

Basisreader der Moderation

zum

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

April 2002

Diskurs Grüne Gentechnik des BMVEL

April 2002

Basisreader der Moderation

Nicole Heine, M.A., Bonn

Martin Heyer, Bonn

Dr. Thomas Pickardt, Berlin

■■■■ hammerbacher gmbh
seminarstr. 34
49074 osnabrück
(0541) 33 88 2-0
diskurs@hammerbacher.de
www.hammerbacher.de

Diskurs Grüne Gentechnik

Vollständige Dokumentation und weitere Informationen zum Diskurs Grüne
Gentechnik unter: www.transgen.de | Portal *Diskurs*

Inhalt

VORWORT	1
1 WAS IST GRÜNE GENTECHNIK?	3
1.1 DEFINITION(EN)	3
1.2 GENTECHNIK UND PFLANZENZÜCHTUNG	4
1.3 TECHNIKEN ZUR HERSTELLUNG TRANSGENER PFLANZEN.....	4
1.4 ANWENDUNGEN DER GENTECHNIK IN DER PFLANZENZÜCHTUNG	6
1.5 DIE GRÜNE GENTECHNIK UNTERSCHIEDET SICH GRUNDLEGENDE VON KONVENTIONELLEN ZÜCHTUNGSMETHODEN	7
1.6 PRÄZISION UND KONTROLLIERBARKEIT DER GEN-ÜBERTRAGUNG BEI PFLANZEN	8
2 DENKMODELLE	11
2.1 ALLGEMEINE ÜBERLEGUNGEN	11
2.2 METHODE DER ETHISCHEN URTEILSBILDUNG: ZIEL-MITTEL- ANALYSE UND „SHARED MAXIMS“	11
2.3 MENSCHENWÜRDE UND GRUNDRECHT ALS AUSGANGSPUNKT	12
2.4 ANSÄTZE EINER NATUR- UND UMWELTETHIK	12
2.4.1 <i>Welche ethischen Argumente gibt es für einen Schutz der Natur im unmittelbaren Interesse des Menschen? – Anthropozentrische Argumente</i>	14
2.4.2 <i>Wie kann die Ethik die nicht-menschliche Natur um ihrer Selbst willen mit einbeziehen? – Nicht-anthropozentrische Argumente</i>	15
2.5 RISIKO UND TECHNIKFOLGENBEURTEILUNG	18
2.5.1 <i>Sind die Risiken der Gentechnik neue Risiken?</i>	19
2.5.2 <i>Wie verhalten sich technische Risikoanalyse und ethisches Werturteil zueinander?</i>	20
2.5.3 <i>Wie werden Risiken wahrgenommen?</i>	20
2.5.4 <i>Risiko-Nutzen-Prüfung</i>	22
2.5.5 <i>Risiko und Vorsorgeprinzip</i>	22
2.6 FRAGEHORIZONTE.....	24
<i>Konkrete Fragen zu Chancen und Risiken der Grünen Gentechnik</i>	25
3 AKTUELLE PRAXIS	27
3.1 HERBIZIDRESISTENZ	29
3.2 INSEKTENRESISTENZ.....	34

3.3 VIRUSRESISTENZ	37
3.4 HYBRIDSYSTEME, MÄNNLICHE STERILITÄT	41
3.5 REIFEVERZÖGERUNG	44
3.6 FETTSÄUREVERÄNDERUNGEN	46
3.7 MODIFIZIERTE BLÜTENFARBEN	49
3.8 ENZYMPRODUKTION IN MIKROORGANISMEN	51
4 RECHTSPRAXIS, RICHTLINIEN, INTERNATIONALE ABKOMMEN.....	54
4.1 GRUNDSÄTZLICHE ERWÄGUNGEN	54
4.1.1 Rechtsgebiete und Rechtsquellen.....	55
4.1.2 Das Zusammenspiel der Normquellen	56
4.2 GENEHMIGUNG IM DEUTSCHEN UND EUROPÄISCHEN RECHT	57
4.2.1 Gentechnische Arbeiten	58
4.2.2 Freisetzung.....	61
4.2.3 Inverkehrbringen.....	62
4.3 KENNZEICHNUNG	67
4.3.1 Rechtsgründe einer Kennzeichnungspflicht	68
4.3.2 Produkt- und verfahrensbezogene Kennzeichnung	69
4.3.3 Schwellenwertproblematik.....	70
4.3.4 Negativkennzeichnung	71
4.4 NEUORDNUNG DER KENNZEICHNUNG UND ZULASSUNG.....	72
4.5 HAFTUNG	75
4.5.1 Die deutsche Rechtslage.....	76
4.5.2 Internationale Aspekte.....	77
4.6 PATENTRECHT	78
4.6.1 Deutschland und Europa.....	79
4.6.2 Die internationale Rechtslage.....	84
4.7 WEITERE ABKOMMEN MIT RELEVANZ FÜR DIE GRÜNE GENTECHNIK	86
4.7.1 Die Konvention zur Biodiversität.....	86
4.7.2 Der Codex Alimentarius.....	89
5 DIMENSIONEN DER RISIKO/CHANCEN-DEBATTE	91
5.1 GRÜNE GENTECHNIK UND BIODIVERSITÄT	92
5.1.1 Beeinflussung der natürlichen Vielfalt von Arten, Genen und Ökosystemen	93
5.1.2 Beeinflussung der Kulturpflanzenvielfalt.....	100
5.2 KANN DIE GRÜNE GENTECHNIK EINEN BEITRAG ZU EINER UMWELTVERTRÄGLICH(ER)EN LANDWIRTSCHAFT LEISTEN?	101
5.3 KANN DIE GRÜNE GENTECHNIK DIE WELT SATT MACHEN?	106

5.4 GESUNDHEIT UND GRÜNE GENTECHNIK	108
5.4.1 Antibiotika-Resistenzgene	109
5.4.2 Erhöhung des Allergierisikos durch gentechnisch veränderte Pflanzen ..	115
5.4.3 Unerwartete bzw. unbeabsichtigte Effekte, Produktion schädlicher Stoffwechselprodukte	119
5.5 WIRTSCHAFTLICHE ENTWICKLUNG	122
5.6 WAS FORDERN DIE VERBRAUCHER?	125
6 SCHLUSSBETRACHTUNG DER AUTOREN	127

VORWORT

Wer sich eine Meinung zur Grünen Gentechnik bilden will, steht vor einer kaum überschaubaren Vielzahl von Veröffentlichungen und Quellen, die wichtig sein könnten. Selbst diejenigen, die sich seit vielen Jahren beruflich und in der gesellschaftlichen Debatte zu diesem Themenkomplex engagieren, können nicht alle naturwissenschaftlichen, praktischen, rechtlichen und ethischen Aspekte überblicken.

Für den Diskurs zur Grünen Gentechnik des BMVEL legt die Moderation deshalb einen Reader vor. Er versteht sich als ein Arbeitsinstrument für alle, die sich in der komplexen Materie orientieren wollen. Der Text ist auch auf der Diskurswebseite www.transgen.de/diskurs verfügbar. Dort wird zusätzlich der Zugang zu Quellen mit vertiefenden Informationen angeboten. Anders als andere Veröffentlichungen ist der Reader kein abgeschlossenes Produkt, sondern kann im Zuge des Diskurses entsprechend den Themeninteressen der an dem Diskurs beteiligten gesellschaftlichen Gruppen erweitert werden. Die dann entstandenen Texte werden ebenfalls auf der Diskurswebseite eingestellt.

Die hier vorliegende Basisfassung des Readers gibt eine Einführung in den Sachstand von Forschung, Entwicklung und Anwendung sowie rechtliche Regelungen zur Grünen Gentechnik. Sie gibt darüberhinaus einen Überblick über die Fragen, die in der gesellschaftlichen Debatte über das Pro und Contra der Grünen Gentechnik (bislang) aufgeworfen werden. Bei der Auswahl der hier verarbeiteten Informationen sehen die Autoren sich dabei dem Ziel verpflichtet, sowohl Fakten wie auch kontroverse Blickwinkel zutreffend und auch für Laien lesbar darzustellen.

Der Basisreader wurde von Dr. Beatrix Tappeser und Dr. Kristina Sinemus jeweils kritisch gegengelesen. Sie haben auf Lücken hingewiesen und wertvolle Anregungen zur Verbesserung gegeben. Wie diese Anmerkungen umgesetzt wurden, liegt natürlich in der Verantwortung der Autoren. Welcher Autor für welche Kapitel verantwortlich zeichnet, ist in dem jeweiligen Kapitel ausgewiesen.

Ein herzlicher Dank geht auch an die Kooperationspartner der Moderation Prof. Dr. Hans-Jörg Jacobsen für den Verband Deutscher Biologen und biowissenschaftlicher Fachgesellschaften e.V. und Dr. Rudolf Teuwsen für das Deutsche Referenzzentrum für Ethik in den Biowissenschaften. Ohne ihre aktive Unterstützung wäre die Erstellung dieses Readers in nur zwei Monaten nicht möglich gewesen.

Osnabrück, 24. April 2002

Ruth Hammerbacher (Moderatorin)

1 WAS IST GRÜNE GENTECHNIK?

(Thomas Pickardt)

1.1 DEFINITION(EN)

Unter den Begriff Gentechnik oder Gentechnologie versteht man zum einen sämtliche Verfahren, in denen unter künstlichen Bedingungen aufbereitetes, extrazelluläres Erbgut (Nucleinsäuren, unverändert oder neukombiniert) entweder direkt (Mikroinjektion, Mikroprojektil-Beschuss) oder über Vektoren (Viren, bakterielle Plasmide) in Organismen eingebracht werden. Zum anderen werden auch analytische Methoden, die auf der Isolierung und Charakterisierung von Teilen des Erbgutes basieren, zur Gentechnik gezählt. Hierzu gehören z.B. die Charakterisierung bestimmter Genotypen mit Hilfe eines genetischen „Fingerabdrucks“, ein Verfahren, das z.B. in der konventionellen Züchtung als sog. markergestützte Selektion große Bedeutung erlangt hat, oder diagnostische Verfahren, die auf einer enzymatischen Vermehrung bestimmter Sequenzabschnitte basieren (PCR). Hierbei findet jedoch weder eine Neukombinationen der isolierten Nucleinsäuren statt, noch werden gentechnisch¹ veränderte Organismen erzeugt. Während Nachweistechiken auf DNA-Ebene heute in vielen Bereichen etabliert und akzeptiert sind, werden Herstellung und Nutzung gentechnisch veränderter Organismen kontrovers diskutiert.

Der umgangssprachliche Begriff „Grüne Gentechnik“ bezeichnet Wissenschafts- und Anwendungsbereiche, in denen pflanzliche Organismen (in erweiterter Form, wie im vorliegenden Text, werden auch Mikroorganismen miteinbezogen) das Ziel gentechnischer Veränderungen darstellen, während die „Rote Gentechnik“ die mit gentechnischen Verfahren erweiterte Forschung an Menschen oder Tieren umfasst (Die „Grünen“ und „Roten“ gab es in den biomedizinischen Wissenschaften schon vor Einführung der Gentechnik).

¹ Zur Unterscheidung genetisch/gentechnisch: „genetisch verändert“ ist die Übersetzung des englischen „genetically modified“; im Deutschen ist darüberhinaus die Bezeichnung „gentechnisch“ möglich, die sich in diesem Zusammenhang in vielen deutschen Publikationen, anders als in den ins Deutsche übersetzten EU-Amtsblättern, weitgehend durchgesetzt hat. Hierdurch lässt sich differenzieren zwischen einer *genetischen* Veränderung wie z.B. einer Mutation und einer *gentechnischen* Veränderung durch Einführung einer definierten DNA-Sequenz in eine Zelle.

1.2 GENTECHNIK UND PFLANZENZÜCHTUNG

Seit etwa 10000 Jahren züchtet der Mensch durch Auslese und Kreuzung neue, für landwirtschaftliche Zwecke optimierte und gegenüber ihren ursprünglichen Eigenschaften stark veränderte Formen bestimmter Pflanzenarten. Ermöglicht wurde diese Erweiterung der Formenvielfalt durch die hohe Variabilität und Flexibilität des pflanzlichen Genoms (Rekombinationen, chromosomale Umlagerungen, Mutationen, „springende“ Gene) und durch die bei Pflanzen nicht seltene Vermischung und Kombination unterschiedlicher Genome nach natürlichen, art- und gattungsübergreifenden Hybridisierungen. Im letzten Jahrhundert wurde die Basis für die Auslese neuer Formen und Merkmale durch mutationsauslösende Chemikalien oder Strahlen sowie durch gezielte, von Züchtern vorgenommene interspezifische Kreuzungen noch gesteigert.

Eine erste Vorstellung davon, nach welchen Regeln die Vererbung von Genen und Merkmalen funktioniert, erlangte erstmals Gregor Mendel während seiner Untersuchungen an Erbsen. Seine 1866 publizierten Erklärungen der Ergebnisse, die heute als Mendelsche „Regeln“ in keinem Biologie-Schulbuch fehlen, ließen die Vererbungswissenschaft entstehen, die wiederum die Grundlage für die zu Beginn des 20. Jahrhunderts entwickelten Techniken der Kombinations- und Hybridzüchtung bildete. Diese Techniken waren, zusammen mit der Entwicklung neuer Syntheseverfahren in der Chemie², die Voraussetzung für die heutzutage in den Industrieländern und im Zuge der grünen Revolution auch in einigen Ländern der dritten Welt etablierte, technisierte Landwirtschaft mit speziell angepassten Sorten und, bei entsprechender Düngergabe und Pestizideinsatz, hohen Erträgen.

Die Vererbungswissenschaft entfaltete sich ebenfalls im 20. Jahrhundert rasant und wurde nach der Identifizierung der DNA als Erbsubstanz (1944), ihrer Strukturaufklärung (1953), der Ermittlung des genetischen Codes (Anfang der 60er Jahre) und den ersten gentechnischen Experimenten an Bakterien (1973) zur heutigen Molekulargenetik.

1.3 TECHNIKEN ZUR HERSTELLUNG TRANSGENER PFLANZEN

Seit etwa 1980 lassen sich auch Pflanzen gentechnisch verändern. In den Jahren zuvor war es gelungen, den Mechanismus eines natürlichen Gentransfer-Systems in pflanzliche Zellen aufzuklären: Das Bodenbakterium *Agrobacterium tumefaciens*

² Ammoniaksynthese zur Düngemittelproduktion und Entwicklung von Pestiziden

vermag durch Einschleusen eines Stückes seiner Erbsubstanz Pflanzenzellen derart umzuprogrammieren, dass diese zum einen ein tumoröses Wachstum entwickeln, zum anderen bestimmte Nährstoffe für die Bakterien produzieren. In dem entstehenden Pflanzentumor können sich die Bakterien ansiedeln und vermehren. Nachdem man die für die Tumorbildung verantwortlichen Gene mit Hilfe molekularbiologischer Techniken „herausgeschnitten“ und gleichzeitig durch neue Gene ersetzt hatte, ließen sich mit Hilfe dieses Systems gentechnisch veränderte, morphologisch aber normale Zellen herstellen. Wie man anschließend aus solchen Zellen intakte Pflanzen regeneriert, war zuvor in einem benachbarten Forschungsgebiet, der pflanzlichen Zell- und Gewebekultur, ermittelt worden.

Nicht alle Pflanzen ließen sich auf diese Weise gentechnisch manipulieren, da *Agrobacterium* von Natur aus die meisten zweikeimblättrigen, aber nur wenige einkeimblättrige Arten, zu denen z.B. die derzeit wichtigsten Nutzpflanzen Weizen, Mais und Reis gehören, infiziert. Für diese Arten wurde ein Verfahren entwickelt, das auch als „Gen-Kanone“ bezeichnet wird. Etwa 1 Mikrometer (1/1000 mm) große Goldpartikel werden mit der genetischen Information „ummantelt“ (was nichts anderes bedeutet, als dass die DNA im Beisein dieser Partikel durch Zugabe von Salzen chemisch gefällt wird) und in einer speziellen Apparatur durch Heliumdruck in die Zellen „geschossen“ (zum Vergleich: Pflanzenzellen besitzen einen Durchmesser von ungefähr 30-100 Mikrometer). Um aus einem solchen Verfahren intakte und gleichzeitig genetisch manipulierte Pflanzenzellen zu erhalten, müssen drei Bedingungen erfüllt sein: (i) die Zelle muss zunächst getroffen werden, (ii) sie muss anschließend in der Lage sein, ihre „durchlöcherte“ Zellwand wieder zu reparieren, und (iii) die DNA muss in den Zellkern gelangen und dort in das Genom stabil integrieren. Nur ein Bruchteil der behandelten Zellen (ca. eine von 1000-100000) erfüllt jedoch alle drei Bedingungen. Wie findet man aber diese Zellen?

Dieses Problem, das nicht nur bei Verwendung der Gen-Kanone, sondern auch im Fall der oben beschriebenen *Agrobacterium*-Methode besteht, löst man durch Einschleusen sogenannter Selektionsmarkergene. Diese verleihen den erfolgreich manipultierten Zellen die Eigenschaft, auf bestimmten Nährböden wachsen zu können, während die nicht-transformierten Zellen unter den gleichen Bedingungen am Wachstum gehindert oder abgetötet werden. Das Selektionsmarkergen, das ansonsten keine weitere Bedeutung besitzt, wird mit dem eigentlich interessanten Gen, dessen Aktivität der Pflanze ein bestimmtes Merkmal vermitteln soll, gekoppelt, so dass eine gemeinsame Übertragung beider Gene gewährleistet ist. Als Selektionsmarker wurden sehr häufig Antibiotika-Resistenzgene verwendet, die aus der Bakteriengenetik bereits bekannt und deshalb verfügbar waren. Die Verwendung von Antibiotika-

Resistenzgenen zur Herstellung transgener Pflanzen steht seit einiger Zeit in der Kritik (s. dazu Abschnitt 5.4).

1.4 ANWENDUNGEN DER GENTECHNIK IN DER PFLANZENZÜCHTUNG

In einer Technologie, mit deren Hilfe sich einzelne Gene in Pflanzen übertragen lassen, sah die konventionelle Züchtung eine Erweiterung ihres methodischen Repertoires. Die anwendungsorientierte Züchtungsforschung richtete bis etwa Mitte der 90er Jahre ihr Hauptaugenmerk auf die Einführung zumeist bakterieller Gene zur Vermittlung von Eigenschaften wie die Resistenz gegen Insekten oder nicht-selektive Herbizide, sowie auf die Übertragung von Hüllproteingenen zur Erzeugung von Virusresistenzen. Nach den ersten experimentellen Freisetzungen 1987 wurden Mitte der 90er Jahre die ersten transgenen Sorten kommerzialisiert. Heute sind insgesamt etwa 60-70 gentechnisch veränderte Sorten für den Anbau in verschiedenen OECD-Ländern zugelassen. Die Anbauflächen mit transgenen Pflanzen wachsen weltweit stetig an, von 1.7 Millionen ha (1996) auf ca. 52 Millionen ha im Jahre 2001 – wobei zu berücksichtigen ist, dass sich 99% dieser Fläche in den Ländern USA, Argentinien, Kanada und China befinden (detaillierte Angaben zur derzeitigen Situation befinden sich in Kapitel 3).

Ein Blick auf die Züchtungsprogramme der zweiten Hälfte der 90er Jahre und auf die gegenwärtigen Forschungsprojekte lassen eine wesentlich breiter gefächerte Palette von möglichen Anwendungen für die nächsten Jahr(zehnt)e erkennen. Hierzu gehören

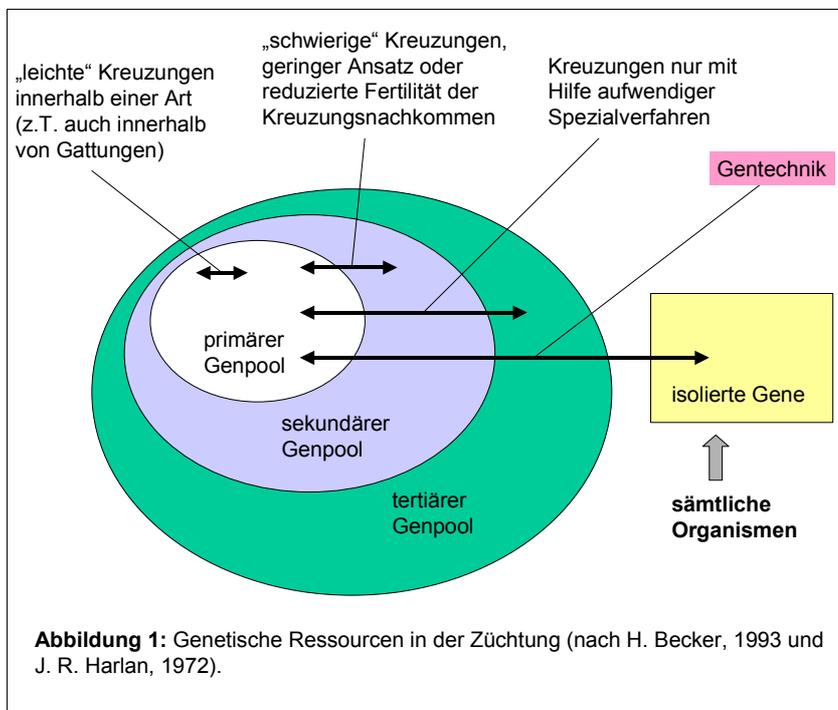
- die Erzeugung pilzresistenter Nutzpflanzen
- Samen und Früchte mit verbessertem Nährwert
- gezielte Veränderungen sekundärer Inhaltsstoffe
- eine effizientere Nährstoffaufnahme
- die Anpassung an Trockenheit und Salzgehalt des Bodens
- Eigenschaften, die den Einsatz von Pflanzen zur Dekontamination von Böden ermöglichen („Phytoremediation“)
- die Verwendung von Pflanzen zur Produktion von Rohstoffen wie abbaubare Polymere, modifizierte Öle und Kohlenhydrate sowie pharmazeutisch Produkte wie Impfstoffe, Antikörper und Hormone.

1.5 DIE GRÜNE GENTECHNIK UNTERSCHIEDET SICH GRUNDLEGENDE VON KONVENTIONELLEN ZÜCHTUNGSMETHODEN

Gerade die letzten Beispiele machen deutlich, dass die Möglichkeit, beliebige DNA-Sequenzen in Pflanzen übertragen zu können, eine grundlegende Neuerung gegenüber herkömmlichen Verfahren der Pflanzenzüchtung darstellt.

Der Mensch hat in seinem Bestreben, bestimmte Pflanzenarten für landwirtschaftliche Zwecke zu optimieren, seit jeher (und über lange Zeit ohne Kenntnis der eigentlichen Vorgänge) Maßnahmen verwendet, um die genetische Ausstattung dieser Arten zu verändern. Er war hierbei zunächst - vor Mendel - vollständig auf zufällige und für ihn in keiner Weise steuerbare Veränderungen in der genetischen Information angewiesen, die sich fast ausschließlich im primären Genpool³ (s. Abbildung 1) der betreffenden Pflanzen abspielten.

Die Erkenntnisse aus der Vererbungslehre erweiterten im 20. Jahrhundert die Kontrollierbarkeit der Maßnahmen zur Veränderung der genetischen Ausstattung erheblich. Es entstanden die Kombinations- und Hybridzüchtung, und bei diversen Arten wurde eine gezielte Nutzung sekundärer sowie, nach Entwicklung spezieller Kreuzungstechniken, auch tertiärer Genpools möglich (in diesem Zusammenhang wurde bereits in der konventionellen Züchtung der Begriff *Gentransfer* benutzt).



³ Dieser muss sich bei Pflanzen nicht unbedingt auf die Art beschränken.

Hieraus wird häufig, unter Einbeziehung der Gentechnik als vorerst letztem Schritt, eine kontinuierliche Erweiterung der Genpools abgeleitet. Diese Sichtweise lässt jedoch außer Acht, dass mit der Einführung der Gentechnik nicht nur eine weitere Vergrößerung des Genpools stattgefunden hat, sondern eine Aufhebung jeglicher biologischer Restriktionen bezüglich des genetischen Informationsaustausches. Dem Verbraucher erschließt sich diese Tatsache im Fall der bisher kommerzialisierten, transgenen Sorten noch weniger deutlich (auch wenn hier bereits bakterielle Gene verwendet wurden), u.a. weil hier die gentechnischen Veränderungen größtenteils bereits in der konventionellen Züchtung bearbeitete, agronomische Merkmale betreffen (s. Kapitel 3). Offensichtlich wird dieser Umstand jedoch, wenn Impfstoffe in Bananen, Antikörper in Kartoffeln oder Interferone und Blutgerinnungsfaktoren in Tabakpflanzen produziert werden. Hieraus lassen sich keinesfalls von vorneherein Gefahrenpotenziale ableiten, möglicherweise liegen hierin Chancen dieser Technologie – unter Umständen aber auch spezielle Risiken.

1.6 PRÄZISION UND KONTROLLIERBARKEIT DER GEN-ÜBERTRAGUNG BEI PFLANZEN

Die Gentechnik erhebt mitunter den Anspruch, eine besonders genaue und zielgerichtete Form der Veränderung darzustellen, da hier nur einzelne, bekannte Gensequenzen übertragen werden. Die Genauigkeit wird jedoch gegenwärtig eingeschränkt durch die Unkontrollierbarkeit bzw. Zufälligkeit der Position des übertragenen Gens im Genom der Empfängerpflanze (s. Abschnitt 5.4). Darüber hinaus finden vor und während der Integration mehr oder weniger vielfältige Sequenzumlagerungen statt, die auch Teile des Empfänger-genoms am Integrationsort nicht selten miteinschließen. Dort u.U. lokalisierte, funktionelle Sequenzen werden dabei zerstört. Gegenwärtig stellt daher jede transgene Linie, die im Labor produziert wird, ein besonderes „event“ mit spezifischen Eigenschaften bezüglich des Integrationsortes dar.

Der genetische Kontext wirkt nicht selten negativ auf die Aktivität des eingeführten Transgens, und in nicht wenigen der derzeit im Labor produzierten Linien lässt sich ein sog. *gene silencing*, d.h. ein „Abschalten“ des Transgens beobachten (stabile Linien lassen sich aber durchaus durch Selektion ermitteln). Transgene Linien können darüber hinaus auch andere Veränderungen gegenüber der Ausgangslinie aufweisen (z.B. Inhaltsstoffe, morphologische Abberationen) – diese stehen allerdings nicht unbedingt mit der Anwesenheit bzw. der Aktivität des Fremdgens in Verbindung, sondern können auch durch genetische Veränderungen in anderen Teilen des Genoms

verursacht werden, die während der z.T. sehr langen Gewebekulturphasen mitunter auftreten. Die Ermittlung normaler und das transgene Merkmal stabil exprimierender Zuchtlinien erfordern daher molekulargenetische und biochemische Analysen des Materials sowie eine Überprüfung der morphologischen Eigenschaften über mehrere Generationen.

Solche „unbeabsichtigten“ Effekte („unintended effects“, s. Abschnitt 5.4) sind allerdings keine gentechnik-spezifischen Erscheinungen. Auch in konventionellen Verfahren treten derartige Phänomene auf, vor allem bei „weiten“ Kreuzungen (sekundärer und tertiärer Genpool, s. Abbildung 1) oder der Mutationszüchtung. Durch Deletionen, Inversionen und Translokationen von Chromosomenstücken kommt es zu erheblichen und im Vergleich zur Gentechnik deutlich stärkeren Veränderungen in der Anordnung des Genoms. Nicht nur auf Genomebene, sondern auch hinsichtlich der Proteinzusammensetzung und Inhaltsstoffe können sich solche Linien deutlich vom Ausgangsmaterial unterscheiden, selbst wenn man berücksichtigt, dass in anschließenden Rückkreuzungen viele Eigenschaften der eingekreuzten Wildformen wieder eliminiert werden. Eine unterschiedliche Behandlung konventioneller und gentechnisch hergestellter Sorten hinsichtlich der Prüfung auf *substantielle Äquivalenz* (s. Kapitel 4) lässt sich daher, zumindest aus wissenschaftlicher Sicht, nicht begründen.

An Methoden, die eine genauere Modifizierung bei gentechnischen Verfahren erlauben, entweder durch eine kontrollierbare Integration (homologe Rekombination) oder durch eine direkte Modifizierung pflanzeigener Gene *in situ* ohne die Integration von Fremdgenen (chimäre Oligonucleotide), wird intensiv geforscht. Es ist abzusehen, dass mit Hilfe gentechnischer Methoden zukünftig minimale Modifizierungen des pflanzlichen Genoms bis hin zu wenigen Basenpaaren möglich sein werden. Dies ist mit keiner der konventionellen Züchtungstechniken möglich und zeigt, dass mit Hilfe einer u.U. als „unnatürlich“ empfundenen Methode Linien hergestellt werden können, die sich in einem viel geringeren Ausmaß von den jeweiligen Ausgangsformen unterscheiden als diejenigen aus herkömmlicher Verfahren.

Für eine zweite Kategorie unbeabsichtigter Effekte sind unsere noch sehr geringen Kenntnissen über genetische und physiologische Zusammenhänge und Regulationsmechanismen verantwortlich. Die Einführung von z.B. bakteriellen Enzymen in pflanzliche Stoffwechselwege kann zu drastischen Konzentrationsveränderungen bestimmter Zwischenmetabolite führen. Solche Effekte werden allerdings auf Forschungsebene detektiert und dienen der Erweiterung unserer Kenntnisse auf dem Gebiet der Stoffwechselregulation.

Dass für Kommerzialisierungen vorgesehene Produkte aus transgenen Pflanzen gesundheitlich bedenkliche Eigenschaften aufweisen, kann nach bisherigen Erfahrungen ausgeschlossen werden. Die Analyseverfahren, die zur Detektion solcher Veränderungen verfügbar sind, werden hier unterschätzt. Bei der Ermittlung von Inhaltsstoff-Profilen können auch unbekannte Substanzen erfasst und identifiziert werden. In den letzten Jahren hat es in diesem Bereich bedeutende Fortschritte gegeben – durch die Verbindung von *high-throughput*-Techniken und Verbesserungen in der Analytik lassen sich große Probenmengen bezüglich ihrer Eigenschaften auf der Ebene des Genoms, der Proteine und auch der Metabolite in einer zunehmend präziseren Weise untersuchen und unerwünschte Veränderungen erfassen (zum Allergiepotezial s. Abschnitt 5.4). Unterschätzt wird auch die Intensität, mit der Produkte aus gentechnisch veränderten Pflanzen hinsichtlich möglicher Gesundheitsrisiken evaluiert und z.B. in Fütterungstests auf ihre Toxizität geprüft werden. Die von Arpad Pusztai veröffentlichten Ergebnisse zur toxischen Wirkung der „Lektin-Kartoffeln“ hat bei einem nicht geringen Teil der Bevölkerung den Eindruck hinterlassen, solche Fütterungsstudien wären erstmalig durchgeführt worden.

2 DENKMODELLE

(Nicole Heine)

2.1 ALLGEMEINE ÜBERLEGUNGEN

Politische Entscheidungen und gesetzliche Regelungen, insbesondere im Bereich neuer Technologien, lassen sich nicht einfach aus Handbüchern entnehmen, sondern entwickeln sich als Ergebnisse praktischer Überlegungen. Diese gewichten potenzielle Chancen und Risiken der infragestehenden Technik, erwägen, ob die über deren Anwendung gemachten Tatsachenbehauptungen plausibel sind, und beurteilen schließlich im Licht ethischer Prinzipien und Werte, ob eine Anwendung ethisch vertretbar ist.

Der Ethik kommt allgemein eine klärende, kritische Funktion in Bezug auf herrschende Moralvorstellungen zu; sie fragt, inwiefern sich gesellschaftlich vermittelte normative Überzeugungen im Licht oberster Prinzipien rechtfertigen lassen. Ihr zentrales Anliegen ist es also, Normen zu begründen. Während sich die Ethik dabei traditionell vornehmlich auf die Frage konzentriert hat, wie Menschen miteinander umgehen, fragt sie heute auch danach, wie die Menschen mit der Natur umgehen.

2.2 METHODE DER ETHISCHEN URTEILSBILDUNG: ZIEL-MITTEL-ANALYSE UND „SHARED MAXIMS“

Eine bewährte Methode der ethischen Beurteilung von Handlungsmöglichkeiten oder auch der Anwendung neuer Technologien besteht darin, zum einen danach zu fragen, ob die *Ziele*, die mit diesen verfolgt werden oder verfolgt werden können, legitim sind, und – wenn dies der Fall sein sollte – zum anderen zu prüfen, ob die *Mittel*, die zu Erreichung dieser Ziele verwendet werden, vertretbar sind. Da die Grüne Gentechnik den Menschen selbst ebenso betrifft wie die ihn umgebende nicht-menschliche Natur, beziehen sich die Fragen nach der Legitimität der Ziele und der Vertretbarkeit der Mittel hier einerseits auf die Schutzpflichten, die der Mensch gegenüber sich selbst hat, und andererseits auf etwaige Schutzpflichten gegenüber der nicht-menschlichen Natur. Bei der Bestimmung dieser Schutzpflichten empfiehlt es sich im Sinne einer angewandten Ethik vor allem auf solche moralischen Prinzipien Bezug zu nehmen, von denen neben ihrer *Akzeptabilität* auch eine weitgehende *faktische Akzeptanz* angenommen werden kann („shared maxims“).

2.3 MENSCHENWÜRDE UND GRUNDRECHT ALS AUSGANGSPUNKT

Dazu kommen vornehmlich diejenigen Prinzipien in Frage, die unter dem Leitbegriff der *Menschenwürde* und als daraus abgeleitete Grundrechte Eingang nicht nur in das deutsche Grundgesetz, sondern auch in die Verfassungen vieler anderer Staaten und in bedeutende zwischenstaatliche Menschenrechtsabkommen gefunden haben. Diese moralischen Prinzipien verpflichten vor allem dazu, die Möglichkeit einer *selbstbestimmten* Entfaltung der Persönlichkeit ebenso zu schützen wie die *vitalen, kulturellen* und *natürlichen Lebensgrundlagen* des Menschen.

2.4 ANSÄTZE EINER NATUR- UND UMWELTETHIK

Eine ethische Beurteilung der Anwendung der Gentechnik beginnt mit dem Menschen als einem Wesen, das zwischen gut und böse unterscheiden kann („Subjekt der Moral“) und das sich deswegen moralischen und rechtlichen Normen stellen muss. Ansätze, die dieses Merkmal des Menschen als ethisch irrelevant betrachten, können daher zur Beurteilung ebenso wenig herangezogen werden wie ein radikaler Anthropozentrismus, für den der Mensch nicht nur das Subjekt der Moral, sondern auch deren alleiniges Objekt ist. Denn beiden fehlen die Voraussetzungen dafür, begründen zu können, warum der Umgang des Menschen mit der Natur überhaupt moralisch, d. h. als gut oder böse, beurteilt werden kann.

Dass der Mensch nicht beliebig in die nicht-menschliche Natur eingreifen darf, folgt schon aus den Schutzverpflichtungen gegenüber dem Menschen selbst, dessen natürliche Lebensgrundlagen zu bewahren sind. In der Frage, ob und inwieweit auch Schutzpflichten gegenüber der Natur um ihrer selbst willen bestehen, werden verschiedene Ansätze vertreten:

Der sogenannte „anthropozentrische“ Ansatz geht davon aus, dass die Natur keinen eigenen Wert hat, aber der Mensch schon aufgrund seines Eingebundenseins in die Natur aus Eigeninteresse die Natur zu schützen hat. Demnach ist der Umgang des Menschen mit der nicht-menschlichen Natur nicht beliebig; Rücksicht ist hier aber nur insofern zu nehmen, als Interessen des Menschen berührt sein könnten.

Andere Ansätze bejahen demgegenüber Schutzpflichten gegenüber der Natur um ihrer selbst willen, wobei sie diese jedoch unterschiedlich konzipieren und begründen. Anlass für das aufkeimende Interesse an einer Ethik, die die Natur stärker mit einbezieht, waren vor allem die Ende der sechziger Jahre offenbar gewordenen ökologischen Probleme der Industriestaaten. Für rein anthropozentrische Ansätze der Ethik

bestand die Lösung dieser Probleme in einem verbesserten Umgang mit der für den Menschen wichtigen „Ressource Natur“. Nach Ansicht der die Natur um ihrer selbst willen einbeziehenden Formen der Ethik war jedoch eine grundsätzliche Neuausrichtung des Verhältnisses zwischen Mensch und Natur vonnöten.

Was jedoch meinen wir, wenn wir von der Natur sprechen? Die Naturvorstellungen der Menschen haben sich im Laufe der Geschichte verändert; außerdem sind sie von Kultur zu Kultur verschieden. Begriffsgeschichtlich lässt sich jedoch eine Kernbedeutung des Begriffs herleiten, die die folgende vorläufige Begriffsbestimmung erlaubt: Natur ist das nicht vom Menschen Gemachte, sondern das, was aus sich selbst heraus entstanden ist, sich wandelt und immer wieder neu wird. Ein Gegenbegriff zu „Natur“ ist demnach der Begriff des „Künstlichen“ oder des „Artefakts“, d. h. des vom Menschen Hergestellten. Doch haben Menschen immer schon in die Natur eingegriffen und sie verändert, nicht zuletzt, um das Rohmaterial für ihre Artefakte zu gewinnen. Insofern sind „Natur“ und „Artefakt“ *graduelle Begriffe*.

Je nachdem, wie weit die unmittelbaren Schutzpflichten des Menschen reichen, werden die naturethischen Ansätze aufgeteilt: Als *physiozentrisch* (von griech.: „physis“ = Natur) werden diejenigen Ansätze bezeichnet, die der Natur generell einen Eigenwert zusprechen. Je nachdem, in welcher Rangfolge der Wert des Menschen in diesen Positionen bestimmt wird, handelt es sich um *egalitäre* oder *hierarchische* Varianten des Physiozentrismus. In der egalitären Variante sind alle Wesen gleichberechtigt – und auch entsprechend zu behandeln, in der hierarchischen Variante ist der Wert der nichtmenschlichen Naturwesen gegenüber dem Menschen ein abgestufter. Der *Pathozentrismus* (von griech. „pathos“ = Leid) spricht allen leidensfähigen Naturwesen und der *Biozentrismus* (von griech. „bios“ = Leben) spricht allen Lebewesen einen moralischen Wert zu.

Im Folgenden sollen zunächst einige klassische anthropozentrische Argumente, sodann die prominentesten nicht-anthropozentrischen Argumente für eine Begrenzung unserer Verfügung über die nicht-menschliche Natur skizziert werden. Die Darlegung der Argumente soll dabei vor allem als Landkarte zur Orientierung in der relativ unübersichtlichen Landschaft ethischer Ansätze dienen, um gegebenenfalls eine Zuordnung der in der Diskussion um die Grüne Gentechnik vorgebrachten Argumente zu den unterschiedlichen Positionen zu ermöglichen.

2.4.1 Welche ethischen Argumente gibt es für einen Schutz der Natur im unmittelbaren Interesse des Menschen? – Anthropozentrische Argumente

Befriedigung der menschlichen Grundbedürfnisse

Zunächst ist eine bestimmte Form des Naturschutzes deshalb geboten, weil die Erfüllung grundlegender menschlicher Bedürfnisse (Nahrung, Gesundheit, etc.) von der Verfügbarkeit natürlicher Ressourcen abhängt und diese durch mangelnden Schutz der Natur bedroht ist. Das Argument appelliert dabei an das wohlverstandene Eigeninteresse. Dieses Argument wird manchmal weiter abgestützt durch die empirische Annahme, dass diese Grundbedürfnisse am besten dadurch befriedigt werden, dass der Natur ein Eigenwert beigemessen wird. („Nature-knows-best“-Variante). Hierbei auf die „Selbsteilungskräfte der Natur“ zu setzen, beruht jedoch auf der nicht unproblematischen Annahme, diese seien auch immer gut für den Menschen.

Schönheit der Natur

Mit dem Schutz der Natur kann auch der Schutz des Naturerlebens verbunden sein. Denn Naturerlebnisse haben für den Menschen einen hohen ästhetischen Wert und tragen zum guten Leben bei. Da wir uns bei fortschreitender Naturzerstörung selbst die Möglichkeit zur Erfahrung der Schönheit der Natur rauben würden, sollte die Natur auch aus diesem Grund geschützt werden. Wenngleich der Rang ästhetischer Bedürfnisse nicht so hoch ist wie der von Grundbedürfnissen, hebt dieses Argument auf eine „Option guten menschlichen Lebens“ für viele Menschen ab; dieser Option gebührt moralischer Respekt, gerade auch weil sie nicht durch technisch Machbares ersetzt werden kann. Gegenüber anderen ästhetischen Erfahrungen nimmt die ästhetische Erfahrung der Natur insofern eine Sonderstellung ein, als sie mehrere Sinne gleichzeitig anspricht und das Attraktive gerade in der Abwesenheit der Spuren menschlicher Eingriffe liegt.

Eine Reihe weiterer anthropozentrischer Argumente vermag es, die üblicherweise physiozentrischen Positionen zugesprochene spirituelle Dimension eines Weltbezugs, der die Natur als Eigenwert betrachtet, mit aufzunehmen:

Geborgenheit und Vertrautheit mit Natur kann eine Art Heimat für Menschen sein, und Natur kann Teil individueller Identität sein, durch die sich Menschen von anderen abgrenzen. In manchen Fällen wird Natur aus diesen Gründen Eigenwert zugespro-

chen. Im Respekt vor der Natur kann sich somit auch Respekt vor menschlicher Individualität ausdrücken.

Ein weiteres Argument sieht im Annehmen der gesamten Natur um ihrer selbst willen und als einer heiligen Natur die Möglichkeit, ein sinnerfülltes Leben zu führen. Eine solche Haltung sei anderen Weisen der Lebensführung überlegen, da der Sinn des Lebens z. B. nicht im Gelingen einzelner Projekte liege, die stets vom Scheitern bedroht seien. Es ist dabei allerdings nicht klar, weshalb dies einen besonderen Schutz der Natur begründet, da auch Artefakten gegenüber eine solche Haltung geübt werden kann.

2.4.2 Wie kann die Ethik die nicht-menschliche Natur um ihrer Selbst willen mit einbeziehen? – Nicht-anthropozentrische Argumente

Die Achtung vor leidensfähigen Lebewesen

Dem pathozentrischen Argument liegt die These zugrunde, dass nicht nur Menschen Empfindungen, Leidensfähigkeit und Interessen besitzen. Insofern es darum geht, durch unser Handeln ein „gutes Leben“ in einem ganz allgemeinen Sinne zu befördern, müssen dabei auch die Empfindungen, das mögliche Leid sowie die Interessen von Tieren berücksichtigt werden. Strittig ist jedoch, inwieweit dies geboten bzw. überhaupt möglich ist. Kritik am pathozentrischen Argument kommt daher aus verschiedenen Richtungen. Eines der zentralen Gegenargumente lautet, dass dann, wenn die Leidensfähigkeit als ausschließliches moralisches Kriterium angenommen wird, vielen Stadien des menschlichen Lebens (bspw. frühen embryonale Stadien) kein moralischer Schutz zukäme. Darüber hinaus wird kritisiert, dass die Berücksichtigung von Empfindungen und Interessen bei Menschen und Tieren nicht wechselseitig erfolgen kann, denn einen Unterschied zwischen gut und böse kennt und erkennt nur der Mensch.

Die Achtung vor den Zwecken der Natur

Das an natürlichen Zwecken orientierte Argument (teleologisches Argument) ist weitgehend analog zum pathozentrischen Argument aufgebaut, hebt aber statt auf Empfindungen und Interessen auf die von allen Lebewesen verfolgten Ziele und Zwecke ab, die in ihrer Natur angelegt sind. Varianten dieses Arguments weisen Pflanzen (biozentrische Variante), Ökosystemen, allen Individuen in der Natur (individualistische radikalphysiozentrische Variante) oder der Natur im Ganzen (holistische

radikalphysiozentrische Variante) Zwecke zu. Die angenommenen Zwecke variieren je nach Träger: So wird in der biozentrischen Variante darauf verwiesen, alles Leben strebe nach Selbsterhaltung und Reproduktion, in der holistischen radikalphysiozentrischen Variante strebt die Natur nach Komplexität, Selbstorganisation, Biodiversität, Schönheit, Harmonie etc.

Die Kritik an diesem Ansatz verweist darauf, dass der Begriff des Ziels oder Zwecks mehrdeutig ist, denn ob die inhärenten Zwecke bei nicht-menschlichen Lebewesen oder Ökosystemen in ihrem moralischen Wert vergleichbar sind mit denjenigen Zwecken, die der Mensch selbst setzt, kann in Zweifel gezogen werden.

Die Ehrfurcht vor dem Leben

Das in dieser Version von Albert Schweitzer vertretene Argument dehnt moralischen Respekt auf alles Leben in der Natur aus. Im Zentrum der Begründung steht bei Schweitzer der „Wille zum Leben“: Dreh- und Angelpunkt seiner Konzeption ist der dem Grundsatz der Philosophie R. Descartes „cogito ergo sum“ kontrapunktisch entgegengestellte Grundsatz: „Ich bin Leben, das leben will, inmitten von Leben, das leben will“ (A. Schweitzer). Da nun allem Lebendigen ein solcher „Wille zum Leben“ eigen sei, gilt es allem Lebendigen die gleiche „Ehrfurcht vor dem Leben“ entgegenzubringen. Das wichtigste Gegenargument verweist darauf, dass die daraus gefolgerte Behauptung, alles Leben habe ein Recht auf Fortexistenz, eine sehr willkürliche Grenze ziehe: Weshalb sollten z.B. den klassischen wesentlichen Kennzeichen von Leben – Stoffwechsel, Fortpflanzung, Mutation – moralischer Wert zukommen? Außerdem seien, so ein weiteres Gegenargument, die Konsequenzen dieser Grundannahmen kontraintuitiv, da beispielsweise die gezielte Verhinderung der Weitervermehrung von Bakterien durch Antibiotika in der Medizin als verwerflich gelten müsste. Auch könne nicht zwischen Lebensformen diskriminiert werden: Das Leben eines Bakteriums wäre dieser Position zufolge menschlichem Leben gleichwertig. Dennoch kommt dem Prinzip der „Ehrfurcht vor dem Leben“ eine wichtige erklärende und methodische, d. h. heuristische Funktion zu, in dem sie nämlich zu einem vorsichtigen, nicht beliebigen Umgang mit der belebten Natur mahnt.

Der innere Wert der Natur

Verschiedene naturethische Ansätze nehmen in ihrer Argumentation eine „Würde“ oder ein „Eigenrecht“ der Natur an, das nicht relativ zum Menschen, sondern absolut gilt. Die „Natürlichkeit“ der Evolution oder die genetische Ausstattung von Organismen werden dabei als ein „absolutes Schutzgut“ gesehen, in das der Mensch unter keinen

Umständen eingreifen darf. Mit der Wertschätzung des Natürlichen verbindet sich nämlich der Eindruck des in langen Zeiträumen bereits Bewährten, das nicht riskiert werden darf. Das Argument richtet sich gegen die Vorstellung, dass es wertsetzender und erkennender Subjekte, also Menschen bedürfe, damit überhaupt Werte in der Welt sind. Dem wird kritisch entgegengehalten, dass „Natürlichkeit“, selbst wenn sie einen Eigenwert habe, *per se* noch keine Verbindlichkeit begründet. Auch greife der Mensch nicht nur immer schon umformend in die Natur ein, sondern sei auch auf umformende Eingriffe in die Natur angewiesen, um überhaupt überleben zu können. Solche Eingriffe kategorisch und ohne allen Unterschied abzulehnen, widerspreche daher nicht nur der weitgehenden Akzeptanz bestimmter Kultur- und Technikformen, sondern gefährde darüber hinaus auch die Existenzbedingungen des Menschen.

Natur als Schöpfung Gottes

Strukturell stellt das theologische Argument eine Variante des Arguments vom inneren Wert der Natur dar, wobei der „Wert in der Natur“ oder des „Natürlichen“ darin begründet ist, dass Gott als Schöpfer die Natur geschaffen hat. Wenngleich begründungstheoretisch der Wert der Natur von Gott abhängt, so sind dem Menschen als „Ebenbild Gottes“ innerhalb der Schöpfung in seinem Handeln gegenüber der Natur deutliche Grenzen gesetzt. Dies bedeutet aber nicht, dass Eingriffe in die Natur *per se* abzulehnen seien. Dies ist nur dann der Fall, wenn man von einem primär konservativen Verständnis der Aufgabe des Menschen als eines bloßen Verwalters der Schöpfung ausgeht. Fasst man den dem Menschen in seiner Gottesebenbildlichkeit gegebenen Auftrag jedoch nicht nur als Bewahrungs- sondern auch als Gestaltungsauftrag, könnten umformende Eingriffe in die Natur nicht nur zulässig, sondern unter Umständen sogar ethisch geboten sein.

Die Natur als ein lebendiges Ganzes

In ganzheitlichen (holistischen) Formen der Naturethik wird die Natur als lebendiges Ganzes, oft als großer allumfassender Organismus betrachtet. Einige Ansätze sind eng mit ostasiatischen Naturvorstellungen verknüpft. Das Holismusargument greift die den anthropozentrischen und physiozentrischen Ansätzen zugrundeliegende Gegenüberstellung von Mensch und Natur selbst an: In einer angemessenen Konzeption sei das Verhältnis Mensch-Natur als das Verhältnis eines Teiles zu einem Gesamtsystems zu verstehen; der Mensch sei (nur) Teil des Systems Natur. Aus dieser Perspektive folge, dass das gute Leben des Menschen nicht auf Kosten des Systems Natur angestrebt werden dürfe. Vielmehr sei die Selbstverwirklichung des Menschen unauflösbar mit der

des Ganzen verbunden, der Mensch trage deshalb Sorge für sich, indem er sich um das Wohl des Ganzen bemühe, und umgekehrt. Die zentrale These „der Mensch ist Teil der Natur“ ist dabei jedoch notorisch vieldeutig, so attraktiv sie intuitiv auch erscheint. Schwierig sind vor allem Antworten auf folgende Fragen: Wie ist die Teil-Ganzes-Beziehung näher zu deuten? Haben die Identität und der Realitätsgehalt des natürlichen Ganzen denselben Rang wie die Identität des Menschen? Wenn ja, welche moralischen Implikationen ergeben sich daraus? Fraglich ist nämlich, wie das handelnde Subjekt – also der Mensch – überhaupt mit seinem begrenzten Erkenntnisvermögen Verantwortung für ein so geordnetes Ganzes übernehmen können soll.

Eine Analyse der anthropozentrischen und physiozentrischen Ansätze ergibt Folgendes: Eine angemessene Naturethik kann nicht in einer einfachen Wahl zwischen Anthropozentrismus und Physiozentrismus bestehen. Ein richtig verstandener Anthropozentrismus versteht Natur nicht einfach nur instrumentell, nur als Ressource, sondern erkennt Natur auch als konstitutiven Bestandteil gelingenden Lebens. Der Physiozentrismus wiederum trägt dazu bei, dass auch Haltungen und Gefühle der Natur gegenüber berücksichtigt werden.

2.5 RISIKO UND TECHNIKFOLGENBEURTEILUNG

Bei der Prüfung der Zulässigkeit gentechnischer Methoden ist einerseits zu fragen, ob diese einen realen Nutzen haben und daher als Mittel zur Erreichung der gesteckten Ziele geeignet sind, und andererseits, ob der Einsatz der Gentechnik auch bei hochrangiger Zielsetzung und klarem Nutzen nicht Schäden verursacht, die – möglicherweise irreversibel - besonders schwerwiegend sind. Der technisch-mathematische Risikobegriff definiert Risiko als das Produkt des Schadensausmaßes und der Eintrittswahrscheinlichkeit, wobei „Schaden“ selbst keine vorgegebene Größe ist, sondern vor einer Risikoanalyse einer genauen Definition bedarf. Soll die eingangs gestellte Frage beantwortet werden, ist zu untersuchen, ob die Anwendung gentechnischer Methoden das *Risiko nicht beabsichtigter, aber schädlicher Nebenfolgen* birgt. Dies bedeutet: Wenn man das oben skizzierte Mensch-Natur-Verhältnis berücksichtigen und daher Eingriffe in die Natur vermeiden will, die diese zerstören bzw. Mensch und Natur hochgradig gefährden, müssen die Folgen des Handelns genau beschrieben werden können. Dieser Forderung ist jedoch derzeit nicht ohne Weiteres nachzukommen. Denn trotz der hoch entwickelten Bio-, Agrar- und Lebensmittelwissenschaften hat unser *Wissen* um das Zusammenwirken der verschiedenen Prozessfaktoren Grenzen. Vor allem aber ist die Vorhersage möglicher schädlicher Nebenfolgen deutlichen Unsicherheiten unterworfen und meist nur in Bezug auf den Einzelfall möglich. Alle

Folgen zu vorausszusehen, ist auf einem so neuen Feld wie dem der Gentechnik mit großen Schwierigkeiten verbunden; daher ist gentechnisches Handeln immer auch *Handeln unter Ungewissheit oder Unsicherheit* und Risiko. Um so höher sind die Anforderungen an ein entsprechendes *Risikomanagement*. Es sollte dabei jedoch das handlungstheoretische Gesetz im Auge behalten werden, dass Entscheidungen bezüglich jeglicher Risiken – auch der Risiken des Alltags – immer unter relativer Unsicherheit, d. h. immer nur von einem jeweiligen Wissensstand aus erfolgen.

2.5.1 Sind die Risiken der Gentechnik neue Risiken?

Geht man von der Neuheit der Gentechnik aus, dann liegt die Vermutung nahe, dass neben erkenn- und damit vergleichbaren auch bislang unerkennbare Risiken in Rechnung gestellt werden müssen. Anders als bei bekannten und vergleichbaren Risiken werden diese „theoretische“ oder oft auch „spekulative“ Risiken genannt. Sie beruhen im Gegensatz zu „realen“ oder „hypothetischen Risiken“ auf der Annahme, dass sich ein Risikoverdacht nicht auf bekannte Mechanismen stützen muss, sondern bislang unbekannte Mechanismen und Ereignisse vermutet werden können. Am Beispiel der Unterschiede zwischen atomaren und gentechnischen Risiken lässt sich dies wie folgt veranschaulichen:

„Unterschiede zwischen atomaren und gentechnischen Risiken“, aus: Bernhard Gill, Johann Bizer, Gerhard Roller: *Riskante Forschung*, Berlin 1998, S. 23.

	Kernkraft	Gentechnik
Schadenseignung	gewiss	nur teilweise gewiss
Wirkungsablauf	weitgehend bekannt	weitgehend unbekannt
Schadensausmaß	abschätzbar	ungewiss
Wahrscheinlichkeit	abschätzbar	ungewiss

Doch aus der Besonderheit der Risikosituation allein ein Verbot der entsprechenden Technik abzuleiten, wäre ein Vorgehen, das sich kaum verallgemeinern und angesichts gegenläufiger grundrechtlicher Ansprüche nur schwer begründen ließe. Denn wenn sich im Vergleich konventioneller und gentechnischer Verfahren keine Unterschiede hinsichtlich des Risikos ergeben, gibt es für die Vermutung verborgener Risiken als Grund nur das Nichtwissen. Eine solche Art von Vermutung könnte aber ebenso berechtigt gegenüber der Fortsetzung der alten Technik geäußert werden. Allein auf

neue Technologien bezogen liefe sie auf ein unterschiedsloses Verbot jeder neuen Technologie hinaus. Im Blick auf die Analogiebildung zur konventionellen Züchtung ist schließlich zu bedenken, dass auch unser Wissen im Fall konventioneller Züchtung begrenzt ist und daher auch hier mit unvorhersehbaren Folgen immer gerechnet werden muss. Die vergleichsweise größere „Naturnähe“ der konventionellen Züchtung kann zwar geringere Risiken vermuten lassen, diese aber nicht per se ausschließen.

Die Neuheit der gentechnischen Veränderung, deren Fernwirkung und Ausmaß (*erweiterte Eingriffstiefe*) sowie die mangelnde Erfahrungsbasis im Hinblick auf Sicherheit und Verträglichkeit haben dazu geführt, dass Verfahren zur *Sicherheitsvorsorge* eingeführt worden sind, die über die Prüfung der auch mit der konventionellen Züchtung verbundenen Risiken hinausgehen.

2.5.2 Wie verhalten sich technische Risikoanalyse und ethisches Werturteil zueinander?

Bei der Risikobewertung in Bezug auf die Einführung neuer Techniken wie der Gentechnik verbinden sich *Tatsachenanalyse* (in Form einer technisch-mathematischen Risikoanalyse) und *Werturteil*. Die Technikfolgenabschätzung wird zur Technikfolgenbeurteilung. Die Folgen einer Technik werden in Bezug auf „etwas“ ermittelt. Dieses „etwas“ ergibt sich aus einer vorgängigen Bewertung nach ethischen Prinzipien. So ist im Blick auf die Gentechnik vorher zu klären, auf welche Verträglichkeits-Bereiche oder Grundgüter (Gesundheit, Ökosysteme, Wirtschaft etc.) hin die Technikfolgen analysiert werden sollen. Insofern gibt der ethische Diskurs der Technikfolgenabschätzung Koordinaten vor, und nach der Technikfolgenabschätzung sind wiederum deren Ergebnisse ethisch zu bewerten. Die Beurteilung potenziell schädlicher Folgen der Gentechnik ist durch eine gesellschaftliche Risikowahrnehmung und eine *Erkenntnisunsicherheit* in den Vordergrund gerückt. Es geht darum, *Gefahren* möglichst weitgehend zu antizipieren und ihnen *vorbeugend* zu begegnen.

2.5.3 Wie werden Risiken wahrgenommen?

Von der Risikoanalyse ist noch einmal die *Risikowahrnehmung* zu unterscheiden. Risiken werden von verschiedenen Menschen in unterschiedlichen Situationen jeweils anders wahrgenommen. Daher wird vielerorts ein stärker rationaler Umgang mit Risiken vorgeschlagen. Drohen manche Risiken überdeutlich wahrgenommen zu werden, werden andere Risiken als solche kaum empfunden oder nicht im angemessenen Maße thematisiert. Da die Bewertung von Risiken nicht ein rein technischer und

mathematischer Vorgang ist, sondern gesellschaftliche und ethische Momente mit einbezieht, muss die Risikoanalyse in einen gesellschaftlichen Diskurs über die Einführung einer Technik wie der Grünen Gentechnik eingebettet sein.

Denn die Bewertung des Risikos bezieht sich nicht nur auf das berechenbare Produkt aus dem zu erwartenden Nutzen bzw. aus dem zu befürchtenden Schaden mit der Wahrscheinlichkeit, in der Nutzen oder Schaden eintreten. Sie ist auch geprägt durch die auf individuellen Wertschätzungen beruhende unterschiedliche Bereitschaft der Mitglieder einer Gesellschaft, für bestimmte Ziele bestimmte Risiken in Kauf zu nehmen.

Die Akzeptanz von Risiken ist in jedem individuellen Lebensentwurf unterschiedlich ausgeformt. Eine *Kennzeichnungspflicht* von gentechnisch veränderten Lebensmitteln begründet sich nicht zuletzt darin, unterschiedlichen Lebensentwürfen Rechnung zu tragen, d. h. denjenigen, die nicht bereit sind, die verbleibenden Risiken der Gentechnik hinsichtlich der Lebensmittelproduktion mitzutragen, die Möglichkeit zu geben, sich anders zu ernähren. Zur Abschätzung einer Risikoakzeptanz gehört es auch, verschiedene gesellschaftlich akzeptierte und nicht-akzeptierte Risiken miteinander zu vergleichen. Dabei rechtfertigt in der Regel ein eingegangenes Risiko nicht unmittelbar ein anderes noch einzugehendes, da die Vergleichsmaßstäbe von verschiedenen – oft unvergleichbaren – Faktoren abhängen. Die psychologische Risikoforschung hat eine Reihe von Einstellungen gegenüber Risiken zusammengetragen, welche die Risikoakzeptanz beeinflussen: Freiwillige Risiken werden eher akzeptiert als unfreiwillige, kontrollierbare Risiken eher als nicht kontrollierbare; Risiken neuer Techniken werden höher eingeschätzt und weniger akzeptiert als Risiken bekannter und erprobter Techniken; sind die mit Risiken verbundenen Schäden prinzipiell behebbar, werden Risiken eher hingenommen als bei irreparablen Schäden, etc. Eine Vergleichsliste für ein universelles und objektives Risikomaß wird es wohl kaum geben können. Bestandteile einer solchen Liste lassen sich nicht so ordnen, dass aus ihr eindeutig hervorginge, welche Risiken der Einzelne in einer Gesellschaft einzugehen bereit wäre und welche nicht. Nach den Ermittlungen der psychologischen Risikoforschung ist also nicht zu erwarten, auf eine einheitliche Risikobeurteilung in der Bevölkerung zu treffen. So sind bspw. weder Mobilität noch Ernährung risikolos; aber es ist im Einzelfall zu bewerten, welche Mittel jeweils welches Risiko bergen im Blick auf gewünschte Ziele wie Mobilität und Ernährung. Ein solches Urteil kann nicht allein von einem Experten für Technikfolgenabschätzung abhängen, sondern ist Gegenstand eines gesellschaftlichen Diskurses.

2.5.4 Risiko-Nutzen-Prüfung

Da ein Risiko immer auch in einem Verhältnis steht zu einem zu erwartenden Nutzen, für den man ein Risiko eingeht, muss zur Risikoprüfung eine *Nutzenprüfung* hinzutreten, die dann zur ethischen Beurteilung der *Ziele* gentechnischer Veränderung von Organismen und des Verhältnisses der Risiken zum erwarteten Nutzen führt. Die Bandbreite der für eine gentechnische Veränderung genannten Ziele entspricht den eingangs bereits genannten Dimensionen, die mit der Produktion von Nutzpflanzen und dem Konsum von Lebensmitteln verbunden sind.

2.5.5 Risiko und Vorsorgeprinzip

Hinsichtlich der Tragbarkeit von Risiken für die Umwelt ist das so genannte *Vorsorgeprinzip* eingeführt worden. Ethisch erscheint es geboten, Risiken im voraus zu minimieren, d. h. die Wahrscheinlichkeit zukünftiger Schäden in bezug auf bestimmte Güter zu reduzieren, insbesondere dann, wenn es sich um irreversible Schäden handelt. Dies kann als das *ethische Vorsorgeprinzip* bezeichnet werden. Hiervon zu unterscheiden ist das *rechtliche Vorsorgeprinzip*, welches als eine mögliche Vorgehensweise erscheint, dem *ethischen Vorsorgeprinzip* im Regelungsbereich Eingang zu verschaffen.

Das Vorsorgeprinzip hat das Ziel, einen reparierenden, reagierenden Umweltschutz zu überwinden und statt dessen zu einer vorsorgenden und damit längerfristigen Umweltplanung zu kommen, die sich an der Belastbarkeit der Umwelt orientiert. Die natürlichen Lebensgrundlagen sollen langfristig bewahrt und natürliche Ressourcen schonend in Anspruch genommen werden. So sollen staatliche Maßnahmen bereits *vor Problemstellung* unterhalb der Gefahrenschwelle das Auftreten von Belastungen für Mensch und Umwelt verhindern und das Risiko möglichst gering halten.

Allgemein verlangt das Vorsorgeprinzip, dass die Grenzen der an sich noch *akzeptablen Belastung der Umwelt nicht ausgeschöpft*, sondern die Umwelt höchstens in dem Umfang in Anspruch genommen werden soll, wie das im Hinblick auf die technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten erforderlich oder nach Maßgabe politisch gesetzter Sicherheitsabstände zulässig ist. Im Einzelnen dient das Vorsorgeprinzip insbesondere:

- der Verhütung unmittelbar bevorstehender Schäden bei fehlender Zurechenbarkeit (als Verlegenheitslösung)
- der Reduzierung des Risikos bei statistisch gewissen, aber sehr unwahrscheinlichen Schäden

- der Risikominderung bei möglichen, aber ungewissen Schäden im Fall eines Risikoverdachts
- oder der Minimierung des Risikos.

Das rechtliche Vorsorgeprinzip, auf das in Deutschland im Kontext des Umweltschutzes seit den siebziger Jahren zurückgegriffen wird, hat 1992 Eingang gefunden in die *Rio-Deklaration*: „Zum Schutz der Umwelt wenden die Staaten im Rahmen ihrer Möglichkeiten weitgehend den Vorsorgegrundsatz an. Drohen schwerwiegende oder bleibende Schäden, so darf ein Mangel an vollständiger wissenschaftlicher Gewissheit kein Grund dafür sein, kostenwirksame Maßnahmen zur Vermeidung von Umweltverschlechterungen aufzuschieben.“ *Konkret* besagt es in diesem Kontext nur, dass mangelnde wissenschaftliche Beweise bezüglich bestehender Risiken nicht als Grund gelten dürfen, kostspielige präventive Umweltschutzmaßnahmen herauszuzögern. Es besagt hier nicht, dass in Fällen verbleibender Unsicherheit Techniken prinzipiell nicht angewendet werden dürfen: Dass präventive Umweltschutzmaßnahmen auch ohne eindeutigen wissenschaftlichen Beweis ergriffen werden können, bedeutet nicht, dass umgekehrt die Anwendung einer Technik erst eines wissenschaftlichen Beweises bedarf. Im Blick auf das oben erwähnte handlungstheoretische Gesetz, demzufolge Handeln immer Handeln in Bezug auf eingeschränkt gesichertes Wissen ist, wäre diese Forderung auch unverhältnismäßig. Das rechtliche Vorsorgeprinzip im Kontext der Deklaration von Rio eröffnet somit nur einen Handlungsspielraum für präventive Maßnahmen in Abwesenheit wissenschaftlich voraussagbaren Schadens, verbietet aber Techniken nicht, die aufgrund prinzipieller Unverfügbarkeit von Wissen nicht als risikoarm gelten können.

Die Generaldirektion Gesundheit und Verbraucherschutz der Europäischen Kommission hat im Zusammenhang mit dem ausgesprochenen Moratorium das Vorsorgeprinzip - das im Vertrag von Amsterdam selbst nicht verankert ist, sondern lediglich im Zusammenhang mit dem Umweltschutz ausdrücklich erwähnt ist - rechtlich nicht definiert, sondern vorgezogen, es auf pragmatische Weise zu erläutern: „In Fällen, in denen die verfügbaren wissenschaftlichen Daten nicht ausreichen oder keine eindeutigen Schlüsse zulassen und in denen die Ansichten der wissenschaftlichen Sachverständigen auseinandergehen, in denen aber begründeter Anlass zur Besorgnis besteht, dass im Fall eines Untätigbleibens nicht hinnehmbare Gefahren für die Gesundheit bestehen könnten. In diesen Fällen eröffnet das Vorsorgeprinzip die Möglichkeit, auf die Besorgnisse der Öffentlichkeit zu reagieren und gleichzeitig das vom Vertrag geforderte Schutzniveau zu gewährleisten.“ Somit kann das Prinzip auch nicht auf bloße Vermutung hin, sondern nur bei begründetem Anlass auf die Besorg-

nisse der Bevölkerung Rücksicht nehmen. Gleichzeitig wird in der Begründung betont, dass es sich bei der Zumutbarkeit bestimmter Risiken den Bürgern gegenüber nicht um eine rein wissenschaftliche Frage handelt, weshalb die Besorgnisse der Bevölkerung zu berücksichtigen seien. Es handelt sich unter dieser Interpretation des Vorsorgeprinzips somit um ein *Instrument des Risikomanagements*, das einen Handlungsspielraum in bestimmten Fällen eröffnet. Es zielt darauf ab, eine Möglichkeit zu schaffen, die Besorgnisse der Bevölkerung zu berücksichtigen, seine Anwendung erscheint aber nicht auf bloßen Verdacht hin einklagbar. Die Beweislast, dass wissenschaftliche Unsicherheit vorliege, liegt somit auf Seiten derer, die die Anwendung des Instruments fordern.

2.6 FRAGEHORIZONTE

Vor dem Hintergrund der skizzierten Methoden, Modelle und Ansätze einer ethischen Beurteilung der Grünen Gentechnik lassen sich einige Fragehorizonte entwickeln, die für eine ethische Diskussion dieser Problematik von Bedeutung sind. Geht man von den im Prinzip der Menschenwürde formulierten Schutzansprüchen des Menschen aus, dann lassen sich hinsichtlich der Anwendungen der Gentechnik Forderungen an den menschlichen Umgang mit der eigenen und der ihn umgebenden Natur in Form von *Verträglichkeitsforderungen* formulieren. Diese orientieren sich nach „shared maxims“ wie einer intakten Umwelt, einer gerechten Gesellschaft, einer fairen Ökonomie oder der Sicherung der kollektiven und individuellen Gesundheit. Entsprechend können Forderungen nach gesundheitlicher, ökologischer, sozioökonomischer und kultureller Verträglichkeit aufgestellt werden. Legitim wäre dann ohne Zweifel diejenige Handlungsweise gentechnischer Art, die gleichermaßen den genannten Verträglichkeitsforderungen entspricht. Dabei muss im Einzelfall neben einer möglichen Unverträglichkeit, d. h. mögliche Risiken, zugleich auch eine mögliche Förderlichkeit, d.h. mögliche Chancen, beachtet werden.

Während in der Debatte die Prinzipien selbst ein hohes Maß an allgemeiner Akzeptanz erreichen, hält sich der Konsens hinsichtlich der konkreten Anwendung in Grenzen. Was konstitutiv für Wohlfahrt einer Gesellschaft ist, wie sich Gesundheit bemessen soll, welche Natur es zu schützen gilt, welche Rechte wie begründet werden und in welchem Verhältnis diese zueinander stehen sowie durch welche Verfahren faire Verteilung gewährleistet werden kann, ist selbst immer wieder Gegenstand ethischer Debatten und politischer Entscheidungsprozesse. Zu beachten ist dabei, dass sich auch die eingebrachten Begründungsstandards und Intuitionen selbst im Fluss befin-

den, insbesondere angesichts neuer technischer Entwicklungen in sich sozial, ökonomisch und kulturell immer weiter ausdifferenzierenden Gesellschaften.

Konkrete Fragen zu Chancen und Risiken der Grünen Gentechnik

Folgende Fragen spielen in der aktuellen gesellschaftlichen Debatte eine Rolle:

- Gesundheit und Ernährung:
 - Wird sich durch den Einsatz von Gentechnik der Nähr- oder Gesundheitswert von Lebensmitteln verbessern?
 - Können Erträge von Nutzpflanzen gesteigert werden?
 - Können Nutzpflanzen verstärkt an ungünstigen Standorten kultiviert werden?
 - Tragen gentechnisch veränderte Nutzpflanzen zur Verbesserung der globalen Ernährungs- und Gesundheitssituation bei?
 - Führt der Verzehr gentechnisch hergestellter Lebensmittel zu Allergien oder Vergiftungen? Welche gesundheitlichen Auswirkungen haben Antibiotika-Resistenz-Gene als „Markergene“ in gentechnisch veränderten Lebensmitteln?
- Umwelt und Natur:
 - Tragen gentechnisch hergestellte herbizid- oder insektenresistente Nutzpflanzen zur Verringerung der Umweltbelastungen durch Pflanzenschutzmittel bei? Kann so auf umweltschonendere Pflanzenschutzmittel zurückgegriffen werden?
 - Wird die landwirtschaftliche Verarbeitung und die Lebensmittelherstellung energiesparender und abfallärmer und damit umweltschonender?
 - Breiten sich in Ökosystemen gentechnisch veränderter Nutzpflanzen ungewollt aus?
 - Kommt es zu Genübertragung auf artverwandte („vertikaler Gentransfer“), aber auch auf artfremde Organismen wie etwa auf Bodenbakterien („horizontaler Gentransfer“) mit möglicherweise gravierenden Störungen des ökologischen Gleichgewichts?
 - Welche Auswirkungen haben gentechnisch veränderte Nutzpflanzen als Futtermittel für Zuchttiere?

- Wirtschaft und Gesellschaft:
 - Können Lebensmittel mithilfe von Gentechnik effizienter und eventuell kostengünstiger hergestellt werden?
 - Sind gentechnisch veränderte Lebensmittel besser lagerbar und transportfähig?
 - Werden die Kosten für den Verbraucher gesenkt und die Wettbewerbsfähigkeit der Wirtschaft gesteigert?
 - Kündigen sich Monopolisierungstendenzen und regionale und globale Verdrängungswettbewerbe an zu Lasten kleinerer landwirtschaftlicher Betriebe?
 - Gibt es neue Abhängigkeiten der sogenannten Entwicklungsländer?
 - Welche sozioökonomischen Auswirkungen werden die Patentierungen haben?
 - Kann die Grüne Gentechnik die allgemeine Wohlfahrt steigern, oder birgt sie Risiken in Bezug auf diese?
 - Wessen Rechte müssen oder sollten im Hinblick auf die Grüne Gentechnik berücksichtigt werden im Blick auf eine gerechte Gesellschaft? Inwieweit gibt es konkurrierende Rechte?
 - Wer sind die potenziellen direkten und indirekten Nutznießer und Lastenträger? Wie können der Nutzen und die Lasten gerecht verteilt werden?
 - Inwieweit wird bei grundsätzlichen Entscheidungen für oder gegen die Gentechnik das Recht auf Forschungsfreiheit berührt?
 - Welche Wahlfreiheit wird in Zukunft der Verbraucher haben, wenn gentechnisch veränderte Produkte angeboten werden?
- Fragen zum gesellschaftlichen Umgang mit Risiken:
 - Unter welchen Bedingungen sind Risiken gesellschaftlich zumutbar?
 - Worin bestünde eine gerechte Verteilung von Chancen und Risiken?
 - Wie kann der Prozess der Verteilung von Risiken fair gestaltet werden?
 - Welche demokratischen Verfahren sind hierfür vorstellbar?

3 AKTUELLE PRAXIS

(Thomas Pickardt)

Die allgemeinen Ziele in der Pflanzenzüchtung ändern sich nicht grundsätzlich durch die Einbeziehung gentechnischer Methoden – zumeist wird die Erzeugung von Linien angestrebt, die eine höhere Resistenz gegen biotischen (Pilze, Viren, Bakterien, Nematoden, Insekten) oder abiotischen (Trocken-, Kälte-, Hitze- u.a.) Stress aufweisen oder Eigenschaften besitzen, die die Züchtung und/oder den Anbau/Produktion der betreffenden Nutzpflanzenart effizienter machen (z.B. Hybridsysteme/männliche Sterilität, frühzeitiges Blühen, Herbizidresistenz). Diese die agronomischen Eigenschaften von Nutzpflanzen betreffenden Zuchtziele werden seit langem auch in der konventionellen Pflanzenzüchtung verfolgt. Hierbei handelt es sich um sogenannte „**Input-Traits**“. Agronomische Eigenschaften sind primär für Züchter und Landwirte von Bedeutung. Die transgenen Eigenschaften der meisten gentechnisch veränderten, derzeit kommerzialisierten Sorten betreffen solche *Input-Traits*.

Die zweite Gruppe von Zuchtzielen betrifft die Qualität pflanzlicher, als Nahrungs- oder Futtermittel vorgesehener Produkte, sogenannter „**Quality-Traits**“ oder „**Output-Traits**“. Veränderungen bzw. Verbesserungen der Qualität von Samen, Früchten oder anderen Pflanzenteilen lassen sich durch die Modifizierung von Inhaltsstoffen vornehmen. Da durch die Entwicklung gentechnischer Methoden die biologischen Restriktionen bezüglich des genetischen Informationsaustausches aufgehoben wurden, haben sich die Möglichkeiten im Bereich der Qualitätszüchtung, die mit Hilfe konventioneller Züchtungsmethoden schwieriger zu bearbeiten war, erheblich erweitert. Die Expression beliebiger Gene erlaubt Modifizierungen der Zusammensetzung von Kohlenhydraten, Fetten, Ölen, Proteinen sowie sekundären Inhaltsstoffen. Zu den Quality-Traits gehören auch Eigenschaften wie längere Haltbarkeit (bzw. verzögerte Reifung). Anders als die oben genannten *Input-Traits* sind Qualitätsmerkmale wie Nährstoffgehalt und Geschmack für den Endverbraucher interessant. Allerdings sind viele Einzelheiten des pflanzlichen Stoffwechsels noch unbekannt, und gezielte Änderungen, die eine kommerzielle Anwendung fanden, sind bislang noch vergleichsweise selten (bisher Reifeverzögerung, Fettsäuremuster und Modifizierung der Blütenfarbe). Eine Reihe von Quality-Traits befinden sich z.Z. in der Entwicklungsphase.

Ebenfalls zu den „**Output-Traits**“ gehört die Produktion bestimmter Inhaltsstoffe in Pflanzen (Pflanzen als Bioreaktoren) bzw. die gezielte Veränderungen von Nutzpflanzen für die Herstellung von Rohstoffen als dritte Kategorie von Zuchtzielen. Auch hier handelt es sich um traditionelle Zuchtziele, denn vor der industriellen Revolution waren

Pflanzen die primären Rohstofflieferanten. Die großtechnische Nutzung von Mikroorganismen zur Enzymproduktion (s. Abschnitt 3.8) hat hier Vorbildcharakter. Viele proteinogene *Bulk*-Produkte wie Wachmittelenzyme lassen sich unter Umständen mit geringerem Kostenaufwand in Pflanzen produzieren. Interessant ist aber auch die Produktion von pharmazeutisch-medizinischen Produkten („Molecular“- oder „Gene-Farming“), oder die Produktion von Polymeren (Bioplastik). Auch die traditionelle Holzwirtschaft ist diesem Sektor zuzurechnen. Hier gibt es Bestrebungen, den Lignin-gehalt zu modifizieren. Viele mögliche Anwendungen in diesem Bereich befinden sich gegenwärtig in der Entwicklung.

Derzeit sind etwa 60-70 gentechnisch veränderte „Events“ in den Ländern der OECD zugelassen, d.h. diese können von Züchtern in bestehende Linien eingekreuzt werden. Es ist davon auszugehen, dass eine nicht geringe Zahl weiterer Events/Sorten in Nicht-OECD Ländern wie z.B. China angebaut werden.

Nach Schätzungen des ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications) wurden 2001 insgesamt weltweit auf 52,6 Millionen Hektar transgene Sorten kultiviert, was einer Steigerung von fast 20% gegenüber der Fläche im Jahr 2000 entspricht. Die Flächen befinden sich nach wie vor fast ausschließlich (99%) in 4 Ländern (USA 35,7 Mio. ha, Argentinien 11,8 Mio. ha, Kanada 3,2 Mio. ha und China 1,5 Mio. ha. Relativ gesehen war in China 2001 der größte Zuwachs zu verzeichnen, die Anbauflächen für transgene Baumwolle wurde dort verdreifacht.

Zugenommen hat die Anbaufläche vor allen bei Soja und Baumwolle: 33,3 Mio. ha (+7,8, 46% der Weltproduktion stammt jetzt von gentechnisch veränderten Sorten) bei (herbizidresistenten) Sojabohnen und 6,8 Mio. ha (+1,5) bei herbizid- und insektenresistenter Baumwolle. Eine Verringerung der Fläche wurde für gentechnisch veränderten Mais- (9,8 Mio. ha; -0,5) und Rapssorten (2,7 Mio. ha.; -0,1) festgestellt. Neu hinzugekommen als Anbauland für gentechnisch veränderte Nutzpflanzen ist Indonesien (Baumwolle).

Mit 77% ist die Herbizidresistenz das dominierende Merkmal. 15% entfallen auf Insektenresistenz und 8% auf Kombinationen von Insektenresistenz und Herbizidresistenz (*stacked genes*).

In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen, derzeit aktuellen Anwendungen vorgestellt und ihre allgemeine Bedeutung als agronomische bzw. Qualitätsmerkmale erläutert. Detailliertere Informationen zu Anbauflächen finden sich auf der Transgen-Internetseite (www.transgen.de).

3.1 HERBIZIDRESISTENZ

Bedeutung als agronomische Eigenschaft

Die meisten der gegenwärtig verwendeten Herbizide wirken selektiv, d.h. sie töten nur bestimmte Pflanzenarten ab. Selektive Herbizide lassen sich daher zur Vernichtung bestimmter Unkräuter benutzen, ohne dass gleichzeitig Nutzpflanzen geschädigt werden. Nicht-selektive Herbizide (auch als Breitbandherbizide oder Totalherbizide bezeichnet) töten hingegen sämtlichen Arten ab, indem sie einen zentralen Stoffwechselschritt in höheren Pflanzen blockieren. Nicht selektive Herbizide können nur dort eingesetzt werden, wo die gesamte Vegetation vernichtet werden soll, z.B. vor der Aussaat, nach der Ernte, oder in Bereichen, in denen eine Vegetation unerwünscht ist, etwa Bahngleise.

Die Erzeugung herbizidresistenter Sorten ist aus folgenden Gründen interessant: (i) Die Beikrautkontrolle mit selektiven Herbiziden ist z.T. arbeitsintensiv und bei manchen Fruchtfolgen problematisch, und (ii) die Entwicklung neuer Herbizide ist aufwendiger als die Züchtung neuer Sorten, d.h. es ist einfacher und weniger kostenintensiv, eine neue, herbizidresistente Sorte herzustellen als mehrere selektive Herbizide für diverse Beikräuter.

Das Zuchtziel „Herbizidresistenz“ existierte bereits vor Einführung der Gentechnik. 1980 wurde in Kanada die erste atrazinresistente Rapsorte zugelassen. Die Resistenz stammte aus Rübsen (mit Raps kreuzbar), die man in atrazinbehandelten Maisfeldern gefunden hatte. Auch konnten sulfonharnstoffresistente Sojabohnen, glyphosatresistenter Mais und glufosinatresistente Lucerne durch geeignete Ausleseverfahren erzeugt werden.

Neben einer einfacheren und flexibleren Unkrautbekämpfung ließen sich noch folgende Vorteile in der Verwendung der Eigenschaft „Herbizidresistenz“ sehen: (i) Arten mit geringerer wirtschaftlichen Bedeutung, bei denen die Entwicklung neuer Herbizide zu teuer ist, könnten mit dieser Eigenschaft ausgestattet werden (ein Beitrag zur Kulturpflanzenvielfalt?), und (ii) bei der Wahl des entsprechenden Komplementärherbizids kann man sich auf diejenigen Verbindungen beschränken, die eine weniger starke Belastung der Umwelt verursachen.

Derzeit genutzte gentechnische Verfahren

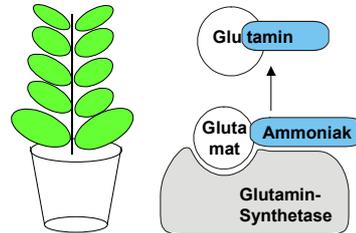
Gegenwärtig werden vier verschiedene Herbizidresistenzen im kommerzialisierten Anbau benutzt.

Glufosinatresistenz

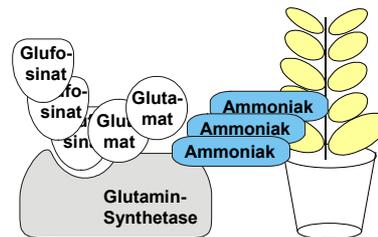
(Zuckerrübe, Raps, Chicorée, Sojabohne, Reis, Mais)

Glufosinat-Ammonium (Wirkstoff der Herbizide *Basta*, *Liberty*) wird seit über 10 Jahren als nicht-selektives Herbizid zur Unkrautkontrolle im Obst-, Wein- und Gemüsebau sowie in Plantagenkulturen, Baumschulen, Forst- und Ackerbau eingesetzt.

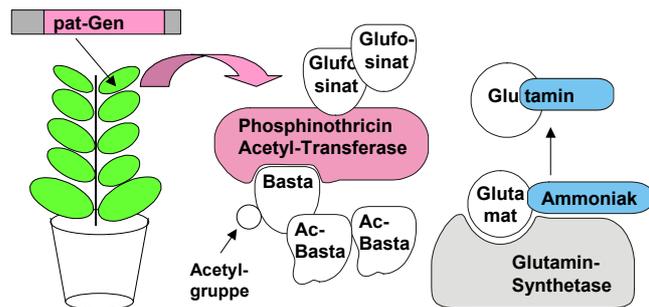
Das Enzym **Glutamin-Synthetase** verbindet die Substrate Glutamat und Ammoniak zu Glutamin und besitzt damit nicht nur eine essentielle Funktion für den Aufbau der Aminosäuren, sondern ist auch für die Entsorgung des aus der Nitratreduktion stammenden, giftigen Ammoniaks zuständig.



Glufosinat dringt über die Blattoberfläche in die Pflanze ein und hemmt die Aktivität der Glutamin-Synthetase durch Verdrängen des Glutamats vom Bindungsort des Enzyms (Glufosinat und Glutamat besitzen eine ähnliche Molekülstruktur). Da Ammoniak nun nicht mehr verstoffwechselt wird, reichert es sich in den Zellen an. Die Pflanze stirbt nach wenigen Tagen ab.



Die Herbizidresistenz beruht auf der Übertragung eines aus dem Bakterium *Streptomyces viridochromogenes* (oder aus *Streptomyces hygroscopicus*) stammenden Gens für das Enzym **Phosphinothricin-Acetyltransferase**, das den Wirkstoff Glufosinat acetyliert. Die Strukturähnlichkeit mit Glutamat geht verloren und die Substanz damit wirkungslos.

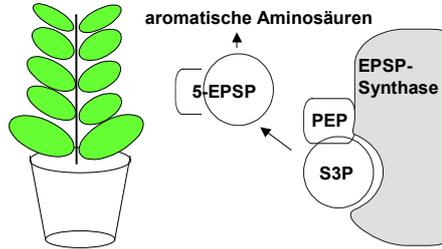


Glyphosatresistenz

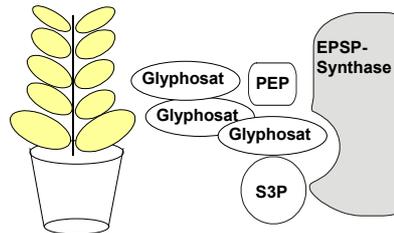
(Zuckerrübe, Raps, Chicorée, Sojabohne, Mais)

Glyphosat (Wirkstoff der Herbizide *Roundup*, *Rodeo*, *Accord*) wird seit über 25 Jahren weltweit als nicht-selektives Herbizid eingesetzt.

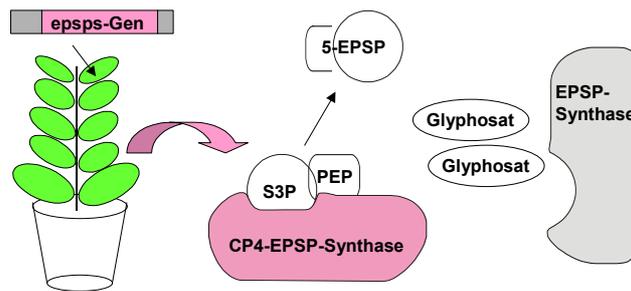
Das Enzym **EPSP-Synthase** (5-Enol-Pyruvylshikimate-3-Phosphate Synthase) katalysiert die Verknüpfung von Shikimat-3-Phosphat (S3P) und Phosphoenol-Pyruvat (PEP). Das Produkt 5-Enolpyruvyl-Shikimat (5-EPSP) ist eine Vorstufe u.a. der aromatischen Aminosäuren und besitzt daher eine für die Pflanze lebensnotwendige Funktion.



Glyphosat dringt über die Blattoberfläche in die Pflanze ein und verbreitet sich in der Pflanze systemisch. Bei Anwesenheit von Shikimat-3-Phosphat hemmt Glyphosat das Enzym EPSP-Synthase (anders als beim Glufosinat nicht aufgrund einer Strukturähnlichkeit mit einem der Substrate) und verhindert die Synthese von 5-EPSP.



Die Resistenz beruht auf der Übertragung eines aus dem Bakterium *Agrobacterium tumefaciens* stammenden Gens für das Enzym **CP4-EPSP-Synthase**, das aufgrund von Strukturunterschieden zur pflanzlichen EPSP-Synthase nicht durch Glyphosat gehemmt wird. Daher kann die Pflanze auch in Gegenwart von Glyphosat das Zwischenprodukt 5-EPSP herstellen.

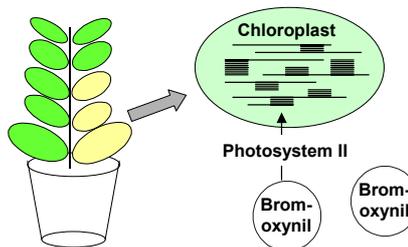


Bromoxynilresistenz

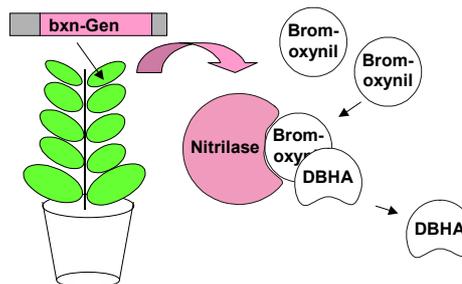
(Baumwolle, Tabak, Raps)

Bromoxynil (3, 5-Brom-p-hydroxy-Benzonitril) gehört zur Gruppe der **Photosystem II-Inhibitoren**. Es wirkt als Kontaktherbizid über die Blätter und wird kaum innerhalb der Pflanze transportiert.

Bromoxynil hemmt die Photosynthese durch Bindung an den sekundären Elektronenakzeptor Q(B) im Photosystem II.



Die Resistenz beruht auf der Übertragung eines aus dem Bakterium *Klebsiella pneumoniae* stammenden Gens für das Enzym **Nitrilase**, das den Wirkstoff Bromoxynil zu 3,5-Dibromo-4-Hydroxybenzoesäure (DBHA) hydrolysiert und damit unschädlich macht.



Sulfonylharnstoffresistenz

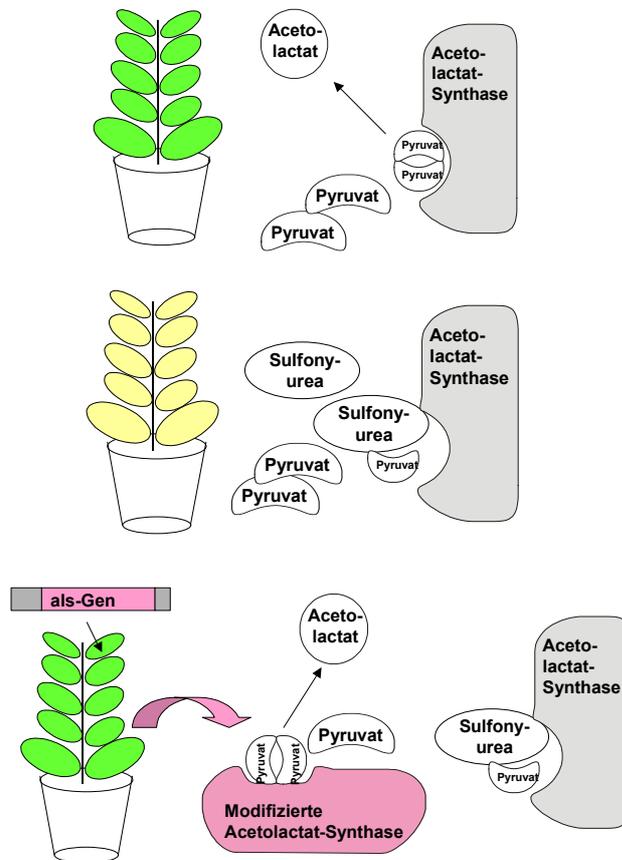
(Baumwolle, Flax, Nelke)

(Chlorsulfuron, Triasulfuron) **Sulfonylharnstoff-Herbizide** werden über die grünen Pflanzenteile, aber auch über die Wurzeln aufgenommen. Sie besitzen deshalb neben einer Kontakt- auch eine langfristigen Wirkung über den Boden.

Das Enzym **Acetolactat-Synthase** (ALS, oder auch Acetohydroxy-Acid-Synthase/AHAS) ist an der Synthese der verzweigt-kettigen Aminosäuren Valin, Leucin und Isoleucin beteiligt und erfüllt damit eine für die Pflanze lebensnotwendige Funktion.

Sulfonylharnstoff-Herbizide breiten sich in der Pflanze über den Saftstrom aus und greifen hemmend in die Aminosäurebiosynthese ein. Sie hemmen das Enzym **Acetolactat-Synthase** und **verhindern** die weitere Synthese der verzweigt-kettigen Aminosäuren. Gleichzeitig werden toxische Konzentrationen von Alpha-Ketoglutarat angereichert.

Die Resistenz beruht auf der Übertragung von Genen, die für Sulfonylharnstoff-insensitive, **mutierte Formen der Acetolactat-Synthase** codieren und deshalb nicht gehemmt werden. Die mutierten Gene stammen aus Tabak oder *Arabidopsis thaliana*.



Mit insgesamt 45 verschiedenen *Events* von 10 unterschiedlichen Kulturpflanzenarten und einer Anbaufläche von 40,4 Millionen Hektar weltweit (was 77% der gesamten mit transgenen Sorten bebauten Fläche entspricht) steht die Herbizidresistenz derzeit an der Spitze der Anwendungen. Unter den Kulturarten dominiert die Sojabohne, deren Anbau alleine 33,3 Millionen Hektar ausmacht. Es folgen Raps (2,7 Mio. ha) und Baumwolle (2,5 Mio. ha). Sorten mit der Kombination Herbizidresistenz/Bt-Insektenresistenz finden sich außerdem bei Baumwolle (2,4 Mio. ha) und Mais (1,8 Mio. ha).

Deregulierte Events

Tabelle 1: In verschiedenen Ländern der OECD deregulierte Events mit Herbizidresistenz		
Event	Unternehmen	Modifizierung
Zuckerrübe		
GTSB77	Novartis; Monsanto	Glyphosatresistenz
T120-7	Aventis	Glufosinatresistenz
Raps		
GT200	Monsanto	Glyphosatresistenz
GT73, RT73	Monsanto	Glyphosatresistenz
HCN10	Aventis	Glufosinatresistenz
HCN92	Aventis	Glufosinatresistenz
MS1, RF1 =>PGS1	Aventis	Glufosinatresistenz
MS1, RF2 =>PGS2	Aventis	Glufosinatresistenz
MS8xRF3	Aventis	Glufosinatresistenz
OXY-235	Aventis	Bromoxynilresistenz
PHY14, PHY35	Aventis	Glufosinatresistenz
PHY36	Aventis	Glufosinatresistenz
T45 (HCN28	Aventis	Glufosinatresistenz
ZSR500/502	Monsanto	Glyphosatresistenz
Chicoree		
RM3-3, RM3-4, RM3-6	Bejo Zaden BV	Glufosinatresistenz
Nelke		
4, 11, 15, 16	Florigene Pty Ltd.	Sulfonyl-Harnstoffresistenz
66	Florigene Pty Ltd.	Sulfonyl-Harnstoffresistenz
959A, 988A, 1226A, 1351A, 1363A, 1400A	Florigene Pty Ltd.	Sulfonyl-Harnstoffresistenz
Soja		
A2704-12, A2704-21, A5547-35	Aventis	Glufosinatresistenz
A5547-127	Aventis	Glufosinatresistenz
GTS 40-3-2	Monsanto	Glyphosatresistenz
GU262	Aventis	Glufosinatresistenz
W62, W98	Aventis	Glufosinatresistenz
Baumwolle		
19-51A	DuPont Canada	Sulfonyl-Harnstoffresistenz
31807/31808	Calgene Inc.	Bromoxynilresistenz
BXN	Calgene Inc.	Bromoxynilresistenz
MON1445/1698	Monsanto	Glyphosatresistenz
Flax, Lein		
FP967	University of Saskatchewan, Crop Dev. Centre	Sulfonyl-Harnstoffresistenz

Event	Unternehmen	Modifizierung
Tabak		
C/F/93/08-02	Societe National d'Exploitation des Tabacs et Allumettes	Bromoxynilresistenz
Reis		
LLRICE06, LLRICE62	Aventis	Glufosinatresistenz
Mais		
676, 678, 680	Pioneer Hi-Bred	Glufosinatresistenz
B16 (DLL25)	Dekalb Genetics	Glufosinatresistenz
BT11 (X4334CBR, X4734CBR)	Syngenta Seeds	Glufosinatresistenz
CBH-351	Aventis	Glufosinatresistenz
DBT418	Dekalb Genetics	Glufosinatresistenz
GA21	Monsanto	Glyphosatresistenz
MON80100	Monsanto	Glyphosatresistenz
MON802	Monsanto	Glyphosatresistenz
MON809	Pioneer Hi-Bred	Glyphosatresistenz
MON832	Monsanto	Glyphosatresistenz
MS3	Aventis	Glufosinatresistenz
MS6	Aventis	Glufosinatresistenz
NK603	Monsanto	Glyphosatresistenz
T14, T25	Aventis	Glufosinatresistenz
TC1507	Mycogen (c/o Dow AgroSciences); Pioneer (c/o Dupont)	Glufosinatresistenz

3.2 INSEKTENRESISTENZ

Bedeutung als agronomische Eigenschaft

Dem Befall von Kulturpflanzen durch Schadorganismen lässt sich mit der Applikation von Pestiziden und/oder der Züchtung resistenter Sorten begegnen. Die Anwendung von Pestiziden ist mit verschiedenen Konsequenzen für Umwelt, Biodiversität und Gesundheit (u.U. Rückstände in Lebensmitteln) verbunden und verursacht darüber hinaus erhebliche Kosten. In Anbetracht des Ziels, eine umweltverträglichere Landwirtschaft zu gestalten, ist daher die Herstellung und der Anbau resistenter Sorten sowohl im konventionellen als auch im ökologischen Landbau von großem Interesse. Als Faktor der Ertragssicherheit ist die Resistenz aber auch aus ökonomischen Gründen von Bedeutung.

In der Züchtung unterscheidet man monogene Resistenzen, die auf der Wirkung einzelner Gene beruhen und schneller durch die Virulenz eines Schadorganismus durchbrochen werden, und polygene Resistenzen, die auf der Wirkung mehrerer Gene basieren und dauerhafter sind. Polygene Resistenzen sind jedoch züchterisch schwer zu bearbeiten und werden seltener eingesetzt. Bei den derzeit genutzten transgenvermittelten Resistenzen handelt es sich ausschließlich um monogene Resistenzen.

Derzeit genutzte gentechnische Verfahren

Die derzeit zugelassenen insektenresistenten Sorten enthalten Toxin-Gene aus dem gram-positiven, sporenbildenden Bodenbakterium *Bacillus thuringiensis*. Verschiedenen Stämme dieser Art bilden aus Proteinen bestehende, kristalline (daher die Bezeichnung *cry*) Einschlüsse, aus denen im Verdauungstrakt von Insekten Pro-Toxine freigesetzt werden. Diese werden durch insekteneigene Darmproteasen aktiviert und induzieren durch Interaktion mit den Darmepithelzellen die Zerstörung der Zellmembranen. Es sind eine Reihe unterschiedlicher Toxinvarianten aus z.T. verschiedenen Bakterienstämmen bekannt, die spezifische Wirkspektren aufweisen. Die meisten Bt-Toxine zeigen Wirkung gegen Lepidopteren, es gibt jedoch auch Isolate mit Spezifität gegen Dipteren und Coleopteren. Mikrobielle Bt-Präparate werden seit längerem auch als biologische Pflanzenschutzmittel angewandt und sind im ökologischen Anbau zugelassen.

Derzeit werden fünf Bt-Toxin-Varianten in kommerziell genutzten Sorten verwendet:

- **Cry1Ab/subsp. kurstaki**
- **Cry1Ac/subsp. kurstaki**
- **Cry1F/var. aizawai**
- **Cry3A/subsp. tenebrionis**
- **Cry9C/subsp. tolworthi**

Cry9C befindet sich in der Maissorte CBH-351 (unter der Bezeichnung StarLink im Handel), deren Anbau in den USA nur für die Verwendung zur Futtermittelherstellung und in der Rohstoffindustrie zugelassen war, da Cry9C einige Eigenschaften aufweist, die auf ein allergenes Potenzial hindeuten. Die Zulassung wurde ausgesetzt, da StarLink auch in Lebensmittelprodukten gefunden wurde (s. Abschnitt 5.4).

Insgesamt 16 Events mit insektenresistenten Eigenschaften der Nutzpflanzenarten Mais (9), Kartoffel (4), Baumwolle (2) und Tomate (1) befinden sich derzeit in verschiedenen Ländern der OECD im deregulierten Zustand.

Die Insektenresistenz ist nach der Herbizidresistenz das zweithäufigste kommerziell genutzte Merkmal in gentechnisch veränderten Pflanzen. Seit 1999 ist eine Reduzierung im Anbau von Sorten, die ausschließlich eine Insektenresistenz besitzen, festzustellen. Der Anbau von Sorten, die eine Kombination aus Herbizidresistenz und Insektenresistenz verfügen, steigt hingegen weiterhin an.

Hinsichtlich der Anbaufläche steht Mais mit 5,9 Millionen Hektar an der Spitze, gefolgt von Baumwolle (Kombination Bt-Herbizidresistenz 2,4 Mio. ha, Bt alleine 1,9 Mio ha.) und der Kombination Bt-Herbizidresistenz wiederum in Mais (1,8 Mio. ha). Noch keine große Akzeptanz fanden die seit 2000 zugelassenen, insektenresistenten Kartoffelsorten.

Weitere Ansätze, die sich gegenwärtig in der Entwicklung befinden:

- Übertragung von Lectin-Genen: Lectine sind Proteine, die natürlicherweise von Pflanzen als Schutz vor Fraßschädlingen gebildet werden.
- Übertragung von Protease-Inhibitor-Genen: Die Produktion von Protease-Inhibitoren ist ebenfalls eine natürliche Strategie von Pflanzen, sich gegen Fraßfeinde zu wehren. Diese Inhibitoren inaktivieren die Verdauungsenzyme (Proteasen) von Insekten, die nach Aufnahme dieser Inhibitoren „verhungern“.

Deregulierte Events

Tabelle 2: In verschiedenen Ländern der OECD deregulierte <i>Events</i> mit Insektenresistenz		
Event	Unternehmen	Modifizierung
Baumwolle		
31807/31808	Calgene Inc.	Cry1Ac
MON531/757/1076	Monsanto	Cry1Ac
Tomate		
5345	Monsanto	Cry1Ac
Kartoffel		
ATBT04-6, ATBT04-27, ATBT04-30, ATBT04-31, ATBT04-36, SPBT02-5, SPBT02-7	Monsanto	Cry3A
BT6, BT10, BT12, BT16, BT17, BT18, BT23	Monsanto	Cry3A
RBMT15-101, SEMT15-02, SEMT15-15	Monsanto	Cry3A
RBMT21-129, RBMT21-350, RBMT22-082	Monsanto	Cry3A
Mais		
176	Syngenta Seeds, Inc.	Cry1Ab
BT11 (X4334CBR, X4734CBR)	Syngenta Seeds, Inc.	Ccry1Ab
CBH-351	Aventis CropScience (formerly AgrEvo)	Cry9C
DBT418	Dekalb Genetics Corporation	Cry1AC
MON80100	Monsanto Company	Cry1Ab
MON802	Monsanto Company	Cry1Ab
MON809	Pioneer Hi-Bred International Inc.	Cry1Ab (synthetisch)
MON810	Monsanto Company	Cry1Ab
TC1507	Mycogen (c/o Dow Agro- Sciences); Pioneer (c/o Dupont)	Cry1F

3.3 VIRUSRESISTENZ

Bedeutung als agronomische Eigenschaft

Viren sind Auslöser vieler Pflanzenkrankheiten und können zu erheblichen Ernteverlusten führen. Eine direkte Bekämpfung von Viren ist nicht möglich, da keine antiviralen Substanzen zu Verfügung stehen. Chemische Mittel lassen sich nur gegen die übertragenden Vektoren (beißende und saugende Insekten, Nematoden) einsetzen. Weitere Maßnahmen bestehen darin, durch *in vitro*-Kultur virusfreie Meristemkulturen anzule-

gen und aus diesen neue Pflanzen zu erzeugen, oder eine Feldauslese befallener Pflanzen durchzuführen.

Darüber hinaus wird in Züchtung versucht, virusresistente Linien und Sorten zu produzieren. Bei einigen Pflanzenarten ist es gelungen, auf konventionellem Weg virusresistente Sorten zu züchten. Die biochemische Basis der pflanzlichen Virusresistenz ist jedoch weitgehend ungeklärt. Gelegentlich entpuppten sich Virusresistenzen als Insektenresistenz, durch die der Überträger des Virus in seiner Ausbreitung eingeschränkt war. Der Anbau virusresistenter Pflanzen wäre ein wichtiger Beitrag zur Erhöhung der Ertragssicherheit sowie zur Reduzierung des Einsatzes von Pestiziden.

Bereits vor etwa 75 Jahren wurde festgestellt, dass mit der sog. *cross protection* eine Virusresistenz in Pflanzen induziert werden kann. Hierzu werden die Pflanzen mit einem dem eigentlich gefährlichen Virus nahe verwandten, aber selbst harmlosen Virus infiziert. Es entstehen keine oder nur geringfügige Symptome, die Pflanze erhält dabei jedoch eine Immunität gegenüber dem phytopathogenen Virus. Es ist zu vermuten, dass diese Immunität mit den Phänomenen der *Coat-Protein-Protection* (Hüllproteinvermittelte Resistenz) und des homologie-abhängigen *gene silencing* (HDGS) verwandt ist. Beide Phänomene sind noch nicht vollständig geklärt, jedoch so weit verstanden, dass sie zur Erzeugung virusresistenter Pflanzen genutzt werden können.

Derzeit genutzte gentechnische Verfahren

Gegenwärtig werden mehrere verschiedene Strategien zur Erzeugung virusresistenter Pflanzen verfolgt bzw. erforscht, zwei davon werden derzeit in kommerzialisierten Sorten genutzt. Allen Strategien ist gemeinsam, dass genetische Information(en) des viralen Genoms in das Pflanzengenom übertragen wird. Auf unterschiedlichen Wegen, die bislang noch nicht vollständig aufgeklärt worden sind, verleiht die Anwesenheit der viralen Gene der Pflanze eine Resistenz.

In kommerziellen Anbau werden gegenwärtig genutzt:

1. *Coat Protein Protection* oder Hüllprotein-Gen vermittelte Resistenz: Die Erbinformation von Viren (DNA oder RNA, einzelsträngig oder doppelsträngig) ist von einem Hüllprotein umschlossen (außer Viroide). Das Hüllprotein dient zum einen als Schutz, darüberhinaus besitzt es Funktionen bei der Erkennung der Viren durch übertragende Vektoren und beim Transport der Viren innerhalb der Pflanzen. Zur Erzeugung einer Resistenz wird die genetische Information für das Hüllprotein des Virus in die Pflanze übertragen. Molekulargenetische Analysen ergaben, dass die so verliehene Resistenz auf unterschiedlichen Mechanismen beruhen muss. Bei bestimmten Viren, etwa dem

Tabakmosaikvirus, korreliert der Grad der Resistenz mit dem Gehalt an Hüllprotein in den transgenen Pflanzen. Es wurde vermutet (in einigen Fällen auch schon gezeigt), dass das von der Pflanze produzierte Hüllprotein die pathogenen Viren umschließt oder das Entpacken verhindert. In anderen Fällen ist die Produktion des Hüllproteins hingegen nicht notwendig, hier ist die Anwesenheit der entsprechenden Boten-RNA ausreichend. Dies wurde offensichtlich, als auch Pflanzen, in die nur unvollständige Sequenzen des Hüllprotein-Gens oder die Sequenz in Gegenorientierung (Antisense) übertragen worden war, eine Resistenz aufweisen können, obwohl hier keine Proteine gebildet werden. Hierbei handelt es sich um die sog. Sense- oder Co-Suppression, die mit noch weitgehend unverstandenen Interaktionen zwischen homologen Sequenzen in Zusammenhang steht (*homology dependent gene silencing*, s. auch Reifeverzögerung).

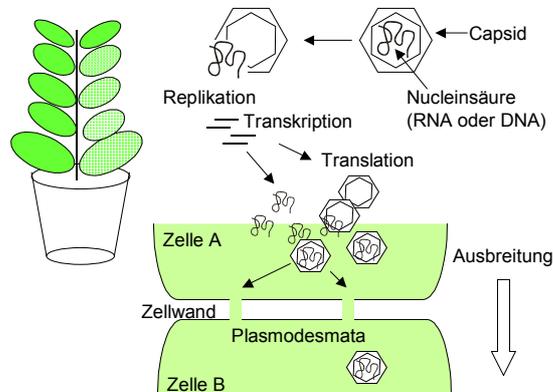
2 Replicase-vermittelte Virusresistenz: Die Expression viraler Replicase- und Helicase-Gene induziert eine Virusresistenz, die noch wenig verstanden ist. Ob die durch diese Gene codierten Proteine überhaupt gebildet werden, ist unklar. Unter Umständen beruht die Resistenz ebenfalls auf einem homologie-induzierten *gene silencing*, wie in einigen Fällen der Hüllproteingen-vermittelten Resistenz.

Virusresistenz

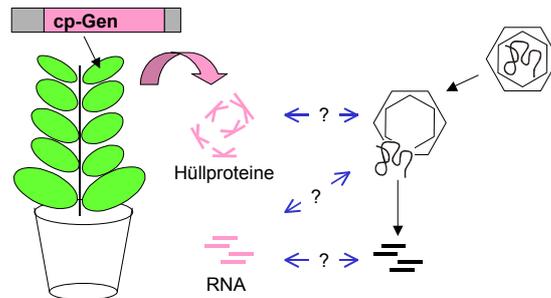
(Papaya, Gurke, Kartoffel)

Eine Hüllproteingen-vermittelte Resistenz wurde auf diese Weise erzeugt gegen den Papaya ringspot virus (PRSV), Cucumber mosaic virus (CMV), Zucchini yellow mosaic virus (ZYMV), Watermelon mosaic virus (WMV) und den Potato virus Y (PVY). Eine Replicase-vermittelte Resistenz wurde erzeugt gegen den Potato leafroll virus (PLRV).

Viren gelangen durch beißende und saugende Insekten in Pflanzenzellen. Die Viruspartikel werden entpackt, d.h. die genetische Information (RNA oder DNA) verlässt das Viruscapsid und benutzt den Replikations-, Transkriptions- und Translationsapparat der Zellen, um sich zu vermehren und neue Capside zu bilden. Die neuen Viren verbreiten sich in der Pflanze über Plasmastränge, die die Zellen miteinander verbinden (Plasmodesmata). Dieser Transport ist abhängig von virus-eigenen Proteinen, die sich zu Komplexen zusammenlagern.



Die Expression von virusspezifischen Genen kann über unterschiedliche Mechanismen, die bislang nur teilweise aufgeklärt wurden, zur Ausbildung einer Virusresistenz führen. Die Mechanismen stehen in Zusammenhang mit (i) Interaktionen zwischen den Capsidproteinen, (ii) Interaktionen zwischen (transgenen) viralen Transkripten und den Capsidproteinen der infizierenden Viren, sowie (iii) Wechselwirkungen auf Nucleinsäureebene. Die Vermehrung der Viren wird hierdurch unterbunden.



Weitere Ansätze, die sich gegenwärtig in der Entwicklung befinden:

- Defekte Transportproteine: Zur Ausbreitung benötigen die Viren Transportproteine (siehe Abbildung zur Virusresistenz), die zur Ausübung ihrer Funktion miteinander sowie mit viralen Nucleinsäuren spezifische Komplexe bilden müssen. Lässt man in der Pflanze ein defektes oder unvollständiges virales Transportprotein produzieren, wird die Bildung des viralen Protein-Nucleinsäure-Komplexes gestört und das Virus an der Ausbreitung gehindert.
- Antivirale Proteine: Ribosomen-inaktivierende Proteine wurden aus der Kermesbeere (*Phytolacca americana*) isoliert. Ihre Aktivität hemmt die Ribosomen, die für die Proteinherstellung in der Zelle zuständig sind. Die Zelle stirbt ab und damit die Vermehrung des Virus unterbunden.
- Monoklonale Antikörper gegen proteinogene Strukturen der Virushülle oder gegen andere virale Proteine.

Deregulierte Events

Tabelle 3: In verschiedenen Ländern der OECD deregulierte <i>Events</i> mit Virusresistenz		
Event	Unternehmen	Modifizierung
Papaya		
55-1/63-1	Cornell University	PRSV-Coat Protein
Gurke		
CZW-3	Asgrow (USA); Seminis Vegetable Inc. (Canada)	CMV, ZYMV und WMV-Coat Protein
ZW20	Upjohn (USA); Seminis Vegetable Inc. (Canada)	ZYMV, WMV-Coat Protein
Kartoffel		
RBMT15-101, SEMT15-02, SEMT15-15	Monsanto	PVY-Coat Protein
RBMT21-129, RBMT21-350, RBMT22-082	Monsanto Company	PLRV-Replicase und Helicase-Gen

3.4 HYBRIDSYSTEME, MÄNNLICHE STERILITÄT

Bedeutung als agronomische Eigenschaft

Aus Kreuzungen verschiedenartiger Eltern können Nachkommen (Hybride) entstehen, die eine erhebliche Leistungssteigerung gegenüber den Ausgangseltern aufweisen. Man spricht von einem *Heterosiseffekt*, für dessen Zustandekommen bislang nur Hypothesen bestehen. In der Pflanzenzüchtung nutzt man den Heterosiseffekt bei der Herstellung von Hybridsaatgut, das besonders hohe Erträge liefern kann. Zur Herstellung des Saatgutes muss eine kontrollierte Bestäubung zwischen definierten Elternlinien erfolgen, d.h. die Selbstbefruchtung muss ausgeschlossen und Kreuzbefruchtungen gesichert werden. Eine Kontrolle der Bestäubung lässt sich (i) mechanisch mit Handbestäubungen, (ii) chemisch durch Gametozide sowie (iii) auf genetischem Wege vornehmen. Handbestäubungen sind nur beim Mais, dessen männliche Blüten sich leicht entfernen lassen, mit einigermaßen akzeptablen Aufwand durchführbar. Mit Gametoziden lassen sich Pflanzen chemisch kastrieren, es handelt sich dabei jedoch um für den Menschen relativ toxische Substanzen. Genetische Mechanismen basieren auf der Interaktion zwischen dem Mitochondrien- und dem Kerngenom einer Pflanze⁴. Bestimmte Kombinationen von mitochondrialen Genen und Kerngenen führen zur

⁴ Seltener wurde auch die Selbstinkompatibilität als Mechanismus genutzt.

männlichen Sterilität (*cytoplasmic male sterility*, cms-Linie), d.h. diese Pflanzen besitzen keine oder keine befruchtungsfähigen Pollen. Bei der Produktion von Hybrid-saatgut dienen solche männlich sterilen Linien als mütterliche Kreuzungspartner. Damit das Hybridsaatgut dieser Pflanzen wiederum fertil ist (notwendig, wenn später die Samen geerntet werden sollen), muss der väterliche Kreuzungspartner die Fertilität wieder restorieren. Dies geschieht, wenn der väterliche Kreuzungspartner bestimmte, im Kern lokalisierte Gene besitzt, die eine Wiederherstellung der Fertilität bewirken (Restorer-Linie).

Derzeit genutzte gentechnische Verfahren

Seit Ende der 80er Jahre wird versucht, männlich sterile Linien und Restorer-Linien mit Hilfe gentechnischer Methoden zu erzeugen. Die bisher verfolgten Ansätze lassen sich in zwei Gruppen einteilen: (i) Störung der Pollenentwicklung durch die Aktivität cytotoxischer oder inhibierender Enzyme in Zellen der Blütenanlagen und (ii) „Ausschalten“ pflanzeigener Gene, deren Expression für die Entwicklung von intakten Pollen essentiell ist, durch Co- oder *Antisense*-Suppression. Kommerziell genutzt werden gegenwärtig nur Strategien der ersten Gruppe.

Männliche Sterilität, Hybridsysteme

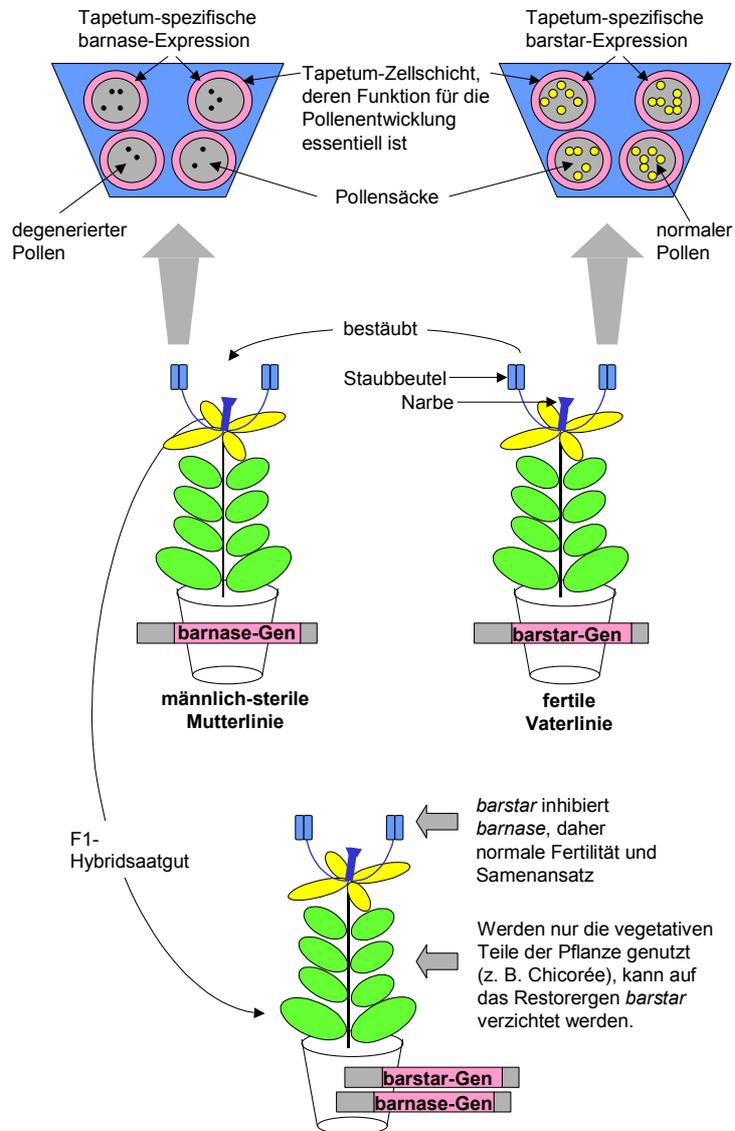
Das derzeit dominierende System stammt von Aventis Crop Science (ursprünglich Plant Genetic Systems)

(Raps, Chicorée, Mais)

Die männlichen Sterilität beruht auf der Expression eines cytotoxischen Enzyms in den Zellen des Tapetums, einer Zellschicht in den Pollensäcken der Antheren, die für die Entwicklung der Pollen eine essentielle Bedeutung besitzt. Es handelt sich um eine Ribonuclease (RNase), deren Aktivität die RNA-Produktion stört und sämtliche Funktionen der Zellen inhibiert. Die Entwicklung fertiger Pollen unterbleibt. Das für die Ribonuclease codierende Gen stammt aus *Bacillus amylolique-faciens* (*barnase*-Gen). Das Gen wurde mit einem gewebe-spezifischen Promotor versehen, der eine tapetumspezifische Expression gewährleistet, jedoch nicht in anderen Zellen und Organen der Pflanze aktiv ist.

Um die Pollenfertilität des Hybrid-saatgutes wiederherzustellen (notwendig z.B. beim Raps, dessen Samen geerntet werden), wurde eine transgene Restorer-Linie erzeugt, in die das Gen für ein Ribonuclease-Inhibitor-Enzym (*barstar*, ebenfalls aus *Bacillus amyloliquefaciens*) übertragen wurde. Die Aktivität des Inhibitor-Enzyms, das ebenfalls nur in den Tapetumzellen der Antheren exprimiert wird, schaltet die Funktion der RNase ab und die Entwicklung der männlichen Blütenorgane verläuft wieder ungestört. Die Wiederherstellung der Pollenfertilität ist nicht notwendig bei Kulturarten, deren vegetative Teile genutzt werden, etwa beim Chicorée (Bejo Zaden).

Ein anderes bei Mais kommerziell genutztes System stammt von Pioneer Hi-bred. Dieses System beruht auf der antheren-spezifischen Expression der DAM-Adenosine-N6-Methyltransferase aus *E. coli*, deren Aktivität die Entwicklung der männlichen Blütenorgane inhibiert.



Deregulierte Events

Tabelle 4: In verschiedenen Ländern der OECD deregulierte <i>Events</i> mit Sterilitäts- und Restorergerenen		
Event	Unternehmen	Modifizierung
Raps		
MS1, RF1 =>PGS1	Aventis	barnase + barstar
MS1, RF2 =>PGS2	Aventis	barnase + barstar
MS8 x RF3	Aventis	barnase + barstar
PHY14, PHY35	Aventis	barnase + barstar
PHY36	Aventis	barnase + barstar
Chicoree		
RM3-3, RM3-4, RM3-6	Bejo Zaden BV	barnase
Mais		
676, 678, 680	Pioneer Hi-Bred	Adenine Methylase
MS3	Aventis	barnase
MS6	Aventis	barnase

3.5 REIFEVERZÖGERUNG

Bedeutung als Qualitätseigenschaft

Reifungsprozesse werden bei Pflanzen durch das (von ihnen selbst gebildete) gasförmige Phytohormon Ethylen reguliert. Ethylen löst in pflanzlichen Geweben eine Reihe biochemischer Prozesse aus, die zur Bildung diverser sekundärer Pflanzenstoffe führt, und induziert auch Abbauprozesse in Zellwänden, die zum „Weichwerden“ z.B. von Früchten führen. Für den lange Transportwege einschließenden Handel werden Früchte wie Tomaten oder Melonen in der Regel in einem noch unreifen Zustand gepflückt (auch vorteilhaft für eine maschinelle Ernte, da das Gewebe noch fest ist), damit längere Lagerungszeiten während des Transports realisierbar sind. Zu einem geeigneten Zeitpunkt wird eine künstliche Reifung der Früchte durch Begasung mit Ethylen für 12-18 Stunden induziert.

Auch der Zustand von Schnittblumen wird durch Ethylen beeinflusst. Die Haltbarkeit von Schnittblumen lässt sich durch eine Behandlung mit Substanzen wie Silberthiosulfat (STS) oder Amino-Oxyessigsäure (AOA) verlängern. Hierdurch wird die Sensitivität des pflanzlichen Gewebes gegenüber Ethylen herabgesetzt.

Derzeit genutzte gentechnische Verfahren

Reifeverzögerung

(Tomate, Melone, Nelke)

Die derzeit genutzten Verfahren beruhen auf zwei grundlegenden Strategien: (a) Verhinderung der Bildung von Ethylen als auslösenden Faktor im Reifungsprozess und (b) Inhibierung des Enzyms Polygalacturonase, das direkt an der Degradation der Zellwand beteiligt ist. Das Polygalacturonase-Gen wird durch die Wirkung von Ethylen „eingeschaltet“.

Eine Hemmung der Ethylenbildung wird erreicht durch:

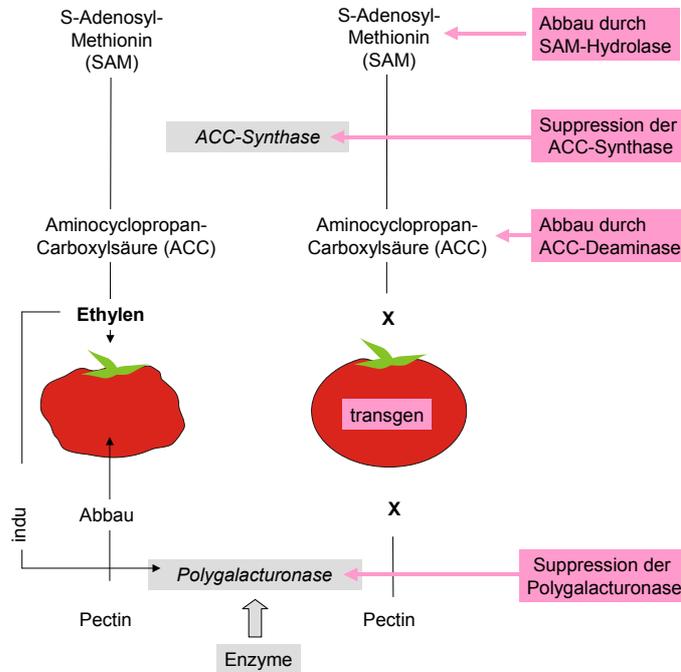
(i) Abbau der Ethylen-Vorstufe S-Adenosylmethionin (SAM) durch das Enzym SAM-Hydrolase. Das Gen für die SAM-Hydrolase stammt aus dem *E. coli*-Phagen T3.

(ii) Inaktivierung der 1-Amino-Cyclopropancarboxylsäure (ACC) -Synthase durch Sense-Suppression bzw. homologie-abhängiges *gene silencing*. Die ACC-Synthase katalysiert die Reaktion SAM zu ACC.

(iii) Abbau der Ethylen-Vorstufe 1-Amino-Cyclopropancarboxylsäure (ACC) durch das Enzym ACC-Deaminase. Das Gen für die ACC-Deaminase stammt aus *Pseudomonas chlororaphis*.

Die Unterdrückung der Aktivität der Polygalacturonase (PG) wird erreicht durch:

- Inaktivierung der PG durch Sense- (Event BdaF) oder Antisense (FlavrSavr) Suppression, d.h. durch homologie-abhängiges *gene silencing* (s. auch Virusresistenz). Die Aktivität des Enzyms Polygalacturonase degradiert normalerweise Pectin, eine Stützsubstanz in Zellwänden, die pflanzlichen Geweben Festigkeit verleiht.



Deregulierte Events

Tabelle 5: In verschiedenen Ländern der OECD deregulierte <i>Events</i> mit Reifeverzögerung		
Event	Unternehmen	Modifizierung
Melone		
A, B	Agritope Inc	Expression einer SAM-Hydrolase
Nelke		
66	Florigene Pty Ltd.	Sense-Suppression der ACC-Synthase
Tomate		
1345-4	DNA Plant Technol. Corporation	Sense-Suppression der ACC-Synthase
35 1 N	Agritope Inc.	Expression einer SAM-Hydrolase
8338	Monsanto	Expression einer ACC-Deaminase
B, Da, F	Zeneca Seeds	Sense-Suppression der Polygalacturonase
FLAVR SAVR	Calgene Inc.	Sense/Antisense-Suppression der Polygalacturonase

3.6 FETTSÄUREVERÄNDERUNGEN

Bedeutung als Qualitätseigenschaft

Sojabohnen werden in Ölmühlen zermahlen und das Rohöl vom eiweißreichen Schrot getrennt. Nach mehreren Reinigungsschritten wird Sojaöl vor allem zur Margarineherstellung und als Speiseöl genutzt. Das Öl ist reich an ungesättigten Fettsäuren, die allerdings schnell oxidieren und bei hohen Temperaturen instabil sind. Für verschiedene Prozessierungsverfahren in der Nahrungsmittelindustrie wäre eine größere Stabilität bei von Vorteil. Diese lässt sich durch einen höheren Anteil von Ölsäure erreichen. Auch Raps wird primär zur Ölgewinnung angebaut. Hier wird eine Erhöhung des Anteils an Laurin- und Myristinsäure angestrebt, um Rapsöl auch in Herstellungsverfahren einzubeziehen, bei denen bislang nur Kokosnuss- oder Palmkernöl verwendet werden konnten.

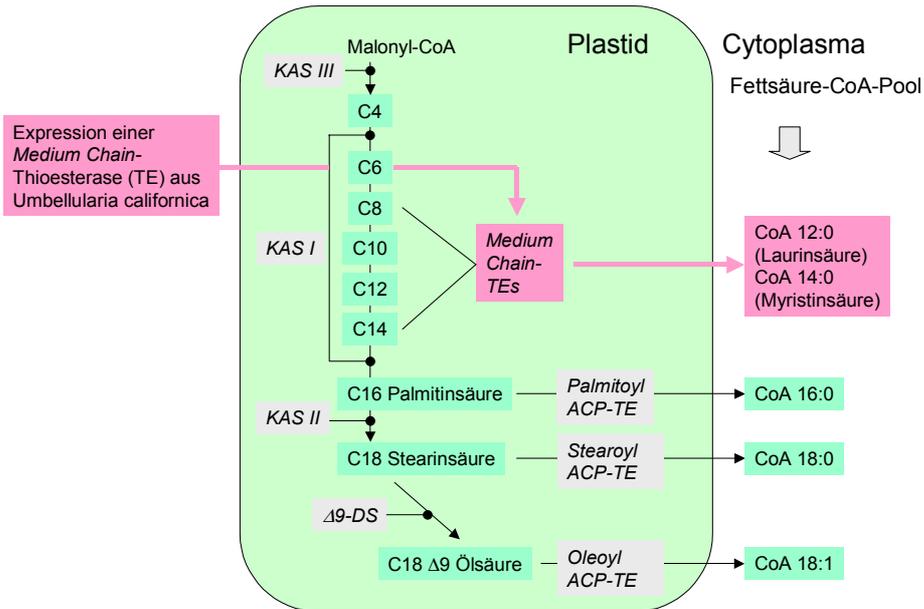
Derzeit genutzte gentechnische Verfahren

Erhöhung des Gehaltes an Laurin- und Myristinsäure

(Raps)

Die Synthese der gesättigten und einfach-ungesättigten Fettsäuren findet in den Plastiden statt. Die langkettigen Fettsäuren entstehen dabei durch wiederholte enzymatische Anheftung von jeweils 2 Kohlenstoffen (Malonyl-CoA). 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 besitzen Medium-Chain-TEs, welche die Verlängerungsreaktion schon bei Kettenlängen von C8-C14 abbrechen. Die Expression einer **Medium-Chain-TE** aus *Umbellularia californica* führt zur Akkumulation von Laurinsäure (12:0) und, in einem geringeren Ausmaß, Myristinsäure (14:0).

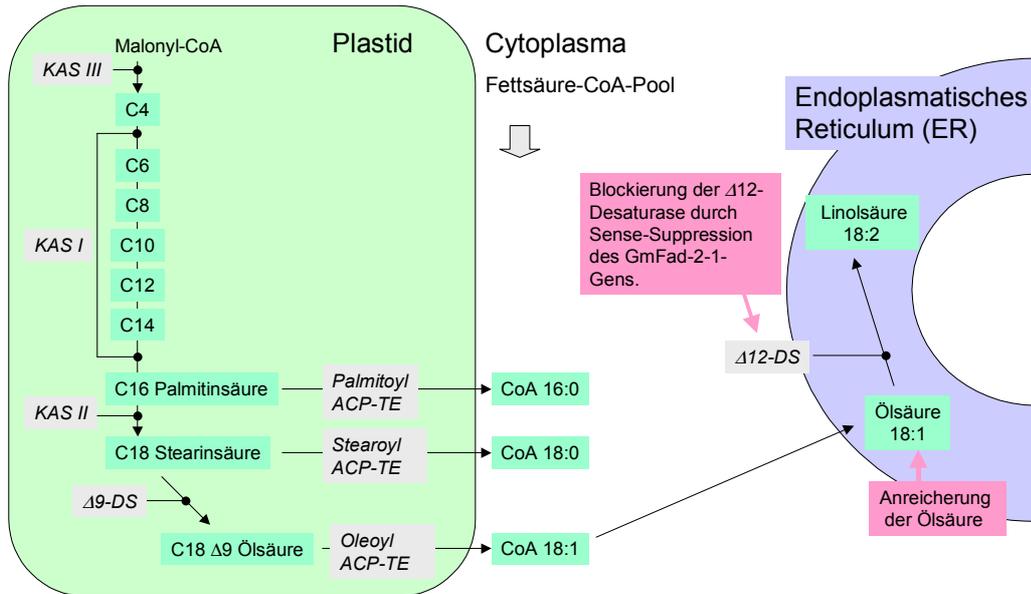


Erhöhung des Ölsäuregehaltes

(Soja)

Durch die Aktivität von **Desaturasen (DS)** entstehen ungesättigte Fettsäuren. Die $\Delta 9$ -Desaturase katalysiert die Reaktion Stearinsäure/18:0 zu Ölsäure/18:1 in den Plastiden. Ölsäure wird anschließend im Endoplasmatischen Retikulum durch die $\Delta 12$ -Desaturase in Linolsäure/18:2 umgewandelt.

Eine Akkumulation der Ölsäure wurde durch die Blockierung der $\Delta 12$ -Desaturase erreicht. Hierzu wurde das **Desaturase-Gen GmFad2-1** durch Übertragung einer identischen Kopie des Gens „abgeschaltet“ (**Sense-Suppression**, homologieabhängiges *gene silencing*, s. auch Virusresistenz und Reifeverzögerung). Das Öl der Samen dieser transgenen Sojabohnensorte besteht zu mehr als 80% aus Ölsäure, der Gehalt an Linolsäure ist reduziert.



Deregulierte Events

Tabelle 6: In verschiedenen Ländern der OECD deregulierte <i>Events</i> mit veränderter Fettsäurezusammensetzung		
Event	Unternehmen	Modifizierung
Soja		
G94-1, G94-19, G168	DuPont Canada Agricultural Products	GmFad2-1 (Delta-12-Desaturase) Sense-Suppression
Raps		
23-18-17, 23-198	Calgene Inc.	Expression einer Thioesterase-Gens aus <i>Umbellularia californica</i> (California bay tree)

3.7 MODIFIZIERTE BLÜTENFARBEN

Bedeutung als Qualitätseigenschaft

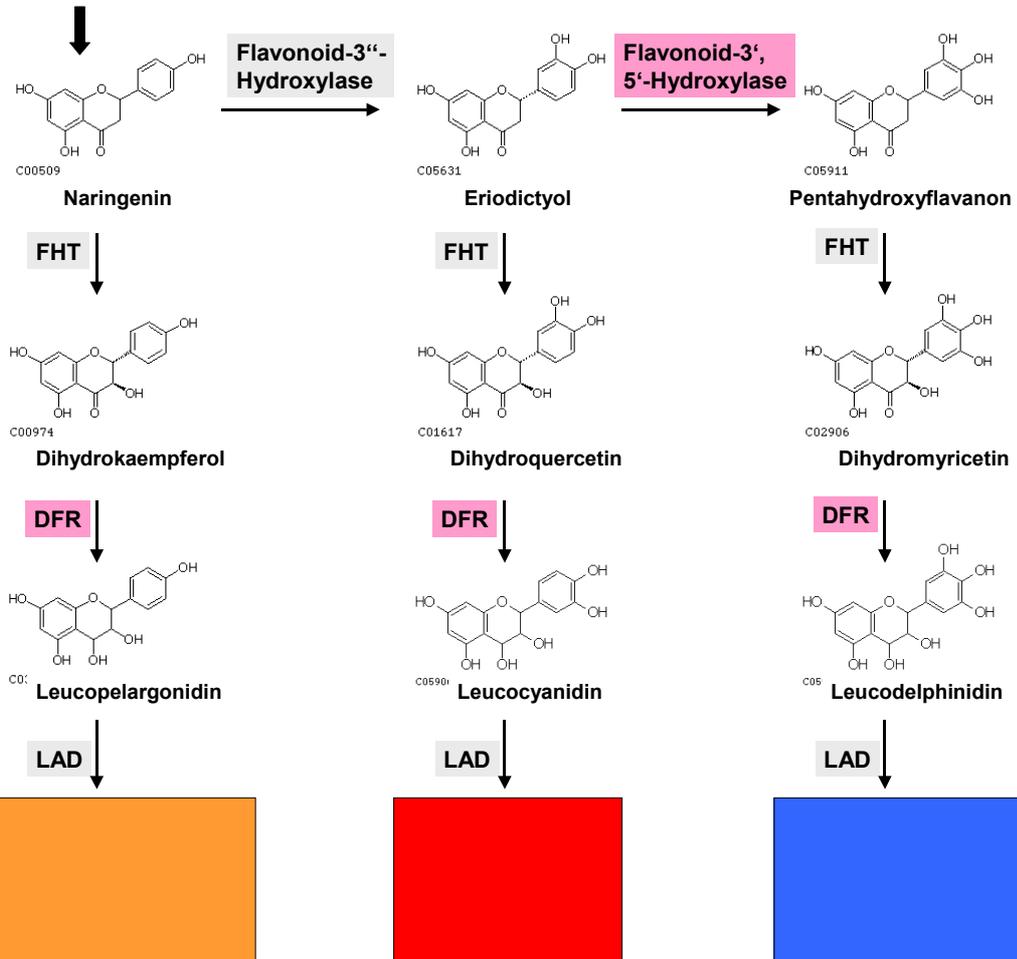
Prinzipiell existieren zwei Typen von Blütenfarbstoffen: die Flavonoide, die den Bereich von gelb über rot bis blau abdecken, und die gelben bis orangefarbenen Carotenoide. Zu den Flavonoiden gehören die Anthocyanfarbstoffe Cyanidin (rot), Pelargonidin (lachsrosa) und Delphinidin (blau). Blüten von Nelken, Rosen, Lilien, Chrysanthemen und Gerbera, die ca. 75% des Handels mit Schnittblumen ausmachen, können den blauen Farbstoff Delphinidin nicht produzieren. Die Erzeugung von Formen dieser Arten mit Blüten, die diesen Farbstoff enthalten, sind ein kommerziell interessantes Zuchtziel.

Derzeit genutzte gentechnische Verfahren

Blau-violette Blüten

(Nelke)

Zur Erzeugung von Nelken mit violetten Blüten wurde die weißblühende Mutante „White Unesco“ mit den Genen für (i) eine Dihydroflavonol-Reduktase (**DFR**) aus *Petunia hybrida*, und (ii) eine **Flavonoid-3', 5'-Hydrolase** aus *Petunia hybrida* oder *Viola sp.* transformiert. Die Flavonoid-3', 5'-Hydroxylase erschließt den in Nelken natürlicherweise nicht vorhandenen Syntheseweg über Pentahydroxyflavanon und Dihydroxyquercetin zu Delphinidin (FHT=Flavon-3-Hydroxylase, LAD=Leucoanthocyanidin Dehydrase)



Deregulierte Events

Tabelle 7: In verschiedenen Ländern der OECD deregulierte Events mit veränderter Blütenfarbe		
Event	Unternehmen	Modifizierung
Nelke		
4, 11, 15, 16	Florigene Pty Ltd.	Dihydroflavonol-Reduktase aus <i>Petunia hybrida</i> , Flavonoid-3', 5'-Hydrolase aus <i>Petunia hybrida</i>
959A, 988A, 1226A, 1351A, 1363A, 1400A	Florigene Pty Ltd.	Dihydroflavonol-Reduktase aus <i>Petunia hybrida</i> , Flavonoid-3', 5'-Hydrolase aus <i>Viola sp.</i>

3.8 ENZYMPRODUKTION IN MIKROORGANISMEN

Enzyme sind Proteine, die als katalytisch wirksame Stoffe (oder Biokatalysatoren) chemische Reaktionen beschleunigen, die bei den in Lebewesen herrschenden Temperaturen ansonsten nur sehr langsam ablaufen würden. Enzyme sorgen für die Organisation und die Regulation von Stoffwechselfvorgängen sowie den Aufbau der Zellbestandteile. In vielen der bisher beschriebenen Anwendungen gentechnischer Verfahren in Pflanzen waren enzymatische Vorgänge Ziel der genetischen Veränderung, z.B. durch Einführung heterologer (bakterieller oder aus anderen Arten stammender) Enzyme, deren Anwesenheit die Synthese bestimmter Inhaltsstoffe (Fettsäuresynthese) oder die Entgiftung von inhibitorisch wirkenden Substanzen (Herbizidresistenz) ermöglicht. Enzyme sind sehr spezifisch (sie binden genau definierte Moleküle bzw. Molekülstrukturen), sind äußerst vielfältig (geschätzt werden ca. 10000 verschiedene Varianten, von denen bisher $\frac{1}{4}$ bekannt sind) und besitzen katalytische Fähigkeiten, die denjenigen chemisch-industrieller Verfahren bei weitem überlegen sind. In der Lebensmittelherstellung und -verarbeitung wird die Aktivität von Enzymen seit langem ohne Kenntnis der eigentlichen Vorgänge genutzt, etwa bei der Käseherstellung oder Gärungsprozessen.

Enzyme lassen sich aus Zellen, Geweben oder Organen isolieren. Die meisten Enzyme werden allerdings nur in geringen Mengen gebildet, und eine chemische Synthese ist aufgrund ihrer komplexen Struktur ausgeschlossen. Für eine industrielle Nutzung waren viele Enzyme deshalb lange Zeit zu teuer. Zu den Ausnahmen gehört z.B. das Chymosin (der Hauptwirkstoff des Labfermentes), das bei der Herstellung von Hartkäsen zur Fällung des Caseins dient. Chymosin ließ sich in ausreichenden Mengen aus den Mägen junger Kälber isolieren.

Mit der Einführung der Gentechnik wurde es möglich, die für die gewünschten Enzyme codierenden Gensequenzen in Mikroorganismen (Bakterien, Hefen/Pilze) zu übertragen und diese als Produzenten zu verwenden. Im Prinzip lässt sich auf diese Weise jedes Enzym in unbegrenzten Mengen herstellen. Die Gentechnik erlaubt überdies ein *Enzym-Design*, d.h. die Herstellung von Enzymen mit neuen Eigenschaften, die ihren Einsatz auch unter normalerweise ungeeigneten Bedingungen (Druck, pH-Wert, Temperatur) ermöglichen.

Die gentechnische Produktion von Enzymen hat zu einer erheblichen Ausweitung der möglichen industriellen Anwendungen von Enzymen geführt. Bei hoher Reinheit wurde ihre Herstellung gleichzeitig billiger, und durch ihren Einsatz können eine Reihe von umweltbelastenden Prozessen ersetzt werden. Neben ihrer in den letzten Jahren angestiegenen Nutzung in der Lebensmittelproduktion (siehe Tabelle 8) werden gentechnisch produzierte Enzyme in der Waschmittelindustrie, der Textilindustrie und Lederverarbeitung sowie bei der Futtermittelherstellung eingesetzt.

Ein Hauptanwendungsbereich ist inzwischen die Stärkeverzuckerung. Zucker lässt sich nicht nur aus Zuckerrüben oder Zuckerrohr herstellen, sondern prinzipiell aus allen stärke liefernden Pflanzen. Früher mussten zur Auftrennung der Stärke starke Säuren eingesetzt werden, dabei handelte sich allerdings um ein sehr grobes Verfahren. Mit Hilfe von Enzymen lassen sich hingegen die Stärkemoleküle in spezifischer Weise verdauen und definierte Stärkesirupe herstellen.

Eine wirtschaftliche Bedeutung erlangte die Stärkeverzuckerung erst, nachdem sich die entsprechenden Enzyme preiswert und in großen Mengen industriell mittels gentechnischer Verfahren herstellen ließen.

Heutzutage wird eine große Zahl gentechnisch hergestellter Enzyme in verschiedenen Bereichen benutzt und unzählige Produkte unter Verwendung dieser Enzyme erzeugt oder verarbeitet (eine Auswahl befindet sich in Tabelle 8). Auf eine vollständige Übersicht muss hier deshalb verzichtet werden (zu weiteren Informationen siehe www.transgen.de).

Tabelle 8: Lebensmittel, zu deren Herstellung gentechnisch produzierte Enzyme verwendet werden (Quelle: www.transgen.de)

Produkt	Enzym
Aromen	Lipasen, Proteasen, Pektinasen
Backwaren	Amylasen, Proteasen, Xylanasen, Hemicellulasen, Lipase, Glucose-oxidase
Bier	Amylasen, Proteasen, Pullulanase, Amyloglucosidase, Glucanase, Acetolactat-Decarboxylase
Eiprodukte, Mayonnaise	Catalase, Glucoseoxydase
EiweiÙe	Proteasen
Farbextrakte	Pektinasen, Pektinesterase
Fette	Lipase
Fisch	Protease
Fleisch, Wurst	Protease, Transglutaminase
Käse	Chymosin, Lipase, Protease
Milchprodukte	Lactase (beta- Galactosidase), Protease
Nudeln, Teigwaren	Lipase
Obst, Gemüse	Pektinase, Xylanase, Amylase, Cellulase, Hemicellulase, Pektinasen, Pektin-Esterase
Spirituosen	Cellulase, Hemicellulase, Xylanase, Amylase
Stärke-Verzuckerung	Amylase, Glucoamylase, Pullulanase, Xylanase
Stärke	Amylasen, CGTase
Süßwaren	Invertase, Lactase
Wein	Glucanase, Pektinase, Cellulase, Hemicellulase, Glucosidase

4 RECHTSPRAXIS, RICHTLINIEN, INTERNATIONALE ABKOMMEN

(Martin Heyer)

4.1 GRUNDSÄTZLICHE ERWÄGUNGEN

Die Diskussion über Zulässigkeit oder Gebotenheit des Einsatzes gentechnischer Verfahren bei der Herstellung und Verarbeitung von Lebensmitteln findet ihren Niederschlag auch auf der Ebene der Gesetzgebung. Gerade die Unterschiedlichkeit der Standpunkte auf diesem Gebiet unterstreicht noch einmal die Notwendigkeit klarer gesetzlicher Regelungen.

Angesichts der Komplexität und Kontroversität des Problems ist der Gesetzgeber aufgerufen, das normative System so zu gestalten, dass es einerseits der Eigenart der geregelten Materie, andererseits auch weitest möglich den verschiedenen Interessen der beteiligten Gruppierungen Rechnung trägt. Abgesehen von den politischen Erwägungen der Konsensfindung, welche dabei eine Rolle spielen, stellen sich auch eine Reihe von rechtstechnischen Problemen.

So ist zunächst die rechtliche Ausgestaltung in hohem Masse abhängig vom Stand der Wissenschaft und Anwendung. Angesichts des Tempos der Entwicklung im Sektor der Lebenswissenschaften ergibt sich die Frage nach der Halbwertszeit rechtlicher Regelungen. Dabei ist die Rechtsanwendung gezwungen, zwischen Scylla und Charybdis einer Überdehnung der Rechtsbegriffe einerseits und dem Aufklaffen von Regelungslücken andererseits hindurch zu navigieren. Ein neuartiges Verfahren, welches bei dem Erlass einer Vorschrift nicht mit bedacht wurde, stellt die zuständigen Instanzen vor die Alternative, entweder den vorhandenen Normenapparat mittels Auslegung und Analogie zu erweitern oder aber zusätzliche Spezialregelungen zu erlassen. Die Novellierung der bestehenden Gesetze ist angesichts des zeitlichen Horizontes gesetzgeberischen Handelns im Verhältnis zu der Geschwindigkeit des wissenschaftlichen Prozesses nicht immer eine angemessene Alternative. Der Erlass speziellerer Regelungen ist mit ähnlichen Bedenken belastet und birgt zudem die Gefahr in sich, eine unübersichtliche und eventuell sogar widersprüchliche Rechtslage zu erzeugen. Ein gangbarer Weg liegt in der Verwendung möglichst allgemeiner Formulierungen und offener Rechtsbegriffe. Ein derartiges Vorgehen eröffnet jedoch ein ganz anderes Problemfeld: Neben grundsätzlichen Erwägungen der Rechtssicherheit spielt auch das grundgesetzliche Gebot an den Gesetzgeber, alle wesentlichen Entscheidungen selber zu treffen, in diesem Zusammenhang eine Rolle.

Eine zusätzliche Schwierigkeit ergibt sich aus der rechtlichen Uneinheitlichkeit der zu regelnden Materie. Nicht allein spielen in die rechtliche Ausgestaltung der grünen Gentechnik sachlich äußerst unterschiedliche Rechtsgebiete – wie etwa das Recht des geistigen Eigentums oder öffentlich-rechtliche Genehmigungsvorschriften – mit hinein, die Lage wird zudem dadurch kompliziert, dass es zu Wechselwirkungen zwischen Rechtsquellen nationaler und internationaler Natur kommt. All dies erschwert die Einheitlichkeit und Widerspruchslosigkeit der Regelung zur grünen Gentechnik ebenso sehr, wie eine Darstellung derselben. Es soll daher zunächst den Versuch unternommen werden, eine grobe Systematik der einschlägigen Rechtsgebiete und Rechtsquellen aufzuzeigen.

4.1.1 Rechtsgebiete und Rechtsquellen

Um die Übersicht über die komplexen Vorschriften im Bereich der grünen Gentechnik zu erleichtern, sollen die Regelungen im Folgenden unter vier thematischen Überschriften behandelt werden: **Genehmigung, Kennzeichnung, Haftung und Patentierung.**

Soweit es die Rechtsquellen angeht, wird neben dem Recht der Bundesrepublik Deutschland vor allem das sekundäre Recht⁵ der Europäischen Union (EU) in diese Darstellung Eingang finden. Auch eine Reihe internationaler Abkommen – wie etwa der *Codex Alimentarius* –, Richtlinien und Erklärungen können bei einer Darstellung der Rechtslage zur grünen Gentechnik nicht außer Acht gelassen werden. Dabei ist es allerdings wichtig, den jeweiligen Grad rechtlicher Verbindlichkeit zu berücksichtigen, welche diese Reglementierungen entfalten.

Rechtliche Aspekte des Welthandels finden insofern Berücksichtigung, als die Vorschriften zur Zulassung und Kennzeichnung, aber auch die zur Patentierung, wesentlich durch das Bemühen um einen Abbau von Handelshemmnissen mitbestimmt sind. Deutlich wird dies vor allem an den Rechtsakten der Europäischen Union, deren Ermächtigungsgrundlage auf der Kompetenz der Gemeinschaft für die Beseitigung von Behinderungen für den freien Warenverkehr beruht.

Dass eine möglichst weitgehende Harmonisierung der nationalen Rechtsgebräuche immer auch den Fluss der internationalen Warenströme im Blick hat, zeigt sich auch an

⁵ Das Recht der EU wird unterschieden in primäres und sekundäres Gemeinschaftsrecht. Das primäre Gemeinschaftsrecht umfasst den Vertrag über die Gründung der Europäischen Gemeinschaft und den Vertrag über die Gründung der Europäischen Union. Diese stecken den Rahmen des sekundären Gemeinschaftsrechtes und bilden dessen Rechtsgrundlage. Zum sekundären Gemeinschaftsrecht zählen Richtlinien, Verordnungen, Entscheidungen und Empfehlungen.

den multilateralen Abkommen zum Recht des geistigen Eigentums. Darüber hinaus spielen auch Erwägungen des Gesundheits- und Verbraucherschutzes bei den übernationalen Rechtsetzungsakten eine wichtige Rolle. Gerade an den Richtlinien und Verordnungen der Europäischen Union lässt sich das steigende Gewicht der Lebensmittelsicherheit und der Verbraucherautonomie in den letzten Jahren deutlich ablesen.

4.1.2 Das Zusammenspiel der Normquellen

Angesichts der verschiedenen Herkunft der Regelungen aus nationalem Recht, europäischem Recht und internationalen Übereinkommen, stellt sich zunächst die Frage nach dem Verhältnis der Normen zueinander und ihrer Geltung.

Das europäische Gemeinschaftsrecht hat gegenüber dem nationalem Recht grundsätzlich Vorrang. Zu unterscheiden ist hierbei jedoch zwischen europäischen Rechtsakten mit einer unmittelbaren Wirkung und europäischen Rechtsakten, die einer Umsetzung in das nationale Recht bedürfen.

Verordnungen und an Private gerichtete Entscheidungen gelten unmittelbar in jedem Mitgliedstaat. Richtlinien hingegen bedürfen eines Umsetzungsaktes durch die jeweiligen nationalen Gesetzgeber. Erst nach Ablauf der Umsetzungsfrist wirkt die Richtlinie unter bestimmten Voraussetzungen unmittelbar. Der Einzelne kann sich dann gegenüber den staatlichen Stellen auf die Richtlinie berufen und seine Rechte gegebenenfalls vor den nationalen Gerichten einklagen. An die Mitgliedstaaten gerichtete Entscheidungen können unter den gleichen Voraussetzungen wie Richtlinien eine unmittelbare Wirkung entfalten. Die in diesem Kontext einschlägigen Richtlinien sind größtenteils in deutsches Recht umgesetzt bzw. werden gerade umgesetzt. Eine Ausnahme bildet die neue Freisetzungsrichtlinie 2001/18 (Novellierung der ursprünglichen Freisetzungsrichtlinie 90/220). Die Richtlinie ist bis Oktober 2002 umzusetzen.

Anders als die Normen des europäischen Rechtes schaffen völkerrechtliche Verträge kein direkt geltendes Recht in den Signatarstaaten. Sobald das jeweilige Übereinkommen gemäß der dazu festgelegten Bestimmungen (z.B. ab dem Zeitpunkt der Ratifizierung durch mindestens drei Unterzeichner) in Kraft tritt, entsteht allerdings für den unterzeichnenden Staat eine völkerrechtliche Verpflichtung, die Konformität des nationalen Rechtes mit den Inhalten des Vertrages zu gewährleisten bzw. herzustellen. Beispiel für eine erfolgte Umsetzung eines internationalen Übereinkommens in deutsches Recht ist das Patentgesetz (PatG), welches an die Vorgaben des Europäischen Patentübereinkommens (EPÜ) angepasst ist.

Im Folgenden soll zunächst auf die aktuell geltenden Regelungen eingegangen werden. Im Bereich der Zulassung und Kennzeichnung stehen in den nächsten Jahren Veränderungen an. Ein Vorschlag der EU-Kommission soll zu einer weitreichende Neugestaltung der Behandlung gentechnisch modifizierter Lebensmittel führen. Angesichts der Unwägbarkeiten des europäischen Gesetzgebungsverfahrens ist noch nicht abzusehen, wann und in welchem Umfang diese Neuerungen Eingang in das geltende Recht finden.

4.2 GENEHMIGUNG IM DEUTSCHEN UND EUROPÄISCHEN RECHT

Die verschiedenen Stadien der Forschung, Entwicklung und Anwendung biotechnologischer Verfahren in der Lebensmittelproduktion sind nicht unregelt, sondern stehen weitestgehend unter einem öffentlich-rechtlichen Genehmigungsvorbehalt. In Umsetzung der EU Richtlinien 90/219 (Systemrichtlinie) und 90/220 (Freisetzungsrichtlinie) hat der deutsche Gesetzgeber 1990 das Gentechnikgesetz (GenTG) erlassen.

Das GenTG regelt umfassend die Arbeit an sowie den Umgang mit genetisch veränderten Organismen (GVO). Hiervon sind außer den Verfahren, welche in der Erzeugung und Verarbeitung von Lebensmitteln Anwendung finden, auch die anderen Bereiche der Gentechnik, wie etwa die „graue“ und „rote“ Gentechnik betroffen.

Neben den genannten europarechtlichen Vorgaben flossen auch Teile des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BimSchG) in das GenTG mit ein. Aus dem BimSchG übernommen wurden diejenigen Vorschriften, welche sich auf die Errichtung von Anlagen – also Gebäuden oder Gebäudeteile, in denen gentechnische Arbeiten vorgenommen werden sollen – beziehen. Darüber hinaus regelt das GenTG die Genehmigung von gentechnischen Arbeiten, die Freisetzung und schließlich das Inverkehrbringen von GMO. Neben den verschiedenen Genehmigungsverfahren sieht das GenTG für bestimmte Fälle noch ein Anmeldeverfahren vor. Im Großen und Ganzen optiert das GenTG jedoch für das Genehmigungsmodell, statt ein Anmeldeverfahren mit Widerspruchsmöglichkeit im Einzelfall zu verankern. Dadurch soll der potenziellen Gefahr, welche durch die Arbeit mit und die Freisetzung von GMO für weite Teile der Bevölkerung entstehen könnte, Rechnung getragen werden. Dementsprechend ist die bloße Anmeldung nur dann zulässig, wenn nach der Wertung des Gesetzes von den entsprechenden Arbeiten nur ein sehr geringes Risiko ausgeht, wie etwa bei der Errichtung von weiteren Anlagen der niedrigsten Sicherheitsstufe oder bei der Durchführung von „weiteren Arbeiten“ der zweiten bis vierten Sicherheitsstufe in Anlagen, für die eine Anlageneignung der entsprechenden Sicherheitsstufe bereits

vorliegt. Der Begriff der „weiteren Arbeiten“ – in Abgrenzung zu erstmaligen Arbeiten – nimmt Bezug auf die Begrifflichkeiten der Systemrichtlinie und soll ein Überhandnehmen bürokratischer Hemmnisse insbesondere bei Forschungsvorhaben verhindern. Die Abgrenzung von weiteren Arbeiten gegenüber wesentlichen Änderungen einer gentechnischen Anlage kann im Einzelfall zu Abgrenzungsproblemen führen.

Wenn die Voraussetzungen für die Genehmigung von Arbeiten, für Freisetzung oder das Inverkehrbringen vorliegen, so besteht seitens der zuständigen Behörde kein Ermessensspielraum. Der Antragsteller hat dann einen Anspruch auf die Erteilung der Genehmigung.

4.2.1 Gentechnische Arbeiten

„Gentechnische Arbeiten“ meint gemäß der Definition des § 3 Abs. 2 GenTG die Erzeugung von GVO sowie deren Verwendung, Vermehrung, Transport, Lagerung, Zerstörung, Entsorgung und innerbetrieblichen Transport. Die Durchführung gentechnischer Arbeiten, welche in Art und Umfang von der Anlagegenehmigung umfasst werden, ist im Falle von Forschungsarbeiten nicht genehmigungs- sondern lediglich anmeldungspflichtig. Werden „weitere gentechnische Arbeiten“ zu gewerblichen Zwecken durchgeführt, und sind diese Arbeiten zudem einer anderen als der niedrigsten Sicherheitsstufe zuzurechnen, so bedürfen sie grundsätzlich und unabhängig vom Umfang der Anlagegenehmigung eines eigenständigen Genehmigungsverfahrens.

Unterfallen „weitere Arbeiten“ einer höheren Sicherheitsstufe als der in der ursprünglichen Anlagegenehmigung vorgesehenen, so ist in jedem Fall ein neues Genehmigungsverfahren durchzuführen.

4.2.1.1 Verfahren und Zuständigkeiten

Die Entscheidung über Genehmigungen gentechnischer Anlagen treffen die gemäß Landesrecht zuständigen Stellen. Soweit durch das Recht des entsprechenden Bundeslandes keine zuständige Behörde vorgesehen ist, fällt die Entscheidungszuständigkeit der Landesregierung zu. Diese kann die Zuständigkeit auch weiterleiten. Die tatsächlichen Zuständigkeiten sind in den Bundesländern unterschiedlich geregelt und fallen z.T. Landesämtern, Ministerien oder auch Regierungsbezirken zu. Eine beim Robert-Koch-Institut verortete „Zentrale Kommission für die Biologische Sicherheit“ (ZKBS) prüft und bewertet sicherheitsrelevante Fragen und berät die jeweils zuständigen Stellen. Den Betreibern gentechnischer Anlagen sind eine Reihe von Pflichten auferlegt. So besteht neben der Pflicht einer vorhergehenden Evaluierung der Risiken

auch die Pflicht zur Bestellung eines Beauftragten für biologische Sicherheit sowie zur Führung von Aufzeichnungen über die Arbeiten.

4.2.1.2 Sicherheitsstufen

Das GenTG differenziert die durchgeführten Arbeiten nach ihrem Gefährdungspotenzial und teilt sie dementsprechend vier verschiedenen Sicherheitsstufen zu. Beginnend bei der ersten Stufe, die besteht, wenn nach Stand der Wissenschaft nicht von einem Risiko für die menschliche Gesundheit und die Umwelt auszugehen ist, bis zur vierten Stufe, welche gentechnischen Arbeiten zugeordnet wird, bei denen nach dem Stand der Wissenschaft von einem hohen Risiko oder dem begründeten Verdacht eines solchen Risikos für die menschliche Gesundheit oder die Umwelt auszugehen ist, verpflichten die Sicherheitsstufen die Betreiber, Maßnahmen zu treffen, welche dem jeweiligen Risikograd entsprechen. Entscheidend ist hierbei die Einschätzung des Risikopotenzials der Arbeit, welches sich aus einer Zusammenschau der Ausgangs- bzw. modifizierten Zielorganismen und der eingesetzten Vektoren ergibt.

Das GenTG weicht insofern von den Vorgaben der Systemrichtlinie ab, welche lediglich zwei Gruppen von Organismen unterscheidet. Diese Abweichung hält sich allerdings im Rahmen der bei der Umsetzung von Richtlinien zulässigen Spielräume. Die genaueren Standards für die Sicherheitsstufen, so etwa die zu treffenden Maßnahmen zur Arbeitssicherheit oder Anforderungen an die Sachkunde des Projektleiters, werden durch Rechtsverordnung festgelegt. Die Regelung durch Rechtsverordnung trägt durch ihre größere Flexibilität verglichen mit dem formellen Gesetzgebungsverfahren den Anforderungen einer Anpassung an den Stand der wissenschaftlichen Erkenntnis Rechnung. So enthält die *Verordnung über die Sicherheitsstufen und Sicherheitsmaßnahmen bei gentechnischen Arbeiten in gentechnischen Anlagen* (GenTSV) konkrete Zuordnungen von Organismen zu bestimmten Sicherheitsstufen.

4.2.1.3 Vorsorgeprinzip und Gefahrbegriff

Wie das GenTG in seiner Gesamtheit sind die Bestimmungen zur Genehmigung durch das Vorsorgeprinzip geprägt. Schon die Zugehörigkeit des Gentechnikrechtes zum Umweltrecht unterstreicht die Geltung dieses Prinzips, doch findet es darüber hinaus auch in den Formulierungen der §§ 1 und 6 besonderen Niederschlag. Demgemäß ist es Zweck des Gesetzes:

„Leben und Gesundheit von Menschen, Tieren und Pflanzen sowie die sonstige Umwelt in ihrem Wirkungsgefüge und Sachgüter vor möglichen Gefahren gentechnischer Verfahren und Produkte zu schützen und dem Entstehen solcher Gefahren vorzubeugen ...“.

Diesem Schutzzweck steht der weitere Zweck des Gesetzes, nämlich die rechtlichen Rahmenbedingungen für Erforschung, Entwicklung und Förderung der Gentechnik zu schaffen, gegenüber. Sowohl die systematische Stellung dieser beiden Gesetzeszwecke im Gesetz, wie auch die allgemeinen Prinzipien des Umweltrechtes sprechen dafür, dass dem Schutzzweck im Falle einer Kollision Vorrang vor dem Förderzweck zukommt. Das Vorsorgeprinzip als normatives Instrumentarium dieses Schutzzweckes besagt im Wesentlichen, dass Umweltgefahren- und Schäden so weit als möglich vermieden werden und gar nicht erst zum Entstehen kommen sollen. Es ist in diesem Zusammenhang hervorzuheben, dass die beiden angesprochenen Gesetzeszwecke nicht *per se* entgegengesetzt sind. Vielmehr kommt es nur dann zu einer Kollision der geschützten Güter, wenn Maßnahmen zur Förderung der Erforschung der Gentechnik oder deren wirtschaftlicher Verwertung zugleich zu einer Gefahr für die Umwelt führen.

Um dies im konkreten Einzelfall abwägen zu können, bedarf es zunächst eines Blickes auf den zugrundeliegenden Gefahrbegriff. Eine Gefahr liegt nach der gebräuchlichen Definition dann vor, wenn ein geschütztes Rechtsgut bei ungehindertem Ablauf eines Lebenssachverhalts mit hinreichender Wahrscheinlichkeit zu Schaden kommen wird. Die Anforderungen an die Wahrscheinlichkeit des Schadenseintrittes, die dabei zu stellen sind, hängen einerseits von dem Ausmaß des zu erwartenden Schadens, andererseits von der Hochrangigkeit des betroffenen Rechtsgutes ab. Über die Notwendigkeit einer bloßen **Gefahrenabwehr** hinaus ergibt sich noch das Gebot der **Risikovorsorge**. In Abgrenzung zur Gefahrenabwehr sind darunter Maßnahmen zu verstehen, welche sich nicht gegen erkannte, sondern auch gegen bloß vermutete oder denkbare Gefahren richten sollen. Wiederum ist das Maß der Vorsorge von der Erheblichkeit eines vermuteten Schadenseintrittes und der Hochrangigkeit der gefährdeten Güter abhängig.

Für den Rang der in Abwägung zu stellenden Güter gibt dabei schon der § 1 GenTG ein Indiz, wenn er Leben und Gesundheit des Menschen, Tiere, Pflanzen, die sonstige Umwelt und Sachgüter in der gegebenen Reihenfolge aufzählt. Diese Aufzählung ist auch hierarchisch zu verstehen und ist bei jeder Entscheidung über Genehmigung einer bestimmten Anlage oder Arbeit im Rahmen des GenTG einzubeziehen.

Die Notwendigkeit einer derart weitgehenden Differenzierung ergibt sich schon aus der Unterschiedlichkeit der durch das GenTG geregelten Sachverhalte. Die meisten

Organismen, mit denen man es im Rahmen der grünen Gentechnik zu tun hat, unterfallen den Vorkehrungen für die erste Sicherheitsstufe.

4.2.2 Freisetzung

Vorhaben zur Freisetzung unterliegen im deutschen Recht einem Genehmigungsvorbehalt. „Freisetzung“ meint dabei das bewusste und gewollte Ausbringen gentechnisch veränderter Organismen in die Umwelt, soweit noch keine Genehmigung für das Inverkehrbringen vorliegt. Maßgebliches Kriterium zur Abgrenzung vom Inverkehrbringen ist hierbei, dass bei der Freisetzung nicht auf einen Übertritt des Organismus bzw. Produktes in den Herrschaftsbereich einer anderen Person gezielt wird (so etwa durch Verkauf).

Anders als bei der Genehmigung von Anlagen oder Arbeiten wird bei der Freisetzung nicht zwischen verschiedenen Sicherheitsstufen differenziert; grundsätzlich bedarf jede Freisetzung der Genehmigung. Maßstab der Risikobewertung bei der Freisetzung ist die relative Gefährlichkeit des freigesetzten Organismus für Mensch und Umwelt. Dabei ist nach herrschender Ansicht eine Differenzierung vorzunehmen zwischen relativ leicht kontrollierbaren Organismen wie etwa transgenen Pflanzen und Tieren einerseits und Mikroorganismen andererseits, deren Ausbringung in die Umwelt als praktisch irreversibel gelten muss. Angesichts der Möglichkeit des vertikalen und horizontalen Gentransfers ist allerdings fraglich, ob diese Unterscheidung als valide gelten kann. Die zur Genehmigung einer Freisetzung notwendige Prüfung kann sich neben den genetisch veränderten Organismen selbst auch auf deren Nachkommen erstrecken. Dadurch soll der Möglichkeit Rechnung getragen werden, dass potenziell gefährdende Eigenschaften eines Organismus durch Besonderheiten des Erbganges erst in späteren Generationen zu Tage treten. Zuständige Stelle für die Genehmigung von Freisetzungen ist in Deutschland das Robert-Koch-Institut.

Die EU hat im Jahr 1999 eine neue Freisetzungsrichtlinie erlassen. Die Mitgliedstaaten haben die Richtlinie, soweit erforderlich, bis Ende des Jahres 2002 in nationales Recht umzusetzen. Unter anderem werden die Anforderungen für die Risikoanalyse heraufgesetzt und öffentliche Anhörungen zum festen Bestandteil der Genehmigungsverfahren gemacht. Zudem wird die Genehmigung auf einen Zeitraum von höchstens 10 Jahren befristet, der Anbau von gv Pflanzen soll in Zukunft von Untersuchungen auf mögliche Langzeitwirkungen begleitet werden.

Gleichzeitig mit der Verabschiedung der Richtlinie haben die Umweltminister ein de facto Moratorium zum Anbau und der Vermarktung transgener Pflanzen verabredet. Obwohl einem förmlichen Beschluss zu diesem Moratorium nur ein Teil der Mitglied-

staaten zugestimmt haben, ist zu erwarten, dass bis zum Inkrafttreten der Richtlinie Ende diesen Jahres europaweit keine gentechnisch veränderten Pflanzen zugelassen werden.

4.2.3 Inverkehrbringen

Das Inverkehrbringen eines Produktes meint die Abgabe an Dritte. Davon ist neben dem Verkauf auch die nicht entgeltliche Abgabe an Dritte erfasst, soweit sie nicht auf eine Weiterverarbeitung im Zuge gentechnischer Arbeiten zielt. Das GenTG macht das Inverkehrbringen eines Produktes, welches aus GVO besteht oder diese enthält, von einer Genehmigung durch das Robert-Koch-Institut abhängig.

Im Bereich der Lebensmittel ist die Rechtslage insofern schwierig, als die Vorschriften des GenTG sich hier mit der Novel-Food-Verordnung (NFV) überschneiden. Beide Normquellen machen Vorgaben für die Zulassung von Produkten und gehen von dem Prinzip eines Verbotes unter Genehmigungsvorbehalt aus. Unterschiedlich ist allerdings der rechtliche Anknüpfungspunkt. Während das GenTG auf das Vorhandensein von (*vermehrungsfähigen*) GVO in einem Produkt Bezug nimmt, gleich ob es sich dabei um ein Lebensmittel oder ein andersartiges Produkt (*Pflanzen, Mikroorganismen*) handelt, stellt die NFV lediglich auf Lebensmittel ab. Das Kriterium der NFV ist dabei die Neuartigkeit des in Frage stehenden Lebensmittels. Als neuartig wird ein Lebensmittel insbesondere auch betrachtet, wenn es GVO enthält oder aus diesen besteht. Darüber hinaus findet die Verordnung aber auch Anwendung auf Lebensmittel, welche aus GVO hergestellt wurden, diese aber nicht enthalten.

In diesem Punkt geht der Anwendungsbereich der NFV über den des GenTG hinaus. Soweit es die Voraussetzungen der Genehmigung betrifft, unterscheiden sich die benannten Normquellen nicht wesentlich. Tatsächlich ist das GenTG bezüglich der in die Abwägung einzubringenden Rechtsgüter insofern weiter gefasst, als dass es auch einen möglichen Schaden an Sachgütern mit einbezieht (§ 1 Abs. 1 GenTG). Das Verhältnis der NFV zu den EU Gentechnik-Richtlinien – mithin auch zum deutschen GenTG, in das diese eingeflossen sind – ist nicht eindeutig geklärt. Festzuhalten bleibt aber, dass die NFV direkt anwendbares Recht in den Mitgliedstaaten schafft und soweit sie über die Bestimmungen des GenTG hinausgeht, daher unmittelbar anzuwenden ist.

4.2.3.1 Abgrenzung zu anderen Rechtsgebieten

Die für eine Genehmigung eines neuartigen Lebensmittels notwendige Prüfung wird gemäß den Bestimmungen des GenTG dann überflüssig, wenn das zu prüfende Produkt bereits einem Zulassungsverfahren nach einem anderen Gesetz unterliegt. Dies gilt jedoch nur

„... soweit das Inverkehrbringen durch andere den Vorschriften dieses Gesetzes entsprechende Rechtsvorschriften geregelt ist, die die Zulässigkeit des Inverkehrbringens von einer entsprechenden Risikoabschätzung abhängig machen ...“.

So würde sich z.B. das Zulassungsverfahren für eine gentechnisch modifizierte Banane, welche einen Impfstoff enthält, nicht nach dem GenTG, sondern nach den Vorschriften des Arzneimittelrechtes richten. Auch die NFV sieht eine Reihe von Einschränkungen ihres Geltungsbereiches vor. So sind Zusatzstoffe, Aromen und Extraktionslösungsmittel von dem Genehmigungsverfahren ausgenommen. Für Aromen und Zusatzstoffe aus gentechnisch veränderten Organismen gilt nicht die NFV, sondern die gleichen lebensmittelrechtlichen Bestimmungen wie für konventionell hergestellte Stoffe.

4.2.3.2 Genehmigungsverfahren

Um die Genehmigung für das Inverkehrbringen eines neuartigen Lebensmittels zu erreichen, muss ein Antrag bei der national zuständigen Behörde eingereicht werden. In Deutschland ist die Zuständigkeit, aufgrund der Überschneidung von Gentechnik- und Lebensmittelrecht zwischen dem Robert-Koch-Institut und dem Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin (BgVV) angesiedelt. Voraussetzung für eine Zulassung nach dem GenTG ist, dass nach dem Stand der Wissenschaft im Verhältnis zum Zweck des Inverkehrbringens unvermeidbare schädliche Einwirkungen auf die in § 1 Nr. 1 GenTG bezeichneten Rechtsgüter [Leben und Gesundheit von Menschen, Tiere, Pflanzen sowie die sonstige Umwelt in ihrem Wirkungsgefüge und Sachgüter] nicht zu erwarten sind. Voraussetzungen für die Marktzulassung gemäß Novel-Food-Verordnung sind, dass das neuartige Lebensmittel

- keine Gefahr für den Verbraucher darstellt,
- keine Irreführung des Verbrauchers bewirkt,

- und sich von Lebensmitteln und Zutaten, die es ersetzen soll, nicht so unterscheidet, dass sein normaler Verzehr Ernährungsmängel für den Verbraucher mit sich brächte.

Eine Kopie des Antrages wird von der zuständigen Behörde an die EU-Kommission weitergeleitet. Sobald die notwendigen Antragsunterlagen vorliegen, erstellt die Behörde einen Bericht, in welchem das Vorliegen der Genehmigungsvoraussetzungen geprüft wird. Besonderes Gewicht liegt dabei auf der Evaluation eventueller gesundheitlicher Auswirkungen. Das Ergebnis wird wiederum an die EU-Kommission und von dort aus an die Mitgliedstaaten weitergeleitet. Wird innerhalb von 60 Tagen kein Einwand durch Kommission oder Mitgliedstaaten erhoben, so erfolgt die Marktzulassung. Für Lebensmittel und Lebensmittelzutaten, die aus GVO bestehen oder diese enthalten, ist das Genehmigungsverfahren obligatorisch. Nicht so jedoch für Lebensmittel oder Lebensmittelzutaten, welche aus GVO hergestellt wurden, ohne diese zu enthalten. Die NFV eröffnet hier abweichend von diesem Verfahrensgang in bestimmten Fällen auch die Möglichkeit einer bloßen Notifizierung. Dies setzt jedoch voraus, dass das entsprechende Lebensmittel nach den allgemeinen wissenschaftlichen Befunden oder gemäß einer Stellungnahmen der national zuständigen Stelle für Lebensmittelprüfung vergleichbaren konventionellen Produkten „wesentlich gleichwertig“ ist.

4.2.3.3 Substanzielle Äquivalenz

Das Konzept der wesentlichen Gleichwertigkeit oder „substanziellen Äquivalenz“ ist bei der Marktzulassung in mehrfacher Weise von Belang. Zunächst ist, wie dargestellt, für ein Produkt, für das derartige Gleichwertigkeit nachgewiesen werden kann, gemäß NFV eine Notifizierung hinreichend. Eine eigene Sicherheitsüberprüfung ist in diesem Fall nicht notwendig. Ein Produkt, welches aus GVO hergestellt wird, ohne diese zu enthalten – so etwa bestimmte Zutaten aus gentechnisch veränderten Pflanzen – wird im Regelfall dann als wesentlich gleichwertig angesehen, wenn weder die DNA, welche bei der gentechnischen Veränderung in die Pflanze eingebracht wurde, noch das daraus resultierende Protein in dem Endprodukt nachweisbar ist. Zusätzlich darf sich die stoffliche Zusammensetzung der Pflanze nicht nachteilig verändert haben.

Darüber hinaus hat der Begriff der substanziellen Äquivalenz auch im Genehmigungsverfahren eine Bedeutung. Je stärker die Abweichung von herkömmlichen Vergleichsprodukten ist, um so gründlicher müssen die Sicherheitsüberprüfungen ausfallen.

Das Konzept wurde ursprünglich zum Zwecke der Sicherheitsbewertung neuartiger Lebensmittel von verschiedenen internationalen Gremien (WHO, FAO, OECD) erarbeitet. Ausgehend von der Feststellung, dass auch in traditionellen Lebensmitteln anti-nutritive, zum Teil auch toxische Inhaltsstoffe vorhanden sind, kam man zu der Einschätzung, dass die Tauglichkeit eines neuartigen Lebensmittels nicht an einer Bewertung der einzelnen Inhaltsstoffe gemessen werden kann, sondern sich an der Frage orientieren muss, ob das Produkt *im Ganzen* gesundheitsschädlich ist oder nicht. Da für die Beantwortung dieser Frage bei einem neuen Produkt keine Langzeiterfahrungen zur Verfügung stehen und eine Erprobung an Versuchsobjekten aus offensichtlichen Gründen keine Option ist, muss die Frage der Gesundheitsverträglichkeit des Produktes an seiner Ähnlichkeit zu traditionellen Vergleichsprodukten gemessen werden, für die entsprechende Daten vorliegen.

Der Umfang der notwendigen Sicherheitsuntersuchungen orientiert sich nun daran, ob die Abweichung vom jeweiligen Vergleichsprodukt sich nur auf ein bestimmtes Merkmal bezieht („partielle substantielle Äquivalenz“), oder ob wesentliche Eigenschaften des Produktes verändert wurden, so dass keine substantielle Äquivalenz zu einem traditionellen Vergleichsprodukt vorliegt. In ersterem Fall bezieht sich die Sicherheitsüberprüfung nur auf die spezielle veränderte Eigenschaft, es kann zur Untersuchung auf erprobte Verfahren zurückgegriffen werden (toxikologische Untersuchungen). Als Beispiel für partielle substantielle Äquivalenz könnten Pflanzensorten angeführt werden, bei denen bestimmte agronomische Eigenschaften verändert wurden.

Schwieriger gestaltet sich die Sicherheitsbewertung bei Produkten, die keine substantielle Äquivalenz zu herkömmlichen Lebensmitteln aufweisen. Dies ist zumindest dann der Fall, wenn die Zusammensetzung wesentlicher Inhaltsstoffe des Lebensmittels verändert wurde (etwa höherer Fettanteil oder verdauungsfördernde Enzyme). Für die umfassende Sicherheitsbewertung solcher Produkte gibt es keine gesicherten Standardverfahren.

An dem Konzept der substantiellen Äquivalenz als Grundlage der Genehmigungsentscheidung, hauptsächlich aber an dem Verfahren der Sicherheitsüberprüfung, ist verschiedentlich Kritik laut geworden. Neben unterschiedlichen Auffassungen über Art und Umfang der verwendeten Untersuchungsmethoden bestehen vor allem Bedenken bezüglich der Behandlung von Sekundäreffekten. Es wird ins Feld geführt, dass die Veränderung eines einzelnen Merkmals einer Pflanze, wie etwa einer agronomischen Eigenschaft, durchaus ungeplante Auswirkungen auf den Gesamtstoffwechsel haben könne. Derartige Veränderungen seien nicht in jedem Fall vorhersehbar und könnten

somit nicht immer durch gezielte Verfahren aufgefunden werden. Umstritten ist darüber hinaus auch die Frage, wie breit die Datenbasis einer Sicherheitsuntersuchung sein muss, um die Gesundheitsverträglichkeit eines neuartigen Lebensmittels mit hinreichender Sicherheit zu beurteilen.

In jüngerer Vergangenheit wurden auch grundlegendere Zweifel an der Geeignetheit des Konzeptes der substanziellen Äquivalenz laut. Die *Royal Society of Canada* äußerte in einem Expertenbericht über die Zukunft der Lebensmittelsicherheit Bedenken, ob der Begriff überhaupt tauglich sei, eine Entscheidung über die Sicherheit eines neuartigen Lebensmittels zu treffen. Einerseits ergebe sich aus dem Zusammentreffen von „Neuheit“ und „Äquivalenz“ schon logisch eine Spannung. Die Messlatte der „Äquivalenz“ an die Sicherheit eines neuartigen Lebensmittels anzulegen führe gewissermaßen notwendig im Kreise. Ein Stoff, der einem etablierten Stoff äquivalent sei könne *per definitionem* nicht neuartig sein. Zudem wird die Vagheit des Konzeptes kritisiert. Substanzielle Äquivalenz lasse zumindest zwei unterschiedliche Interpretationen zu:

- Ein GVO ist äquivalent, wenn auf der Basis der in konventionellen Züchtungsverfahren üblichen Methoden festgestellt wird, dass *keine* Veränderung des Organismus außer derjenigen welche sich direkt auf das veränderte Gen zurückführen lassen, stattgefunden haben. Wenn sich zeigen lässt, dass Letztere harmlos sind, wird davon ausgegangen, dass der GVO keine schädlicheren Gesundheitsauswirkungen hat, als der konventionelle Vergleichsorganismus („decision threshold“-Interpretation).
- Ein GMO ist äquivalent, wenn durch gründliche Untersuchungen nachgewiesen wird, dass trotz aller Veränderungen die durch das neue Gen bewirkt wurden, der Organismus keine schädlicheren Auswirkungen auf Gesundheit oder Umwelt hat, als der konventionelle Widerpart („safety standard“-Interpretation).

Die *Royal Society* akzeptiert die Validität der „safetystandard“-Interpretation, äußert aber schwere Bedenken gegen die „decision threshold“-Interpretation. Letztlich komme es auf die Frage an, was als hinreichend gründliche Untersuchung der Effekte des GVO betrachtet werden könne.

Auch das Komitee zur Lebensmittelkennzeichnung des „Codex Alimentarius“ bemühte sich aufgrund von Bedenken einiger Länderdelegationen um eine Neufassung und inhaltliche Präzisierung des Konzeptes der Substanziellen Äquivalenz.

4.3 KENNZEICHNUNG

Die Markteinführung von Lebensmitteln und Lebensmittelbestandteilen, bei deren Produktion oder Verarbeitung gentechnische Verfahren eine Rolle spielen, wirft die Frage nach einer Kennzeichnung auf. Vereinfacht kann gesagt werden, dass als Anknüpfungspunkt für eine gesetzliche Kennzeichnungspflicht im Wesentlichen zwei Rechtsgüter in Frage kommen:

- das Recht der Konsumenten auf Leben und körperliche Unversehrtheit
- der Anspruch der Verbraucher auf korrekte und umfassende Information.

Soweit die Gefahr bestünde, dass das Grundrecht auf körperliche Unversehrtheit durch den Verzehr von Lebensmitteln, die GVO enthalten, betroffen ist, ist aufgrund der Schutzpflicht des Staates gegenüber seinen Bürgern die Kennzeichnung derartiger Lebensmittel nicht bloß wünschenswert, es ist aus verfassungsrechtlichen Gründen geboten.

Tatsache ist aber, dass der Staat seiner Schutzpflicht im deutschen Recht schon durch die Ausgestaltung der oben erläuterten Gesetzgebung zur Zulassung von Lebensmitteln nachkommt. Im Rahmen dieser Rechtslage ist es bei rechtmäßigem Lauf des Verfahrens nicht zu erwarten, dass von einem zugelassenen Lebensmittel eine Gefahr für die Gesundheit der Konsumenten ausgeht. Insofern kann eine verfassungsmäßige Pflicht zum Erlass von Kennzeichnungsregelungen nicht Platz greifen.

Anders stellt sich die Rechtslage jedoch mit Blick auf die Situation der Allergiker dar. Die mögliche Bedrohung für die Gesundheit dieser Bevölkerungsgruppe geht nicht von einer allgemeinen Gesundheitsunverträglichkeit oder gar Toxizität der neuartigen Lebensmittel aus. Statt dessen ist es die Möglichkeit, dass ein gegebenes Lebensmittel Inhaltsstoffe oder Bestandteile enthält, mit deren Vorhandensein unter normalen Umständen nicht zu rechnen ist, die eine Gefahr für Allergiker darstellt. Zur Verdeutlichung betrachte man den hypothetischen Fall einer Apfelsorte, in deren Erbgut mittels gentechnischer Veränderung die Information zur Synthese eines Fischproteins eingebracht wurde. Geht man davon aus, dass die zuständige Behörde im Rahmen der Sicherheitsbewertung keine allgemeine Gesundheitsgefahr feststellen kann und die Genehmigung zur Markteinführung daher erteilt wird, so könnte dieses Produkt unbenommen seiner allgemeinen Unbedenklichkeit doch zu allergischen Reaktionen bei Personen mit einer Allergie gegen Fischeiweiße führen. Schon aus diesem Grund ergibt sich aus der staatlichen Fürsorgepflicht die Notwendigkeit zum Erlass entsprechender Kennzeichnungsregelungen.

Ob darüber hinaus das Informationsrecht des Verbrauchers hinreichend stark ist, um einen **verfassungsrechtlichen** Zwang zum Erlass von Kennzeichnungsnormen zu begründen, kann hier dahin stehen. Durch die NFV ist jedenfalls die Kennzeichnung bestimmter Lebensmittel bezüglich der Verwendung gentechnischer Verfahren bei ihrer Herstellung oder Verarbeitung zu geltendem Recht geworden. Der Umfang der Kennzeichnungspflicht und die auftretenden Schwierigkeiten und Streitpunkte sollen im Folgenden kurz umrissen werden.

4.3.1 Rechtsgründe einer Kennzeichnungspflicht

Die Kennzeichnung soll den Verbraucher über alle Merkmale oder Eigenschaften – so etwa Zusammensetzung, Nährwert oder Verwendungszweck – unterrichten, die dazu führen, dass ein neuartiges Lebensmittel einem gebräuchlichen Lebensmittel nicht mehr gleichwertig ist. Insofern spielt auch für den Problembereich der Kennzeichnung das Konzept der Gleichwertigkeit eine entscheidende Rolle.

Weichen die Eigenschaften des Lebensmittels nur in einem Punkt von denen eines vergleichbaren gebräuchlichen Lebensmittels ab, so muss gemäß NFV die Kennzeichnung hinweisen auf

- Abweichung bezüglich des Gehaltes an Stoffen, welche die Gesundheit bestimmter Bevölkerungsgruppen beeinflussen könnten
- Abweichungen bezüglich des Vorhandenseins von Stoffen gegenüber denen ethische Vorbehalte bestehen könnten
- das Vorhandensein von GVO gemäß der Freisetzungsrichtlinie.

Durch den ersten Punkt wird den spezifischen Interessen von Allergikern an einer umfassenden Kennzeichnung Rechnung getragen. Von besonderem Interesse ist jedoch auch der Verweis auf ethische Bedenken gegenüber bestimmten Inhaltsstoffen. Hierdurch gewinnt die Diskussion um die Kennzeichnung eine Dimension, welche über den Rahmen bloßen Gesundheitsschutzes hinausragt. Es ist das Moment des „ethischen Konsums“ angesprochen und somit verdeutlicht, dass das Recht des Verbrauchers auf umfassende Information sich nicht auf die Frage der Lebensmittelsicherheit allein reduzieren lässt. Die Kennzeichnung soll eben auch den Vegetarier davor schützen, unwissentlich Produkte tierischen Ursprungs zu sich zu nehmen.

Wenn die Abweichung eines Produktes von herkömmlichen Lebensmitteln so weitreichend ist, dass es nicht möglich ist, einen Vergleich zu ziehen, so muss dafür gesorgt werden, dass der Verbraucher in angemessener Weise informiert wird. Die

dazu notwendigen Spezifikationen werden besonderen Durchführungsbestimmungen zur NFV überlassen.

Bezieht man die Regelungen zur Kennzeichnung neuartiger Lebensmittel auf die Grüne Gentechnik, so gibt sich nach der NFV folgendes Bild:

Kennzeichnungspflichtig sind in jedem Fall

- Produkte die selbst GVO sind, wie etwa die Flavr-Savr-Tomate
- Produkte, die GVO enthalten, so z.B. Weizenbier mit gentechnisch veränderter Hefe.

Der Kennzeichnungspflicht unterliegen auch Produkte, die aus GVO gewonnen werden, diese aber nicht enthalten, soweit Erbmaterial oder Proteine des GVO im Produkt nachweisbar ist. Tortillachips, welche aus Mehl von gv-Mais hergestellt werden, müssten also gekennzeichnet werden, wenn das veränderte Erbgut oder das resultierende Protein in den Chips nachweisbar ist.

Schließlich müssen auch solche Produkte gekennzeichnet werden, die aus GVO stammen, wenn sich deren Zusammensetzung von der Zusammensetzung herkömmlicher Produkte unterscheidet. Betroffen sind hierdurch unter anderem Sojaöle mit verändertem Fettsäuregehalt.

Für die Kennzeichnung von Aromen und Zusatzstoffen gilt seit dem Jahr 2000 eine eigene Verordnung („Zusatzstoffverordnung“ 50/2000). Auch hier ist die Notwendigkeit einer Kennzeichnung von der Nachweisbarkeit des GVO im jeweiligen Produkt abhängig.

4.3.2 Produkt- und verfahrensbezogene Kennzeichnung

Die NFV verfolgt bei der Kennzeichnung einen produktbezogenen Ansatz. Entscheidend für die Kennzeichnungspflicht ist dabei die Nachweisbarkeit von GVO oder eine Veränderung der Zusammensetzung des Endproduktes. Gegen dieses Konzept wird verschiedentlich die Alternative einer verfahrensbezogenen Kennzeichnung ins Feld geführt. Ausschlaggebend soll danach nicht mehr der Gehalt an rekombinanter DNA oder entsprechenden Proteinen im jeweiligen Lebensmittel sein, statt dessen soll darauf abgestellt werden, ob im Laufe der Herstellung und Verarbeitung eines Produktes gentechnische Verfahren zum Einsatz kommen. Ebensolches soll auch für die Zutaten gelten, welche in das Endprodukt eingehen. Demnach würden Tortillachips, welche aus gv-Mais hergestellt werden, der Kennzeichnungspflicht unterliegen, unabhängig davon ob das veränderte Erbgut in den Chips nachweisbar ist oder nicht.

Der Vorteil einer derartigen Herangehensweise, so die Befürworter, liegt darin, dass auf diese Weise die Unwägbarkeiten des Nachweisverfahrens umgangen würden. Die Möglichkeit, den Gehalt an GVO in einem Lebensmittel zu bestimmen, hängen von dem jeweiligen Stand der Nachweismethoden ab. So ist es nach der bisherigen Regelung möglich, dass die Kennzeichnungspflicht für bestimmte Produkte nicht deshalb entfällt, weil sie keine GVO enthalten, sondern weil die technischen Möglichkeiten zur Feststellung unzureichend sind.

Eine Kennzeichnung dagegen, welche sich an dem Gesamtprozess der Herstellung orientiert, soll die Möglichkeit bieten, die Verbraucher umfassend über den Einsatz gentechnischer Verfahren bei der Erzeugung von Lebensmitteln zu unterrichten. Diese können dann ihre Kaufentscheidung auf eine breitestmögliche Informationsbasis stützen.

Der Verfahrensansatz, so argumentieren die Befürworter, eröffnet mit Blick auf die Verbraucherautonomie und die Möglichkeit des ethischen Konsums völlig neue Handlungsfelder für das Konsumentenverhalten.

4.3.3 Schwellenwertproblematik

Die Kennzeichnung zielt auf eine Unterrichtung des Verbrauchers über Art und Zusammensetzung der auf dem Markt erhältlichen Lebensmittel. Bezüglich der Gentechnik geht es dabei um eine Aufklärung über die im Herstellungsprozess eingebrachten GVO und die Anwendung gentechnischer Verfahren. Neben dem gezielten Einsatz derartiger Techniken besteht aber auch die Möglichkeit, dass GVO bzw. GVO-Bestandteile unbeabsichtigt in ein Produkt gelangen. Bei Lebensmitteln, welche nicht unter den kontrollierten Bedingungen eines Labors erzeugt werden, kann die Kontamination durch genetisch veränderte DNS oder Proteine praktisch kaum ausgeschlossen werden. Dieses Problem wird um so bedenklicher, je mehr gentechnisch veränderte Nutzpflanzen zugelassen und angebaut werden. Der Eintrag entsprechenden Materials – z.B. durch Pollenflug – in an sich nicht gentechnisch veränderte Pflanzen ließe sich allenfalls durch Einrichtung von Sicherheitszonen, in denen keine gentechnisch veränderten Pflanzen angebaut werden, verhindern. Dieses Konzept unterliegt jedoch starken rechtlichen Bedenken, seine Effektivität ist auch aus wissenschaftlicher Sicht fragwürdig.

Fraglich ist daher, ob auch solche Produkte von der Kennzeichnungspflicht betroffen sein sollen, bei denen das Vorhandensein von veränderter DNS nicht auf dem gezielten Einsatz gentechnischer Verfahren, sondern auf unbeabsichtigter Verunreinigung beruht. Die EU hat mit Verordnung vom 10. Januar 2000 einen Schwellenwert von 1%

für den Gehalt zufällig eingetragenen Materials aus gv-Mais oder -Soja festgelegt. Solange eine Lebensmittelzutat zu 1% oder weniger aus derartigem Material besteht, entfällt die Kennzeichnungspflicht. Voraussetzung ist dabei allerdings, dass der Hersteller nachweisen kann, dass geeignete Maßnahmen ergriffen wurden, um zu vermeiden, dass gv-Mais und -Soja bzw. daraus hergestellte Produkte als Ausgangsprodukt verwendet wurden. Unklar ist in diesem Zusammenhang noch, welchen Anforderungen ein derartiger Nachweis genügen muss. Jedenfalls dürfte ein Verweis auf die Anbausituation oder den Anbau von gv-Pflanzen im außereuropäischen Bereich und die damit einher gehenden Kontaminationsrisiken nicht ausreichen.

Schwellenwerte spielen auch bei der Diskussion um die Reinheit von Saatgut eine Rolle. Eine Höchstgrenze für die Beimischung von GVO-Anteilen in konventionellem Saatgut ist bisher nicht gesetzlich normiert. Die Kommission hat im Weißbuch für Lebensmittelsicherheit angekündigt, entsprechende Schwellenwerte gesetzlich festzulegen. Ein erster Vorschlag wurde inzwischen vorgelegt.

Dabei soll der Schwellenwert für Beimischungen vom Stand des Zulassungsverfahrens abhängen. Sorten (Saatgut oder Samen), welche noch nicht für das Inverkehrbringen gemäß Freisetzungsrichtlinie zugelassen sind, sollen danach nicht einmal in kleinsten Spuren in konventionellem Saatgut enthalten sein dürfen (Schwellenwert 0%). Für GVO-Pflanzen, deren Anbau in der EU genehmigt ist, soll dagegen je nach Pflanzenart eine Höchstgrenze von 0,3 - 0,5 % gelten.

Gegen diese angekündigten Regelungen hat sich von Seiten der Produzenten Widerspruch erhoben. Saatgut, so wird eingewendet, wird in einem offenen Ökosystem produziert. Einträge von fremdem Material könne daher selbst bei verschärften Sicherheitsvorkehrungen nicht ausgeschlossen werden. Hundertprozentige Sortenreinheit sei daher nicht möglich.

Insgesamt kann gesagt werden, dass die Diskussion um Schwellenwerte noch nicht ausgestanden ist. Während die Industrie unter Verweis auf technische und praktische Probleme eine Lockerung fordert, wird von verschiedenen Interessenverbänden gefordert, die Schwellenwerteregulungen noch zu verschärfen.

4.3.4 Negativkennzeichnung

In den Erwägungsgründen der NFV wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es dem Lieferanten eines neuartigen Lebensmittels freisteht, den Konsumenten darauf hinzuweisen, dass sein Produkt nicht unter den Anwendungsbereich der Verordnung fällt. Dies eröffnet die Möglichkeit einer Negativkennzeichnung von Lebensmitteln.

Über die Art der Kennzeichnung, die hier zulässig ist, und über die rechtlichen Voraussetzungen derselben schweigt sich die NFV allerdings aus. Um eine Regelungslücke und daraus eventuell resultierende Verunsicherung oder gar Irreführung des Verbrauchers zu vermeiden, hat der deutsche Gesetzgeber Form und Voraussetzungen einer Negativkennzeichnung mittels Rechtsverordnung geregelt. Demnach ist eine derartige Kennzeichnung zulässig, wenn folgende Voraussetzungen erfüllt sind:

- Das Lebensmittel besteht weder aus GVO, noch enthält es diese.
- Das Lebensmittel ist nicht unter Verwendung von Stoffen hergestellt worden, die aus GVO bestehen oder aus GVO hergestellt sind, und bei der Herstellung der verwendeten Stoffe sind keine aus genetisch veränderten Organismen gewonnenen technischen Hilfsstoffe einschließlich Extraktionslösungsmittel und Enzyme eingesetzt worden.
- Einem Tier, von dem das Lebensmittel gewonnen worden ist, sind keine Futtermittel oder Futtermittelzusatzstoffe oder Arzneimittel im Sinne des § 2 des Arzneimittelgesetzes verabreicht worden, die mit Hilfe gentechnischer Verfahren hergestellt worden sind.

Der Negativkennzeichnung steht nicht entgegen, wenn Bestandteile aus gentechnischen Veränderungen unabsichtlich und in unvermeidlichen Spuren in das Produkt gelangt sind. Auch die Gabe gentechnisch erzeugter Arzneimittel an Tiere, aus denen das Lebensmittel gewonnen wurde, verhindert die Negativkennzeichnung nicht, soweit dringende therapeutische oder prophylaktische Gründe die Verabreichung indizieren und kein gleich geeignetes konventionelles Arzneimittel zur Verfügung steht.

Da derartige Spuren in den gekennzeichneten Lebensmitteln vorhanden sein können, ist die Kennzeichnung „gentechnikfrei“ nicht zulässig. Allein zulässig ist die Kennzeichnung „Ohne Gentechnik“. Im Falle einer Negativkennzeichnung trägt der Hersteller die Beweislast für deren Richtigkeit. Insbesondere bei komplexen Produkten oder Produktionsverfahren kann sich dies als ausgesprochen schwierig erweisen.

Bis dato sind kaum Produkte am Markt, die den Hinweis „Ohne Gentechnik“ tragen.

4.4 NEUORDNUNG DER KENNZEICHNUNG UND ZULASSUNG

Mit Beschluss vom 21. Juli 2001 hat die EU-Kommission einen Vorschlag zur Neuordnung des Lebens- und Futtermittelrechtes vorgelegt. Die angestrebte Verordnung gliedert die Regeln zur Zulassung und Kennzeichnung gentechnisch hergestellter Lebensmittel aus dem Geltungsbereich der NFV aus. Bei gleichzeitiger Weitergeltung

der NFV für nicht genetisch veränderte neuartige Lebensmittel soll hier ein einheitlicher und klarer gesetzlicher Rahmen für die Verwendung von GVO bei der Lebensmittelproduktion geschaffen werden.

Zugleich wird in Anknüpfung an die Erfahrungen der letzten Jahre klargestellt, dass die Zulassung und Kontrolle auch der Futtermittelproduktion einen entscheidenden Beitrag zur Gewährleistung der Lebensmittelsicherheit leistet. Demzufolge soll bei der Zulassung von Lebens- und Futtermitteln ein einheitliches Verfahren gelten. Ein Produkt, bei dem abzusehen ist, dass es sowohl als Lebens- als auch als Futtermittel verwendet wird, muss bei der Zulassung die Kriterien für beide Kategorien erfüllen.

Das bisher übliche zweigliedrige Zulassungsverfahren wird aufgegeben. Die Anträge werden künftig nicht mehr bei einer Behörde des jeweiligen Mitgliedstaates, sondern direkt bei der Europäische Lebensmittelbehörde eingereicht. Diese Institution ist durch eine bereits geltende Verordnung vom 28. Januar 2002 eingerichtet worden und soll die Aufgaben übernehmen, welche bisher von den national zuständigen Stellen und dem Ständigen Lebensmittelausschuss wahrgenommen wurden. Um ein größeres Maß an Verfahrenstransparenz zu erreichen, werden künftig alle Zulassungsanträge und die zugehörigen Stellungnahmen der Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Es besteht die Möglichkeit, binnen einer 30-Tages Frist nach der Veröffentlichung bei der Kommission Stellung zu nehmen. Abgeschafft wird das Notifizierungsverfahren, das in der Vergangenheit häufig der Kritik ausgesetzt war. Grundsätzlich muss jedes Produkt, das in den Anwendungsbereich der Verordnung fällt, ein Genehmigungsverfahren durchlaufen.

Im Bereich der Kennzeichnung wird von dem bisher üblichen Nachweisprinzip abgerückt. Entscheidend ist dann nicht mehr die Nachweisbarkeit von GVO im Endprodukt. Statt dessen soll in Zukunft jedes Lebensmittel, welches der Zulassung bedarf, auch gekennzeichnet werden. Hierin wird eine Abwendung von der bisherigen Praxis der produktbezogenen hin zu einer verfahrensbezogenen Kennzeichnung sichtbar. Als flankierende Maßnahme sollen Bestimmungen zur Rückverfolgbarkeit der Produkte und Produktbestandteile erlassen werden. Dies soll die Entscheidung über die Notwendigkeit der Kennzeichnung erleichtern:

„Wo analytische Verfahren fehlen, kann die Genauigkeit und der Wahrheitsgehalt der Informationen auf der Etikettierung durch ein wirksames Rückverfolgungssystem geprüft werden.“

Zugleich eröffnet ein System der Dokumentation die Möglichkeit, in Notfällen schnell zu reagieren und etwaige Gefahrenquellen auszumachen. Aus Gründen der Praktikabilität wird am Schwellenwert für zufällige Verunreinigungen festgehalten und diese Rege-

lung von gv-Mais und -Soja auf alle gentechnisch veränderten Lebensmittel ausgedehnt. Auch in Zukunft soll also eine zufällige Verunreinigung gv-Material von bis zu 1% keine Kennzeichnungspflicht auslösen. Zusätzlich soll ein Schwellenwert von 1% festgelegt werden, bis zu dem unbeabsichtigte Bestandteile von GVO, die in der EU noch keine Genehmigung haben, in Importwaren toleriert werden und nicht unter die Genehmigungspflicht fallen. Voraussetzung dafür ist, dass eine positive Bewertung der Wissenschaftlichen Ausschüsse der EU oder der Europäischen Lebensmittelbehörde für diese GVO vorliegt. Der Vorschlag sieht die Möglichkeit vor, durch Verfahren vor dem zuständigen Ausschuss niedrigere Schwellenwerte festzulegen.

Anders als bisher werden nach der neuen Verordnung nur noch auf höchstens 10 Jahre befristete Zulassungen erteilt. Die Zulassung kann nach Ablauf und einer erneuten Evaluation verlängert werden. Die Befristung bezieht sich auch auf Produkte, welche vor Inkrafttreten dieser Verordnung genehmigt wurden.

Der Kommissionsentwurf bedarf der Zustimmung durch Ministerrat und Europäisches Parlament. Sollte beides erfolgen, würde die Verordnung ein halbes Jahr nach der Veröffentlichung im Amtsblatt rechtskräftig. Angesichts der verschärften Anforderungen für die Zulassung gentechnisch veränderter Produkte ist mit Kritik betroffener Wirtschaftszweige zu rechnen. Die Systeme der Dokumentation und Rückverfolgung erfordern einen hohen Aufwand, um der ihnen zugedachten Aufgabe gerecht werden zu können. Zudem muss darauf verwiesen werden, dass die Verordnungen die Probleme nur für den innereuropäischen Raum regelt. Das zähe Fortschreiten der Arbeit am *Codex-Alimentarius* lässt die Verabschiedung wirksamer internationaler Vereinbarungen bis auf weiteres als eine eher unrealistische Perspektive erscheinen.

Die angestrebten oder bereits erfolgten Neuregelungen im Bereich des europäischen Rechtes – so auch die neue Freisetzungsrichtlinie – werfen ein deutliches Schlaglicht auf die Wertung verschiedener Schutzinteressen durch den europäischen Gesetzgeber. In der Regelungsgeschichte – von den frühen Kennzeichnungsvorschriften über die NFV bis zur aktuellen Vorlage der Kommission – zeichnet sich eine Entwicklungslinie von hauptsächlich binnenmarktlichen Harmonisierungsinteressen hin zu immer stärker an Umwelt- und Verbraucherschutz orientierten Rechtsbegründungsgedanken ab. Dies deutet sich schon in den in Art. 1 der Verordnungsvorlage aufgezählten Zielbestimmungen an. Dort werden neben Leben und Gesundheit der Menschen auch Gesundheit und Wohlergehen der Tiere, Umweltbelange und Verbraucherinteressen genannt.

In der Abfolge der Rechtssetzungsakte der EU bildet sich auch ein veränderter Risikobegriff ab. Das Vorsorgeprinzip des deutschen Rechtes, welches in den Begrün-

dungen zu den verschiedenen Verordnungen zunehmend Platz greift, umfasst neben bekannten Gefahren auch potenzielle oder bloß denkbare Gefahren. Diese Unterscheidung entspricht der handlungstheoretischen Differenz zwischen Handeln unter Risiko (bekannte Ergebnisse mit quantifizierbaren Eintrittswahrscheinlichkeiten) und Handeln unter Unsicherheit (die möglichen Konsequenzen und ihre Wahrscheinlichkeit sind nicht bekannt).

Das Weißbuch zur Lebensmittelsicherheit betont zudem die Trennung von Risikobewertung einerseits und Risikomanagement andererseits. Während die Risikobewertung Angelegenheit von wissenschaftlichen Expertengremien sei, falle die Entscheidung über den Umgang mit den festgestellten Risiken den rechtsetzenden Gremien zu. Die Anbindung dieser Organe an einen politischen Diskurs verdeutlicht, dass es bei deren Entscheidung nicht allein um objektivierbare Risiken sondern eben auch um subjektive Risikowahrnehmungen der betroffenen Bürger gehen kann.

Hervorgehoben wird auch die Wichtigkeit der Risikokommunikation. Über das Instrument der Risikokommunikation soll die Rückanbindung an das Sicherheitsempfinden des Verbrauchers gewährleistet werden. Indem die Befunde der Risikobewertung öffentlich zugänglich gemacht werden sollen „... unberechtigter Befürchtungen hinsichtlich der Lebensmittelsicherheit eingedämmt ...“ werden.

4.5 HAFTUNG

Neben den Vorschriften zur Genehmigung und Kennzeichnung gentechnisch veränderter Lebensmittel kommt auch der Frage der privatrechtlichen Haftung für etwaige Schäden eine gewisse Bedeutung zu. Das deutsche Recht kennt in den §§ 32 ff. des GenTG eine eigene Anspruchsgrundlage bezüglich der Haftung für Schäden, die infolge der Eigenschaften von GVO entstehen. Im internationalen Rahmen gibt es hingegen noch keine verbindlichen Regelungen, und Bestrebungen in diese Richtung sind bisher allenfalls ansatzweise verwirklicht. Dies ist insbesondere deshalb problematisch, weil die potenziellen Schäden, welche durch vermehrungsfähiges Material hervorgerufen werden können, an der Landesgrenze nicht halt machen. Daher erscheint mit Blick auf die besondere Gefahrensituation, eine eigene Regelung der Haftung durchaus wünschenswert. Der Verweis auf einschlägige zivilrechtliche Haftungsnormen allgemeinerer Natur kann hier angesichts des Ausmaßes und der Reichweite denkbarer Schadensszenarien nicht befriedigen. Immer dann, wenn ein Schaden durch Sachverhalte grenzübergreifender Natur verursacht wird, besteht daher

die Möglichkeit, dass das anzuwendende nationale Recht die Schadenssituation unzureichend löst.

4.5.1 Die deutsche Rechtslage

Die §§ 32 ff. GenTG verankern eine eigene Haftung für Schäden, „die infolge von Eigenschaften eines Organismus entstehen, die auf gentechnischen Arbeiten beruhen“. Bemerkenswert ist diese Vorschrift insofern, als hier eine Abweichung von dem ansonsten im bürgerlichen Recht vorherrschenden Prinzip der Schuldhaftung vorliegt. Statt dessen wird hier eine Gefährdungshaftung für Schäden an Leben, Körper und Gesundheit von Personen sowie Sachschäden normiert. Der Ersatzanspruch ist also nicht von einem zurechenbaren Verschulden des Betreibers abhängig. Vielmehr tritt die Haftung schon dann ein, wenn zwischen den gentechnischen Arbeiten bzw. den Eigenschaften von Organismen, welche daraus hervorgegangen sind, und dem eingetretenen Schaden ein kausaler Zusammenhang besteht. Der Gesetzgeber will durch diese Vorschrift der besonderen Gefahreneigung gentechnischer Arbeiten gerecht werden. Der Anwender gentechnischer Verfahren erzeugt durch sein Tun eine Gefahr, welche sowohl bezüglich des sachlichen als auch des persönlichen Gefahrenhorizontes schwer abzugrenzen ist. Das Verhalten von GVO und ihre potenzielle Auswirkung auf die natürliche Erbsubstanz sind nach dem heutigen Stand der Wissenschaft nicht mit letzter Sicherheit zu prognostizieren. Dies gilt auch für das Maß an Sicherheitsvorkehrungen, das zureichend ist, um die Aktualisierung der Gefahr auszuschließen. Daher könnte eine Verschuldenshaftung des Betreibers (immer zu beurteilen aus einer Ex-post-Perspektive) der besonderen Sachlage nicht gerecht werden. Auch eine vorherige öffentlich-rechtliche Genehmigung der Anlage oder Arbeiten, welche für den Schadenseintritt ursächlich wurden, wirkt nicht haftungsaus-schließend.

Problematisch kann sich die Situation allerdings hinsichtlich der Kausalität darstellen. Während es im Fall des Austrittes gentechnisch modifizierter Krankheitserreger aus juristischer Sicht keine Schwierigkeit darstellen sollte, die Kausalität dieser Erreger für den Ausbruch z.B. einer Ebolaepidemie nachzuweisen, ist zu erwarten, dass sich der Nachweis zwischen z.B. einer Allergie und einem gv-Lebensmittel komplizierter gestaltet. Angesichts der bisher nicht vollständig erforschten biologischen und medizinischen Zusammenhänge einerseits und der im Allgemeinen multikausalen Wirkungsgefüge in derartigen Situationen andererseits, könnte die Beweislast für den Geschädigten ein schwerwiegendes Hindernis darstellen. Ein ähnliches Problem ist in der Rechtsprechungsgeschichte schon beim Contergan-Fall aufgetreten.

Die spezifische Gefährdungshaftung des GenTG ist auf eine Gesamtsumme von 160 Millionen DM (pro Schadensfall, nicht pro Geschädigtem) begrenzt. Hierdurch soll verhindert werden, dass den Betreibern gentechnischer Anlagen ein wirtschaftlich nicht tragbares Haftungsrisiko auferlegt wird. Ersatzansprüche, welche über die Gesamtsumme pro Schadensfall hinausgehen, sowie Ansprüche auf Schmerzensgeld werden durch die Vorschriften des GenTG nicht verdrängt, sondern können weiterhin nach den allgemeinen Grundsätzen des bürgerlichen Rechtes geltend gemacht werden. Für derartige Ansprüche gilt allerdings wieder das Verschuldensprinzip.

4.5.2 Internationale Aspekte

Sobald bei einem Schadensfall Aspekte einer territorialen oder personalen Grenzüberschreitung vorliegen, verkompliziert sich die Rechtslage wesentlich. Im Falle einer Klage hat der angerufenen Gericht nach den Regelungen des Internationalen Privatrechts festzustellen, welches nationale Recht Anwendung findet. Wenn also z.B. ein deutscher Staatsbürger in Spanien durch GVO einer Firma mit Unternehmenssitz in den USA geschädigt würde, so wäre zunächst durch das angerufene Gericht abzuklären, welches materielle Recht (deutsches, spanisches oder US amerikanisches) zur Entscheidung der Schadensersatzklage herangezogen werden muss. Stellt es sich heraus, dass das Normsystem des angesprochenen nationalen Rechtes keine eigenen Haftungsregeln für Schäden durch GVO enthält, so würde eine unklare Rechtslage vorliegen. Eingedenk dieser Sachlage hatte schon die *United Nations Conference on Environment and Development* 1992 in Artikel 13 der *Rio Declaration on Environment and Development* die Staaten aufgefordert, nationale Regelungen für die privatrechtliche Haftung bei Verschmutzung und Umweltschäden zu erlassen. Die Deklaration hat jedoch keinerlei rechtsverbindlichen Status.

Unter Rekurs auf die Rio-Deklaration wurde durch den Europarat 1993 die *Convention on Civil Liability for Damage resulting from Activities Dangerous to the Environment* vorgelegt.

Die Konvention schreibt im Wesentlichen eine privatrechtliche (Gefährdungs-)Haftung für gefährliche Aktivitäten und Substanzen fest. Neben Anderem werden auch GVO und die Arbeit an und mit GVO dem zugerechnet. Die Konvention setzt keine Haftungshöchstgrenze fest, nimmt allerdings bestimmte Aktivitäten und Situationen von ihrem Geltungsbereich aus. Die Konvention tritt in Kraft, wenn mindestens drei der Signatarstaaten ratifiziert haben. Bis dato hat noch keiner der neun Unterzeichnerstaaten ratifiziert. Weder die Bundesrepublik noch die Europäische Union haben die Konvention bisher gezeichnet.

Die EU Kommission hat im Jahr 2000 ein Weißbuch zur Umwelthaftung vorgelegt. Unter anderem wird eine verschuldensunabhängige Haftung für Schäden durch inhärent gefährliche Tätigkeiten, ein verbesserter Zugang zu den Gerichten in Umweltschadensfällen und eine begrenzte Haftung für Schäden an der biologischen Vielfalt vorgeschlagen. Ein entsprechender Richtlinienentwurf der Kommission liegt vor.

4.6 PATENTRECHT

Unter dem Stichwort „Patent auf Leben“ ist ein weiterer Bereich angesprochen, der in Deutschland und weltweit kontrovers diskutiert wird. Die Debatte entzündete sich vor allem an einer Reihe umstrittener Entscheidungen des *Europäischen Patentamtes* (EPA). Außer gegen den Fall der Krebsmaus von 1992 wurde auch gegen die Möglichkeit, transgene Pflanzen patentrechtlich schützen zu lassen, Widerspruch laut.

Gegen derartige Patente wird vorgebracht, dass die besondere Würde, ja Heiligkeit des Lebens es verbiete, es zum Gegenstand eines „Eigentumsrechtes“ zu machen. In Frage gestellt wird auch, ob Erbmaterial überhaupt den besonderen Schutz genießen darf, welches das Recht des geistigen Eigentums gewährt. DNS-Sequenzen werden nicht erfunden, sondern allenfalls entdeckt.

Neben derart grundsätzlichen Erwägungen spielen auch die sozio-ökonomischen Auswirkungen des Patentschutzes eine nicht unbedeutende Rolle in der Kontroverse. Der Patentschutz, so ist verschiedentlich zu lesen, stelle entgegen der eigentlichen Intention dieses Rechtsinstitutes, Forschung und Entwicklung durch Offenlegung der Erfindungen zu fördern, eher ein Hindernis für die wissenschaftliche Entwicklung dar. Zudem werden Befürchtungen laut, der infrastrukturelle Vorteil großer Konzerne bei der Entwicklung führe in Verbindung mit dem Patentschutz zu einer Verdrängung kleiner und mittlerer Unternehmen und verstärke die ökonomische Abhängigkeit der Entwicklungsländer vom Know-how der Industrieländer.

Die Kontroverse über diese Fragestellungen leidet häufig darunter, dass angesichts der unübersichtlichen Rechtslage Inhalt und rechtliche Wirkung von Patentrechten nicht hinreichend klar werden. Daher soll im Folgenden der Versuch unternommen werden einen kurzen Überblick über die Grundzüge des Rechtes am geistigen Eigentums zu liefern. Wegen der höchst unterschiedlichen Ausgestaltung dieses Gebietes in den verschiedenen Rechtskreisen soll hier in erster Linie die Situation in Deutschland und Europa behandelt werden. Es sei allerdings angemerkt, dass die Bewertung vieler Einzelfragen unter den Rahmenbedingungen anderer Systeme eine differenzierte Betrachtung verlangt. So hat etwa der Ideenschutz (Begriff der Erfindung) im eher

pragmatisch ausgerichteten *Common Law* und *Case Law*⁶ einen anderen Stellenwert als in der kontinentaleuropäischen Rechtstradition. Auch in Bezug auf Neuheitsschonfristen divergieren die Regelungen von Land zu Land.

Bei der Patentanmeldung durch einen Erfinder muss zunächst unterschieden werden nach der Reichweite der Schutzwirkung. Neben einem deutschen und einem europäischen Patent⁷ kann auch ein internationales Patent beantragt werden. Voraussetzungen und Verfahrensregeln für den Antrag auf ein internationales Patent liefert der *Vertrag über die internationale Zusammenarbeit auf dem Gebiet des Patentwesens* (PCT). Ein internationales Patent wird nach einer Prüfung auf die Zulässigkeit des Antrages durch das zuständige Internationale Büro an die nationalen Patentämter weitergereicht. Diese überprüfen dann nach Maßgabe des jeweiligen nationalen Rechtes, ob in ihrem Land ein Anspruch auf Patentschutz entsteht. Der Anmelder eines internationalen Patentbesitzes kann nach Belieben den Schutz in einigen oder allen Unterzeichnerstaaten des Abkommens beantragen. Die materiellen Voraussetzungen der Patentanmeldung sind durch den Vertrag nicht umfassend vereinheitlicht⁸.

4.6.1 Deutschland und Europa

Die Anmeldung eines Patentbesitzes erfolgt in Deutschland nach Maßgabe des Patentgesetzes (PatG). Darüber hinaus ist die Möglichkeit der europäischen Patentanmeldung nach den Vorschriften des *Übereinkommens über die Erteilung europäischer Patente* eröffnet. Das Europäische Patentübereinkommen (EPÜ) entspricht weitestgehend dem deutschen Patentgesetz. Jedoch wird für eine patentierbare Erfindung ein „weiterer technischer Effekt“ gefordert. Einschlägig ist weiterhin die *Biopatentrichtlinie* der EU. Hierin hat der europäische Gesetzgeber zum ersten Mal Stellung zum Problem der Patentierbarkeit biotechnologischer Erfindungen bezogen. Durch die Biopatentrichtlinie wurde allerdings keine neuartige Rechtsgrundlage für die Patentierung

⁶ Das Recht der angelsächsischen Länder ist weniger stark an geschriebenen Gesetzen orientiert. Statt dessen hat die richterliche Rechtsfortbildung ein größeres Gewicht. Diese Ausgestaltung gestattet eine stärkere Ausrichtung auf den Einzelfall und führt insgesamt zu einer pragmatischeren Rechtsanwendung. Auf der Negativseite schlägt ein gewisses Defizit an Rechtssicherheit zu Buche welches sich aus Sicht der kontinentalen Rechtstradition problematisch darstellt.

⁷ Mit dem Antrag auf Erteilung eines europäischen Patents können in einer einzigen Anmeldung mehrere Vertragsstaaten benannt werden, in denen das Patent seine Wirkung entfalten soll. Mit der Patenterteilung hat dieses grundsätzlich in jedem Staat, für den es erteilt ist, dieselbe Wirkung. Das europäische Patent gewährt seinem Inhaber dieselben Rechte und unterliegt denselben Vorschriften wie ein in diesem Staat erteiltes nationales Patent (vgl. Art. 2, 64 EPÜ). Das europäische Patent zerfällt also in ein Bündel nationaler Patente.

⁸ Zu Weiterwirkung und Grenzen der nationalen Bestimmungen siehe insbesondere Art. 27.

von Erfindungen im Bereich der belebten Natur geschaffen. Die Richtlinie stellt statt dessen rechtlich wirksam Grenzen der Patentierbarkeit klar. Die Feststellung, dass biotechnologische Erfindungen grundsätzlich unter gewissen Voraussetzungen Patentschutz genießen können, ist insofern deklaratorisch, als sie in Übereinstimmung mit der bisherigen Rechtsprechung in Deutschland und der Praxis des EPA steht.

Demzufolge liefert die Richtlinie keine neuartige Rechtsgrundlage, stellt aber die bisher üblichen Gebräuche auf eine festere, gesetzliche Basis.

4.6.1.1 Inhalt des Patentrechtes

Patente sind Rechtspositionen, welche das Erzeugnis eines geistigen Schaffensprozesses (Immaterialgüter) schützen sollen. Rechtssystematisch stellt das Patent einen Unterfall des gewerblichen Rechtsschutzes dar. Zu unterscheiden ist zwischen Erzeugnis- und Verfahrenspatenten. Beide Arten des Patenten verbieten Dritten die Nutzung des Patenten ohne die Zustimmung des Patentinhabers und ermöglichen diesem gegen Eingriffe in sein Patent vorzugehen. Das Patent ist demzufolge im Wesentlichen ein Abwehrrecht, nicht etwa ein positives Verwertungsrecht. Insbesondere beinhaltet die Erteilung eines Patenten noch keine öffentlich-rechtliche Genehmigung, das patentierte Produkt herzustellen oder das patentierte Verfahren anzuwenden. Beim Erzeugnispatent ist geschützt: die Herstellung, das Anbieten, das Inverkehrbringen, der Gebrauch, der Besitz sowie die Einfuhr des Patentgegenstandes. Im Falle des Verfahrenspatentes sind es: Anwendung des sowie das Anbieten des Verfahrens. Dem Inhaber steht es frei, die Nutzung seines Patenten im Wege eines Lizenzvertrages Dritten einzuräumen. In bestimmten Fällen ordnet das Gesetz Zwangslizenzen an.

4.6.1.2 Gegenstände eines Patenten

Gegenstand eines Patenten können Erzeugnisse oder Verfahren sein, welche auf erfinderischer Tätigkeit beruhen und zudem gewerblich anwendbar sind. In Abgrenzung zur Entdeckung ist eine Erfindung dadurch charakterisiert, dass sie auf die zweckgerichtete Lösung eines bestimmten Problems mit technischen Mitteln abstellt. Eine Entdeckung hingegen ist die Auffindung oder Erkenntnis bisher unbekannter, aber objektiv in der Natur schon vorhandener Gesetzmäßigkeiten. Die Abgrenzung kann im Einzelfall problematisch sein, wird aber durch die Notwendigkeit einer technischen Komponente und das Erfordernis der gewerblichen Anwendbarkeit erleichtert. Wesentlich ist zudem die Neuheit der Erfindung. Der Neuheitswert ist zu messen am Stand der Technik zum Zeitpunkt der Patentanmeldung. Insbesondere ist eine Erfindung dann

nicht mehr als neu zu betrachten, wenn der Erfinder den Inhalt des Patentes bereits der Öffentlichkeit zugänglich gemacht hat. Der Öffentlichkeitsbegriff ist dabei im deutschen Patentrecht weit auszulegen; es reicht bereits eine Vorstellung des Konzeptes auf einer Fachtagung oder im Kreise von Kollegen.

Von der Patentierbarkeit ausgeschlossen sind Erfindungen, deren Veröffentlichung oder Verwertung gegen die öffentliche Ordnung oder die guten Sitten verstoßen würde. Das bloße Verbot der Verwertung einer Erfindung durch ein Gesetz oder eine Verwaltungsvorschrift ist allein kein hinreichendes Indiz für einen derartigen Verstoß. Eine – nicht abschließende – Aufzählung von Erfindungen die gegen öffentliche Ordnung oder gute Sitten verstoßen enthält Art. 6 Abs. 2 der Biopatentrichtlinie, unter denen neben Verfahren zum Klonen menschlicher Lebewesen auch die sogenannten Qualzuchtungen bei Tieren fallen.

Die Richtlinie ist nicht direkt auf das EPÜ anwendbar, wurde aber als Teil der Ausführungsverordnungen aufgenommen.

4.6.1.3 Das Verhältnis zum Sortenschutz

Sowohl das GenTG als auch das EPÜ nehmen Pflanzensorten von der Patentierbarkeit aus. Pflanzensorte meint eine Vielzahl von Pflanzen, die bezüglich ihrer genotypischen Merkmale weitgehend gleich sind. Die Eigenschaftskonstanz muss dabei, innerhalb gewisser Toleranzgrenzen, auch für die Nachfolgenerationen stabil sein.

Zulässig ist hingegen der Schutz einer Sorte nach dem *Internationalen Übereinkommen zum Schutz von neuen Pflanzenzüchtungen* (UPOV); er kann auch beim europäischen Sortenamt beantragt werden.

Der Schutzzumfang eines Sortenschutzrechtes unterscheidet sich vom Patent wie folgt:

Der Patentschutz erstreckt sich auf die Herstellung eines Produktes – bzw. die Anwendung eines Verfahrens –; der Patentinhaber ist berechtigt, jeder dritten Partei diese Handlungen zu untersagen. Sobald jedoch ein Gegenstand der diesem Patent unterfällt in Verkehr gebracht wird, erlischt für diesen individuellen Gegenstand die Schutzwirkung. Der Inhaber eines Patentes für ein neuartiges Bügeleisen auf Basis von Mikrowellentechnik etwa ist allein berechtigt das Bügeleisen zu produzieren. Die einzelnen Bügeleisen dürfen aber von Dritten, welche sie erworben oder auf sonstige Weise in ihren Besitz gebracht haben, weiter veräußert werden, ohne das sie dadurch in das Patentrecht eingreifen. Jede weitere Verwendung des Gegenstandes ist also unter patentrechtlichen Gesichtspunkten unbedenklich. Bei vermehrungsfähigem Material, wie etwa Saatgut, stellt sich jedoch die Rechtslage anders dar. Bestimmte

Handlungen auch nach dem Verkauf des Materials können zu Schutzrechtsverletzungen führen. Denn der Käufer von Saatgut kann die hieraus gewonnene Ernte nicht nur als Lebensmittel verwenden, sondern auch zu erneuter Aussaat. Würde sich der Schutzzumfang bei vermehrungsfähigem Material nach den Maßstäben des Patentrechtes bestimmen, so würde jegliche derartige Handlung ein unzulässiger Eingriff. Das deutsche Sortenschutzrecht aber machte diesbezüglich zwei Ausnahmen,

- Landwirteprivileg: Landwirte dürfen einen Teil ihrer Ernte aus sortenrechtlich geschütztem Saatgut zur Wiederaussaat verwenden.
- Züchterprivileg: Geschützte Sorten dürfen verwendet werden, um daraus neue Sorten zu züchten, ohne dafür Lizenzgebühren zu zahlen oder den ursprünglichen Lizenznehmer um Erlaubnis zu bitten.

Durch die EU-Verordnung zum gemeinschaftlichen Sortenschutz wurde das Landwirteprivileg eingeschränkt. Danach kann der Inhaber des Sortenschutzrechtes von dem Landwirt eine Nachbaugebühr verlangen, welche „deutlich niedriger sein muss als der Betrag, der im selben Gebiet für die Erzeugung von Vermehrungsmaterial derselben Sorte in Lizenz verlangt wird“. Kleinbauern sind von dieser Nachbaugebühr ausgenommen.

Für die Verwertung wesentlich abgeleiteter Sorten wird eine Zwangslizenz eingeräumt. Auch diese ist jedoch von der Zahlung einer Lizenzgebühr an den Inhaber der Schutzrechte für die Ausgangssorte abhängig (Einschränkung des Züchterprivilegs).

Das EPÜ verbietet die Patentierung von Pflanzensorten, nicht aber die Patentierung von Pflanzen oder Saatgut. Patentfähig sind demnach Verfahren zur Behandlung von Pflanzen und Saatgutmaterial (so etwa zur Erreichung bestimmter agronomischer Eigenschaften), solange dadurch nicht eine Sorte in ihrer Individualität beansprucht wird. Möglich ist aber, dass Verfahren zum Patent angemeldet werden, deren Anwendung zur Veränderung mehrerer Pflanzensorten geeignet ist.

Nach ständiger Rechtsprechung der Beschwerdekammer des EPA seit 1995 werden Verfahren zur Behandlung von Pflanzen dann nicht als Patente angenommen, wenn dies indirekt zu Ansprüchen auf eine oder mehrere Pflanzensorten führt.

Anders könnte sich die Rechtslage seit Erlass der Biopatentrichtlinie darstellen. Die Biopatentrichtlinie wurde in die Ausführungsbestimmungen des EPÜ übernommen. Abhängig von der Interpretation der Richtlinie könnten die dort verankerten Grundsätze zu einer Umgehung der Patentunfähigkeit von Pflanzensorten führen. Auch die Richtlinie normiert allerdings das Landwirte- und Züchterprivileg. Eine Unterlaufung

dieser entscheidenden Bestimmungen des Sortenschutzrechtes ist insofern nicht zu erwarten.

Kritisch gesehen wird allerdings die Einschränkung der genannten Privilegien (Nachbaugebühr und Zwangslizenzen). Allein dies verstärkt schon die Abhängigkeit der Landwirte von den großen Saatgutproduzenten. Eigenzucht, beruhend auf den Saatgutsorten der ursprünglichen Schutzinhaber, ist für kleine und mittlere Unternehmen ein aufwändiges und kostspieliges Unterfangen. Zudem sind nicht alle Pflanzensorten vom Landwirteprivileg erfasst.

Einschlägige Fälle in den USA machen deutlich, dass die fortdauernde Wirksamkeit des Landwirteprivilegs wesentlich von der Formulierung der Patente einerseits und der Rechtsauslegung der zuständigen Gerichte andererseits abhängig sein werden.

4.6.1.4 Umfang der geschützten Rechte

Der zeitliche Horizont im gewerblichen Rechtsschutz ist unterschiedlich. Das Sortenschutzrecht gewährt je nach Pflanzenart einen Schutzanspruch von 25-30 Jahren. Nach PatG und EPÜ währen Patente 20 Jahre, beginnend mit dem Tag nach der Anmeldung. Nach Ende dieser Dauer kann die Erfindung von Dritten ohne weitere Rechtsverbindlichkeiten gegenüber den Patentinhabern genutzt werden. Der tatsächliche Schutzzumfang der Patente wird zudem von den verfahrensrechtlichen Bestimmungen der einzelnen Länder abhängen. Es liegt beim Patentinhaber, gegen Verletzungen seiner Ansprüche gerichtlich vorzugehen. Gerade bei internationalen Patenten kann der effektive Schutz eines Patentes mit erheblichen Rechtskosten verbunden sein. Die Finanzkraft eines Patentinhabers wird insofern zu einem entscheidenden Faktor für die Bonität eines Patentanspruches.

4.6.1.5 Patentschutz, Offenlegung und Forschungsprivileg

Eine weitere Dimension des Streites um die Patentierung biotechnologischer Erfindungen liegt im Verhältnis zwischen Forschungsfortschritt und Patentgewährung.

Voraussetzung jeder Patentanmeldung ist die Offenlegung der Erfindung in der Patentschrift. Während der Patentinhaber gegen die gewerbliche Nutzung seiner Erfindung durch Dritte vorgehen kann, ist die reine Forschung auf Grundlage der in der Patentschrift veröffentlichten Erkenntnisse nicht betroffen. Dieses Forschungsprivileg wird auch durch die Neuregelungen der Biopatentrichtlinie nicht berührt. Zudem wird von Befürwortern vorgebracht, dass die ausschließlichen Verwertungsrechte, welche

sich aus dem Patent ergeben, einen ökonomischen Anreiz setzen, welcher dem wissenschaftlichen Fortschritt förderlich ist.

Dem wird von Kritikern entgegengehalten, dass Patentansprüche, insbesondere in Verbindung mit Lizenzgebühren und Ansprüchen aus Folgepatenten, zu einer Monopolisierung von Know-how führen, die wirtschaftliche Abhängigkeiten erzeugen und letztlich einen Hemmschuh für die freie Forschungsentfaltung darstellen.

4.6.2 Die internationale Rechtslage

Neben dem bereits erwähnten *Vertrag über die internationale Zusammenarbeit auf dem Gebiet des Patentwesens* existieren eine Vielzahl weiterer internationaler Übereinkünfte auf dem Gebiet des geistigen Eigentums. Im Zusammenhang der Debatte um die Grüne Gentechnik spielt insbesondere das *Agreement on Trade-Related Aspects of Intellectual Property Rights* (TRIPS) eine besondere Rolle. TRIPS ist eines der Abkommen, welche im Rahmen der GATT Uruguay-Runde unterzeichnet wurden und 1995 schließlich zur Gründung der WTO führte.

Bei den Verhandlungen über die Ausgestaltung der *Convention on Biological Diversity* (CBD) hatte sich die Frage des Zugangs zu und der Nutzung von genetischen Ressourcen als ein hartnäckiger Streitpunkt zwischen Industrieländern und Entwicklungsländern herauskristallisiert. In Art. 16 CBD wird der Zugang zu sowie der Transfer von Technologie (speziell Biotechnologie) als entscheidende Voraussetzung für den Erfolg der in der Konvention avisierten Ziele anerkannt. Die Unterzeichner verpflichten sich darin, Entwicklungsländern den Zugang zu derartigen Technologien zu gewähren bzw. zu ermöglichen. Da derartige Technologien nicht immer (oder gar nur im Einzelfall) in öffentlicher Hand sind, stellt sich die Frage nach der Vereinbarkeit mit den Regeln des Rechtes am geistigen Eigentum. Insbesondere die USA waren nicht bereit, die Konvention zu unterzeichnen, solange diese Frage nicht hinreichend geklärt war. Art. 16 Abs. 3 verpflichtet die Vertragsstaaten, Maßnahmen zu ergreifen, welche die rechtlichen Rahmenbedingungen des Technologietransfers absichern. Aus diesem Passus wurde die Obligation hergeleitet, ein auf allseitiger Zustimmung beruhendes Regelwerk zu schaffen, welches in Übereinstimmung mit internationalem Recht ist und die Erfüllung der Pflichten aus der Konvention gestattet. Diesen Rahmen soll das Recht des geistigen Eigentums darstellen. Die Industrieländer hatten ein Interesse daran, zu verhindern, dass sie durch die Konvention zu weitgehenden Eingriffen in private Eigentumsrechte gezwungen würden, welche sich aus ihrer Sicht zu einem schwerwiegendes Hemmnis für die Marktchancen ihrer nationalen Ökonomien entwickeln könnten.

Die Etablierung einer internationalen Rechtsordnung des geistigen Eigentums wurde somit zu einem vitalen Interesse, das in einer Verpflichtung zur gegenseitigen Kooperation auf diesem Gebiet in Art. 16 Abs. 5 seinen Niederschlag fand.

TRIPS lieferte nun diesen rechtlichen Rahmen, zudem der Kreis der Unterzeichner mit den Signatarstaaten der CBD im Großen und Ganzen identisch ist. Es eröffnet zwar den Verpflichteten die Möglichkeit, Erfindungen mit Rücksicht auf wichtige öffentliche Interessen vom Patentschutz auszunehmen, setzt aber auf der anderen Seite der Gestaltung des gewerblichen Rechtsschutzes recht enge Grenzen. So muss zum Beispiel für Mikroorganismen wie auch für nichtbiologische und mikrobiologische Verfahren (einschließlich der Produktion von Pflanzen) Patentschutz gewährt werden. Auch muss der Schutz von Pflanzensorten entweder im Wege des Patenten oder durch eigens eingerichtete Rechtsinstitute gewährleistet werden.

Das TRIPS Abkommen ist in der Vergangenheit nicht ohne Kritik geblieben. Die hier abgesicherten Rechte am geistigen Eigentum, so wird eingewandt, sollen den technologischen Vorsprung der reichen Länder sichern. Statt Hindernisse für den Technologietransfer abzubauen, werden neue errichtet. Die Investitionen privatwirtschaftlicher Unternehmungen in Forschung und Technologieentwicklung sollen, so die Kritiker, sich nicht nur amortisieren – eine für den Leistungsanreiz nicht unbillige Forderung – sondern zur Schaffung langfristiger wissensinfrastruktureller Vorteile beitragen und letztlich monopolähnliche Strukturen verfestigen.

Durch den starken Schutz geistigen Eigentums sei es den Entwicklungsländern verwehrt, durch technologische Nachahmung den Vorsprung der Industrieländer aufzuholen. Gerade diese Vorgehensweise aber habe in der Vergangenheit den Anschluss vieler sich entwickelnder Staaten – besonders im asiatischen Raum – erleichtert oder allererst möglich gemacht. Besonders scharfe Kritik hat hervorgerufen, dass durch TRIPS die Erteilung von Patenten oder ähnlichen Schutzrechten für bestimmte Produkte geboten ist, deren Patentierung bis dahin nicht üblich oder gar verboten war. Insbesondere hat man dabei biotechnologische Erfindungen im Blick. Patente auf Saatgut, so wird vorgebracht, verstärken die Abhängigkeit der Bauern und honorieren deren jahrhundertalte Verdienste um Pflege und Züchtung der Kulturpflanzen in keiner Weise. In den Entwicklungsländern werden Befürchtungen laut, dass die Patentierung von Wirkstoffen und die darin liegende Aneignung traditioneller Heilmethoden das Prinzip des fairen Zugangs zu genetischen Ressourcen unterlaufen und der leichte Zugang zu Lebensmittel und Medikamenten für die ohnehin armen Länder noch erschwert werde. Insgesamt wird konstatiert, dass das Abkommen die eigentli-

chen Intention der CBD unterlaufe und Schritte in Richtung einer gerechteren Weltwirtschaft wirksam behindere.

Als Gegenargument wird von Seite der Industrieländer häufig das Moment der Investitionssicherheit vorgebracht. Solange die privaten Investoren nicht sicher sein können, dass die von ihnen entwickelten Techniken und Produkte vor Eingriffen durch Dritte rechtlich geschützt seien, sei auch nicht mit verstärkten Investitionen zu rechnen. Daher fördere die Anerkennung rechtlicher Standards des geistigen Eigentums die Investitionsbereitschaft und letztlich die Volkswirtschaften der Entwicklungsländer.

4.7 WEITERE ABKOMMEN MIT RELEVANZ FÜR DIE GRÜNE GENTECHNIK

Abschließend soll ein Blick auf weitere internationale Abkommen geworfen werden, die Auswirkungen auf das Recht zur Grünen Gentechnik haben. Die CBD wurde im Zusammenhang des TRIPS Abkommens bereits erwähnt, das Recht des geistigen Eigentums ist jedoch nur ein Teilaspekt der Konvention. Ihr grundsätzlicher Umfang muss daher eigens umrissen werden. Der *Codex Alimentarius* ist das weitreichendste Regelwerk zur Lebensmittelsicherheit auf internationaler Ebene. Die darin vereinbarten Standards haben über das WTO – Abkommen und GATT verbindlichen Charakter für den internationalen Handel mit Lebensmitteln.

Die Standards welche durch die genannten Vertragswerke bislang Verbindlichkeit erreicht haben, werden durch das deutsche und europäische Recht erfüllt und in Teilbereichen übertroffen.

4.7.1 Die Konvention zur Biodiversität

Eine durch die UNEP (*United Nations Environmental Program*) 1988 eingesetzte Arbeitsgruppe *Biodiversität* entwarf die *Convention on Biodiversity* (CBD), die 1992 auf der Konferenz der Vereinten Nationen über Umwelt und Entwicklung (UNCED) in Rio de Janeiro zur Unterzeichnung vorgelegt wurde.

Die *Konvention zur Biodiversität* ist kein „Artenschutzabkommen“, sondern hat neben der Erhaltung der biologischen Vielfalt auch die nachhaltige Nutzung ihrer Bestandteile (die biotechnologische Verfahren ausdrücklich miteinschließt/ Art. 19, s.u.) und die gerechte Aufteilung der sich aus der Nutzung der genetischen Ressourcen ergebenden Vorteile zum Ziel. Letzterer Aspekt ist gerade für Entwicklungsländer wichtig, da multinationale Konzerne häufig pflanzliche und/oder genetische Ressourcen in diesen Ländern für ihre wirtschaftlichen Interessen nutzen. Mit der völkerrecht-

lich bindenden Konvention sollte sichergestellt werden, dass genetische Ressourcen ähnlich wie Bodenschätze unter die Souveränität der Staaten fallen.

Mit der Ratifikation verpflichten sich die Staaten, entsprechende Richtlinien und Gesetzgebungen zu schaffen; gleichzeitig wird ihnen die Kontrolle über ihre eigenen Ressourcen zugesichert. Inzwischen haben 182 Staaten (auch Deutschland) das Übereinkommen unterzeichnet und ratifiziert. Nicht unterzeichnet haben bisher nur die Länder Afghanistan, Bosnien-Herzegowina, Brunei, Irak, Kuwait, Somalia, Thailand, Tuvalu und USA.

Im Artikel 19 des Abkommens („Umgang mit Biotechnologie und Verteilung der daraus entstehenden Vorteile“) wurden auch verschiedene Aspekte der Nutzung gentechnisch veränderter Organismen berücksichtigt. Die Vertragsparteien werden aufgefordert

- (i) Entwicklungsländer, die genetische Ressourcen für biotechnologische Forschungsarbeiten zur Verfügung stellen, an den Arbeiten zu beteiligen und ihnen den Zugang zu den Ergebnissen und Vorteilen der entwickelten Technologien zu erleichtern (Art. 19 Absatz 1), und
- (ii) ausreichende Maßnahmen zu treffen für eine

„sichere Weitergabe, Handhabung und Verwendung der durch Biotechnologie hervorgebrachten lebenden modifizierten Organismen, die nachteilige Auswirkungen auf die Erhaltung und nachhaltige Nutzung der biologischen Vielfalt haben können“ (Art. 19 Absatz 3).

Letztere Forderungen bildeten die Basis für das im Jahre 1999 in Cartagena (Kolumbien) ausgehandelte und im Januar 2000 in Montreal verabschiedete *Protokoll zur biologischen Sicherheit* (auch als *Cartagena-Protokoll* bekannt), ein Folgeabkommen der in Rio 1992 verabschiedeten *Konvention über biologische Vielfalt*. Das Protokoll regelt die grenzüberschreitende Verbringung von lebenden veränderten Organismen (LVO), die negative Auswirkungen auf die biologische Vielfalt haben können, unter Berücksichtigung der menschlichen Gesundheit. Unter den Begriff LVO fällt neben Saatgut für gentechnisch veränderte Kulturpflanzen, unter anderem auch Tierfutter und Lebensmittel, welche aus GVO hergestellt wurden. In dem Protokoll wird ausdrücklich auf ein prinzipiell positives Potential der Gentechnik hingewiesen. Die Kernpunkte und Ziele sind:

- Es soll verhindert werden, dass gentechnisch veränderte Sorten in ein Land eingeführt und dort angebaut werden, ohne dass die nationalen Behörden darüber

informiert sind. Ex- und Import werden deshalb von einem bestimmten Informations- und Entscheidungsverfahren begleitet (*Advanced Informed Agreement*).

- Der Exporteur ist verpflichtet, dem Empfängerland im voraus alle Informationen zugänglich zu machen, die für eine Sicherheitsbewertung erforderlich sind. Diese Informationen werden durch eine zentrale Stelle gesammelt und veröffentlicht (*Biosafety Clearing House*, BCH).
- Bestehen Zweifel an der Sicherheit für Umwelt, Biodiversität oder die menschliche Gesundheit, kann ein Importverbot ausgesprochen werden, ohne dass, anders als bei den Regeln der WTO (Welthandelsorganisation), die Schädlichkeit des Produktes streng wissenschaftlich belegt ist (Entscheidung nach dem *Vorsorgeprinzip*).

Eine Ratifizierung des *Protokolls zur biologischen Sicherheit* kann von allen Staaten, die die *Konvention zur Biodiversität* ratifiziert haben, vorgenommen werden. Die Ratifizierung durch 50 Staaten ist Voraussetzung für ein Inkrafttreten des Protokolls – damit wird in ein bis zwei Jahren gerechnet. Die USA, in der sich fast 70% der weltweit mit transgenen Sorten bebauten Flächen befinden, haben die Konvention zur Biodiversität nicht gezeichnet und wollen auch dem Cartagena-Protokoll nicht beitreten.

Das Biodiversitätsabkommen und das Cartagena-Protokoll werden von Kritikern der Gentechnik begrüßt, da hierin Maßnahmen zur Restriktion des Handels mit gentechnisch *verändertem Saatgut* gesehen werden („Despite its shortcomings, the Biosafety Protocol is an important first step in restricting the trade in GMOs.“ [<http://www.greenpeace.ca/e/campaign/gmo/new/cartagena.html>]). Diese Interpretation lässt allerdings außer acht, dass sowohl im Biodiversitätsabkommen als auch im Cartagena-Protokoll das Potential gentechnischer Methoden anerkannt und die Nutzung gerade in Kooperation mit Entwicklungsländern befürwortet wird. Handelsorganisationen (vor allem aus den USA) oder -verbände (etwa COCERAL/<http://www.coceral.com>) weisen daraufhin, dass das Protokoll die Errichtung von willkürlichen Handelsbeschränkungen ermöglicht (und damit den Regularien der WTO widerspricht), da bei Anwendung des Vorsorgeprinzips Importverbote ausgesprochen werden können, ohne dass die Schädlichkeit des Produktes wissenschaftlich nachgewiesen werden muss. Die letztendlichen Auswirkungen des Cartagena-Protokolls auf den Handel mit gentechnisch verändertem Saatgut sind gegenwärtig noch schwer einzuschätzen.

4.7.2 Der Codex Alimentarius

Im *Codex Alimentarius* werden die von der Codex-Alimentarius-Kommission angenommenen Standards gesammelt. Die Codex-Alimentarius-Kommission ist ein gemeinsames Gremium der *Food and Agriculture Organisation* (FAO) und der *World Health Organisation* (WHO) der Vereinten Nationen. Aufgabe der Kommission ist es, Standards für die Lebensmittelsicherheit zu erarbeiten, die als Vorlage für eine Harmonisierung der nationalen lebensmittelrechtlichen Bestimmungen dienen. Die Kommission sieht ihre Aufgabe im Schutz der internationalen Verbraucherinteressen und der Gewährleistung fairer Handelspraktiken im Lebensmittelbereich. Durch das *Agreement on the Application of Sanitary and Phytosanitary Measures* (SPS Übereinkommen) und das *Agreement on Technical Barriers to Trade* (TBT Übereinkommen) –beide im Rahmen der WTO– werden die Normen, Richtlinien und Empfehlungen des *Codex Alimentarius* zu Referenznormen für den internationalen Handel erklärt. Bedeutung erhält der *Codex Alimentarius* dadurch im Rahmen des völkerrechtlich verbindlichen Streitbeilegungsverfahrens für Handelskonflikte. Die genannten Abkommen beschneiden nicht in das souveräne Recht der Staaten zur Gestaltung ihrer nationalen Rechtsphäre, zielen aber darauf ab, einen Missbrauch der Hoheitsrechte zu protektionistischen Zwecken zu verhindern.

Bei Verstößen gegen das Vertragswerk der WTO gibt es die Möglichkeit, die Schiedsstelle einzuschalten. Aufgrund des Fehlens einer Instanz zur Rechtsvollstreckung im Völkerrecht hängt aber die Durchsetzung etwaiger Sanktionen wesentlich von der Bereitschaft des betroffenen Staates ab, sich dem Schiedsspruch zu unterwerfen; allein die Aussicht auf eine gemeinsame Reaktion der anderen Vertragsparteien und die damit einher gehenden wirtschaftlichen Auswirkungen auf die nationale Ökonomie sorgt allerdings für ein gewisses Maß an Verbindlichkeit.

Im Augenblick gehören 165 Staaten der *Codex-Alimentarius-Kommission* an, die Kommission tagt alle zwei Jahre in Genf.

Für März dieses Jahres war in Yokohama eine Konferenz der *Ad Hoc Intergovernmental Task Force on Foods Derived from Biotechnology* zu biotechnologisch hergestellten Lebensmitteln angesetzt. Eine Version zu den *Draft Principles for Risk Analysis of Food Derived from Modern Biotechnology* sowie den *Draft Guidelines for Safety Assessment of Recombinant-DNA Plants* sind bereits veröffentlicht (unter <http://www.codexalimentarius.net>). Die Empfehlungen behandeln Risikobewertung, Risikomanagement und Risikokommunikation im Umgang mit biotechnologisch erzeugten Lebensmitteln und spezifizieren die allgemeinen Arbeitsprinzipien des Codex zur Risikoanalyse. Am Ansatz des Vergleichs zu konventionellen Lebensmitteln

wird grundsätzlich festgehalten. So wird auch das Konzept der Substanziellen Äquivalenz erneut aufgegriffen. Anschließend an die zuletzt kritische Diskussion zu diesem Thema wird der Stellenwert des Konzeptes vorsichtig wie folgt umschrieben:

„The concept of substantial equivalence is a key step in the safety assessment process. However, it is not a safety assessment in itself; rather it represents the starting point that is used to structure the safety assessment of a new food relative to its conventional counterpart. This concept is used to identify similarities and differences between the new food and its conventional counterpart. It aids in the identification of potential safety and nutritional issues and is considered the most appropriate strategy to date for safety assessment of foods derived from recombinant-DNA plants. The safety assessment carried out in this way does not imply absolute safety of the new product; rather, it focuses on assessing the safety of any identified differences so that the safety of the new product can be considered relative to its conventional counterpart. “ (*Draft Guidelines for the Conduct of Food Safety Assessment of Foods Derived from Recombinant-DANN Plants Section 3 No. 13*)

Hervorgehoben wird überdies das Erfordernis eines konsistenten Ansatzes im Lebensmittelrecht; ungerechtfertigte Unterschiede bei der Darstellung von Risiken im Vergleich zu konventionellen Lebensmitteln seien zu vermeiden.

5 DIMENSIONEN DER RISIKO/CHANCEN-DEBATTE

Viele Aspekte der Debatte lassen erkennen, dass die Ursprünge der Auseinandersetzungen um die Grüne Gentechnik weiter zurückliegen als die Einführung gentechnischer Verfahren in der Pflanzenzüchtung selbst. Viele Sachverhalte, die heute kontrovers diskutiert werden, bestanden bereits in der herkömmlichen, intensiven Landwirtschaft und gaben dort Anlass zu Kritik (z.B. der Einsatz von Chemie). Dies gilt gleichfalls für die mit dieser Praxis einhergehenden sozioökonomischen Entwicklungen, und auch die Themen „Dritte Welt“ und „Welthunger“ sind keinesfalls neu. Seit den 70er Jahren stand dabei eine ganz allgemeine, stark weltanschauliche Kritik an Wirtschaftssystemen westlicher Prägung im Vordergrund, in deren Zusammenhang schon damals die Monopolisierungstendenzen im Bereich der Saatgutproduktion problematisiert wurden. Viele Teilnehmer der heutigen Debatte sehen in der Grünen Gentechnik eine technische Neuerung, welche die bereits früher schon kritisierten Zustände in der Landwirtschaft unterstützt und die Entwicklung zu mehr Intensivierung und Chemieeinsatz verstärkt.

Eine andere Quelle der Debatte stellt die im Verlauf der 80er Jahre ansteigende, allgemeine Sensibilisierung der Öffentlichkeit dar, die (i) gegenüber Problemen und Risiken bei der Nahrungsmittelherstellung (verursacht durch diverse Lebensmittel-skandale, z.B. Polyethylenglykol im Wein, Todesfälle durch Giftstoffe in Speiseölen u.a.), und (ii) in Verbindung mit der Diskussion über die Nutzung der Kernkraft auch prinzipiell gegenüber der Anwendung neuer Technologien stattgefunden hat. Die Aspekte Gesundheit und gesunde Nahrung rückten hierdurch zunehmend ins öffentliche Bewusstsein. Der Reaktorunfall in Tschernobyl im April 1986 bzw. seine Auswirkungen war(en) es schließlich, die das Vertrauen in neue Technologien sowie in amtliche und offizielle Stellungnahmen zum Gefährdungspotenzial bestimmter Lebensmittel deutlich erschütterte. Umfragen belegen, dass zumindest in Deutschland die Mehrheit der Bevölkerung wenig Vertrauen gegenüber der Kompetenz und der Unabhängigkeit der kontrollierenden Behörden besitzt. Hinzu kommt, dass die Gentechnik mehr als jede andere Neuerung in der Lebensmitteltechnologie die (wenn auch nur assoziierte) „Natürlichkeit“ der Nahrungsmittelproduktion in Frage stellt.

In dieser Situation etablierte sich die Grüne Gentechnik, zunächst als Forschungsgebiet, im Verlauf der 80er Jahre. Während dieser Zeit entstanden bereits kritische Debatten über ihre Anwendung, eine größere Öffentlichkeit erhielten die Diskussionen 1990 mit dem ersten Freisetzungsexperiment gentechnisch veränderter Pflanzen auf

dem Gelände des Max-Planck-Instituts in Köln (31000 Petunien). Spätestens mit der Kommerzialisierung der sogenannten „Anti-Matsch-Tomate“ 1994 in den USA trat die Tatsache, dass die Grüne Gentechnik über den Bereich der Forschung hinaus Anwendung finden kann, ins öffentliche Bewusstsein.

Vor allem in den Ländern USA, Kanada und Argentinien wurde die Kommerzialisierung gentechnisch veränderter Nutzpflanzenarten von einer großen Akzeptanz seitens der Landwirte begleitet. Sechs Jahre nach Einführung der ersten Sorten existieren nun erste Hinweise darauf, dass die Verwendung transgener herbizid-, insekten- und virusresistenter Sorten positive Auswirkungen auf Effizienz und Umweltverträglichkeit des Anbaus der betreffenden Fruchtarten besitzen kann. Die Daten der hierzu durchgeführten Studien werden z.T. allerdings noch kontrovers diskutiert (s. Abschnitt 5.2). Sollten sich diese Hinweise langfristig bestätigen und gleichzeitig gesundheitliche oder ökologische Schäden ausbleiben, werden zweifelsohne auch die Chancen der Grünen Gentechnik ein größeres Gewicht in der Debatte erlangen.

Die im folgenden diskutierten Dimensionen der Grünen Gentechnik betreffen in erster Linie die Bereiche Biodiversität, Umweltverträglichkeit und Gesundheit, d.h. Bereiche, die gegenwärtig eher mit Risiken assoziiert werden. Obwohl der Biotechnologie allgemein ein hohes Innovationspotenzial zugeschrieben wird, kann aufgrund der mangelnden Akzeptanz und kommerziellen Anwendung der Grünen Gentechnik in Europa kaum auf Erfahrungswerte im wirtschaftlichen Bereich zurückgegriffen werden, die längerfristige Prognosen erlauben würden. Wenn die Chancen der Grünen Gentechnik, die kurzfristig insbesondere im wirtschaftlichen Bereich gesehen werden, somit an dieser Stelle unterrepräsentiert erscheinen mögen, so geschieht dies eben aus diesem Grund. Wie auch immer etwaige Risiken bewertet werden und so hypothetisch die Bewertung der Chancen der Anwendung zum heutigen Zeitpunkt und somit auch in diesem Reader nur sein kann, bei Entscheidungen bezüglich Forschungsförderung sollte immer auch berücksichtigt werden, dass die Unterlassung von Förderung (im Bereich der Landwirtschaft ist es nicht nur die Gentechnik, die einen innovativen Beitrag leisten kann) langfristig ebenfalls erhebliche Kosten und Nachteile mit sich bringen könnte.

5.1 GRÜNE GENTECHNIK UND BIODIVERSITÄT

(Thomas Pickardt)

Der Begriff Biodiversität bedeutet nicht nur „Artenvielfalt“, sondern beinhaltet auch die genetische Vielfalt innerhalb von Arten und umfasst darüber hinaus ökologische

Strukturen, Funktionen und Prozesse (Landschaftsstruktur, Populationsstruktur, Stoffkreisläufe). Biodiversität lässt sich auch beschreiben als „das komplexe Netz von Beziehungen und gegenseitigen Abhängigkeiten zwischen den verschiedenen Lebewesen und ihrer Umwelt“ (Bernhard Schmid, Universität Zürich) oder auch schlicht als „die Vielfalt der lebenden Welt“ (World Conservation Monitoring Center 1992). Anders als der klassische Naturschutz umfasst die Biodiversität nicht nur wildlebenden Tiere und Pflanzen, sondern auch jene Genotypen, die vom Menschen gezüchtet wurden. Der Erhalt der Biodiversität ist Inhalt der *Konvention über Biodiversität* (CBD), die von einer Arbeitsgruppe der UNEP (*United Nations Environmental Program*) entworfen und 1992 auf der Konferenz der Vereinten Nationen über Umwelt und Entwicklung (UNCED) in Rio de Janeiro vorgestellt wurde (siehe Kapitel 4).

Auf welche Weise kann die Nutzung gentechnisch veränderter Pflanzen die Artenvielfalt und/oder ökologische Strukturen beeinflussen oder gefährden? Zunächst ist festzustellen, dass der Mensch mit jeder Art von Landwirtschaft seine Umwelt beeinflusst, und dass dieser Einfluss mit zunehmendem Wissen über biologische, physiologische und genetische Funktionen und Zusammenhänge bzw. der Anwendung dieses Wissens in der landwirtschaftlichen Praxis vor allem während der letzten 100 Jahre erheblich gewachsen ist. Diskutiert wird, ob von der neuesten Entwicklung, der Einführung der Gentechnik, u.U. eine besondere Gefährdung der Umwelt und der biologische Vielfalt ausgehen kann.

Im Folgenden wird, z.T. anhand von Beispielen, gezeigt, dass die auf der Nutzung gentechnisch veränderter Pflanzen basierenden Einflüsse und Auswirkungen nicht in jedem Fall gentechnikspezifisch sind, sondern häufig bereits in der konventionellen (nicht-ökologischen) Landwirtschaft bestanden haben bzw. bestehen.

Zwei Einflussbereiche sind hier zu beachten: (i) die natürliche Vielfalt von Arten⁹, Genen und Ökosystemen und (ii) die landwirtschaftliche Biodiversität oder Kulturpflanzenvielfalt.

5.1.1 Beeinflussung der natürlichen Vielfalt von Arten, Genen und Ökosystemen

Eine Beeinflussung der natürlichen Vielfalt kann aufgrund von Maßnahmen ergeben, die den Anbau einer transgenen Sorte begleiten wie die Verwendung von Komplen-

⁹ Als Unkräuter und Schadorganismen bezeichnete Lebewesen werden hier der natürlichen Vielfalt zugerechnet, obwohl sie als Begleitflora oder -fauna der Kulturpflanzen in ihren Eigenschaften und ihrem Vorkommen bzw. ihrer Verbreitung ebenfalls durch den Menschen beeinflusst werden.

tärherbiziden, oder mit bestimmten Eigenschaften der übertragenen Gene in Zusammenhang stehen, die den primären (den transformierten Nutzpflanzen) oder sekundären (nach vertikalem oder horizontalem Gentransfer) Empfängerorganismen eine erhöhte Fitness verleihen und langfristig Änderungen in natürlichen Populationen und Habitaten bewirken können.

5.1.1.1 Einsatz von Komplementärherbiziden

Der potenzielle Einfluss der Verwendung von Komplementärherbiziden soll am Beispiel des nicht-selektiven Herbizids Glyphosat, dem Komplementärherbizid der inzwischen in vielen Ländern kommerzialisierten Roundup-Ready-Sorten (s. Kapitel 3) erörtert werden. Die große Akzeptanz dieser Sorten in den USA hat zu einer starken Ausweitung der Anbauflächen vor allem bei Roundup-Ready-Soja geführt. Der Verbrauch von Glyphosat ist dementsprechend in den USA gestiegen und ist jetzt das dominierende Herbizid im Sojaanbau. Einflüsse auf die Zusammensetzung der Bodenflora und/oder -fauna sind wahrscheinlich. Es gibt z.B. Hinweise auf die Entwicklung sog. „herbicide synergists“, d.h. Pathogene, die sich in den absterbenden Wurzeln der durch die Herbizidapplikation beeinträchtigten Unkräuter etablieren können. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass Herbizide auch vorher schon appliziert wurden. Mehrere aktuelle Studien zum Herbizideinsatz in den USA deuten darauf hin, dass Glyphosat andere, selektive Herbizide mit z.T. höherer Toxizität für Mensch und Umwelt ersetzt hat (zu den Auswirkungen der Nutzung des Unkrautbekämpfungssystems Roundup-Ready auf den Verbrauch von Herbiziden s. Abschnitt 5.2).

Mit einer gewissen Redundanz wird in der Diskussion über die Herbizide Glyphosat oder Glufosinat entweder ihre besondere „Umweltfreundlichkeit“ betont oder ihre Verwendung mit dem Hinweis auf ihre Toxizität (für Milben, Sackspinnen und tierisches Süßwasserplankton) abgelehnt. Tatsächlich können Herbizide aufgrund ihrer Funktion nicht wirklich harmlos oder „umweltfreundlich“ sein und toxische Wirkungen können durchaus auch bei Organismen auftreten, die das entsprechende Target-Enzym des jeweiligen Herbizids nicht besitzen. Die Aussage „umweltfreundlich“ beinhaltet den Vergleich mit anderen Herbiziden, die eine größere Umweltwirkung und Toxizität aufweisen, deshalb wäre die Bezeichnung „weniger umweltbelastend“ zutreffender. Dass sowohl Glyphosat als auch Glufosinat in dieser Hinsicht besser „abschneiden“ als die meisten anderen Herbizide, wurde inzwischen in vielen aktuellen Studien bestätigt. In einem Agrarsystem, das die Verwendung von Herbiziden zur Unkrautkontrolle vorsieht bzw. zulässt, kann die Entwicklung und der Einsatz von Herbiziden mit

geringerer Toxizität durchaus sinnvoll sein, auch wenn die Substanz, isoliert betrachtet, die Umwelt negativ beeinflussen kann.

Mit steigendem Verbrauch und der zunehmenden Nutzung eines einzelnen Herbizids wächst auch der Selektionsdruck, der die Etablierung resistenter Un- bzw. Beikrautpopulationen fördern kann. Glyphosatresistente Formen wurden bisher allerdings relativ selten beschrieben (*Lolium rigidum*, Australien 1998, *Eleusine indica*, Malaysia 1999; *Conyza canadensis*, USA 2001), obwohl Glyphosat seit 25 Jahren verwendet wird und inzwischen das weltweit am häufigsten eingesetzte Herbizid darstellt. Schneller als spontan auftretende Resistenzen werden aber wahrscheinlich Auskreuzungen der entsprechenden Gene auf verwandte Arten resistente Formen entstehen lassen (s. auch Abschnitt 5.1.1.2). Die Etablierung und Ausbreitung von resistenten Unkräutern kann dazu führen, dass das betreffende Herbizid seine Bedeutung als Komplementärherbizid verliert. Es ist aber auch nicht ausgeschlossen, dass zur Kontrolle der resistenten Unkräuter weitere Herbizide benutzt werden und es hierdurch zu einer Zunahme des Herbizideinsatzes kommt. In diesem Zusammenhang ist auch, u.U. mit weitreichenderen Folgen, die Übertragung von Herbizidresistenzen auf andere Sorten einer Kulturart zu berücksichtigen. Hierdurch kann es langfristig zu einer „Pyramidisierung“ von Resistenzeigenschaften kommen. Fälle dieser Art wurden in Kanada bereits beschrieben, etwa ein Raps mit Dreifach-Resistenz gegen Glufosinat, Glyphosat und Sulfonylharnstoff. Die Resistenzen gegen Glyphosat und Glufosinat waren in diesem Fall transgener Herkunft, die Sulfonylharnstoffresistenz wurde auf konventionellem Wege erzeugt. Dieses Beispiel macht sehr deutlich, dass es sich hier nicht um ein gentechnik-spezifisches Problem handelt.

Herbizide sind seit mehreren Jahrzehnten Bestandteil der industrialisierten Landwirtschaft und ihr Einsatz hat zur Rationalisierung und höheren Erträgen beigetragen. Es gibt aber auch keinen Zweifel daran, dass die Umwelt durch ihren Einsatz beeinflusst wird und auch u.U. langfristige Schäden entstehen können. Jede Möglichkeit, ihren Einsatz oder ihrer Umweltwirkung (durch Verwendung weniger toxischer Substanzen) zu reduzieren, wäre ein Beitrag zu einer umweltverträglicheren Landwirtschaft (ob die Einführung z.B. des Roundup-Ready-Systems tatsächlich die Umweltbelastung vermindert oder sogar eher erhöht hat, wird gegenwärtig kontrovers diskutiert, siehe Abschnitt 5.2). Andererseits ist die Nutzung bestimmter Herbizide integraler Bestandteil dieser Unkraut-Kontrollsysteme. Die Ablehnung solcher Systeme durch Vertreter des ökologischen Landbaus, die den Einsatz von Pestiziden in der Landwirtschaft grundsätzlich ablehnen, ist daher nachvollziehbar.

5.1.1.2 Auswilderung von Nutzpflanzen und Ausbreitung von Transgenen durch vertikalen Gentransfer

Fälle, in denen sich Nutzpflanzen außerhalb von Agrarökosystemen oder vom Menschen beeinflussten Arealen (Ruderalflächen, Bahngleise) hätten etablieren können, wurden bislang nicht beschrieben. Das Auswilderungspotenzial einer Art nimmt grundsätzlich mit dem Grad an züchterischer Bearbeitung ab. Im Verlauf von Züchtungsmaßnahmen gehen viele Eigenschaften¹⁰, die ein Überleben unter natürlichen Bedingungen sicherstellen, verloren. Es ist deshalb wahrscheinlich, dass auch transgene Nutzpflanzen kaum Chancen besitzen, sich unkontrolliert in natürlichen Habitaten verbreiten zu können¹¹ (auf kultivierten Flächen können sich Nutzpflanzen hingegen durchaus zu Unkräutern entwickeln und Probleme z.B. in bestimmten Fruchtfolgen bereiten).

Eine Auskreuzung von Eigenschaften von Nutzpflanzen auf verwandte Wildformen kann mit mehr oder weniger hoher Frequenz stattfinden, wenn entsprechende Kreuzungspartner existieren (vertikaler Gentransfer = Austausch genetischer Information zwischen kreuzungskompatiblen Individuen auf sexuellem Weg und Weitergabe der Information an die Nachkommen). Dies gilt vor allem für den Kreuzblütler Raps (*Brassica napus*), der sehr viele Kreuzungspartner in seine näheren Umgebung vorfinden kann, z.B. *B. rapa*, *B. juncea*, *B. carinata*, *B. nigra*, *Diplotaxis muralis*, *Raphanus raphanistrum* und *Erucastrum gallicum*. Aus den Artnamen geht hervor, dass hier auch gattungsübergreifende Kreuzungen stattfinden können. Auskreuzungen wurden auch bei vielen anderen Nutzpflanzen wie z.B. Hirse, Reis Sonnenblume und Himbeere beobachtet. Studien von Allison Snow (Ohio State University/USA) zeigen darüber hinaus am Beispiel von *Raphanus sativus* (Radischen) und der kreuzungskompatiblen Art *Raphanus raphanistrum*, dass die ausgekreuzten Gene über lange Zeiträume auch ohne Selektionsdruck in Populationen der Wildarten persistieren können.

¹⁰ Ein bekanntes und anschauliches Beispiel hierfür ist der Verlust der *Spindelbrüchigkeit* unserer heutigen Getreidearten. Bei diesen sitzen die Samen an der Ähre fest – nur deshalb lassen sich Ernten effizient „einfahren“. Aufgrund der dadurch stark eingeschränkten Verbreitung der Samen wäre diese Eigenschaft für ein Wildgras dagegen von großem Nachteil.

¹¹ Bei der Freisetzung und Kommerzialisierung transgener Waldbäume sollte allerdings der Umstand berücksichtigt werden, dass Baumarten in der Regel in einem weitaus geringerem Maße domestiziert wurden als ein- oder zweijährige Nutzpflanzen. Waldbäume besitzen daher ein kaum durch menschliche Eingriffe modifiziertes Genom und damit noch alle Merkmale, die ein Überleben unter natürlichen Bedingungen garantieren können. Bei einer Risikobewertung solcher Arten sind u.U. deshalb andere Maßstäbe anzulegen.

Auskreuzungen können erfolgen, wenn entsprechende Kreuzungspartner für den Pollen der Kulturpflanze erreichbar sind. Das räumliche Ausbreitungspotenzial von Pollen ist sehr variabel und steht in Verbindung mit den biologischen Eigenschaften der Kulturart (Selbst-/Fremdbefruchter, Wind-/Insektenbestäubung, Morphologie der Pollen) und verschiedenen äußeren Faktoren. Das Potenzial bewegt sich zwischen wenigen Metern und, bei Kiefern, mehreren hundert Kilometern.

Auskreuzungen von Transgenen auf Wildformen oder -Arten wurden bereits mehrfach nachgewiesen. Eine kürzlich publizierte Studie präsentiert Ergebnisse, die auf eine Auskreuzung diverser Transgene auf Landrassen in Mexiko und ihre Ausbreitung in diesem Genpool hindeuten. Überraschend an den Befunden ist u.a., dass die Ausbreitung in Gegenden erfolgt sein soll, in denen bislang kein kommerzieller Anbau transgener Maissorten stattgefunden hat. Die experimentelle Durchführung dieser Studie wurde von vielen Wissenschaftlern stark kritisiert und die publizierten Daten bezweifelt.

Das Auskreuzen von Genen auf kompatible Arten oder Gattungen ist ein natürlicher Prozess, von dem Transgene nicht ausgenommen sind. Unabhängig vom Wahrheitsgehalt der ein oder anderen wissenschaftlichen Studie zu dieser Fragestellung wird die Ausbreitung von Transgenen mit der gleichen Frequenz wie diejenige natürlicher, pflanzeigener Gene erfolgen. Es stellt sich letztendlich die Frage, ob bzw. welche Konsequenzen, Risiken und potenzielle Gefahren hieraus abgeleitet werden können. Kritisiert wird in diesem Zusammenhang vor allem die Nutzung von Genen, die eine erhöhte Resistenz gegen biotische (Insekten, Viren, Pilze, Bakterien) oder abiotische Faktoren (Kälte, Hitze, Trockenheit) verleihen, und die Vermutung geäußert, dass nach Verwilderung von Nutzpflanzen oder einem vertikalen Transfer auf verwandten Arten „Superunkräuter“ entstehen könnten. Die genannten Eigenschaften erhöhen ohne Zweifel die biologische Fitness der Pflanzen – es ist ja gerade das Ziel der Resistenzzüchtung, die Widerstandskraft gegenüber Krankheiten und Schädlingen zu erhöhen, ohne dass mit Pestiziden „nachgeholfen“ werden muss.

Auf eine erhöhte Widerstandskraft von Nutzpflanzen wurde seit jeher selektiert und eine gezielte Resistenzzüchtung gibt es bereits seit mehreren Jahrzehnten. Die Entstehung von „aggressiveren“ Wildformen durch die Übertragung von Resistenzeigenschaften aus Kulturpflanzen wurde mehrfach beobachtet (Ellstrand 1999). Aus diesen Ereignissen, die ausschließlich konventionell erzeugte Resistenzen betrafen, wurde nie die Forderung nach einem Verzicht auf die Resistenzzüchtung abgeleitet. Diese müsste jedoch konsequenterweise in Frage gestellt werden, wenn die Kritik an der Verwendung von gentechnisch erzeugten Resistenzen auf möglichen Risiken einer Ausbreitung dieser Gene beruht. Oder müssen transgen-vermittelte

Ausbreitung dieser Gene beruht. Oder müssen transgen-vermittelte Resistenzeigenschaften nicht-pflanzlichen Ursprungs (z.B. das Bt-Toxin-Gen) in diesem Zusammenhang grundsätzlich anders beurteilt werden als solche, die sich im (u.U. erweiterten, s. Abbildung 1) Genpool der entsprechenden Nutzpflanzenart befinden? Direkte Vergleiche lassen sich hier nur selten vornehmen, da die physiologischen Ursachen konventioneller Resistenzen häufig nicht bekannt sind.

Interessant wird die Ausbreitungs- bzw. Auskreuzungsproblematik durchaus in Zusammenhang mit der Nutzung transgener Pflanzen zur Produktion bestimmter Inhaltsstoffe wie z.B. Enzyme, Bioplastik oder pharmazeutische Proteine. In den aktuellen Forschungsprojekten werden die Strategien zur Nutzung von Pflanzen als (Roh)stoff-Produzenten häufig in Sorten nahrungsmittelliefernder Kulturarten getestet (Mais, Soja, Erbsen, Kartoffeln). Auch wenn z.B. zur Produktion pharmazeutischer Substanzen ein Anbau wahrscheinlich nur in Gewächshäusern oder auf kleinen Arealen, in unzugänglichen Bereichen (physikalische Containments) erfolgen wird, müssen mögliche Auskreuzungen der betreffenden Gene oder Vermischungen von Saatgut bei einer Sicherheitsbewertung berücksichtigt werden. In diesem Bereich sind in der Tat Szenarien vorstellbar, aus denen sich nicht nur spekulative, sondern reale Risiken herleiten ließen.

5.1.1.3 Ausbreitung von Transgenen durch horizontalen Gentransfer

Als horizontaler Gentransfer wird die Weitergabe bzw. Aufnahme genetischer Information außerhalb der sexuellen Fortpflanzungswege und unabhängig von bestehenden Artgrenzen bezeichnet. Dass eine Übertragung pflanzlicher Gene auf Pilze, Viren und Bakterien prinzipiell stattfinden kann, wurde in mehreren Studien nachgewiesen. Gleichzeitig wurde gezeigt, dass es sich hierbei um sehr seltene Ereignisse handelt (s. dazu auch Abschnitt 5.4.1).

Diskutiert wird, ob aus solchen Ereignissen Risiken für Mensch oder Umwelt abgeleitet werden können. Für die Sequenzen, die als Transgene bislang in Pflanzen übertragen wurden, lässt sich ein Gefahrenpotenzial allerdings nur schwer beschreiben. Risikoszenarien wurden z.B. für die Aufnahme von Antibiotika-Resistenzgenen (die sich aus technischen Gründen als Selektionsmarker in transgenen Pflanzen befinden) durch Bakterien entworfen (s. Abschnitt 5.4.1). Ob solche Szenarien einen realen Hintergrund besitzen, ist fraglich, denn Veränderungen der Genpools der Organismen, die diese fremde DNA aufgenommen haben, können aus den seltenen Übertragungseignissen nicht resultieren.

Erörtert wurde auch die Möglichkeit von Rekombinationen zwischen natürlichen Virusgenomen und viralen Teilsequenzen, die man in Zusammenhang mit der Erzeugung virusresistenter Sorten (s. Abschnitt 3.3) in Pflanzen übertragen hat. Unter Laborbedingungen lassen sich derartige Rekombinationsereignisse nachweisen. Ob aufgrund solcher Ereignisse die Entstehung neuer Virustypen, etwa mit verändertem Wirtsspektrum, gefördert wird, ist noch zu klären.

5.1.1.4 Einfluss auf Schadorganismen

Der Anbau der insektenresistenten Bt-Sorten (Mais, Baumwolle, Kartoffel, Tomate, s. Abschnitt 3.2) erzeugt einen hohen Selektionsdruck auf die Populationen der jeweiligen Schadinsekten. Wie bei anderen monogenen Resistenzen ist zu erwarten, dass die Schadinsekten ihrerseits Resistenzen entwickeln. Dies ist aus dem konventionellen Anbau seit Jahrzehnten bekannt und der Grund für die Notwendigkeit ständiger Neuzüchtungen. Der Zusammenbruch einer Resistenz stellt in der Regel ein wirtschaftliches Problem für den Landwirt bzw. den Saatguthersteller dar.

In Fall der Bt-Resistenz besteht die besondere Situation, dass das Bakterium *Bacillus thuringiensis* als mikrobielles Präparat zur Insektenkontrolle im ökologischen Landbau verwendet wird. Diese Bt-Präparate sind wenig persistent und die Wahrscheinlichkeit einer Resistenzbildung seitens der Insektenpopulation ist gering. Werden hingegen Bt-transgene Sorten großflächig angebaut, ist mit der Ausbildung von Resistenzen zu rechnen. Der Ökolandbau müsste infolgedessen auf eine sehr wichtige Kontrollmaßnahme verzichten.

Um den Prozess der Resistenzbildung zu verlangsamen, wurden Resistenz-Management-Systeme entwickelt. Die Environmental Protection Agency (EPA, die Umweltbehörden der USA) haben im Januar 2000 (jetzt auch in Kanada) vorgeschrieben, dass zusätzlich zum Anbau von Bt-Sorten auch ein bestimmter Anteil mit nicht-Bt-Sorten angepflanzt werden muss (*refuge fields*). Die konventionellen Sorten sollen ein Refugium für die Bt-empfindliche Insekten darstellen. Man hofft, den Selektionsdruck etwas zu mindern und die Resistenzentwicklung zu verlangsamen. Die Effizienz ein solches Resistenz-Management-Systems bleibt abzuwarten.

5.1.1.5 Einfluss auf Nicht-Schadorganismen und Auswirkungen auf die Nahrungskette

Der Anbau insektenresistenter Sorten kann u.U. nicht nur die Population des „Target“-Insekts negativ beeinflussen, sondern auch unbeteiligte Organismen in Mitleidenschaft

ziehen. In Zusammenhang mit der Kommerzialisierung von Bt-Sorten wurde in den USA eine Studie mit der Fragestellung durchgeführt, ob der Anbau von Bt-Mais die Population des Monarchfalters in den USA beeinträchtigen kann. Die Studie bestand ausschließlich aus Laborversuchen, in denen mit Pollen von Bt-Mais präparierte Pflanzen an die Larven des Monarchfalters verfüttert wurden. Die Ergebnisse deuteten daraufhin, dass das über den Pollen aufgenommene Bt-Toxin eine toxische Wirkung auf die Larven besitzt (Losey et al. 1999). Die Autoren betonten die Vorläufigkeit ihrer Laborergebnisse und stellten klar, dass entsprechende Untersuchungen unter natürlichen Bedingungen durchgeführt werden müssten, um festzustellen, ob eine tatsächliche Gefährdung des Monarchfalters durch den Anbau von Bt-Sorten entstehen kann. Inzwischen wurden zahlreiche Studien durchgeführt, deren Ergebnisse einen negativen Effekt unter *in vivo*-Bedingungen nicht bestätigen.

Spekuliert wird auch über eine indirekte Gefährdung von nicht-Target-Organismen. So gibt es Hinweise darauf, dass Insektenarten wie Florfliege oder Marienkäfer, deren Nahrungsquelle solche Organismen, die das Bt-Toxin direkt aufnehmen, darstellen, auf indirektem Wege geschädigt werden könnten. Inwieweit das Bt-Toxin als Resistenzvermittelndes Merkmal hier ein besonderes Gefährdungspotenzial besitzt, bleibt abzuwarten.

5.1.2 Beeinflussung der Kulturpflanzenvielfalt

Die Kulturpflanzenvielfalt oder landwirtschaftliche Biodiversität stellt als Ausgangsmaterial für die Weiterentwicklung von Kulturpflanzen die Grundlage für die Sicherung der menschlichen Ernährung dar. Die Erhaltung dieser Vielfalt ist essentiell für die zukünftige Ernährungssicherheit.

Mit der zunehmenden Intensivierung der Landwirtschaft in den Industrieländern und der damit einhergehenden Spezialisierung und Rationalisierung war eine Einschränkung der Kulturartenvielfalt auf wenige Hauptfruchtarten verbunden. Darüber hinaus kam es hinsichtlich der angebauten Sorten aufgrund der Entwicklung einer systematischen Pflanzenzüchtung, den Zulassungskriterien für neue Sorten (u.a. Homogenität) und den gesetzlichen Regelungen zum Handel mit Saatgut auch zu einer gewissen Einengung der genetischen Vielfalt dieser Fruchtarten. Ausdruck dieser Entwicklung ist z.B. die starke Verbreitung weniger Hochleistungssorten. Viele ältere Sorten z.B. verfügen aufgrund dieser Kriterien keine Zulassung mehr und dürfen nicht gehandelt werden.

Auch wenn die derzeitig aktuellen Sorten zweifelsohne hohe Erträge (bei entsprechenden Düngergabe) liefern, besteht aufgrund der schmalen genetischen Basis

solcher Sorten ein hoher Krankheitsdruck. Wenige Arten werden auf großen Arealen angebaut und von diesen Arten werden wiederum nur wenige Sorten genutzt. Schadorganismen finden hierdurch u.U. ideale Bedingungen für eine schnelle Ausbreitung. Der Bedarf an Pestiziden wird hierdurch gesteigert. Dass bereits durch den Anbau von Sortenmischungen eine Verringerung der Anfälligkeit erzielt werden kann, wurde bereits vielfach belegt. Auch weniger hochgezüchtete Sorten und ein genetisch weniger einheitlicher Bestand weisen in der Regel eine höhere Widerstandsfähigkeit gegenüber biotischem Stress auf (unter Inkaufnahme geringerer Erträge), ein Umstand, der z.B. in der ökologischen Landwirtschaft genutzt wird.

Allerdings wäre es falsch, aus der Anbaupraxis der intensiven Landwirtschaft zu schließen, dass die genetische Vielfalt des verfügbaren Zuchtmaterials ebenfalls gering wäre - genetische Ressourcen großen Umfangs befinden sich in den Beständen von Züchtern und Genbanken, d.h. eine *allgemeine* Verringerung der genetischen Diversität lässt sich hieraus nicht ableiten. Ebenso wenig ist zu erwarten, dass die Einführung gentechnischer Methoden die Kulturpflanzenvielfalt negativ beeinflussen könnte – im Gegenteil, bisher vernachlässigte Arten könnten u.U. mit Eigenschaften ausgestattet werden, die ihren Anbau attraktiv und konkurrenzfähig machen würden.

5.2 KANN DIE GRÜNE GENTECHNIK EINEN BEITRAG ZU EINER UMWELTVERTRÄGLICH(ER)EN LANDWIRTSCHAFT LEISTEN?

(Thomas Pickardt)

Vor dem Hintergrund der wachsenden Beanspruchung natürlicher Ressourcen und der zunehmenden Umweltbelastung entwarf die von den Vereinten Nationen 1987 eingesetzte Brundtland-Kommission ein Leitbild für zukünftige, globale Entwicklungen und prägte hierfür den Begriff „sustainable development“.¹² Im Kernpunkt enthält dieses Leitbild die Forderung nach einer weltweiten Umorientierung mit dem Ziel, ökologische Stabilität, wirtschaftlichen Wohlstand und soziale Sicherheit und Gerechtigkeit für sämtliche Bewohner der Erde inklusive der zukünftigen Generationen zu gewährleis-

¹² Im Deutschen wird dieses Leitbild in der Regel als „Nachhaltige Entwicklung“ bezeichnet. Der Begriff „Nachhaltigkeit“ ist im Deutschen jedoch bereits besetzt – er stammt aus der Forstwirtschaft (später auch von der Fischereiwirtschaft übernommen) und bedeutete ursprünglich nichts anderes, als das nicht mehr Holz geschlagen werden sollte, als im gleichen Zeitraum nachwachsen kann (der Begriff wurde bezeichnenderweise in einer Zeit geprägt, in der die Waldbestände Mitteleuropas durch Abholzung erheblich dezimiert wurden). Das Leitbild der Brundtland-Kommission sieht jedoch solche Formen von Produktionsweisen nicht unbedingt vor, sondern avisiert primär ein Gleichgewicht zwischen Ökonomie, Ökologie und sozialer Gerechtigkeit.

ten. Auf der in Kapitel 4 bereits erwähnten Konferenz der Vereinten Nationen in Rio de Janeiro wurde ein Aktionsprogramm für das 21. Jahrhundert (AGENDA 21) verabschiedet, das zur globalen Umsetzung dieses Leitbildes beitragen soll.

Zur Umsetzung des Leitbildes „sustainable development“ kann u.a. eine umweltverträgliche Landwirtschaft beitragen, d.h. einem Minimum an Einsatz von Chemie, der Verwendung erneuerbarer Energieressourcen sowie der Bewahrung der biologischen Vielfalt. Die seit langem in den Industrieländern dominierende intensive Landwirtschaft erfüllt diese Kriterien kaum und Änderungen der gegenwärtigen Praxis sind anzustreben. Die Produktion und die Verwendung erheblicher Mengen von Düngern, Pestiziden und Wachstumsregulatoren (deren große Bedeutung für die gegenwärtige Nahrungssituation keinesfalls angezweifelt wird) schädigen Umwelt, Biodiversität und Gesundheit bereits seit Jahrzehnten.

Auf welche Weise eine größere Umweltverträglichkeit in der Landwirtschaft und der Nahrungsmittelproduktion letztendlich erreicht werden kann, lässt sich gegenwärtig nicht voraussagen. Zumindest wäre es vor dem Hintergrund der derzeitigen landwirtschaftlichen Praxis sinnvoll, alle denkbaren Strategien zu erörtern und ihre Anwendung in Betracht zu ziehen. Es ist zudem zu berücksichtigen, dass nicht nur eine Änderung dieser Praxis anzustreben ist, sondern gleichzeitig eine Erhöhung der Nahrungsmittelproduktion notwendig ist, da die Bevölkerung weltweit zunimmt. Auch der ökologische Landbau kann hier eine wichtige Rolle spielen, da er in verschiedenen Entwicklungsländern eine wenig kostenintensive, aber effektive und umweltgerechte technische Weiterentwicklung der dortigen Anbautechniken darstellt (s. z.B. die Studien der University of Essex im Auftrag von Greenpeace/Brot für die Welt, sowie der internationale Naturschutzorganisation IUCN).

Eine in diesem Zusammenhang häufig gestellte Frage lautet: „Kann die Grüne Gentechnik nachhaltig sein?“ Hier wird dieser Technik ein Übermaß an Relevanz zugemessen – es handelt sich schließlich, im Gegensatz zum ökologischen Landbau, der auch ein wirtschaftliches Konzept beinhaltet, „nur“ um ein Verfahren, das in der Pflanzenzüchtung u.U. sinnvoll eingesetzt werden *kann*. Der Grad der Umweltverträglichkeit einer Agrarwirtschaft hängt nicht von den Methoden ab, die in der Züchtung benutzt werden, sondern von den jeweiligen gesellschaftlichen und vor allem wirtschaftlichen Rahmenbedingungen.

Die Nutzung gentechnisch veränderter Mikroorganismen zur Produktion von Enzymen hat eine Reihe umweltbelastender, chemischer Produktions- und Syntheseverfahren ersetzt. In Zukunft lassen sich u.U. auch transgene Pflanzen für umweltfreundlicherer Produktionswege nutzen, etwa bei der Herstellung von Bioplastik. Aber auch schon

jetzt besitzt die Grüne Gentechnik in der Tat das Potenzial, Nutzpflanzen zu erzeugen, deren Einsatz eine umweltgerechtere Anbautechnik unterstützen würde. In der Forschung an höheren Pflanzen wurde bereits vor etwa 20 Jahren damit begonnen, Strategien zu entwickeln, die eine Verringerung des Einsatzes von Pestiziden zumindest theoretisch versprechen:

- Pflanzen, die ein für Insekten toxisches Protein produzieren und sich selbst vor dem Befall schützen, d.h. keine oder weniger Insektizide benötigen (s. Abschnitt 3.2),
- Pflanzen, die aufgrund der gentechnischen Veränderung eine Resistenz gegenüber einem nicht-selektiven Herbizid aufweisen, das als Komplementärherbizid für die Bekämpfung sämtlicher Un- bzw. Beikräuter eingesetzt werden kann (s. Abschnitt 3.1). Eine höhere Umweltverträglichkeit¹³ kann resultieren, (i) da eine weniger umweltbelastende Substanz als Komplementärherbizid gezielt ausgewählt werden kann (sofern man auch das entsprechende Resistenzgen dazu findet), (ii) da das Herbizid in diesem Fall als Nachlauf-Herbizid appliziert werden kann, d.h. nicht prophylaktisch, wie gegenwärtig bei selektiven Herbiziden, (iii) da die Wirkung der nicht selektiven Herbizide einen bodenschonenderen Anbau mit weniger Erosion erlaubt, und (iv) da ein solches Unkrautkontrollsystem flexibler ist und u.U. Betriebsmittel einspart, wenn weniger Spritzvorgänge notwendig sind.
- Pflanzen, die aufgrund der gentechnischen Veränderung Resistenzen gegenüber Pilzbefall aufweisen und deren Anbau die Verwendung von Fungiziden reduzieren könnte.

Die Erzeugung pilzresistente Pflanzen hat sich als schwieriger erwiesen, dieser Ansatz befindet sich daher noch in der Entwicklung. Herbizidresistente und/oder insektenresistente transgene Sorten der Nutzpflanzenarten Mais, Soja und Baumwolle werden hingegen seit 1996 in verschiedenen Ländern mit steigender Tendenz angebaut.

In mehreren Studien wurden die Auswirkungen des Anbaus dieser Sorten auf Ertrag und Pestizidverbrauch in den USA untersucht. Obwohl z.T. die gleichen Datenquellen benutzen wurden (USDA-National Agricultural-Statistics-Service/NASS), gelangen die Autoren zu unterschiedlichen Ergebnissen und Einschätzungen. Tatsächlich ist die Frage, ob der Anbau von herbizid- und insektenresistenten Sorten zu einer Reduzierung des Pestizideinsatzes führt, gegenwärtig nicht leicht zu beantworten. Die Herstel-

¹³ Es soll allerdings daran erinnert werden, dass es bei der Entwicklung dieser Eigenschaft ursprünglich nicht um einen umweltgerechteren Anbau ging, sondern um die Vermeidung der hohen Entwicklungskosten für neue Herbizide (s. Abschnitt 3.1).

lung einer einfachen Relation zwischen Ernteerträgen und insgesamt applizierten Pestizidmengen einerseits und den steigenden Anbauflächen der entsprechenden transgenen Sorten andererseits ist wenig aussagekräftig, da der Pestizideinsatz von einer ganzen Reihe von Faktoren beeinflusst wird. Zu beachten ist z.B. hierbei, dass

- große Unterschiede in der Bodenqualität, der klimatischen Bedingungen sowie hinsichtlich des Befalls durch Schadorganismen Vergleiche zwischen verschiedenen Anbaugebieten erschweren,
- Ertrag und Befall durch Schadinsekten (und damit auch der Pestizideinsatz) von Jahr zu Jahr starken Schwankungen unterliegen,
- bei der Betrachtung der Pestizidmengen, die insgesamt oder pro Fläche appliziert werden, berücksichtigt werden muss, dass verschiedene Herbizide und Insektizide im Einsatz sind, die in ganz unterschiedlichen Konzentrationen wirken,
- die einzelnen Pestizide eine unterschiedliche Toxizität besitzen,
- die Ergebnisse unterschiedlich ausfallen können, je nachdem ob die insgesamt applizierte Menge, die pro Fläche applizierte Menge oder die Zahl der Anwendungen betrachtet werden.

Die derzeit aktuellsten Einschätzungen der Situation in den USA stammen vom National Center for Food and Agricultural Policy (NCFAP, Carpenter & Gianessi, Januar 2001). Evaluiert wurde der Anbau von transgenen Mais-, Soja- und Baumwoll-Sorten über den Zeitraum 1996-1999. Laut dieser Studie

- zeichneten sich die insektenresistenten Bt-Mais-Sorten durch höhere Erträge aus, die auf die effektivere Bekämpfung des *European Corn Bohrer* (ECB) zurückgeführt werden. Der Einsatz von Insektiziden sank nur geringfügig. Da gegen den ECB aufgrund seiner Eigenschaft, in die Halme einzudringen, wo er häufig unentdeckt blieb und zudem schwer zu bekämpfen war, schon früher kaum Insektizide eingesetzt wurden, ist dieses Ergebnis nicht unerwartet,
- führte der Anbau von insektenresistenten Bt-Baumwoll-Sorten zu einer deutlichen Reduzierung des Insektizideinsatzes bei gleichzeitig höheren Erträgen,
- sank der Herbizideinsatz insgesamt (trotz Anstieg der applizierten Glyphosatmengen) im Baumwoll- und im Sojaanbau aufgrund der Verwendung von herbizidresistenten Sorten.

Mit dieser Einschätzung stimmen die Angaben von Fernandez-Cornejo & McBride (2000, Economic Research Service, USDA) weitgehend überein. Laut dieser Studie (Evaluierungszeitraum 1996-1998) führte der Anbau (i) insektenresistenter Baumwoll-

Sorten zur Ertragssteigerung und einer Reduzierung des Herbizideinsatzes, (ii) herbizidresistenter Baumwoll-Sorten zur Ertragssteigerung ohne Änderungen im Herbizidverbrauch, und (iii) herbizidresistenter Soja-Sorten nur zu geringen Ertragssteigerung bei gleichzeitiger Verringerung des Herbizideinsatzes. In dieser Studie wird die deutliche Reduzierung von umweltbelastende(re)n Herbiziden durch den Anbau der glyphosatresistenten Roundup-Ready-Sojabohnen aufgezeigt.

Bezüglich der herbizidresistenten Roundup-Ready Sojabohnen kommt C.M. Benbrook (Northwest Science and Environmental Policy Center, Sandpoint Idaho, 1999 und 2001) zu gegenteiligen Ergebnissen. Auf der Basis einer von Carpenter & Gianessi und Fernandez-Cornejo & McBride abweichenden Berechnung und der Einbeziehung zusätzlicher Daten (*field by field comparisons*, basierend auf nicht öffentlichen Daten des USDA-NASS) geht Benbrook von einer Erhöhung des Herbizidverbrauches durch den Anbau von Roundup-Ready-Soja aus.

Keine oder eine nicht-signifikante Auswirkungen des Anbaus von Bt-Baumwoll-Sorten in den USA finden auch Thalmann und Küng (2000) in einer Studie für den WWF. In einem Kommentar zu dieser Studie bemerkt Janet Carpenter vom NCFAP (s.o.): "... the authors are correct to point out that the few years of data available since the introduction of transgenic cotton varieties are insufficient to draw firm conclusions." und bestätigt damit die gegenwärtig nur schwer einzuschätzende Lage in den USA.

Sehr deutliche Auswirkungen des Anbaus von Bt-Baumwoll-Sorten beschreibt eine im Mai 2001 veröffentlichte, gemeinsamen Studie des *Department of Agricultural, Food, and Resource Economics* (Pray & Ma, Rutgers University, New Brunswick, NJ, USA) und des *Center for Chinese Agricultural Policy* (Huang & Qiao, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China), in der 1999 eine Evaluierung von 283 Baumwollfarmen in Nordchina vorgenommen wurde. In dieser Region wurden in der Shandong- und der Hebei-Provinz auf ca. 320000 Hektar Bt-Baumwoll-Sorten angebaut (sowohl Monsanto-Sorten als auch in China hergestellte Bt-Sorten). Die Evaluierung ergab eine Reduzierung des Pestizideinsatzes auf Bt-Baumwollfeldern auf fast 1/5 der Menge, die in dieser Gegend im konventionellen Anbau benutzt wird (57,8 vs. 10,3 kg/ha).

Insgesamt ist festzustellen, dass die gegenwärtig nicht einfach auszuwertenden und zu berechnenden Daten durchaus unterschiedliche Einschätzungen erlauben. Die oben zitierte Äußerung von Janet Carpenter zur WWF-Studie ist für eine Beurteilung der derzeitigen Lage sehr hilfreich. Die Entwicklung bleibt abzuwarten.

In diesem Abschnitt wurde nur die Frage erörtert, ob die Grüne Gentechnik einen Beitrag zur Erhöhung der Umweltverträglichkeit der Landwirtschaft leisten kann. Gelegentlich wird allerdings geäußert, dass die Grüne Gentechnik die bereits beste-

hende, niedrige Umweltverträglichkeit der derzeitigen Praxis weiter verringern könnte. Diese Aussage wäre gerechtfertigt, wenn die Unkrautkontroll-Systeme wie Roundup-Ready oder Liberty-Link nicht „funktionieren“ (oder funktionieren können, wie C.H. Benbrook in seiner Studie schreibt), etwa durch die Entstehung resistenter Beikräuter (hier wäre auch die Biodiversität beeinflusst, s. Abschnitt 5.2), die mit weiteren Herbiziden bekämpft werden müssten. Es ist zu berücksichtigen, dass es sich hierbei um einen unerwünschten oder unerwarteten Effekt handelte, der im übrigen die Nutzung der entsprechenden Herbizide langfristig wieder einschränken würde. Beispiele für mit Hilfe gentechnischer Verfahren entwickelte Linien oder Sorten, in die *gezielt* Eigenschaften eingebracht worden wären, die einen höheren Energie-, Chemie- oder Düngereinsatz fordern, sind nicht bekannt.

5.3 KANN DIE GRÜNE GENTECHNIK DIE WELT SATT MACHEN?

(Martin Heyer)

Jeder sechste Mensch weltweit leidet an Hunger und Unterernährung. Nach einer Schätzung des UN-Weltbevölkerungsberichtes ist bis zum Jahr 2020 mit einer Zunahme der Bevölkerung von jetzt ca. 6 Milliarden Menschen auf etwa 7,8 Milliarden zu rechnen. Gleichzeitig geht die zur Nahrungsmittelproduktion verfügbare Fläche durch Versteppung und Auslaugung der Böden stetig zurück. Angesichts solcher Szenarien versprechen manche Befürworter der grünen Gentechnik Abhilfe für die desolante Welternährungslage. Kann die Technik den geweckten Erwartungshaltungen gerecht werden?

Der Versuch einer Antwort auf diese Frage erfordert eine differenzierte Betrachtung der Züchtungsziele bei der gentechnischen Veränderung von Pflanzen und der sozio-ökonomischen Begleitumstände des Einsatzes der Techniken. Die Zielvorgaben lassen sich grob in drei Kategorien einteilen:

- Sicherung des vorhandenen Ertrages
- Steigerung des Ertrages
- Verbesserung der Lebensmittelqualität.

Diese Bestrebungen im Bereich der gentechnischen Veränderung unterscheiden sich nicht von den Zielen, welche auch konventionelle Methoden der Züchtung immer schon ins Auge fassen. Unterschiede bestehen nur beim Grad der Wirksamkeit der eingesetzten Techniken. Während die Bestandssicherung durch Resistenz gegen biotische Stressfaktoren (wie etwa Herbizidresistenz und Insektenresistenz) in gewissem Umfange bereits praktiziert wird, ist die Immunisierung gegen abiotische

Umfänge bereits praktiziert wird, ist die Immunisierung gegen abiotische Stressfaktoren (salzhaltige Böden, Dürre etc.) bis dato noch nicht möglich. Die Erschließung bisher ungeeigneter Anbauflächen durch „genügsame“ Nutzpflanzen gilt als wünschenswert. Ob diese Techniken in absehbarer Zukunft entwickelt werden können und entwickelt werden, bleibt abzuwarten.

Hierbei geht es nicht allein um das Moment der technischen Machbarkeit. Es muss auch einbezogen werden, ob die Verfahren überhaupt – und am richtigen Orte – zur Anwendung kommen.

Nach Aussagen von Biologen könnten mindestens 20 Milliarden Menschen ernährt werden, wenn alle sich auf eine rein vegetarische Diät beschränken. Selbst unter den herrschenden Umständen eines massiven Energieverlustes durch die tierische Veredelung wäre es grundsätzlich möglich, den größten Teil der momentanen Weltbevölkerung zu ernähren¹⁴. Aus diesem Blickwinkel stellt sich das massive Ernährungsproblem in einigen Gegenden der Welt wesentlich als eine Frage der Verteilung dar. Fraglich erscheint, ob sich diese Problematik durch die Anwendung gentechnischer Verfahren lösen lässt.

Angesichts der Tatsache, dass die Mehrzahl der gentechnischen Patente in privater Hand ist, ergibt sich die Frage, welcher Anreiz für die Unternehmen besteht, zur Lösung der brennenden Frage des Welthungers beizutragen. Der privatwirtschaftliche Sektor ist dem Gewinn verpflichtet. Gerade die Länder, in denen der Bedarf an ertragssichernden und –steigernden Technologien am größten ist, sind häufig aufgrund fehlender Kaufkraft und Investitionssicherheit als Märkte für private Unternehmen wenig interessant. Für die reichen Industrieländer hingegen hat die Ertragsteigerung – in Zeiten der landwirtschaftlichen Überproduktion – keine hohe Priorität.

Ob die grüne Gentechnik einen Beitrag zur Verbesserung der Welternährung leisten kann, hängt daher neben der grundsätzlichen technischen Realisation wesentlich davon ab, ob es gelingt, institutionelle Rahmenbedingungen zu schaffen, welche den bedürftigen Regionen Zugang zu den benötigten Technologien gewähren.

Darüber hinaus ist abzusehen, dass der landwirtschaftliche Sektor in Zukunft vor massive Herausforderungen auch bezüglich der Sicherung der Quantität verfügbarer Lebensmittel gestellt werden wird. Schätzungen gehen davon aus, dass sich die globale Nachfrage an Nahrungsmitteln in den nächsten 30 Jahren verdoppeln wird. Die

¹⁴ Rechnerisch kommen beim derzeitigen Stand der Nahrungsmittelproduktion ca. 2700 kcal auf jeden Menschen.

Erschließung weiterer Anbauflächen allein – zudem sie mit Blick auf die Schrumpfung naturbelassener Regionen ökologischen Bedenken ausgesetzt ist – wird die Nachfrage voraussichtlich nicht kompensieren können.

Welchen Beitrag die grüne Gentechnik dazu leisten kann, dieser Probleme Herr zu werden, ist derzeit nicht absehbar. Unabhängig davon kann aber grundsätzlich gefragt werden, inwieweit das Vermögen, die Welternährung zu gewährleisten, zum Kriterium der Zulässigkeit einer Technologie gemacht werden kann. Bislang jedenfalls ist die Zulässigkeit konventioneller Landbau- und Züchtungsmethoden nicht danach beurteilt worden, ob diese in der Lage sind, die globale Ernährungssituation in den Griff zu bekommen.

Ein Argument gegen den Einsatz gentechnischer Methoden in der Lebensmittelherstellung lässt sich daher aus dem Blickwinkel der Welternährung nur gewinnen, wenn

- die Technik ähnlich gut oder nur unwesentlich besser zur Deckung der Nahrungsmittelnachfrage geeignet ist als andere Methoden aber gleichzeitig andersartige Nachteile aufweist (so z.B. gesundheitliche oder ökologische Risiken)
- oder der Einsatz gentechnischer Verfahren im Zusammenspiel mit anderen Techniken (konventionelle Landwirtschaft, Ökolandbau) in der Gesamtbetrachtung zu einer Verschlechterung der globalen Ernährungssituation führt, etwa wenn die Gefahr bestünde, dass die Grüne Gentechnik qualitativ überlegene aber unwirtschaftlichere Verfahren verdrängt.

5.4 GESUNDHEIT UND GRÜNE GENTECHNIK

(Thomas Pickardt)

Der Bereich Gesundheit und Nahrungsmittel ist durch eine besondere Sensibilität gekennzeichnet. Seitens der Bevölkerung bestehen prinzipiell große Hoffnungen und Erwartungen gegenüber der biomedizinischen Forschung. Gleichzeitig werden Gerüchte und Spekulationen über angebliche Risiken und Gefahren der Grünen Gentechnik für die Gesundheit schnell aufgegriffen und, da weitere Informationen oftmals nicht erhältlich sind oder nicht in glaubwürdiger Form kommuniziert werden, zu einer ablehnenden Haltung führen.

Ein Hauptthema in der Risikobetrachtung stellen sicherlich die Antibiotika-Resistenzgene dar, die sich in etwa einem Viertel der transgenen, in Ländern der OECD zugelassenen Sorten befinden. Die Allergieproblematik ist ebenfalls von Bedeutung und wird seit dem bereits erwähnten Fall der Paranuss-Sojabohne in der

Öffentlichkeit häufig diskutiert. Unerwartete oder unbeabsichtigte Effekte wie der Produktion toxischer Substanzen, die schon früher unter Fachleuten kontrovers diskutiert wurden, sind seit den Veröffentlichungen von Arpad Pusztai vom Rowett-Institut in Aberdeen ebenfalls ins Zentrum der Debatte gerückt. Da gesundheitliche Folgen die schwerwiegendsten Auswirkungen solcher „unintended effects“ darstellen würden, erfolgt ihre Behandlung in diesem Kapitel. Andere, etwa agronomische Auswirkungen, sind jedoch auch vorstellbar.

5.4.1 Antibiotika-Resistenzgene

Im ersten Kapitel (siehe Abschnitt 1.3) wurden bereits die Gründe erläutert, welche Bedeutung die Verwendung von Selektionsmarkern bei der Herstellung gentechnisch veränderter Pflanzen besitzen. Hierfür wurden bzw. werden noch sehr häufig Antibiotika-Resistenzgene (im folgenden AR-Gene) verwendet.

Es ist darüber hinaus ein Umstand zu beachten, der zur Integration weiterer, bakterieller AR-Gene führen kann. Die in das Genom der Empfängerpflanze einzuschleusenden Gene werden vor der Übertragung zunächst als Teilabschnitte von Plasmiden in *E. coli*-Bakterien kombiniert und vervielfältigt. Die hierzu verwendeten Plasmide enthalten eigene, bakterielle AR-Gene, deren Existenz für eine stabile Vermehrung der Plasmide in den Bakterienzellen notwendig ist. Bei der Transformation der Pflanzen integrieren auch diese bakteriellen Resistenzmarker häufig in das Genom der manipulierten Zellen. Gentechnisch veränderte Pflanzen enthalten daher nicht selten (zwischen 20-75% beim *Agrobacterium*-vermittelten Gentransfer) außer dem pflanzlichen auch den bakteriellen Selektionsmarker.

Die Existenz von AR-Genen in gentechnisch veränderten Pflanzen hat Diskussionen darüber ausgelöst, ob und in welchem Ausmaß ihre Existenz zur Ausbreitung von Antibiotika-Resistenzen beitragen kann und unter Umständen eine Risiko für Gesundheit und Umwelt darstellt. Da Mikroorganismen ihren Genbestand u.a. durch Aufnahme freier DNA-Moleküle erweitern können, lässt sich eine Übertragung der in transgenen Pflanzen befindlichen AR-Gene auf freilebende Bakterien (nach Verrotten der Pflanzen im Boden) oder auf Bakterien des Verdauungstraktes von Mensch und Tier (nach Verzehr der Pflanzen bzw. der daraus produzierten Lebens- oder Futtermittel) nicht ausschließen.

Die zunehmende Ausbreitung von Antibiotikaresistenzen hat in der Tat in den letzten Jahren weltweit Besorgnis hervorgerufen. Die WHO spricht von „one of the biggest challenges to face global public health at the beginning of the third millennium“ (WHO Fact Sheet N° 194, Januar 2002). Als Hauptursache wird der starke und übertriebene

Einsatz von Antibiotika in der Humanmedizin angesehen, durch den ein hoher Selektionsdruck auf Bakterienpopulationen ausübt wird und die starke Ausbreitung von Resistenz(gen)en verursacht. Ein weiterer Faktor stellt der Einsatz von Antibiotika in der Landwirtschaft dar. Derzeit werden nach Schätzungen der WHO fast 50% der weltweit produzierten Antibiotika in der Tierzucht eingesetzt. Neben ihrer Verwendung zur Behandlung tatsächlich erkrankter Tiere und als prophylaktische Maßnahme gegen Infektionen werden in diesem Bereich Antibiotika in subinhibitorischen Konzentrationen auch als Leistungsförderer während der Mast benutzt (Richter und Löscher 2002).

Welche Relevanz besitzen in diesem Zusammenhang die in gentechnisch veränderten Pflanzen unter Umständen vorhandenen AR-Gene und welche Risiken gehen von ihrer Existenz aus? In der Richtlinie 2001/18/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. März 2001 wurde die von verschiedenen Gruppen und Institutionen geäußerte Kritik an ihrer Verwendung in transgenen Pflanzen unter Artikel 4 „Allgemeine Verpflichtungen“ berücksichtigt:

„Die Mitgliedstaaten und die Kommission sorgen dafür, dass GVO, die Gene enthalten, welche Resistenz gegen in der ärztlichen oder tierärztlichen Behandlung verwendete Antibiotika vermitteln, bei einer Umweltverträglichkeitsprüfung besonders berücksichtigt werden, und zwar im Hinblick auf die **Identifizierung und schrittweise Einstellung** der Verwendung von Antibiotikaresistenzmarkern in GVO, die schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit oder die Umwelt haben können. Diese schrittweise Einstellung der Verwendung erfolgt im Falle von gemäß Teil C in den Verkehr gebrachten GVO bis zum 31. Dezember 2004 und im Falle von gemäß Teil B zugelassenen GVO bis zum 31. Dezember 2008.“

Diese Formulierung wurde häufig als grundsätzliches Verbot sämtlicher AR-Gene ab 2005 bzw. 2009 interpretiert. Die Einstellung der Verwendung von AR-Markern bezieht sich hiernach jedoch nur auf diejenigen, deren Nutzung als Selektionsmarker in transgenen Pflanzen als schädlich für die menschliche Gesundheit oder die Umwelt **identifiziert** wurden. Die Schwierigkeit bei der Umsetzung dieser Richtlinie wird darin bestehen, eine solche Identifizierung bzw. Einteilung in „schädliche“ und „nicht-schädliche“ Resistenzmarker auf einer rationalen Basis und wissenschaftlich begründet vorzunehmen.

Insgesamt wurden bislang 15 verschiedene Typen von AR-Genen als pflanzliche oder bakterielle Selektionsmarker in Zusammenhang mit der Transformation pflanzlicher Zellen verwendet (siehe Tabelle 9). Zu den von diesen Resistenzgenen betroffenen Antibiotika gehören

- verschiedene **Aminoglykoside** als größte Gruppe – was auf den häufigen Einsatz zahlreicher verschiedener Resistenzgene als pflanzliche und bakterielle Selektionsmarker zurückzuführen ist. Darüber hinaus liegen in dieser Antibiotikagruppe häufig Kreuzresistenzen vor. Hierdurch sind bei Verwendung eines Resistenzmarkers gleich mehrere Aminoglykoside betroffen.
- die Folsäure-Antagonisten, d.h. **Sulfonamid-Antibiotika** sowie Methotrexat und **Diaminopyrimidin**-Verbindungen. Methotrexat ist kein in der Therapie verwendbares Antibiotikum, allerdings vermitteln die verschiedenen Methotrexat-Resistenzgene gleichzeitig eine Resistenz gegen die in der Antibiotikatherapie verwendeten Diaminopyrimidine Trimethoprim und Pyrimethamin.
- **Chloramphenicol**, das nur gelegentlich zur Selektion pflanzlicher Zellen benutzt wurde, da die Expression des entsprechenden Markergens cm^R nicht in jedem Fall eine Resistenz in Pflanzen vermitteln konnte. Das cm^R -Resistenzgen wurde jedoch häufig als Reportergen in Pflanzen übertragen.
- **Tetracycline** und verschiedene **β -Lactam-Antibiotika**, die Substrate darstellen, die ausschließlich zur Selektion bakterieller Zellen geeignet sind. Die Existenz der entsprechenden Resistenzgene amp^R und $tetA$ in gentechnisch veränderten Pflanzen ist auf die (unerwünschte) Integration von Plasmid-*backbone*-Sequenzen zurückzuführen (s.o.).

Von den 12 Resistenzgenen, die zur Selektion **pflanzlicher** Zellen eingesetzt wurden, fanden allerdings nur die Resistenzmarker *nptII* (Resistenz gegen Aminoglykoside der Kanamycin-Gruppe) und, in geringem Umfang, *hpt* (Hygromycin-Resistenz) eine weitere Verbreitung. Zu nennen wäre noch *sul1*, das eine Resistenz gegenüber Sulfonamiden, aber auch gegen das in vielen Ländern der EU zugelassene Sulfonamid-Herbizid Asulam erzeugt. Als *in vitro*-Selektionsmarker wurde *sul1* selten verwendet, es wurden allerdings verschiedene Freisetzungen mit transgenen Linien, die dieses Gen enthalten, z.B. in England vorgenommen. Wie zu Beginn dieses Abschnittes beschrieben, befinden sich **bakterielle** AR-Marker häufig als unerwünscht integrierte Sequenzen in transgenen Pflanzen. Die Häufigkeit, mit der diese Marker in transgenen Linien auftreten, entspricht in etwa der Verbreitung der entsprechenden Transformationsvektoren in den in diesem Bereich aktiven Forschungsinstituten. Für den *Agrobacterium*-vermittelten Gentransfer sind hier vor allem die Marker *aadA* (Streptomycin/Spectinomycin-Resistenz) und *nptIII* (Resistenz gegen Aminoglykoside der Kanamycin-Gruppe, aber auch gegen Amikacin und Isepamicin) zu nennen, für den direkten Transfer (Partikel-Kanone) das Resistenzgen amp^R (bla_{TEM1} , Resistenz gegen Ampicillin und andere β -Lactam-Antibiotika, s. Tabelle 9).

OECD-weit befinden sich unter den 48 derzeit zugelassenen Sorten der hauptsächlich angebauten Arten Soja, Mais, Baumwolle und Raps 16 Sorten, die intakte AR-Gene enthalten. Es handelt sich dabei um die Marker *nptII* (12x), *ampR* (4x), *aadA* (2x) und *cm^R* (1x) (3 Sorten enthalten jeweils 2 AR-Marker).

Tabelle 9: Liste der durch Resistenzgene in gentechnisch veränderten Pflanzen betroffenen Antibiotika/Antiinfektiva, die in der Human- oder Veterinärmedizin Verwendung finden, sowie Angaben zu Freisetzungen und zum Inverkehrbringen von AR-Markergenen (Quellen: RKI, Belgian Biosafety Server, AgBios, eigene Recherchen).

Substrat	Betroffen durch Antibiotika-Resistenzgene	Freisetzungen Deutschland	im Verkehr EU	im Verkehr OECD
Aminoglycosid-Antibiotika				
Amikacin	<i>nptIII, aacA(6')</i>	+ <i>nptIII</i>	-	-
Apramycin1	<i>aacC4</i>	-	-	-
Framycetin	<i>nptI, nptII, nptIII, aacC3, aacC4, aacA(6')</i>	+ (<i>nptII/nptIII</i>)	+ (<i>nptII</i>)	+ (<i>nptII</i>)
Gentamicin (C)	<i>aacC1, aacC3, aacC4, aacA(6')</i>	? (<i>aacC1</i>) ¹	-	-
Isepamicin	<i>nptIII</i>	+ (<i>nptIII</i>)	-	-
Kanamycin	<i>nptI, nptII, nptIII, aacC3, aacC4, aacA(6')</i>	+ (<i>nptII/nptIII</i>)	+ (<i>nptII</i>)	+ (<i>nptII</i>)
Neomycin	<i>nptI, nptII, nptIII, aacC3, aacC4, aacA(6')</i>	+ (<i>nptII/nptIII</i>)	+ (<i>nptII</i>)	+ (<i>nptII</i>)
Netilmicin	<i>aacA(6')</i>	-	-	-
Paromomycin	<i>nptI, nptII, nptIII, aacC3, aacC4, aacA(6')</i>	+ (<i>nptII/nptIII</i>)	+ (<i>nptII</i>)	+ (<i>nptII</i>)
Spectinomycin	<i>aadA</i>	+	-	+ (<i>aadA</i>)
Streptomycin	<i>aadA, spt</i>	+ (<i>aadA</i>)	-	+ (<i>aadA</i>)
Tobramycin	<i>aacC3, aacC4, aacA(6')</i>	-	-	-
Antimikrobielle Folsäure-Antagonisten				
Trimethoprim	<i>dhfr</i>	-	-	-
Sulfadiazin u.a.	<i>sul1</i>	- ²	-	-
Chloramphenicole				
Chloramphenicol	<i>cm^R</i>	-	-	+
Florphenicol	"	-	-	+
Thiamphenicol	"	-	-	+
Tetracycline				
Chlortetracyclin	<i>tetA</i>	-	-	-
Doxycyclin	"	-	-	-
Minocyclin	"	-	-	-
Oxytetracyclin	"	-	-	-
β-Lactam-Antibiotika				
Benzylpenicillin	<i>amp^R</i>	+	+	+
Phenoxypenicilline	"	+	+	+
Aminopenicilline	"	+	+	+
Acylaminopenicilline	"	+	+	+
Carboxypenicilline	"	+	+	+
Cefazolin	"	+	+	+
Cefalexin	"	+	+	+

¹ Freigesetzte Linien wurden nicht untersucht

² Freisetzung erfolgte in England

Das Risiko einer vermehrten Ausbreitung von Antibiotikaresistenzen durch den Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen und ihre Nutzung als Nahrungs- oder Futtermittel setzt die Übertragung genetischen Materials von Pflanzen auf Mikroorganismen voraus. Ein solcher horizontaler Gentransfer (s. Abschnitt 5.1) steht häufig im Mittelpunkt der Diskussion und nicht selten wird aus der reinen Existenz eines solchen Vorgangs bereits ein reelles Risiko abgeleitet. Dass ein solcher horizontaler Gentransfer prinzipiell stattfinden kann, wird jedoch nicht angezweifelt (auf die Übertragungsszenarien wurde zu Beginn des Abschnittes bereits hingewiesen). Ein direkter Nachweis des Transfers eines Markergens aus transgenen Pflanzen auf Mikroorganismen ist unter weitgehend natürlichen Bedingungen bislang nicht gelungen. Die Durchführung eines solchen Nachweises ist technisch schwierig, da die Frequenz, mit der ein solcher Transfer wahrscheinlich stattfindet, in jedem Fall weit unterhalb der spontanen Resistenzentwicklung in Bakterienpopulationen liegt. Man benutzt deshalb verschiedene Maßnahmen, um die Frequenz der zugrundeliegenden Prozesse zu erhöhen und den Transfer dadurch erst detektierbar zu machen (*in vitro*-Bedingungen, sog. Mikrokosmen, künstliche Darmtrakte¹⁵; spezielle Bakterienstämme, die homologe Defekt-Gene besitzen/Marker-Rescue). Dieser Umstand zeigt, welche seltene Ereignisse hier betrachtet werden.

Die FDA (Federal Drug Administration/USA) schlug 1998 vor, folgende Informationen zur Beurteilung des Risikos eines AR-Markers zu berücksichtigen: (i) therapeutische Bedeutung des oder der betroffenen Antibiotik(a)ums, (ii) Häufigkeit der Verwendung in der Therapie, (iii) Applikationsart (oral, parenteral), (iv) Ersetzbarkeit durch andere Antibiotika, (v) Möglichkeit eines Selektionsdruckes während der Aufnahme, und (vi) die Häufigkeit, mit der das Markergen unter natürlichen Bedingungen in Bakterienpopulationen auftritt.

Unter Berücksichtigung der AR-Marker der in den OECD-Staaten kommerziell genutzten, transgenen Sorten bzw. der davon betroffenen Antibiotika (s. Tabelle 9) wären demnach folgende Informationen für eine Bewertung heranzuziehen:

- (i) und (ii) Alle betroffenen Antibiotika werden in irgendeiner Weise in der Human- und/oder der Veterinärmedizin noch genutzt, auch wenn es sich ausschließlich um „ältere“ Varianten der jeweiligen Klassen handelt. Die Bedeutung der sechs betroffenen Aminoglykoside Kanamycin, Neomycin, Framycetin, Paromomycin, Strep-

¹⁵ In der kürzlich veröffentlichten *in vivo*-Studie zur Transformation im Darmtrakt, in der Hühnchen mit Mais der Syngenta Linie Bt-176 gefüttert wurden, war ein Transfer des *ampR*-Gens nicht nachzuweisen. (Chambers et al., JAC 49, 161-164, 2002)

tomycin und Spectinomycin in der Humanmedizin (nicht Veterinärmedizin) ist in Europa und Nordamerika gesunken (Verabreichung nur noch in speziellen Fällen), in Ländern der dritten Welt wird z.B. jedoch Kanamycin (aufgrund der hohen Toxizität bei uns nur zur lokale Anwendung benutzt) durchaus noch zur Tuberkulose-therapie eingesetzt (*Ärzte ohne Grenzen*, Welt-Tuberkulose-Tag, März 2000). Neomycin wird nach wie vor in der perioperativen Prophylaxe eingesetzt, obwohl dies in Lehrbüchern bereits als „veraltet“ gilt. Auch die betroffenen Penicilline und die beiden Schmalspur-Cephalosporine Cefazolin und Cefalexin sind nicht mehr neu, werden aber dennoch benutzt. Kaum noch, und nur in Notfällen, wird in der Humanmedizin aufgrund von Nebenwirkungen Chloramphenicol verabreicht. In der Veterinärmedizin werden jedoch die beiden in der Humanmedizin nicht zugelassenen Derivate Thiamphenicol und Florphenicol (Thiamphenicol soll keine Nebenwirkungen besitzen) häufig verwendet.

- (iii) Unter den betroffenen Antibiotika befinden sich sowohl solche, die parenteral als auch solche die oral (Aminopenicilline, Phenoxyphenicilline, Cefalexin, Neomycin) appliziert werden. Dieser Punkt bezieht sich auf ein bislang nicht erwähntes Risikoszenario: Gelegentlich wurde die Vermutung geäußert, dass die Aufnahme der entsprechenden Genprodukte, der Antibiotika-inaktivierenden Enzyme, eine orale Therapie möglicherweise behindern kann. Es gibt bislang allerdings keine Daten, die darauf hinweisen, dass die betreffenden Enzyme im Magentrakt eine hinreichende Aktivität besitzen könnten.
- (iv) Es handelt sich bei den betroffenen Wirkstoffen um Antibiotika, die sich in der Regel durch andere ersetzen lassen.
- (v) Ein Selektionsdruck während der Aufnahme des aus transgenen Pflanzen stammenden Nahrungs- oder Futtermittels ist möglich, wenn gleichzeitig eine Antibiotikatherapie vorgenommen wird. Solche Maßnahmen sind vor allem in der Tierzucht nicht auszuschließen.
- (vi) Die Resistenzlage ist gegenwärtig für alle betroffenen Antibiotika schwierig, d.h. Resistenzen finden sich mit hoher Frequenz in klinischen, aber auch in nicht klinischen Isolaten. Dies ist eine Folge des hohen Selektionsdrucks, der durch die großen Mengen, die in Human- und Veterinärmedizin im Fall dieser Antibiotika seit längerer Zeit verabreicht werden, hervorgerufen wird. Aber auch in natürlichen, vom Menschen unbeeinflussten Habitaten ließen sich z.B. *ampR*-Resistenzen nachweisen. Antibiotikaresistenzen sind natürliche Eigenschaften, die sich in Bakterienpopulationen bereits befinden.

Die Bedeutung der einzelnen Informationen für die Risikobeurteilung wird in der Diskussion durchaus unterschiedlich eingeschätzt. Eine Bewertung sollte jedoch in erster Linie den letzten Punkt berücksichtigen, d.h. die bisher ermittelten bzw. errechneten Transferraten müssen in einen Bezug zu den natürlichen Quellen und Vorkommen gesetzt werden. Nach den bisherigen Erkenntnissen ist eine Beeinflussung des bakteriellen Genpools (selbst wenn man vom natürlichen, vom Menschen unbeeinflussten Genpool ausgeht) durch die Verwendung der AR-Gene, die sich in den gegenwärtig in Ländern der OECD zugelassenen Sorten befinden, sehr unwahrscheinlich.

Ein Einwand gegen diese Sichtweise weist darauf hin, dass diese Resistenzgene mutieren und sich auf diesem Wege „gefährlichere“ Resistenzen herausbilden könnten (etwa beim *amp^R*-Gen). Dies ist nicht ausgeschlossen, es sollte aber berücksichtigt werden, dass dieser Umstand für die bereits in Bakterienpopulationen mit einer vergleichsweise viel höheren Frequenz vorkommenden *amp^R*-Kopien ebenfalls gilt. Zu betrachten sind hier die Relationen zwischen verschiedenen Eintrittswahrscheinlichkeiten.

Als schädlich für Gesundheit oder Umwelt lassen sich die gegenwärtig in kommerzialisierten Sorten befindlichen AR-Gene, zumindest auf einer wissenschaftlich-rationalen Basis, schwerlich identifizieren (s. Artikel 4 der Richtlinie 2001/18/EG). Eine Ablehnung der Verwendung dieser Marker in transgenen Pflanzen ließe sich nur mit dem Vorsorgeprinzip begründen.

5.4.2 Erhöhung des Allergierisikos durch gentechnisch veränderte Pflanzen

Transgen-vermittelte Eigenschaften beruhen zumeist auf der Produktion „neuer“ (aus Sicht des Empfängerorganismus) Proteine (Ausnahme: Sense- und Antisense Strategien z.B. bei verzögerter Fruchtreife oder Virusresistenzen, s. Kapitel 3). Wird das Protein in Teilen oder Organen der Pflanze gebildet, die der menschlichen Ernährung dienen, ist das u.U. vorhandene allergene Potenzial dieses Proteins zu berücksichtigen.

Im Prinzip kann jedes Lebensmittel Allergien auslösen, die Mehrzahl wird allerdings verursacht durch Kuhmilch, Nüsse, Hülsenfrüchte, Getreide, Eier und Meeresfrüchte. Die Quellen sind den Betroffenen in der Regel aus Erfahrung bekannt. Die eigentlichen Auslöser sind Proteine, die nach bisherigen Erkenntnissen häufig folgende Eigenschaften aufweisen: sie besitzen eine bestimmte Größe (10-70 Kilodalton), sind stark

glykosyliert (d.h. mit Zuckermolekülen versehen), sie sind sehr stabil, d.h. überstehen Kochen und saures Milieu und treten in den Geweben bzw. den Pflanzenorganen, die aufgenommen werden, in größeren Mengen auf. Diese Erkenntnisse bedeuten allerdings nicht, dass es eine etablierte Methode gäbe, mit der sich das allergene Potenzial eines Proteins vorhersagen ließe.

Bei der Herstellung transgener Pflanzen kann nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden, dass Proteine mit allergenem Potenzial gebildet werden. Hieraus könnte ein Risiko entstehen für diejenigen in der Bevölkerung, die eine Allergie gegen dieses Protein besitzen. Jemand, der auf die Speicherproteine in Paranüssen allergisch reagiert, kann auf ihren Konsum verzichten. Wird das Gen für ein solches Speicherprotein in andere, nahrungsmittelliefernde Nutzpflanzenarten (etwa Sojabohnen) transferiert und hier das Protein in größeren Mengen produziert, ergibt sich ein offensichtliches Problem. Dieses Beispiel ist hinreichend bekannt und dient in vielen Diskussionen als ein Argument (unter anderen) gegen die Verwendung gentechnisch veränderter Pflanzen zur Produktion von Nahrungsmitteln.

Die Expression des Paranuss-Albumins in Soja sollte den Nährwert der Samen erhöhen. Das Albumin enthält verhältnismäßig viel Methionin und vermag in der Tat den Methioningehalt in Samen verschiedener Pflanzenarten (Raps, Tabak, *Vicia narbonensis*) signifikant zu erhöhen. Damit gehört diese Strategie eigentlich zu den „Chancen der Grünen Gentechnik“ - nur wurden die potenziellen Risiken dieser Vorgehensweise nicht von Beginn in ausreichender Weise experimentell berücksichtigt. Es ist allerdings zu beachten, dass die Arbeiten an diesen transgenen Soja-Linien das experimentelle Stadium nie verlassen haben.¹⁶

Dieses Beispiel hat durchaus Einfluss auf die Debatte gehabt, und auch den Eindruck hinterlassen, dass das Allergieproblem von Seiten der Wissenschaft bzw. Industrie unterschätzt wurde. Dieser Eindruck ist jedoch falsch, denn Untersuchungen zum allergenen Potenzial fremder Proteine in transgenen Pflanzen wurden von Beginn an durchgeführt. Auch im Fall der Paranuss-Sojabohnen fand eine Begleitforschung zu dieser Problematik statt. Aus Sicht der Anwender zeigt dieses Beispiel deshalb, dass die entsprechenden Kontrollsysteme funktionieren.

Firmen, die gentechnisch veränderte Pflanzen herstellen und Saatgut der Linien verkaufen, sind veranlasst, detaillierte Studien zum Allergiepotezial vorzulegen. Zwei Kriterien bzw. Eigenschaften werden hier vor allem geprüft:

¹⁶ „Misserfolge“ auf dieser Ebene erreichen die Öffentlichkeit in der Regel nicht.

- Ist der Spenderorganismus des Transgens als Allergen-Quelle bekannt? Im Fall der Paranuss-Soja war dies leicht zu beantworten und Untersuchungen konnten gezielt an geeigneten Paranuss-Allergikern durchgeführt werden. Schwieriger ist dies in Fällen, bei denen die Fremdproteine aus Quellen stammen, die nicht als Nahrungsmittel genutzt werden. Hierzu gehören Genprodukte aus Bakterien wie die Bt-Toxine aus *Bacillus thuringiensis* oder die EPSP-Synthase aus *Agrobacterium tumefaciens*, die sich in den Roundup-Ready-Sorten von Monsanto befinden. Fälle von Allergien sind daher bislang nicht bekannt.
- Inwieweit ähnelt das fremde Protein bereits bekannten Allergenen? Aus Vergleichen der Aminosäuresequenzen lassen sich bereits Erkenntnisse gewinnen (allerdings deutete z.B. die Sequenz des Paranuss-Albumins nicht auf allergene Eigenschaften hin).
- Welche physikalisch-(bio)chemischen Eigenschaften besitzt das Protein? Auf bestimmte, allergieauslösende Eigenschaften von Proteinen wurde zu Beginn dieses Abschnitts bereits hingewiesen: Temperatur- und Säurestabilität, Konzentration sowie das Glykosylierungsmuster. Die gastrischen Stabilität (Überlebensdauer im Magensaft) kann, wie Studien von Monsanto gezeigt haben, ebenfalls eine Rolle zu spielen. Bekannt Allergene bleiben im Magensaft relativ lange erhalten, während Proteine, die bislang nie als Allergen in Erscheinung traten, nur wenige Sekunden unter diesen Bedingungen überlebten.

Diese Informationen können jedoch immer nur einen Hinweis auf ein mögliches Allergiepotezial liefern (bzw. auf die Abwesenheit eines solchen), eine präzise Voraussage lässt sich nicht vornehmen. Es kann darüber hinaus nicht völlig ausgeschlossen werden, dass

- (i) ein bekanntes Protein in einer transgenen Pflanze, d.h. in einem genetisch und physiologisch fremden *Background*, ein ganz anderes Verhalten zeigt (s. auch Abschnitt 5.4.3). Dies kann zum einen die Größe des Proteins betreffen (unterschiedliche Prozessierung), aber auch das Glykosylierungsmuster (Zuckermoleküle, die sich auf der Oberfläche vieler Proteine befinden - eine sekundäre Modifizierung eines Proteins, die nicht durch die Sequenzinformation des dem Protein zugrundeliegenden Gens gesteuert wird). Die Struktur und Zusammensetzung dieser Zuckerreste für ein bestimmtes Protein können in Abhängigkeit vom Wirtsorganismus variieren.
- (ii) völlig neue Proteine entstehen, etwa durch Sequenzumlagerungen (siehe Abschnitt 5.4.3), oder ein bis dahin in geringen Mengen vorkommendes Protein

durch Veränderung eines Regulationsschrittes in seiner Konzentration ansteigt – zwei eher seltene, aber durchaus nicht völlig auszuschließende Ereignisse.

Zu einer gewissen Verunsicherung hat zweifelsohne das Beispiel StarLink beigetragen. Die insektenresistente Mais-Sorte StarLink (Event CBH-351, s. Abschnitt 3.2) produziert die Bt-Toxin-Variante Cry9C. Im Gegensatz zu den anderen bis dahin verwendeten Bt-Toxinen besitzt Cry9C einige Eigenschaften, die auf ein allergenes Potenzial hindeuten. Auch wenn Sequenzvergleiche mit bekannten Allergenen keine Hinweise hierfür lieferten (dieser Test hatte schon im Fall des Paranuss-Proteins versagt), deutet die hohe Stabilität gegenüber Pepsinverdau (bis zu 4 Stunden haltbar) und Hitze (bis zu 10 Minuten stabil bei 90°C) auf ein solches Potenzial hin. Die Environmental Protection Agency (EPA) erlaubte 1998 den Anbau von Starlink nur zur Verwendung als Futtermittel. Eine erneute Untersuchung im Jahre 2000 des *Federal Insecticide, Fungicide, and Rodenticide Act* (FIFRA) *Scientific Advisory Panel* (SAP) bescheinigte Cry9C eine „mittlere“ Wahrscheinlichkeit dafür, ein potenzielles Allergen zu repräsentieren.

Im September 2000 wurde mittels PCR-Analysen festgestellt, dass StarLink-Mais offensichtlich doch den Weg in die menschliche Nahrungskette gefunden hatte. In sogenannten Taco-Shells (mexikanische Fladenbrote) der Firma Kraft ließen sich spezifische Sequenzen nachweisen, deren Existenz auf der Verwendung von StarLink bei der Herstellung dieses Nahrungsmittels beruhen musste. Kraft nahm daraufhin 2,5 Millionen Packungen Taco Shells vom Markt. Gleichzeitig wurde der Verkauf von StarLink Saatgut verboten und eine Rückkaufaktion, deren Kosten Aventis Crop Science übernahm, des gesamten StarLink-Saatgutes gestartet. Weitere Analysen ergaben, dass StarLink-DNA in bereits 300 verschiedenen Maisprodukten enthalten war, die ebenfalls vom Markt genommen wurden. Da die USA große Mengen an Mais exportiert, wurden auch in anderen Ländern PCR-Analysen an Saatgut und Nahrungsmitteln durchgeführt. Fündig wurde man in Japan, jedoch nicht in Europa. Festzuhalten ist allerdings, dass bislang kein Fall bekannt wurde, in dem Cry9c eine Allergie ausgelöst hätte.

In die Kritik gerieten vor allem auch die Zulassungs- und Aufsichtsbehörden. In Anbetracht des schon einige Jahre zurückliegenden Paranuss-Sojabohnen-Falles ist der Standpunkt der Behörden nicht nachvollziehbar, die Existenz eines potenziellen Allergens in einer auch zur Lebensmittelproduktion genutzten Kulturpflanze zuzulassen. StarLink lediglich als Futtermais zuzulassen, ohne davon auszugehen, dass eine vollständige Trennung der Saatgutvertriebssysteme kaum zu gewährleisten ist, erscheint realitätsfremd. Von diesem Standpunkt aus hätte man bedenkenlos die

Pioneer Hi-Bred Paranuss-Soja zulassen können, denn diese Linien waren ausschließlich für den Einsatz als Schweinefutter bestimmt.

Inwieweit sich das Allergieproblem lösen lässt, bleibt abzuwarten. Die Bedeutung unabhängiger und kompetenter Zulassungs- und Genehmigungsbehörden wird hier offensichtlich. Eine ausreichende Kennzeichnung von Nahrungsmitteln aus gentechnisch veränderten Pflanzen ist darüber hinaus für Allergiker eine nachvollziehbarerweise notwendige Maßnahme.

5.4.3 Unerwartete bzw. unbeabsichtigte Effekte, Produktion schädlicher Stoffwechselprodukte

Die in der Öffentlichkeit präsentierten, notwendigerweise vereinfachten Darstellungen molekularbiologischer Techniken und gentechnischer Verfahren suggerieren (unbeabsichtigterweise) häufig, dass Gene ohne Schwierigkeiten und in einer weitgehend kontrollierbaren Weise von einem in den anderen Organismus geschleust werden könnten. Dieser Eindruck ist jedoch falsch, tatsächlich kann es aufgrund zunächst unbekannter Regulationsprozesse z.B. auf genetischer Ebene große Probleme bereiten, z.B. ein bakterielles Gen in einer Pflanze zu exprimieren. Im Fall der Bt-Toxin-Gene aus *Bacillus thuringiensis* z.B. mussten diverse Modifizierungen des Originalgens vorgenommen werden, bevor das Produkt, die *crystal*-Proteine (s. Abschnitt 3.2), überhaupt in ausreichender Menge in pflanzlichen Zellen gebildet wurden. Auch Proteine können in verschiedenen Organismen unterschiedlichen Modifizierungen unterliegen (bezüglich der Länge der Aminosäureketten oder der „Anheftung“ spezifischer Zuckermoleküle, s. Allergierisiko) oder unterschiedliche Transportwege innerhalb der Zelle einschlagen. Über das Verhalten z.B. eines Speicherprotein(gen)s aus einer einkeimblättrigen Pflanze wie Mais in einer zweikeimblättrige Art wie Sojabohnen lässt sich gegenwärtig zunächst nur spekulieren. Erkenntnisse lassen sich hierüber nur experimentell gewinnen. Tatsache ist, dass bislang nur ein Bruchteil der Regulationsprozesse auf Genom-, Protein- und Stoffwechselebene sowie ihrer Interaktion mit biotischen und abiotischen Umwelteinflüssen erforscht sind (die Gentechnik trägt übrigens heute einen entscheidenden Teil dazu bei, diese Prozesse und Interaktionen aufzuklären).

Bei der Nutzung gentechnischer Verfahren zur Modifizierung von Pflanzen kommt ein zweiter „Unwissenheitsfaktor“ hinzu. Die Integration eines fremden Gens erfolgt hier zufällig, ohne dass sich die Position des transgenen Genortes innerhalb des Empfänger-genoms (bisher) kontrollieren ließe. Darüber hinaus finden vor und während der Integration mehr oder weniger vielfältige Sequenzumlagerungen (die benachbarte

Teile des Empfänger-genoms zumeist einschließen) statt. Jede transgene Linie, die im Labor produziert wird, stellt daher einen besonderen „event“ mit speziellen Eigenschaften dar, auch wenn sie mit denselben Gensequenzen transformiert wurden. Dies hat zwei Konsequenzen:

- Viele der im Labor produzierten transgenen Linien¹⁷ zeigen ein instabiles Verhalten bezüglich der Expression des übertragenen, fremden Gens, da der neue genetische Kontext, in dem es sich befindet, nicht „passt“ (und bislang noch wenig verstandene molekulare Mechanismen das Gen „abschalten“) oder aufgrund von Sequenzumlagerungen bei der Integration ein instabiler Locus entstanden ist.
- Jede Integration verändert zwangsläufig die Sequenzanordnung am betroffenen Genort des Empfänger-genoms, und u.U. dort liegende Gene werden zerstört.

Während das *Abschalten* eines Transgens nur in bestimmten Fällen ein Sicherheitsrisiko darstellt (z.B. biologische Containmentmaßnahmen, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll), kann nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden, dass die Zerstörung eines Gens und ein damit u.U. verbundener Verlust etwa einer Stoffwechselfunktion im Empfängerorganismus zur Bildung neuer, unbeabsichtigter und eventuell auch schädlicher Stoffwechselprodukte oder zu morphologischen Abweichungen gegenüber der Ausgangslinie führt. Es ist allerdings zu beachten, dass solche „unintended effects“, die sich nicht mit der Funktion des eingeschleusten Gens korrelieren lassen, nicht unbedingt mit der Anwesenheit des Fremdgens in Verbindung stehen müssen, sondern auch durch genetische Veränderungen in anderen Teilen des Genoms verursacht werden können, die während der z.T. sehr langen Gewebekulturphasen mitunter auftreten. Es ist daher fraglich, ob die häufig verwendete Bezeichnung „pleiotrope Effekte“ (d.h. ein Gen bzw. eine Gen-Funktion ist für mehrere verschiedene Merkmale verantwortlich) für diese Phänomene tatsächlich zutreffen.

Auf einen „unintended effect“ führte Arpad Pusztai die von ihm in einem Fütterungsexperiment an Ratten festgestellte erhöhte Toxizität von transgenen Kartoffeln zurück. Es handelt sich um den bisher einzigen Fall, in dem eine Korrelation zwischen einer gentechnischen Veränderung und dem Auftreten toxischer Substanzen behauptet wird. Es ist inzwischen hinreichend bekannt, dass die Daten dieser Studie keine sehr hohe Signifikanz besaßen und ein normales Begutachtungsverfahren, wie vor Publikationen wissenschaftlicher Daten üblich, kaum überstanden hätten. Trotzdem

¹⁷ Diese Aussage bezieht sich auf Primärtransformanten, die noch keinem Ausleseverfahren hinsichtlich Expressionshöhe und -stabilität sowie Wachstumsverhalten unter Anbaubedingungen unterzogen wurden. Eine über mehrere Generationen überprüfte, gentechnisch veränderte Linie kann den gleichen Stabilitätsgrad aufweisen wie konventionelle Sorten.

wissenschaftlicher Daten üblich, kaum überstanden hätten. Trotzdem hatte diese Studie erheblichen Einfluss auf die öffentliche Debatte. Sie hinterließ u.a. bei einem nicht geringen Teil der Bevölkerung den Eindruck, dass solche Fütterungsstudien erstmalig durchgeführt worden wären. Grundsätzlich lässt sich ein Effekt, wie ihn Pusztai beschreibt, nicht ausschließen. Es ist allerdings davon auszugehen, dass ein solches Ereignis sehr unwahrscheinlich ist und überdies in den üblicherweise vorgesehenen Tests detektiert worden wäre. Die heute verfügbaren Analyseverfahren und die Intensität, mit der Produkte aus gentechnisch veränderten Pflanzen hinsichtlich möglicher Gesundheitsrisiken evaluiert und in Fütterungstests auf ihre Toxizität geprüft werden, werden unterschätzt. Untersucht werden gegenwärtig die „unintended effects“ in dem gegenwärtig laufenden EU-Projekt GMOCare, an dem 11 Arbeitsgruppen aus Ländern der europäischen Union beteiligt sind.

Bei der Beurteilung der Risiken von „unintended effects“, ist zu berücksichtigen, dass es sich hierbei nicht um gentechnik-spezifische Phänomene handelt. Bei der Mutationszüchtung, mit deren Hilfe z.B. die Nektarine oder viele Hartweizenlinien gezüchtet wurden, kommt es zu vielfältigen und nicht-erfassbaren Sequenzveränderungen im Genom, die diejenigen gentechnischer Veränderungen weit übertreffen. Nicht nur auf Genomebene, sondern auch hinsichtlich der Proteinzusammensetzung und Inhaltsstoffe können sich solche Linien deutlich vom Ausgangsmaterial unterscheiden.

Die (sehr geringen) Risiken solcher „unintended effects“ sind auch in transgenen Pflanzen zweifelsohne existent, sie unterscheiden sich jedoch nicht von denjenigen, denen wir bereits seit vielen tausend Jahren ausgesetzt sind.

5.5 WIRTSCHAFTLICHE ENTWICKLUNG

(Thomas Pickardt)

Die Gentechnik gilt allgemein als Wachstumsbranche – inwieweit gilt dies für die Grüne Gentechnik? Detaillierte quantitative Analysen über mögliche direkte und indirekte wirtschaftliche Effekte, die sich aus der kommerziellen Anwendung der Grünen Gentechnik in Deutschland und Europa ergeben würden, liegen derzeit nicht vor.¹⁸ Da erhebliche Unterschiede zwischen den sozioökonomischen und rechtlichen Rahmenbedingungen zwischen Europa und denjenigen Ländern bestehen, in denen die Grüne Gentechnik bereits kommerziell angewandt wird, können Entwicklungen in diesen Ländern sicherlich nicht direkt übertragen werden.

Breite Anwendung findet die Grüne Gentechnik derzeit nur auf dem wenig segmentierten Saatgutmarkt. Bereits vor Einführung der Gentechnik dominierten in den Industrieländern Großunternehmen den Saatgutmarkt mit zunehmender Tendenz zur Konzentration (Deutschland besitzt hier mit vielen relativ kleinen Zuchtbetrieben eher eine Ausnahmestellung). Die Pflanzenzüchtung ist kapital- und zeitintensiv, mit einem unter den gegebenen Wirtschaftsbedingungen ausgeprägten Trend zu Kooperation, Fusion und Monopolisierung, der derzeit durch die Globalisierung der Handelsbeziehungen noch verstärkt wird. Kritisiert wird hierbei vor allem, dass die Monopolbildung zu Abhängigkeiten der Landwirte führen kann, und dass diese Tendenz insbesondere die Situation der Landwirte in Entwicklungsländern verschlechtern kann. Da die Gentechnik selbst ebenfalls eine kostenintensive Technologie darstellt und zudem die Einbeziehung von Patentierungen im Saatgutsektor, der früher nur durch das Sortenschutzrecht geregelt war, fördert, könnte sie diese Tendenz unterstützen. Nichtsdestotrotz ist nicht auszuschließen, dass sich Freiräume für kleinere Unternehmen mit speziellen Ideen und Entwicklungen in diesem Bereich eröffnen könnten. In diesem Zusammenhang ist jedoch zu beachten, dass die derzeit geplanten Zulassungsregelungen in der EU, die in Ermangelung wissenschaftlicher Daten bezüglich der vermuteten Risiken ausschließlich aus dem Vorsorgeprinzip basieren, sehr kostenintensive

¹⁸ Dem Statistischen Bundesamt, den einschlägigen Ministerien, der International Labour Organisation und einschlägigen Forschungsinstituten liegen derzeit keine Daten zur Entwicklung des Arbeitsmarktes bezogen auf den Bereich der Grünen Gentechnologie vor. Die Studien von Ernst&Young und Daten des Informations-Sekretariats-Biotechnologie (<http://www.i-s-b.org/>) beziehen sich auf den Sektor Biotechnologie allgemein und enthalten vor allem Daten zu Firmengründungen und Gewinnen in dieser Branche. In Deutschland sind ca. 13% der ca. 300 Biotechnologiefirmen im Bereich Pflanzenbiotechnologie und Ernährung tätig.

Testverfahren erforderlich machen werden, die den Trend zur Monopolisierung letztendlich wiederum verstärken. Hiervon wären insbesondere die in Deutschland derzeit noch existierenden mittelständischen Unternehmen betroffen.

Für die Landwirtschaft bedeutet der Einsatz der Gentechnik höchstwahrscheinlich weitere Rationalisierungen, d.h. es werden in diesem Bereich eher Arbeitsplätze wegfallen. Ob der derzeitige Stand gehalten werden kann, ist fraglich - mitunter wird darauf hingewiesen, dass die Verwendung von gentechnisch veränderten, rohstoffliefernden Pflanzen (s.u.) günstige Folgen für diesen Arbeitsmarkt haben könnte. Es ist jedoch anzunehmen, dass hieraus eher Arbeitsplätze in verarbeitenden Industrien resultieren werden. Insgesamt ist davon auszugehen, dass in diesem Bereich andere Maßnahmen und Regelungen auf EU-Ebene (z.B. die Agenda 2000) die Arbeitssituation weitaus stärker beeinflussen als die Einbeziehung gentechnischer Methoden. In einem begrenzten Umfang werden Arbeitsplätze auf höherqualifizierter Ebene im Bereich Forschung und Entwicklung entstehen. In Zusammenhang mit der Einführung der z.Z. geplanten Richtlinien und Regularien zur Kennzeichnung und zur Rückverfolgbarkeit bezüglich der Herstellungsprozesse bei Nahrungs- und Futtermitteln sind darüberhinaus zusätzliche Arbeitsplätze im Bereich der Analytik und in Behörden zu erwarten.

Ein u.U. zukunftsreicher Bereich betrifft die sog. „Output traits“, d.h. die Nutzung pflanzlicher Organismen als Bioreaktoren für die Erzeugung industrieller Enzyme und Proteine (u.a. eine Erweiterung der gegenwärtig bereits etablierten mikrobiellen Produktion von Enzymen, s. Abschnitt 3.8), medizinisch-pharmazeutisch-nutzbare Proteine und Peptide („molecular- oder gene-farming“), veränderte bzw. optimierte Protein-, Kohlenhydrat- und Fettsäuremuster sowie neuartiger Polymere. Marktvolumen und Gewinnspannen wären in diesem Bereich unter Umständen höher als im Saatgutsektor. Bislang befindet sich dieser Zweig der Grünen Gentechnik allerdings noch in der Entwicklung. Sollten in diesem Bereich effiziente Produktionsverfahren entstehen, ist von einer Schaffung neuer, qualifizierter Arbeitsplätze auszugehen. Zu erwarten wären hier auch vermehrte Gründungen kleinerer Firmen, sog. Startups wie gegenwärtig in der Biomedizin (die wenigen, in den letzten Jahren neugegründeten Firmen im Bereich der Grünen Gentechnik sind in der Tat u.a. in diesem Bereich aktiv, z.B. PlantTec, Sungene, MPB-Cologne).

Die derzeitige Verteilung der wirtschaftlichen Nutzen aus dem Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen auf die beteiligten Firmen, Farmer und Konsumenten wurde in verschiedenen, in den USA und China durchgeführten Studien untersucht (diese Studien enthalten z.T. auch Daten zu den Auswirkungen des Anbaus herbizid- und

insektenresistenter Sorten auf den Pestizideinsatz bzw. –verbrauch, s. auch Abschnitt 5.2 zur Umweltverträglichkeit).

Im Auftrag der USDA ermittelten Fernandez-Cornejo & Klotz-Ingram (1998) und Fernandez-Cornejo et al. (1999) Daten über Erträge, Pestizidverbrauch und wirtschaftlichen Profit in Zusammenhang mit dem Anbau transgener Sorten bei über 2000 Farmern in den Hauptanbaugebieten für Mais, Soja und Baumwolle. Zusätzlichen Profit erzielten die Farmer durch den Anbau von herbizidresistenten und insektenresistenten Baumwoll-Sorten, während aus dem Anbau herbizidresistenter Sojabohnen keine wirtschaftlichen Vorteile gegenüber dem Anbau konventioneller Sorten resultierten. Unklar blieb dieser Studie nach die Lage beim Bt-Mais-Anbau. Laut einer auf Daten aus Indiana basierenden Studie von Hyde et al. (1999) ist ein wirtschaftlicher Vorteil der Bt-Mais-Sorten gegenüber konventionellen *premium-seed*-Sorten nur dann gegeben, wenn die Wahrscheinlichkeit eines Befalls durch den *European Corn Bohrer* 40% übersteigt.

Zwei US-Studien untersuchten darüberhinaus die Aufteilung des wirtschaftlichen Profits aus dem Anbau von Bt-Baumwoll-Sorten zwischen Farmern und (Biotech-) Saatfirmen. Eine Evaluierung des Anbaus 1996 durch Falck-Zepeda et al. (1999) ergab, dass zwischen 43% und 59% des Überschusses bei den Farmern blieb, während Monsanto/Delta Pine Land zwischen 27% und 47% des Profits behielten. Schätzungen für das Jahr 1998 ergaben eine vergleichbare Aufteilung. Nach Moschini et al. (1999) bleibt hingegen im Fall des Anbaus herbizidresistenter Sojabohnen der überaus größte Teil des Überschusses bei Monsanto.

Eine im Mai 2001 veröffentlichte, gemeinsamen Studie des *Department of Agricultural, Food, and Resource Economics* (Pray & Ma, Rutgers University, New Brunswick, NJ, USA) und des *Center for Chinese Agricultural Policy* (Huang & Qiao, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China) beschreibt eine 1999 durchgeführte Evaluierung von 283 Baumwollfarmen in Nordchina, die Bt-Mais-Sorten (sowohl Monsanto-Sorten als auch in China hergestellte Bt-Sorten) auf einer Fläche von ca. 320000 Hektar anbauen. Neben einer deutlichen Reduzierung des Pestizideinsatzes (s. Abschnitt 5.2) wurde festgestellt, dass der aus dieser Einsparung entstandene Überschuss hauptsächlich den Farmern zugute kommt (ca. 80-85%), während die Hersteller des Saatgutes (CAAS, Center for Chinese Agricultural Policy sowie Monsanto/Delta Pine) aufgrund der in China herrschenden IP-Regelung und der Bereitschaft von Monsanto auf Profite aus derartigen Aktionen gegenwärtig zu verzichten mit einem nur geringen Anteil beteiligt wurden. Die Konsumenten konnten von den Einsparungen im Anbau nicht profitieren, da die Preise für Baumwolle in China staatlich kontrolliert werden.

Ob die Grüne Gentechnik einen direkten oder indirekten Einfluss auf den Arbeitsmarkt haben wird und wie sich die wirtschaftlichen Gewinne im einzelnen verteilen werden, hängt in erster Linie von den gesetzlichen und forschungsfördernden Strukturen und den allgemeinen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen ab, unter denen sie praktiziert wird.

5.6 WAS FORDERN DIE VERBRAUCHER?

(Nicole Heine)

Auch der Einsatz der grünen Gentechnik, insbesondere bei der Produktion von Nahrungsmitteln, ist ein Bereich, in dem Verbraucher ihr Recht auf Selbstbestimmung ausüben wollen; sie verlangen daher nachvollziehbare Informationen und die Möglichkeit, beim Kauf von Nahrungsmitteln auswählen zu können. Zur weiteren Begründung der Position, dass gerade in diesem Bereich das Recht auf Selbstbestimmung nicht eingeschränkt werden darf, wird angeführt, dass der einzelne Verbraucher durch Information und Wahlmöglichkeit selbstständig gesundheitliche Risiken für sich vermindern könne (dies gilt im besonderen Maß z.B. für Allergiker oder Diabetiker). Zum anderen wird darauf verwiesen, dass jeder Mensch als Verbraucher die Möglichkeit haben müsse, sein Konsumverhalten nach eigenen ethischen Kriterien zu gestalten.

Die Verbraucher bringen die Forderung nach Selbstbestimmung im Bereich der Nahrungsmittel – im Vergleich zu anderen Gütern – mit besonderem Nachdruck vor. Dies begründet sich zum einen aus der besonderen Rolle, die Nahrung in unserem Leben spielt: Weil sie der Selbsterhaltung dient, ist sie nicht irgendeine Art von Konsumgut, dessen wir uns enthalten könnten. Wenn Wahlfreiheit in diesem Bereich nicht garantiert ist, hat der Verbraucher nicht die Option, auf Nahrungsmittel völlig zu verzichten. Darüber hinaus ist unser Essverhalten besonders eng mit unserer individuellen Identität verbunden: Es kann Ausdruck unserer individuellen ethischen Überzeugungen sein, wie etwa bei Vegetariern und Veganern. Es ist aber stärker noch Teil unserer unbewussten Selbstrepräsentation, was beispielsweise in Fällen von Essstörungen besonders offensichtlich wird. Zudem ist das Essen insgesamt auch ein wichtiger Bestandteil unserer kulturellen Identität. Aus dieser weiteren Perspektive heraus betrachtet dient die möglichst uneingeschränkte Ausübung des Rechts auf Selbstbestimmung beim Kauf von Nahrungsmitteln der Verwirklichung eines individuellen Lebensentwurfes und kann Teil eines guten Lebens sein.

Wie könnte die geforderte Wahlfreiheit eingelöst werden?

Als Voraussetzung von Wahlfreiheit fordern die Verbraucher die verlässliche Kennzeichnung von Lebensmitteln allgemein. Selbstbestimmte, auf Kennzeichnung basierende Wahl setzt aber voraus, dass der Gehalt der Kennzeichnung auch verständlich ist; es bedarf somit darüber hinaus noch weitergehender Information und Aufklärung bezüglich der Kennzeichnung. Außerdem wird eine größere Transparenz im Bereich der Lebensmittelzulassung gefordert. Dies soll in Zukunft in Europa dadurch erreicht werden, dass alle Zulassungsanträge und Stellungnahmen öffentlich zugänglich gemacht werden, und binnen 60 Tagen seitens der Öffentlichkeit wieder Stellung genommen werden kann.

Wie im Rechtsteil beschrieben, garantiert Kennzeichnung gegenwärtig keine Wahl zugunsten absolut GVO freien Lebensmitteln: „GVO-frei“ ist als Kennzeichnung nicht zulässig, da gänzliche GVO-Freiheit unter gegebenen technischen Voraussetzungen als schwer realisierbar gilt. Eine Kennzeichnungsregelung vom produktbezogenen Ansatz hin zum prozessbezogenen Ansatz versucht, dem Informationsanliegen der Verbraucher weitestgehend gerecht zu werden. Eine weitere Forderung der Verbraucher zielt auf die Analysemethoden ab: Grenzwerte sollen dem jeweiligen Stand der analytischen Möglichkeiten angepasst werden.

Umfragen zufolge würden die meisten Verbraucher GVO-Produkte gegenwärtig nicht kaufen. Wie das Kaufverhalten tatsächlich aussehen würde bei unterschiedlichen Regelungen, ist derzeit nicht absehbar: So ist z.B. nicht klar, welche Preisunterschiede zwischen Produkten ohne GVO und GVO-Produkten, die eventuell aus den Kennzeichnungsregelungen resultieren könnten, tatsächlich in Kauf genommen würden. Eine Tendenz der Verbraucher, zum billigeren Produkt zu greifen, würde ein angenommenes Recht der Verbraucher auf Wissen jedoch grundsätzlich nicht untergraben. Dennoch würden sich folgende Fragen stellen: Wie könnte Wahlfreiheit garantiert werden, wenn die Mehrheit der Verbraucher ein solches Kaufverhalten zeigt? Bestünde, insofern traditionelle Produkte verdrängt zu werden drohten, trotzdem ein Recht der Verbraucher auf Bereitstellung solcher Produkte?

6 SCHLUSSBETRACHTUNG DER AUTOREN

Die Grüne Gentechnik wirft eine große Fülle naturwissenschaftlicher, rechtlicher und ethischer Probleme auf. Das Thema ist so vielschichtig, dass die Bearbeitung aller relevanten Fragen im Rahmen dieses Readers nicht möglich ist. Daher werden zuerst die Fragen angesprochen, welche in der Diskussion eine besonders exponierte Stellung einnehmen.

Die harten Notwendigkeiten physischer Existenzsicherung verbieten es, über das "Ob?" von Lebensmittelproduktion zu diskutieren. Es kann daher immer nur um das "Wie?" gehen. Jede Methode der Produktion verfügt dabei über Vor- und Nachteile. Während eine Form des Anbaus möglicherweise langfristige ökologische Schäden verursachen könnte, mag eine andere – ökologisch unbedenklichere – nicht genug Ertrag liefern, um die Lebensmittelnachfrage zu befriedigen.

Betrachtet man die unterschiedlichen Ansätze isoliert, besteht die Gefahr, dass ein jeder unzureichend erscheint. Die Frage, ob eine bestimmte Form der Lebensmittelproduktion zulässig oder geboten ist, kann daher immer nur in Zusammenschau mit und im Vergleich zu allen anderen Produktionsweisen entschieden werden. Auch reicht eine Betrachtung der rein technischen Aspekte einer Produktionsweise offensichtlich nicht aus. Die Ausgestaltung der rechtlichen und sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen einer Technik ist wesentlich dafür, ob sie bestimmte Probleme tatsächlich lösen kann.

Wie kann man im Diskurs über den „richtigen Weg“ vorankommen?

Erste Voraussetzung ist es, Einigkeit über die zugrundeliegenden Fakten zu erzielen (kognitiver Konsens). Dabei gilt es, nicht nur technische Aspekte (Risiko der Auswildung, Möglichkeit der Ertragssteigerung etc.), sondern auch "weichere" Fakten (Risikowahrnehmungen der Bevölkerung, Gewinn- und Innovationserwartungen) einzubeziehen.

Von Bedeutung ist weiterhin, eine Einigung darüber zu erzielen, wie und welche Fakten in den Entscheidungsprozess eingebracht werden. Die unglaubliche Fülle der Daten lässt es als unwahrscheinlich erscheinen, dass alle Fakten in den Diskurs- und Entscheidungsprozess mit einbezogen werden können. Daher wird es wichtig sein, sich über die Datenbasis für Entscheidungen zu einigen.

Gelingt es, einen Konsens über die Datenbasis zu erzielen, so bleibt im nächsten Schritt die *Beurteilung* der Fakten zu diskutieren. Dies bedeutet zunächst einmal, nicht mehr als eine Prognose zu erstellen über die Auswirkungen, welche die Basisdaten auf

die zukünftige Entwicklung haben werden. Damit ist das Feld der wissenschaftlichen Theoriebildung betreten. Die verschiedenen Hypothesen über die Auswirkungen einer Technologie sind, wenn sie gegeneinander abgewägt werden sollen, an neu auftretende Daten rückzubinden.

Schließlich kommt die Ethik ins Spiel. Wenn man sich über die faktische Basis und die Bewertung geeinigt hat, können folgende Fragen gestellt werden:

Dürfen wir diese Zielsituation wollen?

Müssen wir diese Zielsituation wollen?

Wollen wir diese Zielsituation? Und wenn ja, welche Mittel erachten wir als angemessen?

Geht man von einem bestimmten Set von Grundwertungen (z.B. Menschenwürde, Eigenwert der Natur) aus, so kann die Bewertung eines Szenarios anhand dieser Maßstäbe zu der Feststellung führen, dass ein Szenario ethisch geboten oder auch verboten ist.

Woraufhin die Anwendung und die Folgen einer Technik wie der Grünen Gentechnik ethisch beurteilt werden, ergibt sich aus ethischen Prinzipien. Im Rahmen einer pluralen Gesellschaft kommen vornehmlich diejenigen Prinzipien in Frage, die unter dem Leitbegriff der *Menschenwürde* und als daraus abgeleitete Grundrechte allgemeine Akzeptanz erfahren. Diese moralischen Prinzipien verpflichten vor allem dazu, die Möglichkeit einer *selbstbestimmten* Entfaltung der Persönlichkeit ebenso zu schützen wie die *vitalen, kulturellen* und *natürlichen Lebensgrundlagen* des Menschen. So ist im Blick auf die Anwendungen der Gentechnik zu klären, auf welche Verträglichkeiten oder Grundgüter hin die Technikfolgen analysiert werden sollen. Insofern gibt der ethische Diskurs der Technikfolgenabschätzung Koordinaten vor; und nach der Technikfolgenabschätzung sind wiederum deren Ergebnisse ethisch zu bewerten. Sicherlich unterscheiden sich die Menschen in ihren Werteinschätzungen, und da es bei den Betroffenen um viel geht, spielen auch Ängste, Emotionen und Interessen eine wichtige Rolle. Gerade weil dies so ist, wird das ethische Urteil, die sorgfältige Analyse der Gründe, die gewissenhafte Abwägung der Pros und Contras und die Suche nach der richtigen Mitte zwischen Fortschrittsoptimismus und Veränderungskepsis notwendig.