnen lässt sich, dass die gentechnisch veränderte Kartoffelsorte zu den krankhaften Veränderungen führte (Grössler, 2005, S. 240).

Nach Meinung des Wissenschaftlers Ignacio Chapela ist die Wissenschaft heute nicht mehr frei und unabhängig. Die Universitäten haben sich den Konzernen geöffnet. Sie arbeiten mit den Konzernen zusammen und werden von ihnen zum Teil finanziert. Das hat zur Folge, dass wichtige Ergebnisse aufgrund von gefährdeten Geschäftsinteressen unter Verschluss geraten oder durch Patentierung vom wissenschaftlichen Diskurs und einer breiteren öffentlichen Diskussion ferngehalten werden (Genanet-Leitstelle Geschlechtergerechtigkeit & Nachhaltigkeit, 2005, S. 11).

Patentierung bedeutet die Privatisierung von Leben und die Sicherung exklusiver Nutzungsrechte an Pflanzen und deren Erbgut zur Abschöpfung von Profiten. Patente blockieren die freie Nutzung der geschützten Gene und behindern so die weitere Forschung durch andere Wissenschaftler als die der Pateninhaber. Auf diese Weise ist nur eine eingeschränkte Forschung im Bereich der grünen Gentechnik möglich (Ökologische Plattform der PDS, 2005, S. 52).

Ignacio Chapela bekennt, dass kritische Wissenschaftler Angst haben, ihre Kritik zu äußern. Sie erwarten, kein Geld mehr für ihre Forschung zu bekommen. Sie fürchten negative Konsequenzen für ihre Karriere, und dass die Veröffentlichung ihrer Publikationen behindert

werden könnte. Chapela gibt an, dass er Wissenschaftler in Amerika kenne, die ihre Studien über die Risiken transgener Pflanzen an Zeitschriften schicken würden, diese aber aufgrund ihres Themas abgelehnt würden. Es herrsche eine starke Zensur auf diesem Gebiet (www.dosto.de (d), 2004).

Wissenschaftlerkreise wie die UCS (Union of Concerned Scientists), die Alliance of Biointegrity und die Isis (International Security Service) haben sich schon im Jahr 2000 weltweit gegen transgene Pflanzen und gegen die Patentierung von lebenden Organismen ausgesprochen. Die Isis hat beispielsweise einen offenen Brief gegen die Nutzung transgener Pflanzen veröffentlicht, der von 463 renommierten Wissenschaftlern aus 56 Länder unterschrieben wurde.

Monsanto und andere agrochemische Konzerne finanzieren ihren Interessen nahe stehende Vereine, wie z.B. in Deutschland den „Wissenschaftlerkreis Grüne Gentechnik“, der sich aus Mitarbeitern von Pharmakonzernen rekrutiert. Die Mitglieder solcher von der Agrochemie finanzierter Vereine sind der grünen Gentechnik gegenüber besonders aufgeschlossen. Bei einer PR-Veranstaltung am 18. Juli 1996 zum Auftakt der Monsanto-Kampagne zur Einführung von Gen-Soja in Deutschland plädierte Prof. Dr. Klaus-Peter Jany, Mitglied des Wissenschaftlerkreises Grüne Gentechnik und Leiter des Molekularbiologischen Zentrums an der Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel in Karlsruhe entschieden für Monsanto's Anliegen. Er vertrat die Meinung, dass sich der deutsche Markt nicht vor solchen neuartigen Lebensmitteln verschließen könne. Professor Jany wandte sich auch gegen eine übertriebene Kennzeichnungspflicht, wie es z.B. der Fall sei, wenn transgene Gensojaerzeugnisse in anderen Lebensmitteln verarbeitet werden würden (Ökologische Plattform der PDS, 2005, S. 23, 24).

Neben den zuvor angeführten kritischen Stimmen von Forschern, die Bedenken gegen die grüne Gentechnik äußern, gibt es auch Forscher, die die grüne Gentechnik als Zukunftstechnologie betrachten und auf diesem Gebiet verstärkt Grundlagenforschung betreiben wollen. So beklagte die Deutsche Forschungsgesellschaft (DFG) die schlechten gesetzlichen Rahmenbedingungen für die Forschung innerhalb Deutschlands, die mit dem im Jahre 2004 verabschiedeten Gentechnikgesetz der rot-grünen Bundesregierung einhergingen.

Sie wendet sich vor allem gegen die Haftungsregelung, die besagt, dass GVO-Anbauer verschuldensunabhängig und gesamtschuldnerisch haften müssen. Diese Regelung legt fest, dass für die Verunreinigung und den damit verbundenen Schaden, der durch die Auskreuzung transgener Pollen bei nicht GVO-anbauenden Landwirten entsteht, die anbauende Forschungsanstalt haften muss, die mit gentechnisch veränderten Pflanzen arbeiten würde. Voraussetzung für die Haftung ist, dass bei der Verunreinigung ein Schwellenwert von 0,9% überschritten wird. Diese Haftung kennt keine Obergrenze. Dies stelle aber ein unkalkulierbares Risiko dar, meinen die Wissenschaftler der DGF, und würde Freilandversuche damit praktisch unmöglich machen, weil keine Forschungsanstalt in der Lage wäre, das Haftungsrisiko zu tragen. Andererseits könne auf Freilandversuche nicht verzichtet werden, weil nicht alles im Gewächshaus erforscht werden könne (www.das-parlament.de (a), o.J.). Freilandversuche müssten dann künftig außerhalb Deutschlands stattfinden (www.dfg.de (c), o.J.).

Zudem kritisiert die DFG den Gesetzesentwurf der Bundesregierung, der von der Annahme ausgeht, dass mit dem Ausbringen von gentechnisch veränderten Organismen (GVO's) ein besonderes Gefahrenpotential verbunden sei. Die DFG bemängelt, dass die verschärfte Risikoerschätzung zu mehr Bürokratie führe und den Transfer von Ergebnissen der Grundlagenforschung in wirtschaftlich verwertbare Verfahren und Produkte erschwere (www.dfg.de (d), 2004).

So werden nach der DFG die Anmeldungs- und Genehmigungsprozeduren für gentechnisch veränderte Pflanzen aufwändiger und bürokratischer.

Weiterhin bemängeln die Forscher der DFG, dass die Zentrale Kommission für Biologische Sicherheit (ZBKS), die über die Zulassung gentechnischer Pflanzen entscheidet, nach dem neuen Gesetz in zwei Ausschüsse aufgeteilt werden soll. Sie soll jeweils in einen Ausschuss für Laborversuche und in einen Ausschuss für Freilandversuche untergliedert werden, wodurch sich die Kommission verdoppelt. Nach Meinung der DFG seien beispielsweise bei der Untersuchung bestimmter Stoffwechselwege einer Pflanze sowohl Untersuchungen im Gewächshaus als auch im Freiland notwendig, und daher eine strikte Trennung der Kommission nicht akzeptabel

Darüber hinaus bemängeln die Forscher der DFG, dass das Antragsprozedere für die Freilassung von gentechnisch veränderten Pflanzen und die begleitenden Protokollierungen aufwendiger als bisher würden (www.dfg.de (f), 2004).

Zusätzlich wehrt sich die DFG gegen die Aufnahme von Mitgliedern ohne Fachkenntnisse in die ZBKS.

Außerdem vertritt die DFG die Ansicht dass die Etablierung von Standortregistern des Bundes und aller 16 Länder sowie die langen Vorlaufzeiten zur Aussaat von gentechnisch veränderten Organismen anstehende Forschungsarbeiten behindert (www.dfg.de (e), 2004).

Forscher in Deutschland beklagen vor allem die Zerstörung von Freilandversuchen durch radikale Gegner der grünen Gentechnik.

So hatten Unbekannte den behördlich genehmigten Freilandversuch des Max-Planck-Instituts für Molekulare Pflanzenphysiologie (MPI-MP) am 22. Juni 2004 zerstört, indem sie alle 350 Kartoffelpflanzen abschnitten. Bei dem Kartoffelversuch handelte es sich um Grundlagenforschung, die das Ziel hatte, nachwachsende Rohstoffe wie Stärke in größeren Mengen umweltschonend herstellen zu können. Bereits im Mai 2004 war ein Versuchsfeld mit Mais in Baden-Württemberg und ein Weizenversuch in Sachsen-Anhalt verwüstet worden (www.dib.org (c), 2006).

Durch die Zerstörung von Freilandversuchen wird in den Augen der Wissenschaftler die Forschung in der Pflanzenbiotechnologie massiv behindert. Derlei Freilandversuche seien insbesondere für die Sicherheitsbewertung gentechnisch veränderter Pflanzen von Bedeutung. Nach Meinung der Forscher seien Freilandversuche besonders wichtig, um Erfahrungen für zukünftige Generationen von Pflanzen sammeln zu können und die so gemachte Grundlagenforschung in optimierte Produkte umsetzen zu können (www.dib.org (d), 2006).

Nach Meinung der Wissenschaftler könnten solche Zerstörungen vermieden werden, wenn die Flächen für Freilandversuche nicht in öffentlichen Registern angegeben werden müssten. Nur Betroffene und benachbarte Landwirte sollten Zugang zu diesen Informationen haben (www.das-parlament.de (b), o.J.).

Deutsche Wissenschaftler kritisieren auch, dass die Bundesregierung die Feldzerstörungen nicht öffentlich verurteilt. Dadurch würden Millionen von Steuergeldern verschwendet.

4.4 Landwirte

Man muss unterscheiden zwischen konventionell und ökologisch anbauenden Landwirten. Die Einstellung dieser beiden Gruppierungen zur grünen Gentechnik wird nachfolgend näher beschrieben.

4.4.1 Konventionelle Landwirte

Die Verbandsfunktionäre des Bauernverbandes sind auch in den Aufsichtsräten der Pharmaindustrie, der Ölmühlen- und Futtermittelindustrie vertreten und haben sich noch bis kurz vor der BSE-Krise mit Argumenten wie dass die Kinderkrankheiten einiger Produkte überwunden werden müssten vehement für die grüne Gentechnik eingesetzt (Ökologische Plattform der PDS, 2005, S. 35).

Die Verbandsfunktionäre sind zwar nach der BSE-Krise etwas zurückhaltender geworden, aber sie betrachten die grüne Gentechnik nach wie vor als einen gewinnbringenden Markt. Sie plädieren dafür, sich wichtige Marktanteile an diesem Markt zu sichern und sich dieser neuen Technologie gegenüber nicht zu verschließen (Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland Pfalz, 2005, S. 16).

Anders verhält es sich mit den einfachen Landwirten. Die sind zunächst verunsichert, denn sie produzieren für den Verbraucher, der zum großen Teil keine gentechnisch veränderten Produkte haben möchte. Amerikanische Landwirte haben beispielsweise große Absatzschwierigkeiten von Mais in Europa, weil dieser Mais die Gefahr birgt, gentechnisch kontaminiert zu sein. Die Europäer wollen nämlich keine gentechnisch kontaminierten Produkte essen.

Zuletzt haben die amerikanischen Landwirte mit wütendem Widerstand die Einführung von gentechnisch veränderten Weizen verhindert, um nicht bei diesem ungleich wichtigeren Produkt ebenfalls den Marktzugang in die EU zu gefährden. Insgesamt sind den amerikanischen Landwirten durch die grüne Gentechnik wichtige Märkte verloren gegangen. Sie müssen

jährliche Einnahmeverluste von 300 Millionen US-Dollar in Kauf nehmen (Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland Pfalz, 2005, S. 15).

Den deutschen Landwirten ist die Gentechnik als Technologie auch zu riskant, so dass die meisten lieber darauf verzichten möchten. Etwa 70% aller Bäuerinnen und Bauern in Deutschland lehnen auch für die Zukunft gentechnisch verändertes Saatgut ab (Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V., 2004, S. 35).

Vielen Landwirten in Amerika haben die Vertreter der grüne Gentechnik versprochen, dass die gentechnisch veränderten Pflanzen dazu beitragen, Pestizide einzusparen und dass dadurch erhebliche Ertragssteigerungen möglich seien (Zarzer, 2005, S. 2).

Was sich als positiv bei den amerikanischen Landwirten abzeichnet, ist die einfache Handhabung der transgenen Nutzpflanzen. Der Landwirt muss zwecks Unkrautvernichtung nicht mehrere Spritzmittel anwenden, sondern benötigt nur ein Herbizid, das er im Vergleich zu herkömmlichen Herbiziden nur ein- bis zweimal im Jahr aufbringen muss. Somit verringert sich die Arbeitszeit des Landwirtes, was zu einer Kostenreduktion führt (Zarzer, 2005, S. 3).

Gleichzeitig ist der Landwirt jedoch gezwungen, für transgenes Saatgut mehr Geld ausgeben zu müssen als für herkömmliches. Per Knebelverträge wird dem amerikanischen Landwirt zudem vorgeschrieben, gentechnisch verändertes Saatgut und darauf abgestimmtes Pflanzenschutzmittel als Paket zu kaufen. Er darf das Erntegut auch weder nachbauen noch als Saatgut verwenden. Ebenso muss er den Konzernen erlauben, alle eigenen oder gepachteten Felder und Lagerstätten drei Jahre lang inspizieren zu dürfen. Kontrollen der Firmen auf den Ackerflächen gehören in Amerika und Kanada zur Tagesordnung. Verstöße der Landwirte werden mit hohen Geldstrafen und Gerichtsverfahren geahndet. Diese Tatsachen verdeutlichen, in welche besondere Abhängigkeit der Landwirt von den Herstellerfirmen geraten kann (Bioland e.V., 2004, S. 13).

Da sich mit der Zeit sowohl gegen gentechnisch herbizid veränderte Pflanzen als auch gegen Bt-Pflanzen Resistenzen ausbilden, müssen amerikanische Landwirte mittlerweile mehr Spritzmittel ausbringen, so dass von einer Einsparung an Pestiziden nicht die Rede sein kann (Zarzer, 2005, S. 20).

Viele amerikanische Landwirte betrachten den Bt-Mais als eine Vorsorgemaßnahme, die es ihnen erspart, sich intensiver um den Schädlingsbefall kümmern zu müssen. Sie sparen somit lediglich Zeit ein (Zarzer, 2005, S. 42).

Auch bringen die transgenen Pflanzen keine höheren Erträge hervor, so dass hier ebenfalls keine höheren Gewinne zu verzeichnen sind (Zarzer, 2005, S. 41).

Wie der renommierte Agrarwissenschaftler Duffy betont, bringt weder die Herbizidtechnologie noch die Bt-Technologie den amerikanischen Landwirten Profite. Die Hauptprofiteure sind seiner Meinung nach die Saatgutunternehmen und die Agrochemiekonzerne (Zarzer, 2005, S. 42).

4.4.2 Ökologisch wirtschaftende Landwirte

Besonders bedroht durch die grüne Gentechnik fühlen sich die ökologischen Landwirte. Mit gentechnisch veränderten Organismen kontaminierte Produkte, wie sie z.B. bei der Verunreinigung von Saatgut, durch Pollenflug oder durch Vermischungen bei Liefer- und Verarbeitungsprozessen entstehen können, sind nicht mehr als „hergestellt aus Biorohstoffen“ zu vermarkten, sondern müssen zu einem niedrigeren Preis als gentechnisch verunreinigtes Produkt verkauft werden. Im Extremfall droht dem ökologischen Landwirt der Verlust der Ökozertifizierung (Bioland e.V., 2004, S. 5).

In diesem Zusammenhang wird in der EU und auch in Deutschland der Begriff der Koexistenz in der Landwirtschaft politisch diskutiert. Unter Koexistenz versteht man, dass beide Seiten, sowohl die Gentechnik-Landwirte als auch die Nicht-Gentech-Landwirte nebeneinander produzieren und dauerhaft existieren können. Kein Landwirt soll dazu gezwungen werden, seine Anbaustrukturen aufgeben zu müssen (Ökologische Plattform der PDS, 2005, S. 45).

Im Vergleich zu anderen Ländern wie den USA, Kanada oder Argentinien verfügt Europa über keine weitläufigen Anbaugelände. Die europäische Landwirtschaft ist vielmehr von kleinen und mittleren Betrieben geprägt, so dass sich unter diesen Gesichtspunkt eine Koexistenz äußerst schwierig gestaltet.

2002 erteilte die EU-Kommission dem Joint Research Centre den Auftrag, einige Szenarien möglicher Koexistenz im Modell durchzurechnen. Die Forscher kamen zu dem Ergebnis, dass eine Koexistenz in Europa grundsätzlich möglich sei, aber mit viel Aufwand und hohen Kosten verbunden sei. Aufwand und Kosten hängen in starkem Maße von der angebauten Pflanzenart und deren biologischen Eigenschaften ab, ebenso von Größe und der Art der Bewirtschaftung eines Betriebes. Das Forschungszentrum legte insgesamt sechs Studien vor. Unter der Annahme, dass in einer bestimmten Region der Anbau von gentechnisch veränderten Pflanzen anfangs 10% und später 50% betrüge, wurden der Anbau von Raps für die Saatguterzeugung, Mais zur Verwendung als Futtermittel und Lebensmittel und Kartoffeln für den Verzehr und für die Verarbeitung auf der Basis von Computermodellen und Expertenwissen im Hinblick auf die zu erwartenden Kontaminationshöhen jener transgenen Pflanzen in gentechnikfreie Pflanzen analysiert.

Dabei stellte sich heraus, dass bereits bei einem 10%igen Anbau von gentechnisch veränderten Pflanzen die von den Vertretern des ökologischen Landbaus geforderten Grenzwerte von 0,1% nicht einzuhalten wären. Dieses gelänge nur bei Kostensteigerungen von bis zu 40%.

Bei Kartoffeln stelle sich das Auskreuzungsproblem als grundsätzlich gering dar. Eine Schwellenwertehaltung von 1% ohne besondere Vorkehrung für die konventionelle und ökologische Produktion erweise sich als realistisch. Ein Anteil von GVO von 0,1% werde aber praktisch kaum möglich sein.

Im Maisanbau sei bei ökologischer Bewirtschaftung ein Schwellenwert von nur 1% zu erwarten, da die Lebens- und Futtermittel im ökologischen Landbau eine hohe Reinheit des Saatgutes aufwiesen und der ökologische Landbau über bewährte Trennungsvorkehrungen verfüge. Die konventionelle Landwirtschaft dagegen müsse bei einem 50%igen Anbau von gentechnisch veränderten Maispflanzen aufwendige Schutzvorkehrungen treffen. Bei Raps könnte Ausfallraps dem ökologischen Landbau schwer zu schaffen machen (Zarzer, 2005, S. 30).

Die EU-Kommission beschloss im März 2003 Leitlinien zur Koexistenz, die den Mitgliedstaaten zur Ausarbeitung eigener Strategien für die Koexistenz überlassen wurden. Die EU-Kommission setzte hierbei auf die Fähigkeit der Landwirte, Maßnahmen eines regionalen

Anbaumanagements in Eigenregie zu regeln. Hierzu zählen nachbarschaftliche Absprachen zur Anbauplanung und die Einrichtung von Pufferzonen. Dies offenbart ein hochgestecktes Ziel seitens der EU-Kommission, denn die Bewältigung der notwendigen Managementaufgaben stellt die Landwirte vor erhebliche Herausforderungen. Neben der mangelnden Erfahrung im Umgang mit GVO's fehlen den Landwirten die erforderlichen Organisationsstrukturen, um eine Koexistenz durchführen zu können, auch sind nicht alle Zuständigkeiten vollkommen geklärt (www.leaderplus.de, o.J.).

Das neue Gentechnik-Gesetz in Deutschland sieht vor, dass die gentechnisch wirtschaftenden Bauern bei Kontamination durch GVO von Feldern benachbarter Landwirte gesamtschuldnerisch und verschuldensunabhängig haften (siehe dazu Kapitel 4.1).

Der GVO-Landwirt kommt nur dann für Schäden auf, wenn der ökologisch anbauende Landwirt wirtschaftliche Einbußen erlitten hat und die Kontamination über dem Schwellenwert von 0,9% liegt. Der ökologische Landwirt besitzt keine Einspruchsmöglichkeit, wenn in seinem Erntegut für Lebensmittel eine Verunreinigung von bis zu 0,9% GVO-Anteil enthalten sind. Denn dabei handelt es sich um den Grenzwert, bis zu dessen Höhe unvermeidbare GVO-Anteile in Lebensmittel vorkommen dürfen.

Erleidet der ökologisch wirtschaftende Landwirt wirtschaftliche Einbußen durch GVO's, so trägt er dafür die Beweislast und muss darüber hinaus die entstandenen Schäden rechtlich geltend machen. Er muss nachweisen, dass seine Ernte durch fremdes transgenes Saatgut verunreinigt worden ist. Die Analysekosten für die gentechnische Verunreinigung muss er zunächst selbst aufbringen. Um sich abzusichern, muss er die Genanalyse auch noch vor der Ernte durchführen lassen, denn nach der Ernte könnten Verunreinigungen angesichts vieler möglicher Kontaminationspfade durch Ernte oder Transportmaschinen erfolgt sein. Erst wenn der Schaden rechtlich anerkannt ist, müssen auch die Analysekosten vom verursachenden GVO-Bauer übernommen werden (Ökologische Plattform der PDS, 2005, S. 49).

Bei allen Diskussionen um die Koexistenz bleibt die Frage unbeantwortet, wer denn für die Kosten der Koexistenz aufkommt. Mehrkosten der Koexistenz wie Laboruntersuchungen zur Qualitätsprüfung müssten eventuell auf biologische Produkte aufgeschlagen werden. Es

bleibt abzuwarten, ob der Verbraucher dann auch bereit ist, für ökologische Produkte, die ohnehin schon teurer sind, die Mehrkosten zu tragen (Zarzer, 2005, S. 33).

Biologisch anbauende Wirte können sich gegen gentechnische Schäden auch nicht privat versichern lassen. Versicherungen lehnen einen Schutz durch GVO verursachte Schäden bei Landwirten ab. Sie begründen dies, indem sie darauf hinweisen, dass Haftpflichtversicherungen in der Regel nur unvorhergesehene Risiken abdecken würden. Mit dem Anbau von Genpflanzen sei aber ein vorhersehbares, unvermeidbares Risiko der Auskreuzung und Vermischung verbunden. Die Versicherungen rechnen mit einer hohen eintretenden Schadenshäufigkeit und einer schlecht kalkulierbaren Schadenshöhe (Zarzer, 2005, S. 32).

Damit wälzt der Gesetzgeber die bestehende Problematik der Haftung auf Auseinandersetzungen innerhalb der Bauernschaft ab. Zahlen muss der GVO-Landwirt, weil er einen Schaden verursacht hat, nicht weil er ihn verschuldet hat. Die Hersteller von transgenem Saatgut, die diese Produkte entwickeln und herstellen, aber nicht für ihre Sicherheit garantieren wollen und können, werden dagegen vom Staat bislang nicht zur Verantwortung gezogen. Sie müssen nicht für die von ihnen hergestellten Produkte haften (Ökologische Plattform der PDS, 2005, S. 49).

Bei der Diskussion um eine Koexistenz sprechen sich Biobauern für restriktive Werte bei der Verunreinigung von GVO's im Saatgut aus. Anders lasse sich die Koexistenz verschiedener Anbauarten ihrer Meinung nicht garantieren. Biobauern plädieren für eine maximal zulässige Verunreinigung von 0,1%. Die EU-Kommission dagegen möchte höhere Saatgutgrenzwerte. So sollen gentechnische Verunreinigungen im Saatgut von bis zu 0,3% bei Raps, 0,5% bei Mais und Zuckerrüben sowie von 0,7% bei Soja toleriert werden, ohne dass eine Kennzeichnung zu erfolgen hat (Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V., 2004, S. 20).

Die Vertreter des ökologischen Landbaus sind der Meinung, dass diese Werte zu hoch angesetzt sind. Da sich Saatgut am Anfang der Nahrungskette befinde, müsse mit weiteren Verunreinigungen zu rechnen sein, argumentieren sie. Folglich würde eine Kontamination gang und gäbe, und eine wirklich gentechnikfreie Produktion könne nicht mehr gewährleistet werden. Landwirten und Verbrauchern bliebe dann nur noch die Wahl zwischen mehr oder weni-

ger Gentechnik, eine wirkliche Wahlfreiheit für gentechnikfreie Produkte gäbe es somit nicht (Bund Naturschutz in Bayern e.V., 2005, S. 5).

Immer mehr Landwirte in Deutschland, aber auch in Österreich und der Schweiz, ob ökologisch oder konventionell wirtschaftend, schließen sich aus Sorge um zukünftige Märkte zusammen, indem sie sich freiwillig zu gentechnikfreien Regionen vereinigen.

Noch ist der Anteil der Flächen, auf den in Deutschland gentechnisch veränderte Pflanzen angebaut werden, verschwindend gering, doch das kann sich ändern. Derzeit wachsen gentechnisch veränderte Pflanzen auf rund 81 Millionen Hektar. Das sind knapp 5% der weltweiten landwirtschaftlichen Anbauflächen. 85 % der Flächen, auf denen gentechnisch veränderte Pflanzen angebaut werden, liegen in nur zwei Ländern, den USA und Argentinien. Die restlichen Prozent an Anbaufläche verteilen sich beinahe vollständig auf Brasilien, Kanada und China. Auf rund 95% der landwirtschaftlichen Anbauflächen wachsen noch keine gentechnisch veränderten Pflanzen. (www.gruene-bundestag.de, 2006).

Die Landwirte solcher gentechnikfreien Regionen in Deutschland verpflichten sich, auf den von ihnen bewirtschafteten Flächen kein gentechnisch verändertes Saatgut auszubringen. Diese freiwilligen Vereinbarungen werden durch Verträge untermauert. Vertragspartner sind die Landwirte, die in einer Region gemeinsam wirtschaften und die Verpächter der landwirtschaftlichen Flächen.

Ziel ist es, möglichst große zusammenhängende Flächen zu erhalten, damit eine Kontamination durch Pollenflug transgener Pflanzen ausgeschlossen werden kann (Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V., 2004, S. 35).

Initiatoren der gentechnikfreien Regionen waren damals insbesondere der BUND, das Bündnis Ökologische Lebensmittelwirtschaft und die Bundestagsfraktion Bündnis 90/Die Grünen (Bioland e.V., 2004, S. 11).

Seit November 2003 bis zum heutigen Zeitpunkt haben sich in Deutschland etwa 250.200 Landwirte in 93 gentechnikfreien Regionen mit rund 853.300 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche gegenseitig dazu verpflichtet, auf ihren Äckern kein gentechnisch verändertes Saatgut auszubringen (Abb. 19) (www.gentechnikfreie-regionen.de (c), o.J.)

Die größte gentechnikfreie Region in Deutschland ist momentan das Biosphärenreservat Rhön, welches im Dreiländereck zwischen Bayern, Hessen und Thüringen liegt. 11.000 Landwirte haben im Juni 2005 beschlossen, ihre 65.000 Hektar in diesem ökologisch sensiblen Gebiet frei von Gentechnik zu halten (www.gruene-fraktion-bayern.de, 2006).

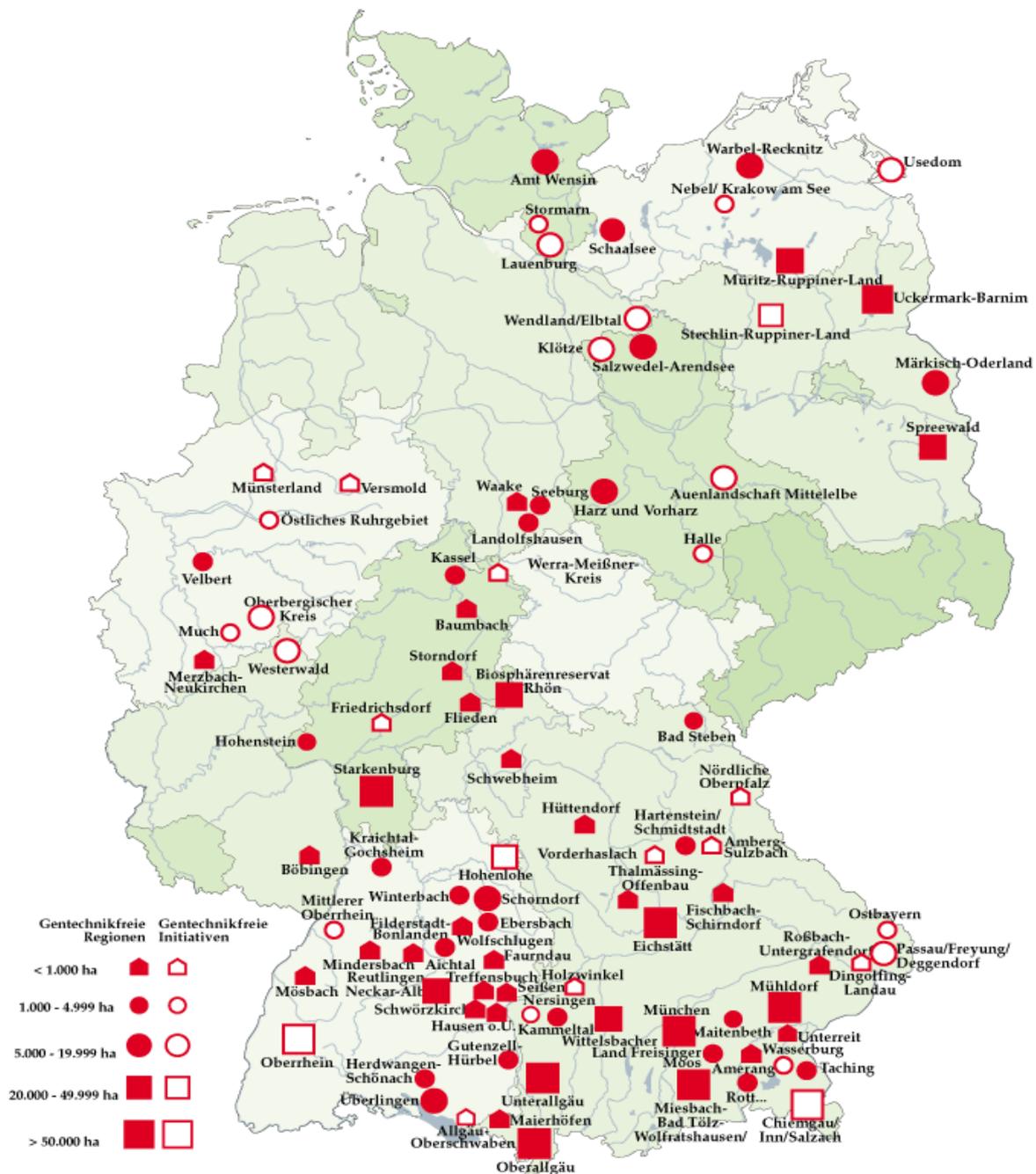


Abb. 19: Gentechnikfreie Regionen in Deutschland, 01.05.2006

(<http://www.tag-der-regionen.de/kreis/kreis1200601/index.html>; Stand: 14.12.2006)

4.5 Verbraucher und Verbraucherverbände

Gentechnisch veränderte Lebensmittel werden von der deutschen und der europäischen Bevölkerung kaum akzeptiert. Bei einer Umfrage im Dezember 2001 lehnten etwa 70% der befragten EU-Bürger gentechnisch veränderte Lebensmittel ab. Fast 95% verlangen, zwischen gentechnisch veränderten und unveränderten Produkten wählen zu können. Auch in Deutschland sind nur 20 - 25% der Bevölkerung bereit, gentechnisch veränderte Produkte zu konsumieren.

Der Nutzen gentechnischer Anwendungen in der Landwirtschaft wird von den Verbrauchern als nur gering eingeschätzt. Als wichtige Eigenschaften von Lebensmitteln werden stattdessen „Natürlichkeit“ und „Tradition“ angesehen. Die Gentechnik ist mit diesen Werten nicht vereinbar und wird daher als Bedrohung wahrgenommen (www.aerzteblatt.de (a), 2002)

Viele Bundesbürger befürchten, dass GVO-Lebensmittel aufgrund von neuen allergenen oder toxischen Inhaltsstoffen mit gesundheitlichen Risiken verbunden sein könnten. Außerdem werden ökologische Gefährdungen angenommen (Zentrum Gesellschaftliche Verantwortung der EKHN, 2005, S. 2).

Festgestellt haben die Umfragen zur grünen Gentechnik auch ein nur geringes Vertrauen der Bundesbürger in Wissenschaft, Politik und Bauernverbände. Dagegen setzen die Bürger großes Vertrauen in Verbraucher- und Umweltverbände (www.aerzteblatt.de (b), 2002).

Die Verbraucher bringen die Forderung nach Selbstbestimmung im Bereich der Ernährung - im Vergleich zu anderen Gütern - mit besonderem Nachdruck vor. Dies ist auf die wichtige Rolle zurückzuführen, die die Ernährung in unserem Leben einnimmt. Sie dient unserer Selbsterhaltung und ist nicht irgendein Konsumgut, dessen Einfluss wir uns entziehen könnten. Der Verbraucher fordert deshalb die Wahlfreiheit ein. Damit ist das Recht gemeint, zwischen genmodifizierten und nicht genmodifizierten Lebensmitteln frei wählen zu können. Ist diese Freiheit nicht gewährleistet, so hat der Verbraucher nicht die Option, auf Nahrungsmittel völlig verzichten zu können. Voraussetzung für diese Wahlfreiheit stellt eine eindeutige Kennzeichnung genmodifizierter Lebensmittel dar (www.food-monitor.de (n), o.J.).

Das ist umso wichtiger, weil Nahrungsmittel, die GVO beinhalten, nach Aufhebung des EU-Moratoriums verstärkt in Supermärkten angeboten werden können.

Nach einer Untersuchung der Stiftung Warentest im Spätsommer 2004 enthalten Brot, Kuchen, Desserts, Chips und Süßigkeiten oft genetisch veränderten Mais oder veränderte Soja. Stiftung Warentest überprüfte exemplarisch 82 Lebensmittel. In 31 Produkten fanden die Tester gentechnisch veränderte Zutaten. Die gefundenen Mengen an fremder Erbsubstanz lagen jedoch meist unter 1% und waren daher nicht kennzeichnungspflichtig. Die Kennzeichnungspflicht beginnt erst ab einem Schwellenwert von 0,9%. Der Wortlaut der Kennzeichnung auf der Verpackung ist „genetisch verändert“ oder „aus genetisch veränderten...“ hergestellt. Nur drei Produkte enthielten einen deutlichen Anteil artfremder Erbsubstanz. Dazu gehörten ein Pfannkuchen-Mix, ein Sportler-Riegel und ein Tofu-Eis. Die Tester registrierten in diesen Produkten einen gentechnisch veränderten Anteil von bis zu 20%. Das Ergebnis der Untersuchung war, dass ein Drittel der getesteten Produkte nicht mehr als gentechnikfrei galt (Ökologische Plattform der PDS, 2005, S. 34).

Die Lebensmittelhersteller und Händler konnten die Ablehnung der Verbraucher nicht einfach ignorieren und haben entsprechend reagiert. Vielleicht ist das auch auf den Druck von Organisationen wie Greenpeace zurückzuführen, die gentechnisch veränderte Produkte z.B. in ihrem Einkaufsführer publik gemacht haben. Viele Lebensmittelhersteller haben daher ihre Bezugsquellen oder Rezepturen so verändert, dass ihre Produkte ohne GVO-Rohstoffe auskommen.

Doch wie bereits im Kapitel 4.1.1 beschrieben, weist die jetzige Kennzeichnung Lücken auf. Die Gentechnik kann nämlich in Lebensmitteln versteckt zum Einsatz kommen.

So müssen Erzeugnisse wie Milch, Milchprodukte, Fleisch, Eier von Tieren, die mit Futtermitteln aus GVO gefüttert werden, nicht gekennzeichnet werden. Gleiches gilt für Vitamine, Zusatzstoffe und Aromen, die mit Hilfe eines gentechnisch veränderten Mikroorganismus hergestellt wurden. Außerdem muss eine unbeabsichtigte Verunreinigung bis zu einem Schwellenwert von 0,9% nicht gekennzeichnet werden.

Das bedeutet letztendlich, dass der Verbraucher nicht wirklich die Wahlfreiheit hat zwischen GVO-freien Lebensmitteln und solchen, die mit Hilfe von Gentechnik hergestellt werden (Zentrum Gesellschaftliche Verantwortung der EKHN (2005), S. 2).

Der Verbraucherzentrale Bundesverband e.V. (vzbv), der sich für die Belange der Verbraucher einsetzt, fordert deshalb eine Ausdehnung der Kennzeichnungspflicht.

So soll nach dem vzbv die Kennzeichnung auch auf tierische Produkte, die von Tieren stammen, die mit gentechnisch veränderten Futtermitteln gefüttert wurden, ausgedehnt werden. Zusätzlich verlangt der vzbv klare Kennzeichnungsregeln für Saatgut, das mit GVO belastet ist (www.vzbv.de, o.J.).

Der vzbv gibt dem Verbraucher diesbezüglich Empfehlungen, die ihm helfen sollen, gentechnisch veränderte Produkte zu meiden.

So gibt der vzbv dem Verbraucher den Rat, keine Fertiggerichte zu kaufen. Es handelt sich dabei in der Regel um hochverarbeitete Lebensmittel, die meist mit Verarbeitungshilfsstoffen, wie z.B. gentechnisch veränderten Enzymen hergestellt sind. Dies muss nicht gesondert gekennzeichnet werden. Generell gilt, dass je stärker ein Gericht vorproduziert ist, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass einzelne Inhaltsstoffe mit Gentechnik in Berührung gekommen sind. Deshalb ist es nach Meinung des vzbv besser, die Mahlzeiten mit frischen oder küchenfertig vorbereiteten Zutaten herzustellen. Am besten dabei ist, Produkte aus der Region zu kaufen, weil diese bislang noch nicht gentechnisch verändert sind. Regionale Produkte können direkt vom Erzeuger, aber auch in Supermärkten bezogen werden. Für besonders empfehlenswert hält der vzbv den Kauf von Bio-Lebensmitteln (www.verbraucherzentrale-bayern.de, o.J.).

Denn der ökologische Landbau, an der Ware erkennbar am Biosiegel oder dem Eu-Bio-Siegel muss nach den gesetzlichen Vorgaben garantiert gentechnikfrei produzieren. Gekennzeichnet sind ökologische Produkte auch mit dem jeweiligen Zeichen der Anbauverbände (ANOG, Biokreis, Bioland, Biopark, Demeter, Gäa, Naturland) (Ökologische Plattform der PDS, 2005, S. 40).

Darüber hinaus setzt sich der vzbv für die Beibehaltung der nationalen Haftungsregelungen ein. Er wendet sich gegen die Pläne der neuen Bundesregierung, die gesamtschuldnerische Haftung aufzugeben und zu diesem Zweck einen Fond zu gründen.

Nach Meinung des vzbv würde die Bundesregierung mit diesen Überlegungen die Wahlfreiheit der Bundesbürger zu Gunsten von multinationalen Saatgutkonzernen opfern. Sie mahnt Landwirtschaftsminister Horst Seehofer, sich endlich als Verbraucherschutzminister zu präsentieren. Als oberster Anwalt der Verbraucher muss Landwirtschaftsminister Seehofer nach Sicht des vzbv in erster Linie für die Interessen der Verbraucher kämpfen.

Der vzbv sieht in einem allgemeinen Haftungsfond die Gefahr, dass sich mittels Gentechnik anbauende Landwirte nicht mehr für das verantwortlich fühlen, was auf ihren Feldern geschieht. Er sieht es als absolut notwendig an, dass die geltenden Schwellenwerte von 0,9% bei gentechnischen Verunreinigungen beibehalten werden, denn nur so könne eine weiterhin gentechnikfreie Produktion gewährleistet werden (www.vzbv.de (a), o.J.)

Überdies setzt sich die vzbv für die Unabhängigkeit von Gremien ein, die Entscheidungen über den Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen zu fällen haben. So hat der Bundesverband des vzbv im Jahre 2005 eine gründliche Überprüfung der bei der Europäischen Lebensmittelbehörde (EFSA) angestellten deutschen Beamten verlangt. Die EFSA ist für die Zulassung gentechnisch veränderter Pflanzen mit verantwortlich.

Anlass der Forderung des vzbv nach einer gründlichen Überprüfung von deutschen bei der EFSA angestellten Beamten war eine ARD-Reportage, die die Befangenheit von drei bei der EFSA angestellten deutschen Beamten dokumentierte.

Zu ihnen gehören Professor Hans-Jörg Buhk, der heute Leiter der Referatsgruppe Gentechnik im Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit ist, und sein Stellvertreter Detlef Bartsch.

Beide traten im Jahr 2002 in einem Werbefilm für Genmais auf. Produziert wurde das Video im Auftrag von sechs großen Gentechnikfirmen, unter ihnen Aventis Crop Science, Monsanto, Agrar Deutschland und Sygenta. In dem Video verweist einer der Beamten ausdrücklich auf angeblich wirtschaftliche Vorteile beim Einsatz von genmodifiziertem Mais. Damals war

Professor Buhk Leiter des Zentrums für Gentechnologie und Herr Bartsch sein Stellvertreter. Beide waren für die Risikobewertung und die Durchführung von Genehmigungsverfahren für Freisetzungsvorhaben gentechnisch veränderter Organismen verantwortlich.

Auch Joachim Schiemann, der leitender Beamter an der Biologischen Bundesanstalt (BBA) ist und dessen Aufgabe die Überprüfung von Anträgen zur Freisetzung gentechnisch veränderter Organismen ist, soll laut ARD Reportage befangen sein. Er ist Mitglied des Gentechnikvereins FINAB. Zweck des Vereins ist unter anderem die Errichtung eines Zentrums in Mecklenburg Vorpommern, in dem transgene Organismen in größerem Ausmaß für die Nutzung durch Firmen hergestellt werden sollen.

Diese drei deutschen Beamten hatten bei der Berufung in das Expertengremium der EFSA angegeben, dass es keine Interessen gäbe, die ihre Unabhängigkeit als Gutachter beeinträchtigten.

Prof. Dr. Edda Müller, Vorstand des vzbv, verurteilt die Einberufung von Personen in Gremien, die in einer solchen Art voreingenommen sind, und deren Aufgabe es ist Risiken objektiv bewerten oder Rechtsvorschriften unabhängig kontrollieren zu müssen. Eine eigenhändig ausgefüllte „Declaration of Interest“ reiche ihrer Meinung nicht als Dokumentation und Beleg für wissenschaftliche Unbefangenheit aus. Hier hätten durch Kontrolle seitens der EFSA im Vorfeld mögliche Interessenskollisionen verhindert werden müssen (www.vzbv.de (b),).

4.6. Entwicklungsländer

Weltweit hungern 842 Millionen Menschen und 24.000 sterben täglich an den Folgen von Unterernährung (www.taz.de, (b), 2004).

Die Industrie und Teile der Politik argumentieren, dass die Einführung der Gentechnik in die Landwirtschaft dazu beitragen kann, die Welternährung zu verbessern. So könnten Pflanzen entwickelt werden, die höhere Erträge bringen, einen erhöhten Nährwert aufweisen oder sogar auf verkargten und versalzten Böden gedeihen können (www.aid.de, o.J.).

Ob die grüne Gentechnik in der Lage ist, das Problem des Welthungers zu lösen, bleibt fraglich, denn Hunger stellt nicht in erster Linie ein Produktionsproblem dar, das technisch ge-

löst werden muss, sondern ist vielmehr ein Verteilungsproblem. Weltweit werden genügend Lebensmittel hergestellt, in deren Genuss die Armen der Gesellschaft aber nicht kommen können. So hat ein Teil der ländlichen Bevölkerung in der Dritten Welt keinen Zugang zu Boden, oder ihnen fehlt das Geld für das nötige Ackergerät oder für Bewässerungsanlagen um das Land bewirtschaften zu können. Kredite, die die armen Bauern aufnehmen können, sind oft teuer. Der armen städtischen Bevölkerung wiederum mangelt es oft an Beschäftigung, so dass sie nichts oder nicht genügend verdienen, um sich Nahrung leisten zu können (aid, 2002, S.31). Außerdem werden 20-30% der Ernte in den armen Ländern durch Lagerschäden vernichtet. In Indien verrotteten z.B. im Jahr 2002 viele Millionen Tonnen Reis, die für den Export bestimmt waren. Zu gleichen Zeit hungerten im Land 50 Millionen Menschen (www.umweltinstitut.org, 2004.).

Tatsächlich werden in der Dritten Welt große fruchtbare Flächen dazu genutzt, um auf ihnen so genannte Cash Crops wie Kaffee, Tee, Soja oder Kakao anzubauen, die ausschließlich für den Export bestimmt sind. Diese Felder gehören Großgrundbesitzern. Diese sind ebenso größtenteils Eigentümer von Flächen, auf denen Getreide, Mais oder Sojabohnen angebaut werden, die nicht vorrangig der Ernährung der eigenen Bevölkerung dienen, sondern von den Industriestaaten aufgekauft und zu Viehfutter weiterverarbeitet werden (www.hausarbeiten.de (a), 2001). Eine Kilojoule Tier benötigt in der Mast zehn Kilojoule Pflanzen. Ginge es demnach nur um die Erhöhung der verfügbaren Nahrungsmittel, läge hier auch ohne Gentechnik ein riesiges Potential brach (www.graevezubaringdorf.de (a), o.J.). Doch auch globale Wirtschaftsstrukturen tragen zur Armut bei. So produziert die subventionierte westliche Landwirtschaft Überschüsse, die auf den Weltmärkten zu Dumpingpreisen verschleudert werden. Dadurch werden die Preise in den Dritte Welt-Ländern gedrückt und somit den Kleinbauern die Überlebenschancen genommen. In der Folge geben die kleinen Bauern auf, und die großen Bauern bauen nur noch Cash Crops auf riesigen Plantagen an.

Die Zollpolitik ist ein weiterer marktverzehrender Faktor. So unterliegen verarbeitete Produkte aus Kaffee, Kakao oder Ölsaaten aus tropischen Ländern hohen Zöllen. Für gerösteten Kaffee verlangt die EU 7,4%, für Kakaopulver 8% und für Pflanzenöle 12,4%. Das führt dazu, dass die wertschöpfende Verarbeitung von Rohstoffen in den Industrieländern geschieht, während die Entwicklungschancen in der Dritten Welt gleichzeitig sinken. Die Dritte Welt-

Länder sehen sich aber auch mit strengen Importvorschriften für unverarbeitete Cash Crops konfrontiert. So stellen die Komplexität der Einfuhrbestimmungen und die strengen Hygienevorschriften für die Produzenten im Süden oft unüberwindbare Hindernisse dar. Hinzu kommt, dass die Produzenten im Süden mit dem Verfall von Rohstoffpreisen auf dem Weltmarkt zu kämpfen haben. Besonders bemerkbar macht sich das bei Kaffee, dessen Preis seit 1989 kontinuierlich gefallen ist. Der Vollständigkeit halber muss gesagt werden, dass regionale Hungerkatastrophen wie in Afghanistan, dem Kongo oder Liberia auch durch Kriege oder durch die Misswirtschaft totalitärer Systeme wie beispielsweise derzeit in Nordkorea ausgelöst werden. (www.hausarbeiten.de (b), 2001).

Bei einer Studie, die sich mit den Schwierigkeiten philippinischer Reisbauern beschäftigte, ergab sich folgende Problemhierarchie: 1. Marktbedingungen, 2. Bewässerungsmöglichkeiten, 3. Trocknung/ Lagerung, 4. Verschuldung durch Dünger- und Pestizidkauf, 5. Fehlende öffentliche Unterstützung, 6. Stürme, 7. Schlechte Transportwege, 8. Ungerechte Landverteilung, 9. Trockenheit, 10. Schäden durch Pestizideinsatz, 11. Geringe Bodenfruchtbarkeit, 12. Wenig Forschung und Entwicklung, 13. Schädlingsbefall, 14. Ertragsschwankungen, 15. Überflutung, 16. Bodenerosion, 17. Pflanzenkrankheiten, 18. Geringe Sortenauswahl, 19. Geringe Essqualität. Aus der Studie wird ersichtlich, dass die Probleme für die die Gentechnik Lösungen anbietet wie z.B. gegen Schädlinge und Pflanzenkrankheiten, die auf den hinteren Plätzen 13 und 17 rangieren. Dagegen stellt die Studie als zentrale Probleme auf Platz 1 die ungerechten Bedingungen des Weltmarktes dar, auf Platz 4 steht die Verschuldung durch den Kauf von Agrochemikalien, die die Gesundheit und den Boden schädigen, und auf Platz 8 befindet sich die ungerechte Landverteilung (www.dosto.de (e), 2004).

Schon die Grüne Revolution zu Beginn der 60iger Jahre hat keinen Durchbruch bei der Hungerbekämpfung gebracht, obwohl danach eine Steigerung der weltweiten Ernten um 65% erzielt werden konnte. Bei der Grünen Revolution wurden Hohertragsorten wie Weizen, Reis und Mais in Monokulturen angebaut, die – im Zusammenhang mit verbesserten Anbaumethoden – ein Vielfaches an Ertrag lieferten im Vergleich zu herkömmlichen einheimischen Sorten. Die neuen Hohertragsorten erforderten jedoch mehr Wasser und Kunstdünger. Hinzu kam, dass die riesigen Monokulturen infolge ihrer Uniformität besonders anfällig für Krankheiten und Schädlinge waren. Hohe Mengen an Pestiziden und Schädlingsbekämpfungsmitteln

fungsmitteln mussten gespritzt werden. Einheimische Traditionssorten wurden von den Hohertragssorten verdrängt. Der Anbau von Hohertragssorten war mit hohen Kosten verbunden, was sich viele Kleinbauern nicht leisten konnten. Als Folge davon wurden von den Industriestaaten Kredite vergeben, was zur dauerhaften Verschuldung der Kleinbauern führte. Letztendlich kostete das vielen Kleinbauern die Existenz. Sie waren gezwungen, ihren Besitz aufzugeben und wurden von Großbauern aufgekauft, die sich dadurch weiter vergrößern konnten (Schneider, 1998, S. 52, 53).

Die heutige Situation der grünen Gentechnik ist mit der der Grünen Revolution vergleichbar. So mag die grüne Gentechnik ähnlich wie die Grüne Revolution Chancen bergen, aber sie ist für die Armen nicht erschwinglich. Das liegt vor allem daran, dass gentechnisch modifizierte Pflanzen größtenteils durch private Forschung und somit marktorientiert entwickelt werden. Die hohen Entwicklungskosten lassen sich die großen Firmen bezahlen, indem sie ihre Produkte patentieren lassen. Sie erwirtschaften auf diese Weise noch Gewinne (www.hausarbeiten.de (c), 2001).

Durch ein Abkommen der Welthandelsorganisation (WTO), dem Agreement on Trade-Related Aspekts of Intellectual Property Rights (TRIPS), sind die Firmen in der Lage, ihre Patentansprüche auch international geltend zu machen (aid, 2002, S. 31). Bauern in der Dritten Welt dürfen die entwickelten Pflanzensorten nur nutzen, wenn sie entsprechende Lizenzen erwerben (www.genfood.at (a), o.J.). Durch den Besitz der Patentrechte verfügen die Firmen über umfangreiche Rechtsmittel gegen Patentrechtsverletzungen. Die Bauern in den Entwicklungsländern können wegen Verletzung des Urheberrechts zur Zahlung von Lizenzgebühren durch die Firmen verklagt werden (www.attac.de (a), o.J.).

So ist es ihnen untersagt, Saatgut aus eigener Ernte zu gewinnen und es frei zu tauschen oder weiter zu verkaufen. Die Bauern sind somit gezwungen, das genmodifizierte Saatgut, das ohnehin schon teurer ist, jedes Jahr aufs Neue zu erwerben (www.genfood.at (b), o.J.) Die Bauern verlieren damit das älteste Privileg der Landwirte, nämlich einen Teil der eigenen Ernte als Saatgut verwenden zu dürfen (www.attac.de (b), o.J.). Die armen Bauern müssen sich in Folge verschulden, um das teure Saatgut überhaupt kaufen zu können, oder das genmodifizierte Saatgut wird nur noch für Devisenbesitzer erschwinglich sein (www.genfood.at (c), o.J.).

Die Kleinbauern in der Dritten Welt haben aber nicht nur mit den hohen Kosten gentechnisch entwickelter Saaten zu kämpfen, sondern auch mit der Handhabung dieser komplizierten neuen Technologie. So muss eine transgene Hochleistungspflanze zuverlässig gepflegt werden, damit sie ihren Mehrertrag wirklich bringt. Dazu müssten die Bauern gründlich geschult werden, was sich als besonders schwierig erweist, da es sich bei zwei Drittel der Bevölkerung in den Entwicklungsländern um Analphabeten handelt (www.jufogen.ch, 2002).

Hinzu kommt, dass die bisher entwickelten Pflanzensorten nur für die klimatischen Bedingungen in unseren Breiten ausgelegt sind und sich daher für die Ernährung in Entwicklungsländern eher nicht eignen. In den Entwicklungsländern begrenzen primär zwei Faktoren die Ertragsfähigkeit der Landwirtschaft. Die feuchten, tropischen Gebiete verfügen zwar über eine ausreichend große Menge an Niederschlägen, die dort anzutreffenden Böden sind jedoch nährstoffarm und ausgewaschen, zumal die chemische Verwitterung hier hundertmal schneller verläuft als in den gemäßigten Breiten. Die Böden der nördlichen und südlichen Trockensavannen weisen günstigere Nährstoffverhältnisse auf, jedoch mangelt es diesen wüstenähnlichen Gebieten an Niederschlägen. Hier könnte eine intensive Bewässerung ohne geeignete Entwässerungsmaßnahmen, vorausgesetzt sie ließe sich finanzieren, zu einer Versalzung der Böden führen und damit letztendlich zu einem Verlust der Anbauflächen. In diesem Zusammenhang könnte die Gentechnik geeignete Pflanzen schaffen, die in der Lage sind, längere Dürreperioden zu überstehen oder welche, die auf salzigen Böden gedeihen können (www.genwirtschaft.de (a), 2000). Doch solche Pflanzen befinden sich noch in der Entwicklungsphase, falls überhaupt an ihnen geforscht wird, denn es fehlen private Investoren. Firmen investieren nicht in Problemlösungen, für die es keine kaufkräftige Nachfrage gibt. Die Marktreife einer für Entwicklungsländer interessanten gentechnisch veränderten Sorte, die salz- oder hitzeresistent ist oder Wasser speichern kann, ist derzeit nicht gegeben und auch nicht absehbar (www.vdw-ev.de (a), 2005).

Als weiteres Problem ergibt sich, dass es sich bei den gentechnisch veränderten Saaten um Hochleistungssorten mit einer besonders geringen genetischen Vielfalt handelt. Das bedingt, dass sie generell krankheitsanfälliger sind, was hieße, dass vermehrt Pestizide und Insektizide gespritzt werden müssten, was wiederum mit Mehrkosten für die Bauern verbunden wäre (www.jufogen.ch, o.J.).

Zusätzlich können durch die genetisch veränderten Sorten auch lokal angepasste Sorten verdrängt werden, was zu einem weiteren Verlust an genetischer Vielfalt führt (www.graefezubaringdorf.de (b), o.J.).

Mit dem Einsatz genmodifizierter Sorten ist grundsätzlich die Arten- und Sortenvielfalt in den Entwicklungsländern bedroht. Es besteht die Gefahr der Auskreuzung und damit die Zerstörung der letzten unberührten bisher landwirtschaftlich nicht genutzten Gebiete. Besonders betroffen könnten davon tropische oder subtropische Länder sein, in denen die biologische Vielfalt besonders hoch ist (www.genwirtschaft.de (b), 2000). Die Gentechnik gefährdet die Landwirtschaft in der Dritten Welt aber auch durch billige gentechnisch erzeugte Ersatzprodukte, die die traditionellen Exportprodukte des Südens verdrängen. Damit würden die Deviseneinnahmen in den südlichen Ländern sinken und deren Wirtschaft erheblich geschwächt werden. Beispielsweise kann bereits gentechnologisch veränderter Raps erzeugt werden, der in hohem Maße Laurinsäure enthält. Diese Fettsäure wird zur Seifenherstellung benutzt, und wurde bislang aus Kokosölen gewonnen. Der neue Raps, der bereits in den USA eingesetzt wird, könnte das Ende der Kokosproduzenten auf den Philippinen bedeuten. Immerhin ein Drittel der Filipinos lebt von der Kokospalme und könnte damit arbeitslos werden. Auch teure Rohstoffe wie Zucker, Kakao und Vanille könnten in Zukunft mittels gentechnologischer Verfahren hergestellt werden. Exporte aus den Dritte Welt Ländern würden damit überflüssig werden, so dass diese Länder wirtschaftlich nachhaltig geschädigt werden würden (www.ecolodg.be (a), o.J.).

Am Beispiel Argentiniens zeigt sich, dass die Gentechnik nicht in der Lage ist, den Hunger in einem Land zu beseitigen. Argentinien ist seit der Zulassung von gentechnisch modifizierten Pflanzen 1996 zum zweitgrößten Gensoja-Produzenten und -Exporteur der Welt aufgestiegen. Die Sojaanbaufläche des Landes hat sich von 1996 – 2004 von 6,7 auf 14,2 Millionen Hektar vergrößert und damit mehr als verdoppelt. Viele Wälder mussten dafür gerodet werden. Die Tier- und Pflanzenwelt der Gebiete wurde nahezu ausgerottet. Die großen Sojaanbauflächen gehören nun Großgrundbesitzern, die die ehemaligen Kleinbauern vertrieben und damit in Armut stürzten. Die Kleinbauern bauten auf diesen Feldern einst Lebensmittel für die Region und das Land an. Nun fehlen in Argentinien Grundnahrungsmittel wie Milch, Fleisch, Kartoffeln, Erbsen und Bohnen. Von 1996 bis 2002 hat die Zahl der Argentinier, die

sich keine Grundnahrungsmittel mehr leisten können, von 3,7 auf 8,7 Millionen zugenommen (www.ecolodg.be (b), o.J.).

Gentechnisch modifizierte Pflanzen können schon allein deshalb nicht zur Lösung der Ernährungsfrage in der Welt beitragen, weil 80% der angebauten gentechnisch veränderten Sorten heutzutage nicht für den Verzehr genutzt, sondern unmittelbar als Futtermittel für die Industrieländer angebaut werden. Bei der grünen Gentechnologie handelt es sich beim heutigen Stand um eine reine Futtermitteltechnologie (www.vdw-ev.de (b), 2005).

Kritisiert wird von Greenpeace, dass Hilfslieferungen an Dritte Welt-Länder aus gentechnisch modifizierten Pflanzen bestehen (www.tropenwaldnetzwerk-brasilien.de (a), 2004).

2002 brach in Sambia eine Dürrekatastrophe aus. Das Welternährungsprogramm (WEP) lieferte große Mengen US-Amerikanischer Nahrungsmittelhilfe an die betroffenen Länder. Als allerdings bekannt wurde, dass die Maislieferungen gentechnisch modifiziert waren, stoppten einige Länder den Import (www.eed.de (a), 2004). Sambia beschloss, den genmodifizierten Mais oder Maismehl im Wert von 50 Millionen US-Dollar als Hungerhilfe zurückzuweisen. Das Land fasste den Beschluss, nachdem ein internationales Forscherteam die Rückgabe empfohlen hatte (www.tropenwaldnetzwerk-brasilien.de (b), 2004). Das Forscherteam gab diese Empfehlung mit der Begründung aus, dass die Menschen sich während der Hungerkrise größtenteils von genmodifizierten Lebensmitteln ernähren würden und nicht nur in solch geringen Mengen, wie es in den Industrieländern der Fall ist. Aufgrund des schlechten Gesundheitszustandes und der hohen HIV/Aids-Rate in der Bevölkerung seien mögliche Gesundheitsrisiken durch gentechnisch veränderte Lebensmitteln höher einzuschätzen (www.uni-giessen.de (a)).

Die US-Regierung reagierte sehr scharf auf die Ablehnung Sambias. Man warf den beteiligten afrikanischen Regierungen „Massenmord“ vor, weil sie es angeblich bevorzugten, ihre eigene Bevölkerung hungern zu lassen als gentechnisch modifizierten Mais zu akzeptieren, den doch auch die US-Bürger selber essen würden (www.eed.de (b), 2004).

Das WEP arbeitet nach dem Prinzip, dass die Regierungen der Empfängerländer das Recht haben zu entscheiden, ob sie gentechnisch modifizierte Nahrung als Hilfslieferung akzeptieren oder nicht. Kritiker wenden ein, dass das WEP während der Hungerkrise im südlichen

Afrika nicht nach diesem Prinzip gehandelt hätte. So hatte das WEP zunächst keine Alternative zu gentechnisch modifizierter Nahrungsmittelhilfe angeboten. Das WEP verteidigt sich, indem es angibt, dass zum damaligen Zeitpunkt finanzielle Mittel und Zeit gefehlt hätten, um ausreichend Nahrungsmittel aus nicht gentechnisch modifiziertem Anbau zu mobilisieren (www.uni-giessen.de (b), 2004).

Als Reaktion auf das Geschehen haben sich vierzehn südafrikanische Staaten darauf geeinigt, gemeinsame Richtlinien im Umgang mit gentechnisch modifizierten Organismen (GMO) und Produkten zu schaffen. Gentechnisch veränderte Nahrungsmittelhilfe, die aus dem Ausland kommt, muss nun gemahlen und fortpflanzungsunfähig gemacht werden. Des Weiteren müssen die Nahrungsmittel, solange sie zum Zielort unterwegs sind, klar als gentechnisch verändert gekennzeichnet werden (www.tropenwaldnetzwerk-brasilien.de (c), 2004). Die Hilfslieferungen sollen zermahlen werden, weil in der traditionellen Landwirtschaft ein Teil der Hilfslieferungen dazu genutzt werden könnte, um Samen zu erhalten. Diese könnten dann von den Bauern in den Katastrophengebieten ausgesät werden, und auf diese Weise könnten gentechnisch veränderte Pflanzen dauerhaft in die Nahrungskette gelangen (www.dosto.de (f), 2002).

Die Kultivierung genmodifizierter Pflanzen für Entwicklungsländer kann, wie nachfolgendes Beispiel zeigt, hohe Kosten verursachen, die anderweitig besser investiert worden wären. In Kenia waren Süßkartoffeln gentechnisch gegen das Süßkartoffel-Virus verändert und drei Jahre lang in Freilandversuchen getestet worden. Das Nuffield Council of Bioethics führte das Projekt als Beweis für den potentiellen Nutzen von gentechnischen Nahrungsmittelpflanzen für Entwicklungsländer an. In dem Bericht des Nuffield Council of Bioethic heißt es, dass durch die gentechnische Modifizierung die Erträge der Süßkartoffeln um 18 – 25% anwachsen würden und dass sich durch den Verkauf das Einkommen der Bauern um etwa 28 – 39% steigern würde. Das Kenianische Agrarforschungsinstitut (KARI) musste jedoch berichten, dass die Gen-Süßkartoffeln genauso anfällig gegen das Virus wie die gewöhnlichen Sorten waren. Außerdem lieferten sie im Vergleich zu herkömmlichen Kartoffeln weniger Knollen. Die Forscher hatten sich irrtümlicherweise auf die Resistenz gegen eine amerikanische Abart des Virus konzentriert. Während der letzten zehn Jahre haben Monsanto, die Weltbank und die US-Regierung schätzungsweise 6 Millionen Dollar in das Projekt fließen lassen.

Eine gentechnische Lösung gegen besagtes Virus konnte bislang nicht gefunden werden. Derweil wurde in Uganda konventionelles Saatgut der Süßkartoffeln entwickelt, das gegen das Virus resistent war. Es bedurfte für die Entwicklung dieses Saatgutes kürzere Zeit und weniger Kosten bei einem Ertragsgewinn der Süßkartoffel von 100 % (www.germany.indymedia.org, o.J.).

5 Diskussion

Im Mittelpunkt der Betrachtung dieser Arbeit stand die Fragestellung, ob gentechnische Nutzpflanzen einen Gewinn mit sich bringen und in Europa und somit auch bei uns in Deutschland endlich zum Einsatz kommen sollten.

Die Arbeit zeigt nach Abwägung der Pro- und Kontra-Argumente, dass die potentiellen Risiken der grünen Gentechnik die potentiellen Chancen überwiegen.

Die Befürworter weisen darauf hin, dass bei den klassischen Züchtungsverfahren die Möglichkeiten inzwischen nahezu ausgeschöpft seien. Durch den Gentransfer über Artgrenzen hinweg würden sich vollkommen neue Möglichkeiten in der Gestaltung von Pflanzen bieten. Außerdem könnten mit Hilfe dieser Technologie die gewünschten Zuchtziele wesentlich rascher erreicht werden.

Die Befürworter der Gentechnik heben vor allem hervor, dass der Einsatz von herbizid- und insektizidresistenten Pflanzen vor allem zu einer Verringerung des Chemikalieneinsatzes beitrüge und damit die Landwirtschaft umweltverträglicher werde. Außerdem könnten mit dem Einsatz genmodifizierter Pflanzen höhere Erträge erzielt werden. Das alles führe dazu, dass die Produkte für den Konsumenten kostengünstiger würden. Des Weiteren könne anhand dieser Technik das Spektrum von Inhaltsstoffen in Pflanzen gezielt verbessert werden. So könnten beispielsweise Pflanzen hergestellt werden, deren Öle einen höheren Anteil an ungesättigten Fettsäuren besitzen oder es könnten die Lagerungseigenschaften von Nutzpflanzen verbessert werden. Es könnten sogar Pflanzen dahingehend verändert werden, dass sie unter klimatisch schwierigen Bedingungen wie auf salzigen oder trocknen Böden gedeihen könnten. Da diese Gegebenheiten vor allem in der Dritten Welt anzutreffen seien, würden solche Pflanzen dazu beitragen, das Welternährungsproblem zu entschärfen.

Leider haben sich die Chancen der grünen Gentechnik in der Realität bis heute nicht bewahrheitet. Betrachtet man die gentechnisch eingefügten neuen Eigenschaften von Pflanzen, so sind nur zwei Eigenschaften von Bedeutung: Herbizidresistenz und Insektizidresistenz. Alle weiteren Eigenschaften, die bearbeitet werden, spielen im kommerziellen Anbau keine große Rolle. Die versprochene Einsparung beim Einsatz chemischer Mittel gegen Insekten und Unkraut kann oft nur kurzfristig erzielt werden. Schadorganismen und Unkräuter

bilden mit der Zeit Resistenzen gegen die aufgetragenen Insektizide und Herbizide aus. Darüber hinaus wird beobachtet, dass in den Feldern andere Schädlinge und Unkräuter vermehrt auftreten. Deshalb müssen dann andere kostspielige und umweltbelastende Chemikalien eingesetzt werden, die die erzielten Einsparungen vielfach wieder zunichte machen. Auch die Behauptung von Befürwortern, dass HT- Pflanzen und Bt-Pflanzen deutlich höhere Ertragssteigerungen mit sich bringen, hat sich nicht bewahrheitet. HT- und Bt-Pflanzen sind nicht direkt auf Ertragssteigerungen gezüchtet. Sie können nur indirekt höhere Ertragsteigerungen mit sich bringen, indem sie Verluste durch Unkrautwuchs oder Schädlingsbefall etwas ausgleichen. So werden die teilweisen Ertragszuwächse beim Anbau von Mais und Soja in Nordamerika durch die gestiegenen Betriebskosten und den Einbruch der Märkte mehr als kompensiert. Denn die Preise für gentechnisch veränderte Nahrungs- und Futtermittel sind weltweit gefallen.

Was die Entwicklung von Nutzpflanzen mit veränderten Inhaltsstoffen betrifft, so befindet sich die Forschung auf diesem Gebiet erst in den Anfängen. Gute Fortschritte konnten bei der Änderung von Fettsäureprofilen von Pflanzenölen erzielt werden. So konnten Öle erzeugt werden, die vermehrt über einfach und mehrfach gesättigte Fettsäuren verfügen. Es ist auch gelungen, Pflanzen zu erzeugen, die eine veränderte Vitamin E-Menge oder -Zusammensetzung aufweisen. Probleme ergaben sich bei dem Versuch, allergieauslösende Proteine in Nutzpflanzen zu reduzieren. Mittels Antisense Strategie ist es zwar gelungen, die Menge des allergenen Proteins in Reis herabzusetzen, aber die Eliminierung des allergenen Proteins in Erdnüssen ist nicht geglückt. Es konnte auch ein genmodifizierter Reis erzeugt werden, der über eine höhere Konzentration an β -Karotin verfügt. Dieser Reis wurde unter dem Namen Golden Rice bekannt. Doch die enthaltene Menge an Provitamin β -Karotin ist nicht ausreichend, um den täglichen Bedarf eines Menschen an diesem Vitamin zu decken. Auch die Entwicklung der Flavr-Savr Tomate, die über eine längere Haltbarkeit verfügen sollte, gelang nicht wirklich. So hielt sich diese Tomate nicht bedeutend länger und musste schließlich vom Markt genommen werden. Die Entwicklung von Pflanzen für Dritte Welt-Länder, die dürre- oder salzresistent sind, steckt damit verglichen noch in den allerersten Ansätzen.

Auch das Argument der Befürworter, dass die Gentechnik im Vergleich zur herkömmlichen Pflanzenzucht schnellere und brauchbarere Ergebnisse liefere, bewahrheitet sich nicht. In Kenia beispielsweise misslang der Versuch, die Süßkartoffel gegen das Süßkartoffelvirus

resistent zu machen. Das Projekt kostete immerhin 6 Millionen Dollar. Derweil konnte in Uganda durch Züchtung in kürzerer Zeit und mit weniger Kosten konventionelles Saatgut der Süßkartoffel erzeugt werden, das gegen das Virus resistent ist. Ein weiteres Beispiel für das Scheitern genmodifizierter Nutzpflanzen ist Indien. Die Bauern, die genmodifizierte Baumwolle anbauten, mussten erleben, dass sich der Baumwollkapselwurm durch die veränderte Baumwolle nur begrenzt abhalten ließ. Es traten noch zusätzliche Schädlinge auf, so dass sogar noch vermehrt gespritzt werden musste. Auch die Qualität der geernteten Baumwollfasern erwies sich als minderwertig.

Im Vergleich zu den Chancen der grünen Gentechnik überwiegen die Nachteile bei weitem. Durch Pollenflug kann es zu unbeabsichtigten Auskreuzungen von gentechnisch veränderten Organismen kommen. So können Eigenschaften von gentechnisch veränderten Nutzpflanzen auf herkömmliche Nutzpflanzen oder artverwandte Wildarten übertragen werden. Zu Auskreuzungen in Europa kommt es vor allem bei Nutzpflanzen wie der Zuckerrübe und dem Raps. Die Ausbreitung von Raps beispielsweise lässt sich auch nicht über Abstandsflächen und Pufferzonen zu benachbarten Feldern, auf denen herkömmliche Rapspflanzen wachsen, regulieren. Noch in 100 m Entfernung von einem Rapsfeld befinden sich 64% bis 75% der Pollen in der Luft. Die Verbreitung von Pollen erfolgt darüber hinaus noch durch Insekten wie Bienen, an denen Pollen haften. Bienen haben einen Flugkreis von drei bis zehn Kilometern. In entlegenen Gebieten Mexikos wurde transgene DNA in ursprünglichen Landsorten gefunden. Das belegt, wie sehr die genetischen Ressourcen durch die grüne Gentechnik gefährdet sind. Ein Horizontaler Gentransfer dagegen ist als eher ausgeschlossen anzusehen. Darunter versteht man die Übertragung von gentechnisch verändertem Material von Mikroorganismen auf Pflanzen.

Genetische Verunreinigungen sind nicht reversibel. Wenn technisch veränderte Gene in die Nahrungskette eintreten, sind sie nicht mehr rückholbar. Einmal freigesetzt, haben diese Gene das Potential, sich zu vermehren und neu zu rekombinieren. So ist in Kanada durch Auskreuzung herbizidresistenten Rapses verwilderter gentechnisch veränderter Raps entstanden, der gleich gegen drei Herbizide resistent ist und der sich zu einem schlimmen Unkraut entwickelt hat. Nun müssen weitere Herbizide eingesetzt werden, um diesen Raps auf dem Acker zu beseitigen.

Weiterhin wird durch das Abtöten der gesamten Ackerbegleitflora durch das Auftragen von Breibandherbiziden die Nahrungskette gestört. Kleintiere, die Schädlinge vernichten, finden nichts mehr zu fressen. Dadurch wird das ökologische Gleichgewicht zwischen Schädlingen und Nützlingen empfindlich gestört. Inwiefern herbizid- und insektizidresistente Pflanzen ein toxisches Potential auf wildlebende Kleinstlebewesen besitzen, ist durch Untersuchungen nicht abschließend belegt. Als besonders gefährlich erweisen sich gentechnisch veränderte virusresistente Pflanzen. Da ihre Transgene häufig viralen Ursprungs sind, besteht die Möglichkeit einer Rekombination mit Pflanzenviren. In mehreren Laboruntersuchungen konnte gezeigt werden, dass das so rekombinante Pflanzenvirus stärker virulent sein kann. Es kann somit schwerere Krankheitssymptome verursachen und foglich sowohl Nutz- als auch Wildpflanzen vermehrt schädigen.

Was die menschliche Gesundheit durch den Verzehr von gentechnisch modifizierten Nutzpflanzen und Lebensmitteln im allgemeinen anbelangt, so werden die Befürworter nicht müde, darauf hinzuweisen, dass es weltweit gegenwärtig keine herkömmlichen Pflanzen beziehungsweise Lebens- oder Futtermittel gäbe, die einer so umfangreichen Sicherheitsbewertung unterzogen werden wie gentechnisch veränderte Pflanzen. Damit sind gentechnisch veränderte Pflanzen ihrer Meinung nach sicher.

Durch den Transfer von fremden Proteinen besteht die Gefahr, dass durch den Verzehr gentechnisch veränderter Nutzpflanzen Allergien ausgelöst werden. Obwohl die Wissenschaft inzwischen gute Kenntnisse über die Eigenschaften von allergieauslösenden Genen besitzt, lassen sich allergieauslösende Proteine in Nutzpflanzen nicht mit Sicherheit vollkommen ausschließen. So kann ein Protein beispielsweise in Abhängigkeit vom Wirtsorganismus verschiedenartig umgesetzt werden. Dagegen wird das Risiko der Übertragung von Antibiotikaresistenzgenen auf den menschlichen Darm als gering betrachtet. Antibiotikaresistenzgene werden als Markergene in gentechnisch veränderten Pflanzen eingesetzt. Sie sollen anzeigen, ob eine gentechnische Veränderung erfolgreich gewesen ist. Die von Kritikern geäußerte Befürchtung ist, dass beim Verzehr von gentechnisch veränderter Nahrung Bakterien des Verdauungstraktes diese Gene aufnehmen könnten und eine Bekämpfung von gesundheitsschädlichen Bakterien mit Antibiotika dadurch nicht mehr möglich wäre. Demnach sollte vorsorglich der Einsatz von Antibiotikaresistenzen als Markergene unterbunden werden.

Transgene Pflanzen sind keineswegs so ungefährlich, wie Befürworter der grünen Gentechnik gerne glauben machen. So stellte sich bei einer Fütterungsstudie, bei der 400 Ratten 90 Tage lang mit gentechnisch verändertem Mais der Sorte MON 863 gefüttert worden waren heraus, dass die männlichen Versuchstiere nach 14 Tagen eine leicht erhöhte Anzahl von weißen Blutkörperchen aufwiesen. Im Jahre 2005 musste in Australien aus Sicherheitsbedenken ein mehrjähriger Versuch mit gentechnisch veränderten Erbsen abgebrochen werden, weil sich herausstellte, dass die genmodifizierten Erbsen bei Feldmäusen eine Lungenkrankheit auslösten. Fütterungsstudien sind mit einer Dauer von 90 Tagen zu kurz angesetzt. Langzeitwirkungen wie z.B. mögliche Einflüsse auf das Immunsystem und das Potential, Krebs auszulösen, zeigen sich erst bei längerer Versuchsdauer. Es ist daher absolut notwendig, dass Fütterungsstudien mit gentechnisch veränderten Pflanzen im Interesse der menschlichen Gesundheit in Zukunft auf über zwei Jahre ausgedehnt werden, so dass auf Auswirkungen auf Folgegenerationen geschlossen werden kann.

Von der grünen Gentechnik profitieren in erster Linie die großen Herstellerfirmen. Die übrigen gesellschaftlichen Gruppierungen der Bevölkerung werden durch sie größtenteils benachteiligt. Die Hersteller herbizidresistenter Pflanzen sind multinationale Großunternehmen, die zu ihren resistenten Pflanzen die passenden Unkrautvernichtungsmittel verkaufen. Die Unternehmen verdienen damit im doppelten Sinne. Sie verkaufen sowohl Saatgut als auch Spritzmittel aus einer Hand. Zusätzlich sichern sich die Firmen das genetische Know-How ganzer Pflanzenarten, indem sie gentechnisch veränderte Pflanzen zum Patent anmelden. Damit verbunden sind Nutzungsverbote dieser Pflanzen für Dritte und die Erhebung von Lizenzgebühren, die die Preise vom Saatgut bis zum Endprodukt bestimmen. Die Versprechungen der Wirtschaft, dass die grüne Gentechnik Arbeitsplätze in Deutschland schaffen würde, sind nicht haltbar. Durch den Erwerb kleinerer Firmen und Fusionen werden Einsparungen erzielt und Kapazitäten zusammengelegt, was Arbeitsplätze vernichtet. Arbeitsplätze entstehen, wenn überhaupt, nur auf Forschungsebene, aber nicht auf Produktionsebene.

Die Patentierung von gentechnisch veränderten Nutzpflanzen erschwert auch eine unabhängige Forschung. Patente blockieren die freie Nutzung der geschützten Gene und behindern so die weitere Forschung durch andere Wissenschaftler als durch die der Patentinhaber. Durch Patentierung werden wichtige Forschungsergebnisse über gentechnisch veränderte Pflanzen unter Verschluss gehalten. Leben ist keine Erfindung des Menschen und darf des-

halb nicht patentiert werden. Deshalb ist eine Revision der EU-Biopatentrichtlinie und des TRIPS-Abkommens in der Welthandelsorganisation (WTO) erforderlich.

Wie der Anbau von Soja und Mais in den USA zeigt, haben die Landwirte keine ökonomischen Vorteile durch den Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen. So fällt der Ertrag weder höher aus, noch kommen die Landwirte mit geringeren Mengen an Spritzmitteln aus. Der einzige Vorteil, der sich für Landwirte ergibt, ist die anwendungstechnische Bequemlichkeit beim Unkrautmanagement, denn unabhängig von seiner Art muss immer nur ein Herbizid aufgebracht werden. Die unkontrollierbare Ausbreitung gentechnisch veränderter Pflanzen macht eine neutrale Koexistenz zwischen Landwirten, die gentechnisch veränderte Pflanzen anbauen und solchen, die darauf verzichten wollen, schwierig. Hierzu trägt auch die geplante EU-Saatgutrichtlinie bei, nach der herkömmliches Saatgut bis zu 0,9% gentechnisch verändertes Saatgut enthalten darf, ohne gekennzeichnet werden zu müssen. Dadurch ist insbesondere der ökologische Landbau in seiner Existenz gefährdet, der für seine Produkte die Freiheit von Gentechnik garantieren muss. Durch die Verunreinigung von Ernten mit gentechnisch veränderten Pflanzen können ökologisch anbauende Landwirte ihre Erzeugnisse nicht mehr als Ökoprodukte verkaufen und erleiden dadurch beträchtliche finanzielle Einbußen.

Entwicklungshilfeorganisationen weisen immer wieder darauf hin, dass der Hunger in der Welt ein Verteilungs- und kein Produktionsproblem ist. Insofern ist es fraglich, inwiefern eine Technologie das Problem des Hungers in der Welt lösen soll. Die Bauern in den Entwicklungsländern sind nicht in der Lage, die Lizenzgebühren, zu zahlen, die die Firmen für ihre patentierten Nutzpflanzen verlangen. Die Firmen als Patentinhaber verbieten ihnen, einen Teil des Saatgutes einzubehalten und erneut auszusäen. Die Bauern sind somit gezwungen, jedes Jahr erneut gentechnisch veränderte Pflanzensamen kaufen zu müssen, was sie sich nicht leisten können. Zudem orientiert sich die Entwicklung gentechnischer Pflanzen vorwiegend an den Bedürfnissen einer durchrationalisierten Landwirtschaft in den gemäßigten Breiten. An Pflanzen, die dürre- oder salzresistent sind, wird nicht ausreichend geforscht, weil die Menschen in den Entwicklungsländern keine potentiellen Kunden für die großen Firmen, die an der Forschung und Entwicklung von genmodifizierten Nutzpflanzen arbeiten, darstellen. Die armen Landwirte in der Dritten Welt verfügen über keine Kaufkraft. Es können daher noch Jahrzehnte vergehen, bis solche Pflanzen auf den Markt kommen.

Der Verbraucher steht der grünen Gentechnik skeptisch gegenüber. So kann er nicht erkennen, welche unmittelbaren Vorteile ihm herbizid- und insektizidresistente Pflanzen bringen sollen. Zumal die Einsparungen an Unkraut- und Pflanzenschutzmitteln sowie höhere Ertragssteigerungen gentechnisch veränderter Pflanzen nicht eingetroffen sind, so dass nicht damit zu rechnen ist, dass gentechnisch veränderte Nutzpflanzen und daraus hergestellte Produkte für den Konsumenten günstiger werden. Auch ist die Lebensmittelindustrie noch weit davon entfernt, gentechnisch modifizierte Nutzpflanzen mit für den Verbraucher interessanten veränderten Inhaltsstoffen marktreif zu produzieren, so dass der Konsument davon profitieren könnte. Dagegen ist der Verbraucher verunsichert und misstrauisch geworden durch Berichte aus den Medien, die über Risiken und Störfälle in Verbindung mit der grünen Gentechnik berichten.

Die Wahlfreiheit des Bundesbürgers in Bezug auf den Verzehr von gentechnisch veränderten Lebensmitteln muss in jedem Fall gewährleistet bleiben. Die vorige Bundesregierung hatte reagiert, indem sie die Kennzeichnungspflicht teilweise verschärfte. Doch die Deklaration von gentechnisch veränderten Organismen in Lebensmittel muss vollständig sein. Noch immer müssen Lebensmittel von Tieren, die mit gentechnisch verändertem Futter gefüttert wurden, nicht gekennzeichnet werden. Auch Lebensmittel, die mit Hilfe von gentechnisch veränderten Mikroorganismen hergestellt werden, müssen nicht als gentechnisch verändert deklariert werden. Auf diese Weise verzehrt der Verbraucher, ohne es zu wissen und vielleicht ohne es zu wollen, gentechnisch veränderte Nahrungsmittel. Zusätzlich muss die Bundesregierung dafür Sorge tragen, dass es nicht zu einer schleichenden Verunreinigung von herkömmlichem Saatgut mit gentechnisch verändertem Saatgut kommt, damit sich Landwirte bewusst für oder gegen den Anbau gentechnisch veränderter Nutzpflanzen entscheiden können. Dafür sollte der Entwurf der geplanten EU-Saatgutrichtlinie geändert werden, nach der herkömmliches Saatgut ohne Kennzeichnung bis zu 0,9% gentechnisch verändertes Saatgut enthalten darf. Saatgut steht am Anfang der Produktionskette. Jede Verunreinigung vom Züchter zum Landwirt über die Verarbeitung bis zum Einkaufsladen potenziert sich. Der ökologische Landbau fordert daher Grenzwerte von gentechnischer Verunreinigung bei Saatgut, die bei 0,1% liegen.

Eine gesunde und vielfältige Ernährung ist bei uns auch ohne gentechnisch veränderte Nutzpflanzen möglich. „Nicht alles was gemacht werden kann, sollte gemacht werden“ (Un-

bekannter Verfasser) – zumindest nicht zu einem Zeitpunkt, wo die Folgen für die Umwelt und den Menschen sowie für kommende Generationen nicht abschätzbar sind. Wirtschaftliche Interessen dürfen nicht den Ausschlag geben, ob eine Technik zum Einsatz kommt, sondern es muss stets die Gesundheit und das Wohlergehen des Menschen Vorrang haben. Die Technik als Werkzeug des Menschen darf kein Schicksal sein und darf daher dem Menschen nicht gegen seinen Willen aufgezwungen werden. Die grüne Gentechnik ist zum jetzigen Stand noch nicht weit genug ausgereift, das Wissen über mögliche Folgen von gentechnischen Eingriffen in Pflanzen ist immer noch bruchstückhaft. So weiß man heute, dass nicht nur ein Gen eine bestimmte Eigenschaft determiniert, sondern dass dafür das Zusammenspiel mehrerer Gene verantwortlich ist, dessen Wirkung oft nicht restlos geklärt ist. Des Weiteren können unerwartete und unerwünschte Effekte aufgrund von Wechselwirkungen zwischen den ursprünglichen Genen und dem eingebrachten Fremdgen auftreten. Im Bereich der Grundlagenforschung besteht unbedingt weiterer Forschungsbedarf.

Es gibt viele warnende Beispiele in der Menschheitsgeschichte, die belegen, wie sich einst als unbedenklich geltende Erfindungen für den Menschen im erst Nachhinein als gefährlich und schädlich herausgestellt haben. Ein solches Beispiel ist das Medikament Contergan. Im Oktober 1957 kam das Medikament Contergan als Schlafmittel in den Handel. Das Medikament galt als unbedenklich. In der Packungsbeilage der Firma Grünenthal wurde das Medikament besonders Schwangeren und Stillenden empfohlen, die unter Schlaflosigkeit, Unruhe und Spannungen litten. Dementsprechend häufig wurde das Medikament von Schwangeren eingenommen. In den kommenden Jahren wurden 5.000 schwer missgebildete Kinder geboren. Die Zusammenhänge zwischen der Einnahme des Medikaments Contergan bei Müttern in der Frühschwangerschaft und charakteristischen Missbildungen konnten erst 1961 nachgewiesen werden. Erst nach diesem erbrachten Beweis und unter massiven Druck von Presse und Öffentlichkeit wurde das Medikament vom Markt genommen. Die genauen biochemischen Zusammenhänge der Schädigung des Embryos durch Contergan sind bis heute nicht geklärt (www.contergan.de, o.J.).

Eine sinnvolle Alternative kann in der Förderung des ökologischen Landbaus liegen, weil er das Potential besitzt, die Probleme des konventionellen Landbaus zu lösen. So kommt er beispielsweise fast ohne chemische Bekämpfungsmittel aus. Es gibt viele alternative Methoden, Schädlinge von Nutzpflanzen zu bekämpfen. Der Stängelbohrer, der massive Schä-

den an Maiskulturen verursachen kann, war lange vor der Einfuhr von Mais in Afrika beheimatet. Das International Centre of Insect Physiology and Ecology (ICIPE) in Kenia suchte deshalb nach einheimischen Wirtspflanzen für diesen Kleinschmetterling. Die Bauern in Afrika säten um ihre Maisfelder das Napier-Gras an, das die Schmetterlinge aus dem Acker an die Randstreifen lockte. Das Napier-Gras wird von dem Stängelbohrer gegenüber Mais bevorzugt. Dieses Gras produziert einen Saft, in dem die meisten Raupen kleben bleiben und bewirkt damit eine massive natürliche Reduktion der Schädlinge.

Fehlende Fruchtfolge begünstigt besonders das Vorhandensein von Schädlingen, denn auf riesigen Feldern stehen Pflanzen in exakt dem gleichen Entwicklungsstadium und sind damit höchst anfällig für störende Einflüsse. Im konventionellen Reisanbau in China ist deshalb der Pilz *Magnaporthe grisea* eine Bedrohung, der ohne Bekämpfung durch Fungizide zu massiven Ernteverlusten führt. In einem Projekt, an dem sich 1999 tausende von Bauern aus Yunnan mit einer Anbaufläche von über dreitausend Hektar beteiligten, wurden statt einer Reissorte zwei Varietäten alternierend in Reihen ausgesät, die sich in ihrer Entwicklungsdynamik und im Aufwuchsverhalten unterschieden. Die Erhöhung der genetischen Vielfalt genügte, um das Problem des Pilzbefalls maßgebend zu beheben. So konnte der Pilzbefall um mehr als 90% verringert und der Ertrag um beinahe 90% erhöht werden (Hiß, 2003, S. 72, 73).

Ein Argument, das gerne gegen den biologischen Landbau vorgebracht wird, ist die angeblich geringere Ertragsleistung. Der Schweizer Bodenökologe Paul Mäder vom Forschungsinstitut für biologischen Landbau in Frick führte eine Langzeitstudie durch, in der er den konventionellen Landbau mit dem biologischen Landbau verglich. Er fand heraus, dass die mittleren Ertragsraten über 20 Jahre im biologischen Landbau nur 20% geringer waren, bei Winterweizen sogar nur um 10%. Bei Kartoffeln lag der Ertragsverlust höher. Dieses Ergebnis muss im Zusammenhang mit den eingesetzten Dünger- und Pestizidmengen gesehen werden. Gegenüber dem konventionellen Anbau konnte der Einsatz von Düngemitteln und fossilen Energieträgern auf den biologisch angebauten Feldern um 50% gesenkt werden, der Anteil an Pflanzenschutzmitteln sogar um 97%. Die Bodenqualität stellte sich im Vergleich zu konventioneller Bewirtschaftung als wesentlich besser heraus (Zarzer, 2005, S. 37).

Die meisten Verbraucher sind stark verunsichert durch Lebensmittelskandale wie BSE oder Berichte in den Medien über falsch etikettiertes Rindfleisch in Supermärkten, dessen Haltbarkeitsdatum in Wirklichkeit längst abgelaufen war. Daher sehen die Verbraucher im ökologischen Landbau eine sinnvolle Alternative, die ihrem Wunsch nach Transparenz und Naturbelassenheit von Nahrungsmitteln entspricht.

6 Literaturverzeichnis

Bücher/Zeitschriften

- Aid infodienst Verbraucherschutz Ernährung Landwirtschaft e.V. (Hrsg.) (2003):** Gentechnik und Lebensmittel. Einführung und Überblick. Bonn
- Albrecht, Stephan (Hrsg.) (1995):** Ökologie transgener Nutzpflanzen. Frankfurt/Main; New York: Campus Verlag.
- Alter, Günter (Hrsg.) (1988):** Gentechnik und Landwirtschaft: Folgen für Umwelt und Lebensmittelherzeugung. Alternative Konzepte. Band 64. Karlsruhe: Müller.
- Ammann, Daniel (1993):** Gentechnologie und Nahrungsmittel. Eine Risikodiskussion. Zürich: Schweizerische Arbeitsgruppe Gentechnologie SAG.
- Arbeitsgemeinschaft bäuerliche Landwirtschaft AbL, Bund Ökologische Lebensmittel Wirtschaft (BÖLW), Greenpeace Deutschland (Hrsg.) (2002):** Gen-Mais in Deutschland. Informationen für Landwirte, Verpächter, Imker und Verbraucher. Druck: Albat und Hirmke. Hannover.
- Becktope, Crista / Jakob, Simone (Hrsg.) (1991):** Genüsse aus dem Genlabor - Neue Techniken - neue Lebensmittel. Bonn: Die Verbraucher Initiative e.V.
- Behrens, Maria / Meyer-Stumborg, Silvia / Simonis, Georg (Hrsg.) (1996):** Gentechnik und die Nahrungsmittelindustrie. Sozialverträgliche Technikgestaltung. Band 33. Opladen: Westdt. Verlag.
- Bioland e. V. (Hrsg.) (2004):** Starke Argumente für Bio. 3. Auflage. Mainz.
- Brauchbar, Mathis / Locher, Reto / Wessels, Hans-Peter (1996):** Wahrnehmung und Akzeptanz von Bio- und Gentechnologie bei Lebensmitteln. Biotechnologie und Lebensmittel, Teilbericht b. Bern: Schweizerischer Wissenschaftsrat.
- Brown, Terence (1999):** Moderne Genetik. 2. Auflage. Heidelberg; Berlin: Spektrum. Akad. Verlag.
- Brown, Terence A. (1993):** Gentechnologie für Einsteiger. Grundlagen, Methoden, Anwendungen. Heidelberg; Berlin; Oxford: Spektrum. Akad. Verlag.
- Bublath, Joachim (2003):** Die neue Welt der Gene. Visionen, Rätsel, Grenzen. München: Droemersch Verlagsgesellschaft.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.) (2000):** Science live. Wissenschaft im Dialog. Perspektiven moderner Biotechnologie und Gentechnik. Bonn.
- Bündnis 90/Die Grünen (Hrsg.) (2005):** Eines für alle: Das Grüne Wahlprogramm 2005. Berlin.

-
- Busch, Roger J. et al. (2002):** Grüne Gentechnik. Ein Bewertungsmodell. München: Herbert Utz Verlag.
- Busselmaier, Werner (Hrsg.) (2004):** Fischer Abitur Wissen Biologie. Frankfurt am Main: Fischer Taschenbuchverlag.
- Cernaj, Ingeborg / Cernaj Josepf (1997):** Am Anfang war Dolly. Geklont und Manipuliert. Leben als Spielzeug der Wissenschaft. München: Wilh. Heyne Verlag.
- Christner, Jürgen (2000):** Genetik. Stuttgart; München; Düsseldorf; Leipzig: Ernst Klett Verlag.
- Daumer, Karl (1994):** Biologie. München: Bayerischer-Schulbuch-Verlag.
- Dingermann, Thomas (1999):** Gentechnik, Biotechnik: Prinzipien und Anwendungen in Pharmazie und Medizin. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.
- Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages / Catenhusen, Wolf-Michael / Neumeister, Hanna (Hrsg.) (1990):** Chancen und Risiken der Gentechnologie. Dokumentation des Berichts an den Deutschen Bundestag. 2. Aufl. Frankfurt/Main; New York: Campus Verlag.
- Epping, Bernhard / Grimm, Ulrich (Hrsg.) (1997):** Geheime Rezepte: Wie die Gentechnik unser Essen verändert. Stuttgart: Hirzel Verlag.
- Fischer, Ernst Peter / Geißler, Erhard (Hrsg.) (1994):** Wieviel Genetik braucht der Mensch? Die alten Träume der Genetiker und ihre heutigen Methoden. Konstanz: Universitätsverlag Konstanz.
- Fischer, Ernst Peter (2002):** Das Genom. Frankfurt am Main: Fischer Verlag.
- Frank, Roland / Sommermann, Ulrich / Ströhla, Gerhard (1997):** Natura. Genetik und Immunbiologie. Stuttgart: Ernst-Klett-Verlag.
- Friederichsen, Gisela (1993):** Gentechnologie. Chancen und Gefahren. 2. aktualisierte Auflage. Heidelberg: Hüthig Verlag.
- Gassen, H.G. / Minol, K. (Hrsg.) (1996):** Gentechnik. Einführung in Prinzipien und Methoden. 4., neubearbeitete Auflage. Stuttgart; Jena: Gustav Fischer Verlag.
- Gassen, Hans Günter / Kemme, Michael (1996):** Gentechnik. Die Wachstumsbranche der Zukunft. Frankfurt am Main: Fischer Taschenbuch Verlag.
- Gassen, Hans Günter / Martin, Andrea / Sachse, Gabriele (1988):** Der Stoff aus dem die Gene sind: Bilder und Erklärungen zur Gentechnik. 2. verb. Aufl. Frankfurt/M.; München: J. Schweitzer Verlag.
- Gottschalk, Gerhard (Hrsg.) (2000):** Das Gen und der Mensch. Ein Blick in die Biowissenschaften. Göttingen: Wallstein Verlag.

-
- Greenpeace e.V. (Hrsg.) (2003 a):** Gentechnik: 50 Jahre Risiken und Nebenwirkungen. Hamburg.
- Greenpeace e.V. (Hrsg.) (2003 b):** Sind genmanipulierte Lebensmittel sicher? Hamburg.
- Greenpeace e.V. (Hrsg.) (2004 a):** Das Einkaufsnetz. Die starke Gemeinschaft bewusster Verbraucher. Kiel.
- Greenpeace e.V. (Hrsg.) (2004 b):** Marienkäfer gegen Hungersnot. Innovative Pflanzenforschung braucht keine Genmanipulation. Hamburg.
- Greenpeace e.V. (Hrsg.) (2004 c):** Umweltgefährdung durch insektenresistente Bt-Pflanzen. Hamburg.
- Greenpeace e.V. (Hrsg.) (2004 d):** Gentechnik: Keine Hoffnung für die Hungernden. Hamburg.
- Greenpeace e.V. (Hrsg.) (2005 a):** Essen ohne Gentechnik. Hamburg.
- Greenpeace e.V. (Hrsg.) (2005 b):** Gute Gründe gegen Gentechnik. Hamburg.
- Greenpeace e.V. (Hrsg.) (2005 c):** 10 Jahre Anbau von Gen-Pflanzen - eine Bilanz. Hamburg.
- Greenpeace e.V. (Hrsg.) (2005):** Monsanto. Ein Gentechnik Gigant kontrolliert die Landwirtschaft. Hamburg.
- Greenpeace e.V. (Hrsg.) (o. J. a):** Gift und Gentechnik vom Acker bis zum Teller. Hamburg.
- Greenpeace e.V. (Hrsg.) (o. J. b):** Gentechnik. Gefährlicher Irrweg der Industrie. Wissenschaftliche Fallbeispiele aus Landwirtschaft und Lebensmittelproduktion. Hamburg.
- Grössler, Manfred (Hrsg.) (2005):** Gefahr Gentechnik. Irrweg und Ausweg. Graz: Concord Verlag.
- Harreus, Dirk (Hrsg.) (1999):** Gentechnologie. Fakten und Meinungen zum Kernthema des 21. Jahrhunderts. Berlin: Ullstein Verlag.
- Heberle-Bors, Erwin (1996):** Herausforderung Gentechnik. Wien: Verlag Holzhausen.
- Hiß, Christian (Hrsg.) (2003):** Der GENaue Blick. Grüne Gentechnik auf dem Prüfstand. München: Ökom Verlag.
- Ho, Mae-Wan (1999):** Das Geschäft mit den Genen: genetic engineering. Traum oder Albtraum? Kreuzlingen/München: Hugendubel Verlag.
- Ibelgaufts, Horst (1990):** Gentechnologie von A bis Z. Weinheim; New York; Basel; Cambridge: VCH Verlagsgesellschaft.

-
- Irmer, Juliette / Seidel, Ulrike (2005):** Grosses Handbuch der Genetik. Grundwissen und Gesetze. München: Compact Verlag.
- Irrgang, Bernhard (1997):** Forschungsethik. Gentechnik und neue Biotechnologie. Entwurf einer anwendungsorientierten Wissenschaftsethik unter besonderer Berücksichtigung von gentechnologischen Projekten an Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen. Stuttgart: Hirzel Verlag.
- Kampf, Michael u.a. (Hrsg.) (2003):** Genetik. Hannover: Schroedel-Verlag.
- Kempken, Frank/ Kempken, Renate (2003):** Gentechnik bei Pflanzen. Chancen und Risiken. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage. Berlin; Heidelberg; New York: Springer-Verlag.
- Kepplinger, Hans Mathias (1991):** Gentechnik im Widerstreit. Frankfurt/Main: Campus Verlag.
- Kleesattel, Walter (2002):** Gentechnik. Berlin: Cornelsen-Verlag.
- Kleinert, Reiner / Ruppert, Wolfgang / Stratil, Franz X. (2005):** Biologie Oberstufe. Genetik. Steuerung und Vererbung von Merkmalen und Eigenschaften. 8. Auflage. München: Mentor Verlag.
- Klingmüller, Walter (Hrsg.) (1986):** Genforschung im Widerstreit. 2. Auflage. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.
- Knippers, Rolf (1997):** Molekulare Genetik. 8. Auflage. Stuttgart: Thieme-Verlag.
- Kollmann, Albert (2001):** Abitur-Wissen Biologie. Genetik. Freising: Stark Verlagsgesellschaft.
- Koschatzky, Knut/ Maßfeller, Sabine (1994):** Gentechnik und Lebensmittel? Möglichkeiten, Risiken und Akzeptanz gentechnischer Entwicklung. Köln: Verlag TÜV Rheinland.
- Kottmann, Manfred (1999):** Gentechnik ja-nein? Eine kritische Orientierungshilfe. Stuttgart: Aethera im Verlag Freies Geistesleben+Urachhaus.
- Laffert Simone von, (1997):** Mund zu, Augen auf! Gentechnik und Bestrahlung - Nutzen und Risiken manipulierter Lebensmittel für den Verbraucher. München: Wilhelm Heyne Verlag.
- Lebensmittelchemische Gesellschaft, Fachgruppe in der GDCH (Hrsg.) (1998):** Gentechnik im Lebensmittelbereich. Schriftenreihe Lebensmittelchemie, Lebensmittelqualität. Band 24. Hamburg: BEHR's Verlag.
- Lebensmittelchemische Gesellschaft, Fachgruppe in der GDCH (Hrsg.) (1994):** Gentechnologie. Stand und Perspektiven bei der Gewinnung von Rohstoffen für die Lebensmittelproduktion. Schriftenreihe Lebensmittelchemie, Lebensmittelqualität. Band 21. Hamburg: BEHR's Verlag.
- Menrad, Klaus et al. (2003):** Gentechnik in der Landwirtschaft, Pflanzenzucht und Lebensmittelproduktion. Stand und Perspektiven. Heidelberg: Physica Verlag.

- Meyer, Rolf / Revermann, Christoph / Sauter, Arnold (1998):** Biologische Vielfalt in Gefahr? Gentechnik in der Pflanzenzüchtung. Studien des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag. Band 6. Berlin: Edition Sigma.
- Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz (Hrsg.) (2005):** Herausforderung Grüne Gentechnik – Problem oder Problemlösung? Mainz.
- Mühlhardt, Cornel (1999):** Der Experimentator: Molekularbiologie. Stuttgart; Jena; Lübeck; Ulm: Gustav Fischer Verlag.
- Nagl, Walter (1987):** Gentechnologie und Grenzen der Biologie. Dimensionen der Modernen Biologie 1. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Nagl, Walter (1995):** Gentechnologie und Grenzen der Biologie. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- NATI Technologieagentur Niedersachsen GmbH Fachgruppen „Öffentlichkeitsarbeit“ und „Pflanzenbiotechnologie“ der BioRegion (Hrsg.) (2002):** Grüne Gentechnik in Niedersachsen. Was läuft hier wirklich? 3. Auflage. Hannover.
- Nicholl, Desmond S. T. (1995):** Gentechnische Methoden. Heidelberg; Berlin; Oxford: Spektrum, Akad. Verlag.
- Niemitz, Carsten / Niemitz, Sigrun (Hrsg.) (1999):** Genforschung und Gentechnik. Ängste und Hoffnungen. Berlin; Heidelberg; New York: Springer Verlag.
- Norten, Ellen / Lindner, Angela / Pütz, Jean (Hrsg.) (1997):** Gentechnik im Alltag: wo sie uns begegnet und wie wir mit ihr leben. Köln: vgs.
- Old, R.W. / Primrose, S.B. (1992):** Gentechnologie. Eine Einführung. 4. Auflage. Stuttgart; New York: Georg Thieme Verlag.
- Oliver, Stephen G. / Ward, John M. (1988):** Wörterbuch der Gentechnik. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag.
- Preschel, Bernd (2000):** Duden-Abiturhilfen. Genetik. Fachliche Inhalte und Übungsaufgaben. 2. Auflage. Mannheim; Leipzig; Wien; Zürich: Dudenverlag.
- Reggenass-Klotz, Mechthild (2000):** Grundzüge der Gentechnik: Theorie und Praxis. 2., erweiterte und überarbeitete Auflage. Basel; Boston; Berlin: Birkhäuser Verlag.
- Reinecke, Anette (2004):** Gentechnik. Grundlagen, Methoden und Anwendungen. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.
- Rivenherm, Sabine (2000):** Gentechnologie. Hamburg: Rotbuchverlag.
- Schallies, Michael/ Wachlin, Klaus D. (1999):** Biotechnologie und Gentechnik. Neue Technologien verstehen und beurteilen. Berlin; Heidelberg; New York; Barcelona; Budapest; Hongkong; London; Mailand; Paris; Singapur; Tokio: Springer Verlag.

- Schellekens, Huub u.a. (1994):** Ingenieure des Lebens. DNA-Moleküle und Gentechniker. Heidelberg; Berlin; Oxford: Spektrum Akad. Verlag.
- Schmid, Rolf D. (2002):** Taschenatlas der Biotechnologie und Gentechnik. Weinheim: WILEY-VCH Verlag.
- Schneider, Alexander (1998):** Die genetische Entwicklung von Nutzpflanzen. Probleme der modernen Gentechnologie. Staatsexamensarbeit an der Hochschule für Jüdische Studien Heidelberg. Fachbereich Biologie.
- Schütte, Gesine u.a. (Hrsg.) (2001):** Transgene Nutzpflanzen. Sicherheitsforschung, Risikoabschätzung und Nachgenehmigungs-Monitoring. Bassel; Boston; Berlin: Birkhäuser-Verlag.
- SPD-Bundestagsfraktion (2005):** Agrarpolitik – Eine Bilanz. Bilanz der Agrarpolitik der SPD-Bundestagsfraktion 1998 bis 2005. Berlin.
- SPD-Parteivorstand – Kommission Verbraucher, Ernährung & Landwirtschaft (2003):** Verbraucherpolitische Offensive. Positionen – Herausforderungen – Aktionsvorschläge. Berlin.
- Stadler, Beda M. (1997):** Es gibt keine menschlichen Gene: Mythen und Fakten über Gentechnologie. 1. Auflage. Bern; Göttingen; Toronto; Seattle: Verlag Hans Huber.
- Streletz, Haidi (1999):** Bio- und Gentechnologie. Ein Kompendium für Interessierte. Frankfurt/Main: Verlag für Akademische Schriften.
- Thurau, Martin (1990):** Gute Argumente: Gentechnologie? München: Beck Verlag.
- Umweltinstitut München e.V. (o.J. a):** Gentechnik: Manipuliertes Leben. Pflanzen, Tiere, Lebensmittel. München
- Umweltinstitut München e.V. (o.J. b):** Gentechnik. Wir wissen nicht was wir tun...aber wir fangen schon mal an. München.
- Verbraucher-Zentrale NRW (Hrsg.) (2002):** Gentechnik und Lebensmittel. Sackgasse oder Fortschritt? Düsseldorf.
- Vorstand der SPD, Referat Parteiorganisation (2005):** Parteitag der SPD in Karlsruhe. 14. bis 16. November 2005. Beschlüsse. Berlin.
- Watson, James D./ Tooze, John/ Kurtz, David T. (1989):** Rekombinierte DNA. Eine Einführung. 3. Auflage. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft.
- Weber, Barbara/ Hirn, Gerhard/ Lünzer, Immo (Hrsg) (2000):** Öko-Landbau und Gentechnik-Entwicklung, Risiken, Handlungsbedarf. Bad Dürkheim: Stiftung Ökologie & Landbau.
- Wenzel, Wolfgang/ Amann, Margarete J. (1991):** Lexikon der Gentechnologie. Berlin; Heidelberg; New York; London; Paris; Tokyo; Hong Kong; Barcelona; Budapest: Springer Verlag.

Wiese, Bernd/ Milde Heidrun (1997): Abiturwissen. Genetik. 6. Aufl. Stuttgart; München; Düsseldorf; Leipzig: Ernst Klett Verlag.

Wöhrmann, Klaus/ Tomiuk, Jürgen/ Sentker, Andreas (1999): Früchte der Zukunft? - Grüne Gentechnik. Weinheim: Wiley-VCH Verlag.

Zarzer, Brigitte (2005): Einfach Gen:ial. Die grüne Gentechnik: Chancen, Risiken und Profite. Hannover: Heise Zeitschriften Verlag.

Internetquellen

Agro-Gentechnik gefährdet Arbeitsplätze

o.V., o.J.

URL: <http://www.boelw.de/uploads/media/pm-2005-03-16.pdf>, (a, b)
(Stand: 21.10.2006; S. 1)

Agro -Gentechnik in Deutschland? Sie haben die Wahl!

o.V., o.J.

URL: http://www.keine-gentechnik.de/bibliothek/wahl05/infos/bn_bayern_zitate_parteien_050902.pdf
(Stand: 09.11.2006; S. 2)

Agro -Gentechnik - Was gibt es bereits? Was wird wo angebaut?

o.V., 2006

URL: <http://www.gruene-bundestag.de/cms/flugblaetter/dokbin/96/96536.pdf>
(Stand: 25.11.2006; S.1)

Agrogentechnik versus Agrobiodiversität

Transgene Pflanzen beeinträchtigen die biologische Vielfalt

Dr. Steffi Ober, o.J.

URL: <http://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/gentechnik/hintergrund/4.pdf>, (b).
(Stand: 29.10.2006; S.10)

Aktuelles Beispiel Bt-Mais 176

Sabine Voigt, 2000

URL: <http://www.gene.ch/genesis/2000/Jul-Dec/doc00000.doc>.
(Stand: 3.11.2006)

Aktuelles im Bereich „Grüne Gentechnik“ Entwicklungen im Jahr 2004

Maria Ehrlich, 2004/05

URL: http://www.wiz.uni-kassel.de/foel/gruene_gentechnik/pdf/Gentransfermechanismen%20und%20Risiken.pdf, (a-h).
(Stand: 26.10.2006; S. 9, 10, 11)

Allergie

o.V., o.J.

URL: <http://www.kantonslabor-bs.ch/glossar.cfm>.
[Stand: 24.10.2006)

Antibiotikaresistente Bakterien und Antibiotika in der Umwelt

o.V., 1999

URL: <http://www.springerlink.com/content/pcuw181mfl7f8ntc/>
(Stand: 22.10.2006)

Bedeutung der Substanziellen Äquivalenz für die Beurteilung von gentechnisch veränderten Lebens- und Futtermitteln

o.V., 2003

URL: <http://www.umwelt-schweiz.ch/imperia/md/content/ekah/45.pdf>.
(Stand: 24.10.2006; S. 5,6)**Befangenheit von EU-Experten: Verbraucherzentrale Bundesverband fordert gründliche Überprüfung**

o.V., o.J.

URL: http://www.vzbv.de/start/index.php?page=presse&bereichs_id=&themen_id=&mit_id=505&ref_presseinfo=true, (a,b,c):
(Stand: 25.10.2006)**Bevölkerungswachstum als bioethisches Problem**

M. Mag. Harald A. Friedl, 2001

URL: <http://www.hausarbeiten.de/faecher/hausarbeit/etk/20728.html>, (a,b,c).
(Stand:22.10.2006)**Bilanz nach 10 Jahren: Gentech-Pflanzen erfüllen Erwartungen nicht Umweltinstitut München e.V.**

o.V., 2004

URL: <http://www.dosto.de/gengruppe/texte/landwirtschaft/landw16.html>, (a,c,d,e)
(Stand: 13.11.2006)**Chancen, aber keine Akzeptanz:**

o.V., 2002

URL: <http://www.aerzteblatt.de/v4/archiv/artikel.asp?id=30682>. (a,b)
(Stand: 19.10.2006)**Chancen und Risiken der grünen Gentechnik - Grundlagen**

Dr. Britta Urmoneit, o.J.

URL: <http://www.srzg.de/ubb/Forum40/HTML/000002.html>
(Stand: 02.11.2006)**Die Bedeutung der aktuellen Gentechnik- Gesetzesdebatte in der Europäischen Union für den Süden**

Dr. Frank Augsten, 2004

URL: http://www.eed.de/fix/files/doc/EED_Forum_gentechnik_04_deu.pdf, (a,b).
(Stand: 22.10.2006; S.1,2)**Die EU-Freisetzungsrichtlinie**

o.V., o. J.

URL: http://www.gentechnikfreie-regionen.de/recht/recht_23/recht_102.htm, (a,b).
(Stand: 27.10.2006)**Die 10 Mythen der Gentechnik**

o.V., 2005

URL: http://www.nabu.de/m06/m06_11/03760.html, (d)
(Stand: 29.10.2006)

Diskurs Grüne Gentechnik des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft – BMVEL

Nicole Heine, Martin Heyer, Dr. Thomas Pickardt, 2002
URL: <http://www.food-monitor.de/docs/gvo/reader.pdf>, (a-m).
(Stand: 22.10.2006; S.46,47,48,100,115,116,118,119,120,125)

Einsatz der Gentechnik in Umwelt und Landwirtschaft wird gesetzlich geregelt

Ludger Fittkau, 2004
URL: [http://www.dradio.de/dlf/sendungen/hintergrundpolitik/233533/\(a,b\)](http://www.dradio.de/dlf/sendungen/hintergrundpolitik/233533/(a,b)).
(Stand: 28.10.2006)

Entwicklung der Pflanzenzüchtung

o.V., o.J.
URL: <http://www.bdp-online.de/zuechtung/zuecht2.php#;> (a-c)
[Stand: 20.10.2006]

Erst der Profit dann die Moral**Kann die Gentechnologie den Hunger der 3.Welt besiegen?**

Barbara Bär, Marlene Blöchliger, Myriam Honegger, Nathalie Hubmann, o.J.
URL: <http://www.jufogen.ch/archiv/bioethik/2002/G10-hunger.pdf>.
(Stand: 27.10.2006; S. 3)

Es grünt so grün beim Novel Food

Sabine Riewenherm, o.J.
URL: <http://www.freitag.de/2001/16/01161101.php>, (a,b).
(Stand: 27.10.2006)

Fragen & Antworten - Gentechnik in der Landwirtschaft

o.V., o.J.
URL: <http://www.umweltinstitut.org/frames/all/m402.htm>
(Stand: 26.10.2006)

Fettsäuren

o.V., o.J.
URL: <http://www.margarine-institut.de/presse2/index.php3?rubrik=1&id=92>, (a,b).
(Stand: 28.10.2006)

Für eine Zukunft der gentechnikfreien Landwirtschaft

Friedrich Wilhelm Graefe zu Baringdorf, o.J.
URL: http://www.graefezubaringdorf.de/pdf_publications/deutsch_21.pdf, (a, b).
(Stand: 07.11.2006; S. 22,23)

**Gemeinsam für Deutschland. Mit Mut und Menschlichkeit.
Koalitionsvertrag von CDU, CSU und SPD**

2005
URL: http://koalitionsvertrag.spd.de/servlet/PB/show/1645854/111105_Koalitionsvertrag.pdf, (a, b).
[Stand: 12.12.2006; S. 73]

Gen

o.V., o.J.

URL: <http://www.de.wikipedia.org/wiki/Gen> .

(Stand: 21.10.2006)

Genforscher Chapela: Systematische Unterdrückung kritischer Forschungsergebnisse auf Druck der Biotech-Industrie

o.V., o.J.

URL: <http://www.dosto.de/gengruppe/texte/landwirtschaft/landw14.html>, (b).

[Stand: 13.11.2006]

Gentechnikfreie Regionen in Deutschland

Guido Nischwitz, o.J.

URL: [http://www.leaderplus.de/leaderplus/leaderforum/](http://www.leaderplus.de/leaderplus/leaderforum/LEADERforum_2005-2_Panorama.pdf)

LEADERforum_2005-2_Panorama.pdf

(Stand: 10.11.2006; S. 1)

Gentechnik in der Landwirtschaft - Chancen und Risiken

Karsten Jonas, 2000

URL: <http://www.genwirtschaft.de/texte/Examensarbeit.html>, (a,b).

(Stand: 07.11.2006)

Gentechnik in Landwirtschaft und Lebensmittelproduktion

o.V., o.J.

URL: <http://www.verbraucherzentrale-bayern.de/UNI114769627921148/link26425A.html>

(Stand: 25.10.2006)

Gentechnik gegen den Hunger in der Welt?

Iris Lehmann, o.J.

URL: http://www.aid.de/globale_aspekte_entwicklungslaender.php

(Stand: 19.10.2006)

Gentechnik-Gesetz zügig verabschieden

o.V., 2006

URL: <http://www.dib.org/default2~cmd~shd~docnr~119079~lastDokNr~>, (a,b,c,d).

(Stand: 12.11.2006)

Gentechnik in der Nahrungsmittelproduktion - Eine kritische Betrachtung

Volker Dunz, 2004

URL: <http://www.tierschutzpartei-bw.de/072umwelt/gruenegentechnik.pdf>, (a, b, c).

(Stand: 27.10.2006; S. 8,10,21)

Gentechnik und Lebensmittel

o.V., o.J.

URL: http://www.dfg.de/aktuelles_presse/publikationen/verzeichnis/download/gentech_d_2001.pdf, (c,d).

(Stand: 30.10.2006; S. 1)

Gentechnologie nutzlos gegen Armut

o.V., 2004

URL: [http://www.tropenwaldnetzwerk-brasilien.de/news/news.intern/news.intern.2004/news.intern20,\(a-c\)](http://www.tropenwaldnetzwerk-brasilien.de/news/news.intern/news.intern.2004/news.intern20,(a-c)).
(Stand: 27.10.2006)

 Gentechnologie - Plasmidtransfer, Restriktionsenzyme, DNA-Hybridisierung

o.V., o.J.

URL: http://www.biokurs.de/skripten/13/bs13_10.htm .
(Stand: 20.10.2006)

 Gentech-Pflanzen erfüllen Erwartungen nicht - Die falschen Thesen der Agro-Industrie

Andreas Bauer, 2004

URL: <http://www.umweltinstitut.org/frames/all/m407.htm>
(Stand: 26.10.2006)

 Gen-Reis erstmals in Lebensmitteln entdeckt

o.V., 2006

URL: http://www.nabu.de/m06/m06_11/05454.html Seite 2, (a).
(Stand: 03.11.2006)

 Gerhard Schröder - Zitatensammlung

o.V., o.J.

URL: http://www.bund.net/lab/reddot2/pdf/dossier_schroeder.pdf
(Stand: 28.10.2006; S.10)

 Glossar - Transduktion

o.V., o.J.

URL: http://www.fvdhgp.de/fvdhgp/CDWeb/sciencelive_glossar.pdf
(Stand: 21.10.2006, S.62)

 Gen Verdacht - Kein Reis mehr aus den USA

o.V., 2006

URL: <http://www.megawelle.com/Nachrichten.761.GEN.Verdacht..Kein.Reis.mehr.aus.den.USA.html>
(Stand: 21.10.2006)

 Goldener Reis

Ingo Potrykus, Peter Beyer, o.J.

URL: <http://www.learn-line.nrw.de/angebote/agenda21/lexikon/goldener-Reis.htm>.
(Stand: 26.10.2006)

 GRIBS – Grüne und Alternative in den Räten Bayerns

o.V., 2006

URL: http://www.gruene-fraktion-bayern.de/cms/files/dokbin/123/123784.oekonachrichten_nr_8.pdf
(Stand: 25.11.2006; S. 10)

Große Koalition wird Haftungsfrage im Gentechnik-Gesetz neu regeln

o.V., 2005

URL: <http://www.welt.de/data/2005/10/28/795126.html?prx=1>

(Stand: 26.10.2006)

Grüne bringen Grüne Gentechnik zum Welken

Thomas Deichmann, o.J.

URL: <http://www.novo-magazin.de/61/novo6124.htm> .

(Stand: 28.10.2006)

Grüne Gentechnik - bei der Wahl nur ein Randthema

o.V., o.J.

URL: <http://www.transgen.de/aktuell/archiv/53.doku.html>, (a-e).

(Stand: 22.10.2006)

Grüne Gentechnik – Chancen und Risiken für die internationale Ernährungssicherung

Prof. Dr. Michael Krawinkel, Dipl. oec.troph. Johanna Mahr, 2004

URL: http://www.uni-giessen.de/fbr09/int-nutr/Literatur/GMO-Text_DWHH.pdf, (a,b).

(Stand: 26.10.2006; S. 46, 47)

„Grüne“ Gentechnik Deutscher Bundestag – 15. Wahlperiode

o.V., o.J.

URL: http://www.gentechnikfreie-regionen.de/service/service_14/files/454_umweltgutachten2004_kap10.pdf, (a-c).

(Stand: 27.10.2006; S.1)

„Grüne“ Gentechnik Deutscher Bundestag – 15. Wahlperiode

o.V., o.J.

URL: http://www.gentechnikfreie-regionen.de/service/service_14/files/454_umweltgutachten2004_kap10.pdf

(Stand: 25.10.2006; S. 401)

Grüne Gentechnik III – Mehr Umweltschutz mit Gentechnik

o.V., o.J.

URL: <http://www.profil.iva.de/html/text.php?id=398> .

(Stand: 24.10.2006)

Grüne Gentechnik - Pro und contra

Dr. Britta Urmoneit, 2001

<http://www.srzg.de/ubb/Forum40/HTML/000002.html>

(Stand: 21.10.2006)

Hintergrund: Grüne Gentechnik und biologische Vielfalt

o.V., 2004

URL: <http://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/gentechnik/5.pdf>, (c).

(Stand: 29.10.2006; S. 5)

Im Kampf gegen den Hunger setzt die UNO falsche Prioritäten - Gentechnik ist keine Lösung

Ute Hausmann, 2004

URL: <http://www.taz.de/pt/2004/10/16/a0165.1/textdruck>, (a,b).

(Stand: 23.10.2006)

In der Gentechnikforschung steckt Potential für die Zukunft

o.V., 2006

URL: <http://www.presseportal.de/story.htx?nr=842559&ressort=2>, (a,b,c).

(Stand: 26.10.2006)

Kann Gentechnik den Hunger in der 3. Welt bekämpfen?

o.V., o.J.

URL: <http://www.genfood.at/druck.html?id=709>, (a,b,c).

(Stand: 22.10.2006)

Können gentechnisch veränderte Pflanzen den Welthunger stoppen?

Janine Dörig, Nicole Falk, Sonja Schöpflin, Daniela Kenzelmann, Julia Birk, 2002

URL: <http://www.jufogen.ch/archiv/bioethik/2002/G12-hunger.pdf>

(Stand: 27.10.2006; S. 10)

Ligasen

o.V., o.J.:

URL: <http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/8/bc/vlu/ligasen.vlu/Page/vsc/de/ch/8/bc/biokatalyse/ligasen.vscml.html>

(Stand: 19.10.2006)

Percy Schmeiser verliert gegen Monsanto

Brigitte Zarzer, 2004

URL: <http://www.heise.de/tp/r4/artikel/17/17492/1.html> .

(Stand: 23.10.2006)

Sind gentechnisch veränderte Lebensmittel gefährlich? –**Wird ihre gesundheitliche Unbedenklichkeit geprüft?**

Claudia Kiener, Klaus-Dieter Jany, Kurt Widhalm, o.J.

URL: http://www.lebenswissen.de/1veranstaltung/jany_kiner_2.htm, (a-c).

(Stand: 08.11.2006)

Legenden und wirtschaftliche Fakten zur Agro-Gentechnik

o.V., 2005

URL: <http://www.vdw-ev.de/publikationen/VDW-Standpunkt.pdf>, (a,b).

(Stand: 27.10.2006; S. 3)

Ohne Titel

o.V., o.J.

URL: http://www.blauen-institut.ch/Tx/tP/tpT/t_BUNDStudieGentechnik5.pdf, (a,b,c)

(Stand: 22.10.2006; S. 23)

Plasmid

o.V., o.J.

URL: <http://www.de.wikipedia.org/wiki/Plasmid>.

(Stand: 21.10.2006)

Restriktionsenzyme

Ulrich Helmich, 2005

URL: <http://www.u-helmich.de/bio/gen/reihe4/seite42-p.html>, (a,b).

(Stand: 26.10.2006)

Über die Folgen des Gen-Soja-Booms in Argentinien

Norbert Suchanek, o.J.

URL: http://www.ecolodg.be/umwelt/Gensoja_in_Argentinien.php, (a,b).

(Stand: 26.10.2006)

Untersuchung zu tatsächlich beobachteten Nachteiligen Effekten von Freisetzung gentechnisch veränderter Organismen

Beatrix Tappeser, Claudia Eckelkamp, Barbara Weber, 2000

URL: <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/M129.pdf>, (a,b).

(Stand: 27.10.2006; S. 36)

Verbotener Gen-Reis entdeckt

o.V., 2006

URL: http://www.hr-online.de/website/rubriken/nachrichten/index.jsp?rubrik=5710&key=standard_document_26531556

(Stand: 30.10.2006)

Vom Winde verweht? - Die Gesetzesnovelle zur "Grünen Gentechnik" hemmt Innovation und Forschung in Deutschland

o.V., 2004

URL: http://www.dfg.de/aktuelles_presse/pressemitteilungen/2004/presse_2004_29.html, (a,b,e,f)

(Stand: 30.10.2006)

Warum Nahrungshilfe heillose Folgen haben kann

o.V., 2002

URL: <http://www.dosto.de/gengruppe/texte/biopiraterie/biop5.html>, (f).

(Stand: 13.11.2006)

Was ist die Biotechnologie?

Felix Gmünder, 2001

URL: <http://www.gmuender.org/bt/einfuehrung1.pdf>

(Stand: 24.10.2006; S. 1)

Werden Gen-Nahrungspflanzen den Entwicklungsländern wirklich helfen?

Lim Li Ching, o.J.

URL: <http://www.germany.indymedia.org/2004/07/87124.shtml>

(Stand: 15.11.2006)

Wir müssen flexibler werden

o.V., o.J.

URL: <http://www.das-parlament.de/2006/10/Thema/003.html>, (a,b).

(Stand: 21.10.2006)

Wissenswertes

o.V., o.J.

URL: <http://www.contergan.de/wissenswertes.htm>

(Stand: 11.11.2006)

Zwangsfütterung mit Genfood durch die WTO?

o.V., o.J.

URL: http://www.attac.de/agrarnetz/dokumente/factsheet_genfall.pdf, (a,b)

(Stand: 28.10.2006; S. 2)

7 Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Sonja Teplinski

Hamburg, 12. Januar 2007

8 Anhang

- CD-Rom:
- Daten der Internetquellen
 - Diplomarbeit als pdf-Datei