

Gentechnologie bei Pflanzen

Herausforderungen für den Schulunterricht

**Herausgegeben von:
Albrecht Müller, Julia Dietrich,
Frank-Thomas Hellwig**

Dezember 1998

ISBN: 3-932013-66-2

ISSN: 0945-9553

***Akademie für Technikfolgenabschätzung
in Baden-Württemberg***

Industriestr. 5, 70565 Stuttgart
Tel.: 0711 • 9063-0, Fax: 0711 • 9063-299
E-Mail: info@afta-bw.de
<http://www.afta-bw.de>

Die *Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg* gibt in loser Folge Aufsätze und Vorträge von Mitarbeitern sowie ausgewählte Zwischen- und Abschlußberichte von durchgeführten Forschungsprojekten als *Arbeitsberichte der Akademie* oder *Materialien* heraus. Diese Reihen haben das Ziel, der jeweils interessierten Fachöffentlichkeit und dem breiten Publikum Gelegenheit zu kritischer Würdigung und Begleitung der Arbeit der Akademie zu geben. Anregungen und Kommentare zu den publizierten Arbeiten sind deshalb jederzeit willkommen.

Inhalt

Vorwort

Ethische Fragen der Biotechnologie **1**

Prof. Dr. Dietmar Mieth

Zentrum für Ethik in den Wissenschaften, Universität Tübingen

Gentechnik und Lebensmittel **14**

Prof. Dr. Klaus-Dieter Jany

Molekularbiologisches Zentrum der Bundesforschungs-
anstalt für Ernährung, Karlsruhe

Risikowahrnehmung und Risikobewertung von Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen **36**

Dr. Beatrix Tappeser

Öko-Institut e. V., Freiburg

Gentechnik aus der Sicht von Schülerinnen und Schülern **59**

Gerhard Keck

Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, Stuttgart

Erfahrungen mit der Unterrichtseinheit:

“Moderne Biotechnologie in der Pflanzenproduktion: Grünes Gold der Zukunft?” **74**

Dr. Thomas von Schell

Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, Stuttgart

Dr. Birgit Poggendorf

ehemals: Akademie für Technikfolgenabschätzung
in Baden-Württemberg, Stuttgart

Leitideen für die Behandlung wissenschaftsethischer Themen in der Schule am Beispiel “Gentechnik bei Pflanzen” **80**

Julia Dietrich, M.A.

Zentrum für Ethik in den Wissenschaften, Universität Tübingen

Weiterführende Literatur **104**

zusammengestellt von Frank-Thomas Hellwig, M.A.

Zentrum für Ethik in den Wissenschaften, Universität Tübingen

Adressen **106**

Vorwort

Die vorliegende Publikation versammelt Vorträge, die im Rahmen einer Fortbildung für Lehrerinnen und Lehrer der Sekundarstufe II am 3. und 4. April 1998 zum Thema "Gentechnik bei Pflanzen am Beispiel der Tomate" gehalten wurden. Diese Veranstaltung wurde von der Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg zusammen mit dem Zentrum für Ethik in den Wissenschaften der Universität Tübingen konzipiert und durchgeführt.

Die Veranstaltung war interdisziplinär angelegt und richtete sich an Lehrer und Lehrerinnen aller einschlägigen Fächer wie Biologie, Chemie, Ethik, Religion u. a. Damit sollte eine fächerübergreifende Zusammenarbeit angeregt werden, die im Schulalltag allzuhäufig zu kurz kommt. Sie ist aber für die Behandlung von Problemen moderner Technologien unentbehrlich: Fragen aus dem Bereich der Technikfolgenabschätzung und der Wissenschaftsethik sind stets interdisziplinäre Fragen, insofern ihre Beantwortung auf verschiedene Disziplinen empirischer Forschung und auf ethische Grundlagen angewiesen ist. Außerdem legt es die Idee einer Ethik *in* den Wissenschaften nahe, wissenschaftsethische Themen nicht ausschließlich an die Fächer Religion oder Ethik u. a. zu delegieren, sondern gerade auch in den naturwissenschaftlichen Fächern anzusiedeln.

Die fächerübergreifende Struktur der Veranstaltung wurde insbesondere im Hinblick auf die ethische Debatte von den Teilnehmenden äußerst positiv aufgenommen. In bezug auf die naturwissenschaftlichen Grundlagen erwies es sich dagegen als schwierig, einen gemeinsamen Wissensstand herzustellen, ohne die einen zu unterfordern und die anderen zu überfordern. Es wurde daher darauf verzichtet, hier nochmals die naturwissenschaftlichen Grundlagen der Gentechnik vorzustellen. Statt dessen wurde von Frank-Thomas Hellwig, M.A., (ZEW) Literatur zusammengestellt, die einen fundierten und aktuellen Einstieg ermöglicht.

Gemäß den Kompetenzen der beteiligten Institutionen konzentrierte sich die Fortbildungsveranstaltung hauptsächlich auf die Entfaltung des Sachstands und der ethischen Problemlage und weniger auf didaktisch-methodische Fragen im engeren Sinne. Diese Gewichtung prägt dementsprechend auch die Veröffentlichung:

Der Beitrag von Prof. Dr. Dietmar Mieth (Zentrum für Ethik in den Wissenschaften, Tübingen) gibt einen Überblick über die mit der Biotechnologie und Gentechnik verbundenen ethischen Fragen. Er läßt die Eigenständigkeit der ethischen Debatte, deren Abgrenzung von der Moralsoziologie und insgesamt die Komplexität der Problematik deutlich werden und kann von Lehrenden geradezu als ein "Steinbruch" für ethische Aspekte der Gentechnik genutzt werden.

Wie unterschiedlich die Risikowahrnehmung bzw. die Risikobewertung von Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen sein können, zeigen die Ausführungen von Prof. Dr. Klaus-Dieter Jany (Bundesforschungsanstalt für Ernährung, Karlsruhe) und Dr. Beatrix Tappeser (Öko-Institut e.V., Freiburg). Die Auseinandersetzung mit beiden Sichtweisen fordert dazu heraus, die eigenen (Vor-) Einstellungen zu klären und das Verhältnis von empirischen und ethischen Fragen zu bedenken.

Auf diesem Hintergrund unmittelbar brisant sind die Ergebnisse einer Studie über Biotechnologie und Gentechnik aus der Sicht von Schülerinnen und Schülern, die Gerhard Keck (Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, Stuttgart) durchgeführt hat: Entgegen einer weit verbreiteten Meinung scheinen nämlich die Einstellungen von Schülerinnen und Schülern zur Gentechnik nicht vom Stand des Fachwissens, sondern von den moralischen Grundüberzeugungen der Schüler und Schülerinnen abhängig zu sein.

Über konkrete Erfahrungen mit dem Unterrichtsprojekt "Moderne Biotechnologie in der Pflanzenproduktion", das 1996 im Rahmen der Landesgartenschau durchgeführt wurde, berichten Dr. Thomas von Schell und Dr. Birgit Poggendorf (Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, Stuttgart). Abschließend stellt Julia Dietrich M.A. (Zentrum für Ethik in den Wissenschaften, Tübingen) am Beispiel der "FlavrSavr-Tomate" allgemeine Leitideen für die Behandlung wissenschaftsethischer Themen im Unterricht vor, die Lehrer und Lehrerinnen bei der inhaltlichen Konzeption ihres Unterrichts anleiten bzw. unterstützen sollen.

Wir hoffen, daß wir mit der vorliegenden Publikation einen kleinen Beitrag zu einem unmittelbaren Austausch zwischen Forschung bzw. Universität und Schule leisten können.

Albrecht Müller

(Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, Stuttgart)

Julia Dietrich

Frank-Thomas Hellwig

(Zentrum für Ethik in den Wissenschaften, Tübingen)

Ethische Fragen der Biotechnologie¹

Dietmar Mieth

1 Ethische Grenzen der Gentechnik im allgemeinen

Der Mensch hat mit dem Eintreten in neue technologische Dimensionen mit hohem Risiko bisher immer wieder zwei Erfahrungen gemacht: allzu euphorische Erwartungen sind trügerisch; alle Resultate sind zweideutig. Die Frage stellt sich damit immer wieder, wie lange der Mensch noch den Entwicklungen, die er selber setzt, als Mensch in ihren Folgen gewachsen ist. Ohne Frage nimmt die Anforderung an die menschliche Verantwortung in einem Ausmaße zu, daß wir die menschliche Kontingenz beachten müssen: während die Produkte des Menschen immer "besser", d. h. komplexer und effizienter werden, wird der Mensch nicht besser. Aber selbst wo das Nachdenken über ethische Grenzen frühzeitig einsetzt, entstehen für die Ethik in der derzeitigen Weltlage doch drei schwierige Probleme:

1. das *Problem des Überblicks* angesichts der Komplexität der Zusammenhänge und der Spezialisierung bzw. Ausdifferenzierungen der Wissenschaft und Technik;
2. das *Problem des Konsensmangels* in ethischen Kriterien; ein Beispiel dafür ist die Diskussion über den Schutz des Lebens und seiner Integrität bei Entwicklungsformen menschlicher Subjekte; auch ökologisch-ethische und wirtschaftsethische Voraussetzungen sind weltweit noch unterschiedlicher als in unseren Breitengraden;
3. das *Problem der Durchsetzbarkeit* der ethischen Verantwortung gegenüber anders orientierten Interessengruppen, vor allem gegenüber scheinbar selbsttätigen Entwicklungen: Was man weiß, das kann man bald, und was man kann, das macht man bald, und wenn es so weit ist, kommt die Ethik zu spät, d. h. sie kann bestenfalls kompensatorisch eingreifen. Das Argument mit der normativen Kraft des Faktischen bzw. der Tendenzbewegung wird gern als Machtmittel benutzt.

Aber das faktische Verhalten der Menschen ist kein ethisches Kriterium. Auch abfragbare Bewußtseinszustände und spontane Urteile sind noch einmal auf ethische Richtigkeit hin hinterfragbar. Daher können Akzeptanzen in der Gesellschaft, bezogen auf gesellschaftlich signifikante und verhaltensprägende Gruppen zwar Hinweise auf Moralfragen geben, aber sie können solche Fragen nicht entscheiden. Ansonsten würde sich normatives Denken in Moralsoziologie auflösen, und politische Pragmatik reduzierte sich auf Akzeptanzstrategien (wie sind Akzeptanz bzw.

¹ Bei diesem Beitrag handelt es sich um einen leicht überarbeiteten Ausschnitt aus: Mieth, Dietmar (1994): "Ethische Evaluierung der Biotechnologie." In: Schell, Thomas von / Mohr, Hans (Hg.): Biotechnologie - Gentechnik: eine Chance für neue Industrien. Berlin: Springer. S. 505-530.

Nicht-Akzeptanz zu berücksichtigen, wie sind sie zu stabilisieren bzw. zu destabilisieren, zu erhalten, zu verändern usw.). Wer nach dem ethisch Richtigen fragt, akzeptiert eine Bindung seiner Handlungen an Prinzipien, Werte, Güter und Normen, d. h. an präskriptive Urteile, die dem anthropologischen Grunddatum der Unterscheidungsfähigkeit von gut und böse, richtig und falsch entsprechen. Das ethische Urteil ist dabei in bereichsspezifischen Zusammenhängen immer ein gemischtes Urteil. Es enthält nämlich auch beschreibende Elemente oder Sachurteile, die über die Einschlägigkeit und die Gültigkeit der Norm mitentscheiden (Die Geltung einer Norm in abstracto oder unter standardisierten Umständen bleibt davon unberührt.). Durch Veränderung z. B. Weiterentwicklung der Sachurteile wird daher auch die konkrete Norm berührt und u. U. verändert. Ethische Richtigkeit steht zudem unter den Bedingungen des gesellschaftlichen Diskurses, in welchem sie sich nicht nur nach den Regeln freier und fairer Verständigung ausweisen muß, sondern auch mit Aneignungsprozessen zu tun hat, die u. U. nur eine graduelle Verwirklichung zulassen. Die ethische Bewertung kann in diesem Sinne als fortlaufender Prozeß angesehen werden, der, so paradox dies klingen mag, um seiner Flexibilität willen stabiler Institutionen bedarf, die begleitend reagieren können.

Als Maßnahme empfiehlt sich die Institutionalisierung der Ethik in den Bereichen von Naturwissenschaft/Medizin und Technik/Ökonomie. Dabei bedarf es einer interdisziplinären ethischen Diskussion über die Grenzen von Anwendungen gentechnischer Methoden in verschiedenen Bereichen, die die folgenden zehn Fragen zu beantworten versucht:

1. Sind die *Zielvorstellungen* und Entwicklungsmöglichkeiten zu euphorisch in der einzelwissenschaftlichen Bewertung?
2. Wie kann die *Isolation spezialisierter angewandter Forschung* verringert werden?
3. Wie ist die *Verantwortung* für vormenschliche Umwelt, menschliche Mitwelt und Nachwelt einzubringen?
4. Wie können einzelne Probleme (der Ernährung, der Umwelt) so gelöst werden, daß die *Probleme, die durch die Problemlösung entstehen*, nicht größer sind als die Probleme, die gelöst werden?
5. Welche *Risiken* können in Kauf genommen werden, welche Sicherheitsvorkehrungen sind nötig?
6. Verringert nicht der größere technische Sicherheitsbedarf die *soziale Sicherheit* und Freiheit?
7. Verlängert oder verschärft die Gentechnologie ein *Fortschritts- und Wachstumsproblem*, das uns bisher schon erkennbar ist (z. B. Grenzen der "grünen" Revolution)?
8. Greifen *alternative Techniken* nicht besser und verursachen weniger Probleme?

9. Inwiefern treten wir in eine *neue Dimension des Menschen* als verantwortlicher Gestalter der Welt ein, und inwieweit taugen wir als Menschen dafür? (Die Frage nach der Endlichkeit des Menschen.)

10. Welche Chancen hat die *Ethik* in einer scheinbar selbsttätigen Entwicklung?

Eine der konventionellen Formeln in der Debatte um die Gentechnik ist “die Abwägung von Chancen und Risiken”. Diese Rede von Chancen und Risiken ist jedoch oft nicht zutreffend. Sie gilt nicht, wo Schadensgröße und Eintrittswahrscheinlichkeit nicht bekannt und nicht quantifizierbar sind. In der spieltheoretischen Terminologie handelt es sich also um Entscheidungen unter Ungewißheit. Qualitative Unterschiede sind aber durchaus formulierbar, Szenarien unerwünschter Folgen sind beschreibbar. Auf diesem Hintergrund sind folgende Voraussetzungen für Bewertungsverfahren und Entscheidungen notwendig:

- *Ungewißheitsmomente* sind an den Anfang von Überlegungen zu stellen, um soweit wie möglich Unsicherheiten zu verringern;
- eine *Einzelfallbetrachtung* ist beizubehalten;
- *Schadensqualitäten* müssen politisch-ethisch vertretbar sein, d. h. Entscheidungen müssen durch ein politisches und rechtliches Verfahren hindurch, das sich an moralischen Grundsätzen und z. B. an den vorgestellten Leitfragen orientiert;
- ein Verfahren muß eine *Ziel-, Folgen- und Alternativenbewertung* umfassen. Empirische Technikfolgenabschätzung als Verträglichkeitsprüfung bedarf der normativen ethischen Orientierung als Teil einer Ethik der Technik;
- im Rahmen diskursiver Verfahren besteht im Sinne einer *Beweislastverteilung* eine Begründungspflicht von Argumenten;
- aufgrund der Verflochtenheit von Wissenschaft mit Technologie und Ökonomie stellt sich die Frage nach der Verantwortung bereits am Entstehungsort der wissenschaftlichen Erkenntnis. Es geht um die *Vorverlegung der Folgenerkenntnisse*, für die bestimmte institutionelle Formen der (Selbst-)Verantwortung notwendig sind. Diese Vorverlegung ist jedoch nicht nur der alleinigen Verantwortung einzelner Wissenschaftler anzulasten. Gesellschaft und Wissenschaft sind hier wechselseitig in der Übernahme der Verantwortung gefordert. Dazu bedarf es der Brücken des Austausches zwischen Wissenschaft, Technik, Ökonomie und Gesellschaft. Solche Brücken sind im Fachjournalismus und der Publizistik ebenso zu sehen wie in Institutionen und Programmen zwischen Wissenschaft und Gesellschaft.

2 Gentechnik in der Landwirtschaft²

Man wird einzelne Fortschritte im Produktivitätszuwachs weder leugnen noch mißbilligen wollen, doch die Bilanz der “grünen Revolution” in den Entwicklungsländern und die Bilanz der Fortschritte der Mechanisierung, Rationalisierung und Chemisierung in unserer Landwirtschaft weisen auch erschreckende Negative aus: die Vernichtung bäuerlicher Kleinbetriebe und die Landflucht; die Umweltschäden und die mangelnde Verteilungsgerechtigkeit; die Monokulturen und die Überproduktion. Wenn zudem sechs Siebtel der Nutzpflanzen, statt direkt der menschlichen Ernährung zuzukommen, auf dem Wege über die Fütterung der Fleischproduktion verlorengehen, wenn Produktivitätszuwachs nicht nur Gemüsehalden und Butterberge erzeugt, sondern auch schwerwiegende Gefahren für Böden und Grundwasser, wenn falsch angelegte Entwicklungsprojekte zu Erosion und Armut führen, wenn immer weniger Firmen immer mehr Produkte kontrollieren, wenn die Artenvielfalt abnimmt und die Abhängigkeit der Abhängigen immer mehr zunimmt – wer wird da nicht skeptisch auf alle euphorischen Pläne schauen, mittels Produktivitätszuwachs Ernährungsprobleme zu lösen, ohne zu fragen, was wo mit welchen Mitteln für wen und zu wessen Vorteil in der Landwirtschaft produziert werde?

Das neue Schlüsselwort nach Mechanisierung, Monokulturen und Chemisierung heißt “Biotechnik”, und ein Teil davon ist die Gentechnik. In der Tierzucht sind große Veränderungen erreicht worden. Durch Embryotransfer läßt sich der Zuchtfortschritt weiter beschleunigen und mittels der Gentransfermethoden lassen sich Tiere mit ganz neuen Eigenschaften erzeugen. Im Vordergrund der Bestrebungen standen Produktionszuwachs (mehr Milch, mehr Fleisch), Qualitätsveränderungen (weniger Fett), die Erzeugung krankheitsresistenter Tiere und die Produktion von Pharmaka im tierischen Euter (Gene Farming), Nutzpflanzen, die weniger unter Unkrautvertilgungsmitteln leiden (Herbizidresistenz), bessere Schädlingsbekämpfung durch gentechnisch veränderte Bakterien – von Makro- bis Mikroorganismen kann und soll vieles in den Dienst der neuen gentechnischen Methoden gestellt werden, deren fortschreitende Anwendung von einer neuen Euphorie angetrieben wird: neue Produkte, neue Qualitäten, neues qualitativ hochstehendes, umweltgerechteres Wachstum, Arbeitsbeschaffung. Zur Differenzierung solcher Erwartungen, die als Absichten verständlich und als Gesinnungen ehrenwert sind, sollten *in neuen Institutionen* die richtigen bioethischen, umweltethischen, sozial- und wirtschaftsethischen Fragen gestellt werden.

Die Gentechnik ist grundsätzlich nicht “gefährlicher” als z. B. Informationstechniken. Aber die Frage, ob wir uns immer schnellere Fortschritte in immer kürzerer Zeit leisten können, während die Zeit für die Reflexion der verantwortlichen Anwendung dadurch schwindet, drängt sich auf. Das Beispiel der Kerntechnik bildet hier einen Reibungspunkt der Reflexion. Die Isolierung von Zielvorstellungen in techni-

² Vgl. Stanger 1992, Skorupinski 1996.

schen Fragen muß aufgehoben werden, damit die Wissenschaftler und Techniker über den Rand ihres Reagenzglases und über die Wände ihres Labors hinausschauen. Es handelt sich immerhin um eine neue Dimension, insofern die Möglichkeiten des Menschen als verantwortlicher Schöpfer enorm ausgeweitet werden. Wir müssen uns auch danach fragen, ob wir Menschen nicht auf Dauer zum Opfer eines neuen Sicherheitsbedarfs, gesteigerter Umweltprobleme und Strukturveränderungen werden.

Bioethisch ist zu fragen: Sind gentechnisch veränderte Pflanzen und Tiere nicht auch biologisch fragwürdig; frißt der hohe technische Aufwand zu ihrer Erzeugung, zu ihrer Unterhaltung nicht den Einzelvorteil, dessentwegen sie geschaffen werden, mehr als auf? Andererseits gehen die Erkenntnisse der Gentechnik zunehmend dahin, daß die veränderten Organismen nicht beeinträchtigt sind. Hier gibt es sowohl für Tiere wie für Pflanzen beachtliche Erfolge. Dennoch ist zu klären, ob sich die transgenen Pflanzen und Tiere nicht nur unter sehr speziellen Rahmenbedingungen bewähren. Unter langfristiger Perspektive und sich ändernden Produktionsanforderungen könnte sich dann eine vordergründig positive Nutzen-Schaden-Bilanz in ihr Gegenteil verkehren. Im Zusammenhang mit der Freisetzung von gentechnisch veränderten Pflanzen stellen sich Fragen, deren Beantwortung schwierig und umstritten ist: Sind die transgenen Pflanzen aufgrund der zusätzlichen metabolischen Belastung weniger konkurrenzfähig oder nicht? Lassen sich daraus für ihre biologische Intaktheit Folgerungen ziehen oder nicht? Immerhin werden die Fachwissenschaftler diesen Fragen nachgehen, oder sie sollten es tun.

Umweltethisch ist davon auszugehen, daß ein bestimmter Bestand an Chemiebedarf strukturell (auf niedrigerem Niveau) befestigt wird. Die Fragen lauten hier:

1. Gibt es Alternativen (Ökolandbau), die für eine Grundversorgung ausreichen?
2. Wieviel Chemie ist tatsächlich notwendig?
3. Verstärkt die Gentechnik den Abhängigkeitsgrad der Pflanzen von der Chemie oder kann sie zur Reduktion dieser Abhängigkeit beitragen?
4. Welche ökologischen Folgewirkungen können sich aus spezifischen Eingriffen ergeben bzw. welche potentiellen Folgen lassen sich aus den Eingriffen ableiten, insbesondere wenn die neuen Pflanzen mit entsprechenden selektiven Vorteilen ausgestattet werden?

Sozialethisch ist zu fragen: Welche Risiken können in Kauf genommen werden, welche Sicherheitsvorkehrungen sind nötig? Könnte nicht der größere technische Sicherheitsbedarf zur Gefahr für soziale Sicherheit und Freiheit werden? Sind Problemlösungen in der Ernährung ohne Bekämpfung der Hauptursachen der Mangellage zu akzeptieren, z. B. in der Fleischproduktion auf Kosten der vegetarischen Nahrung oder der schlechten Verteilung der Überschüsse? Gentechniker propagieren beides: die bessere Produktion und die Bekämpfung des Mangels. Aber wie ist das Verhältnis zu bestimmen?

Wirtschaftsethisch ist zu fragen: Verlängert und vergrößert nicht die Gentechnologie ein Fortschritts-, Wachstums- und Abhängigkeitsproblem, das bisher schon erkennbar ist: angesichts der im ganzen nicht widerlegten "Grenzen des Wachstums" immer noch dem Wachstum den Vorrang vor der Verteilung, der Arbeitsintensität und der Bekämpfung der Droge "Konsumismus" zu geben? Ferner: Greifen Alternativen (biologischer Landbau, ökologisch orientierte Projekte zu angepaßter Selbstversorgung) nicht besser und verursachen weniger Probleme?

Diese sind nur wenige von vielen Fragen, die sich aus ethischer Verantwortung stellen. Was bisher schon falsch war, wird durch eine Fortsetzung mit anderen Mitteln nicht richtiger. Was neue Probleme schafft, ist nicht nur am isolierten Erfolg, sondern auch am Gewicht der neuen Probleme zu messen (vgl. dazu die Alternativen: Stanger 1992, S. 328f, S. 333). Darüber hinaus stellt sich das Problem der Beschleunigung, der Ausdifferenzierung und der Vervielfältigung von Einzellösungen und Folgeproblemen. Ohne eine angemessene Institutionalisierung der ethischen, politischen und rechtlichen Verantwortung sowie einer vielseitigen statt bloß linearen Folgenabschätzung läßt sich keine Basis für vernünftige Entscheidungen gewinnen. Der sozialetischen Begleitung und Kontrolle der Marktwirtschaft muß eine sozialetische Begleitung und Kontrolle der Technologieentwicklung entsprechen. In der katholischen Soziallehre haben sich zuletzt Tendenzen angemeldet, das technische Know-how und seine Verteilung als neues Problem sozialer Gerechtigkeit anzuvisieren (Centesimus Annus, 1991).

Für gentechnisch erzeugte Lebensmittel gelten

- die Überprüfung gentechnischer Herstellungsprozesse und Freisetzungsexperimente (siehe unten) wie in anderen biotechnischen Verfahren;
- die Kennzeichnung für den Verbraucher um der Konsumentensouveränität willen. Zweifel an einer faktisch unzureichenden Konsumentensouveränität dürfen nicht zur Bevormundung durch Transparenzverweigerung führen. Eine mögliche Diskriminierung von Produkten ist kein Argument, das zur Diskriminierung der Entscheidungsrechte freier Konsumenten führen darf. Die Bezeichnung gentechnischer Herstellung allein dient persönlichen Vorzugsurteilen. Die Bezeichnung der Art gentechnischer Veränderung hilft zur Reflexion über das eigene Urteil. Die Kennzeichnung sollte dabei "neutral" erfolgen, d. h. das Verfahren oder das Material benennen.

3 Gentechnisch veränderte Organismen und Mikroorganismen³

Nach der sachlichen Erörterung scheint festzustehen, daß ein genetisch veränderter Organismus eine neue technische Stufe darstellt. Das Neue, von dem hier die Rede ist, zeigt sich in folgenden Punkten:

- in der Schnelligkeit der Veränderung (Akzeleration) gegenüber konventionellen Züchtungsmethoden;
- in der Variabilität der Veränderung;
- in der Zielgenauigkeit der Veränderung;
- im Überspringen evolutionär entstandener genetischer Schranken;
- in der Überholbarkeit durch immer neue gentechnisch veränderte Mikroorganismen, die eine wünschenswerte Funktion mehr haben;
- in der Multiprogrammierbarkeit, d. h. in der Möglichkeit, mehrere Schaltungsfunktionen einzubauen, die einander korrigieren können, so daß die Wirkung auf das Erwünschte beschränkt bleibt.

Ferner lassen sich folgende Risiko-Ressourcen ausmachen:

- die Veränderung der Physiologie des Organismus (sie kann z. B. seine Schwächung bedeuten);
- der vertikale und horizontale Austausch mit anderen Organismen;
- die Aufnahme von "freier" DNA, die nicht zellgebunden vorliegt;
- die Vermehrung oder Veränderung der gentechnisch veränderten Mikroorganismen in Reaktion auf Wirkfaktoren in der Umwelt;
- die Mehrfachwirkung der freigesetzten gentechnisch veränderten Mikroorganismen (außerhalb der gezielten Wirkung);
- die Tatsache, daß eine etwaige programmierte Abschaltung eine mögliche Einschaltung später nicht ausschließt; es besteht keine Totalkontrolle über das Schaltsystem; ein Beispiel dafür wäre die Resistenzentwicklung gegenüber sogenannten "Killer"-Funktionen oder "Selbstmord"-Genen.

Diese Risikofelder ließen sich (nach Backhaus) auch folgendermaßen beschreiben (vgl. Backhaus 1989):

- die unkontrollierte Ausbreitung, sei es des Organismus, sei es der genetischen Veränderung;
- die nicht vorhersehbaren Effekte der genetischen Veränderung auf die physiologischen Eigenschaften des Organismus;

³ Vgl. Schell, T. von (1992). Wichtige Hinweise verdanke ich, nicht nur in diesem Punkt, sondern auch in dem Vorhergehenden: Skorupinski, Barbara (1996): Gentechnik für die Schädlingsbekämpfung: eine ethische Bewertung der Freisetzung gentechnisch veränderter Organismen in der Landwirtschaft. Stuttgart: Enke. Die daraus resultierenden Überlegungen habe ich erstmals zusammengefaßt: Mieth (1993).

- unerwartete bzw. unerwünschte Effekte auf Lebewesen und/oder Naturhaushalt, z. B. Pathogenität, toxische Produkte, Beeinflussung von Organismenbeständen und Stoffkreisläufen.

Wie immer man diese Risiken einteilt, die einzelnen Risikofaktoren werden sich gegenseitig ein Stück weit überschneiden. Im allgemeinen gilt es bei diesen Punkten zu beachten: Ungewißheitsmomente sind in Untersuchungen von ökosystemaren Prozessen bzw. einer Bewertung dazu immer enthalten. Das bedeutet: Ein- bzw. Auswirkungen auf der genetischen Ebene mit ihren direkten/indirekten oder zeitlich verschobenen Effekten auf der Ebene des Stoffwechsels (organismische Ebene usw.) können bei Freisetzungen nur im Zusammenhang einer ökosystemischen Wechselwirkung betrachtet und begutachtet werden. Das Eintreten eines bestimmten Ereignisses aufgrund von Einwirkungen ist abhängig von spezifischen Umständen, die sich in Zeit und Raum sowie in variablen auslösenden Wirkfaktoren nur schwer vorhersagen lassen ("to expect the unexpected", Holling 1980; vgl. dazu auch von Schell 1992, S. 337 ff.). Man wird dazu zunächst sagen, daß der ethischen Verantwortung nur die überschaubaren Folgen zugeordnet sind. Aber die Frage der Überschaubarkeit bzw. der Unüberschaubarkeit schlechthin ist ihrerseits wieder Gegenstand der ethischen Verantwortung. Dabei ist vor allen Dingen auf das ethische Subjekt Mensch zu achten, denn der Mensch ist ein endliches, begrenztes und fehlerfähiges Wesen, das deswegen nicht von vornherein, wie es im Fortschrittsmythos der Fall ist, damit rechnen kann, unvorhersehbare Folgen auch immer beherrschen zu können. Gegenüber einer technologischen Mentalität, die nach der futurologischen Durchbrecherthese immer damit rechnet, daß der Mensch die Folgen seiner Handlungen überwinden kann, ist darauf aufmerksam zu machen, daß ihm dies in der Geschichte oft nicht und teilweise nur unter großen Opfern gelungen ist. Mit der Kontingenz des Menschen zu rechnen, gehört zum anthropologischen Standard der ethischen Reflexion.

Es besteht ein Konsens über die Kontrolle der Freisetzung von Organismen und Mikroorganismen. Dabei wird ein spezifisches Sicherheitskriterium angelegt. Insbesondere geht es um die Sicherheit für Menschen, für Leben überhaupt, für die Umwelt. Beim Sicherheitskriterium geht es nicht um eine totale Sicherheit, sondern darum, daß ein unter strengen Wahrscheinlichkeitskriterien zu vernachlässigendes Restrisiko in Kauf genommen wird. Dabei spielt der Analogieschluß zu anderen in Kauf genommenen Restrisiken eine große Rolle. In den Untersuchungen zum Thema "Bioscience and society" wurde die allgemein bestehende Restrisikoakzeptanz wieder als Argument angeführt. Freilich ist es ein Unterschied, ob man bei einem bereits eingeführten und schlecht zu ersetzenden System wie beispielsweise bei unserem Verkehrssystem ein Restrisiko akzeptiert oder ob man dieses Restrisiko in Vorausschau auf ein noch zu installierendes System akzeptieren will. Hier ist eine entschieden größere präventive Sensibilität eingetreten. Diese Sensibilität drückt sich auch sonst in der Einführung von Technikfolgenabschätzung aus.

Die unter dem Sicherheitskriterium angestrebte Kontrolle soll in *Stufen* der Freisetzung wirksam sein. Die Stufen gehen vom geschlossenen, zum Teil offenen bis zum offenen System. Die Versuche, die Freisetzung stufenweise zu experimentieren, werden von entsprechenden gesetzlichen Rahmenbedingungen getragen. Diese gibt es inzwischen auch auf der Ebene der Europäischen Gemeinschaft. Das Problem der Versuche ebenso wie später der wirklichen Anwendung besteht darin, daß einzelne Größen relativ willkürlich festgelegt werden müssen: Dies gilt für die *Zeit* – wie lange werden bestimmte Versuche durchgeführt? Es gilt ferner für die *Populationsgrößen*, mit denen und an denen solche Versuche durchgeführt werden. Es gilt auch für den *Raum*: Welche Raumgrößen werden vertikal oder horizontal festgelegt, um eine etwaige Wirkung zu überprüfen? Schließlich gilt es auch für die *Verträglichkeitsgrößen*, wobei wir schon aus Erfahrung wissen, daß diese mit einem Rest von Ungewißheit festgelegt werden müssen, was freilich oft dazu führt, Verträglichkeit möglichst gering anzusetzen.

Ein weiteres Problem ist die Gleichbehandlung im Sinne von Homologieschlüssen. Kann man vom Verhalten des einen Organismus auf das Verhalten des anderen schließen? Es scheint sinnvoller, auf *Einzelbehandlung* (case by case) zu drängen. Dabei ist auch darauf zu achten, daß man nicht wegen der besonderen Signifikanz und der exponierten Diskussionen der Freisetzung von Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen die ähnlich strenge Prüfung anderer molekularbiologischer Techniken vernachlässigt.

4 Zielvorstellungen und Verträglichkeitskriterien

In der gesamten Entwicklung der neueren Biotechnologie, insbesondere in der Frage der gentechnischen Veränderung von Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen, gibt es berechnete Interessen und plausible Ziele. Diese Interessen und diese Ziele können als Motive nicht in Frage gestellt werden. Aber es wäre ein sogenannter motivationaler Fehlschluß, wenn man aus berechtigten und guten Motiven auf die Richtigkeit der angestrebten Sache schließen würde. Das wäre das gleiche, wie wenn man im Namen von Gesinnungen sich Verantwortung ersparen würde.

Die meistgenannten Ziele sind:

- *ökologische Ziele*; z. B. geht es um die Entsorgung von Schadstoffen oder um die Nachsorge von Betriebsunfällen (z. B. das bekannte Einwirken auf Ölteppiche auf dem Meer);
- *ökonomische Ziele*; z. B. in der Gentechnik in der Landwirtschaft, bei der es ja vor allem auf Produktivitätszuwachs, Produktivität in nichtproduktiven Regionen und auf eine bessere Kontrolle der chemischen Mittel ankommt;
- *experimentelle Ziele*, d. h. es geht darum, die Grundlagenkenntnis zu erweitern und möglicherweise zu prüfen, ob Berechnungen, die man für bestimmte

Nutzanwendungen braucht, in einer einfachen Anwendung, die noch unabhängig von jedem Nutzen ist, als richtig erwiesen werden können.

Eine verantwortungsethische Prüfung von Interessen und Zielen entfaltet sich in zwei Fragerichtungen: in der Zielkritik und in der Ziel-Mittel-Relation. Insbesondere sind folgende Fragen zu beachten:

- Sind die Ziele erreichbar (Realistik der Ziele)?
- Sind die Ziele *nur* auf diesem Wege erreichbar?
- Kann man die zur Lösung anstehenden Probleme präventiv statt konsekutiv lösen? Dabei ist vor allem daran zu denken, wie schon die Entstehung von ökologischen Problemen zu vermeiden ist, und daran, wie etwa in der Ökonomie größere Produktivität durch bessere Verteilung erreicht werden könnte;
- Schaffen die gentechnisch veränderten Organismen und Mikroorganismen nicht mögliche Folgeprobleme, die größer sind als die Primärprobleme, die gelöst werden sollen?

Ein induktives Vorgehen prüft den Stellenwert normativer Urteile in der Ethik, indem es von der Sachproblematik selber zu ethischen Überlegungen vorstößt und nicht umgekehrt.⁴ Dem induktiven Vorgehen der ethischen Verantwortung sind applikative Elemente an die Seite zu stellen. Applikativ oder angewandt ist die Ethik dann (applied ethics), wenn sie bestimmte, im Diskurs konsensfähige Kriterien einsetzt und ihre Geltungen im konkreten Fall illustriert. Ich spreche von bestimmten, im Diskurs konsensfähigen Kriterien, weil es sich nicht um alleroberste Prinzipien handelt. Die Begründung von Kriterien in Prinzipien wird im allgemeinen nicht in der angewandten Ethik, sondern in der Fundamenteethik geleistet. Die im Diskurs konsensfähigen Kriterien können daher auch als sogenannte "mittlere Axiome" betrachtet werden. Im Falle der Freisetzung gentechnisch veränderter Organismen wären solche Kriterien:

- gesundheitliche Verträglichkeit;
- ökologische Verträglichkeit;
- ökonomische Verträglichkeit ("Nachhaltigkeit"). Nachhaltigkeit kann auch als langfristig positive Wirkung im Sinne von Produktivitätszuwachs und konstruktivem Verteilungseffekt verstanden werden. Bezogen auf Drittweltländer ist es auch ökonomisch signifikant zu fragen, ob eine dermaßen finanziell aufwendige Technologie für deren Belange wirtschaftlich "sinnvoll" und/oder finanzierbar ist. (Zu denken ist dabei an aufwendige Technologien wie z. B. die biologische Stickstoff-Fixierung; vgl. von Schell 1992, S. 198-244)

⁴ Hierzu gehört die Erhellung der Sachverhalte, die Ermittlung der einschlägigen Sinngebungen oder Sinnpostulate, die Rationalisierung der Alternativen und die Abwägung von Prioritäten. Siehe hierzu: Mieth, Dietmar (1994): Ethische Evaluierung der Biotechnologie. In: Schell, Thomas von/Mohr, Hans (Hg.): Biotechnologie - Gentechnik: eine Chance für neue Industrien. Berlin: Springer. S. 505-530. Hier: S. 507 ff.

- soziale Verträglichkeit (Verteilungsaspekt, Vereinbarkeit von Sicherheit und Freiheit, Schutz von Sozialsystemen, etwa Kleinbauern usw.). Bei der Sozialverträglichkeit stellt sich auch die Frage nach dem gesellschaftlichen Umgang mit technologisch-ökologischen Risiken: Partizipationsfragen, Fragen der Demokratisierung von Entscheidungsprozessen angesichts der Einführung einer neuen Technologie, bei der die Gesellschaft als "Labor" fungiert (vgl. Krohn u. Weyer 1990).
- Verträglichkeit mit Sicherheitssystemen gegenüber Krieg, Gewalt, Aggression.

Vielleicht muß man in diesem Zusammenhang besonders die Frage der Vereinbarkeit von Sicherheit und Freiheit klären. Je mehr Sicherheitssysteme wir ökologisch und ökonomisch brauchen, die auf den ersten Blick die Freiheit der Betreiber, nicht der Bevölkerung, einschränken, um so mehr werden Mobilität und Selbstverfügungsrechte von Bürgerinnen und Bürgern tangiert (Beispiel Kerntechnik). Die demokratische Freiheit kann nicht jedes Ausmaß von Sicherheitssystemen verkraften. Um die Freiheitsrechte der Bürger geht es in folgenden Zusammenhängen:

- im Zusammenhang mit der Genomanalyse, mit der Gentherapie, mit der Frage nach dem Verständnis der Krankheitsursachen;
- im Zusammenhang mit der Partizipation bei der Einführung neuer Techniken bzw. bei der Vermarktung neuer Produkte;
- im Zusammenhang mit der Verbrauchersouveränität ("Kennzeichnung der Produkte").

In einer konkreten Verantwortungsethik schließen sich induktives und applikatives Vorgehen nicht gegenseitig aus, sondern sie ergänzen sich. Induktives Vorgehen ist deswegen erforderlich, weil sonst die Applikation von Kriterien rein illustrativ bleiben könnte. Um Kriterien an die richtigen Stellen zu führen, ist es erforderlich, die Probleme von der Sache selbst her zu entfalten. Auf der anderen Seite aber bliebe jede sachliche Problementfaltung blind, wenn sie sich nicht von ethischen Kriterien her erhellen ließe. Kriterien ohne Induktion sind leer, Induktion ohne Kriterien ist blind. Die Kriterien oder mittleren Axiome bedürfen der Begründung. Diese Begründung läßt sich durch Rückführung auf integrative Prinzipien vornehmen. Integrative Prinzipien können im Hinblick auf die genannten Kriterien der ökologischen, ökonomischen, sozialen und sicherheitsbezogenen Verträglichkeit benannt werden. Dazu möchte ich im folgenden normative Grundregeln benennen, deren Diskussion ich freilich hier nicht ausführen kann:

1. Die Kriterien der gesundheitlichen und ökologischen Verträglichkeit beruhen auf einem ökologischen Imperativ, der in verschiedenen Fassungen, je nach Rücksichten, formuliert werden kann:
 - a) Eine allgemeine Vorzugsregel oder *Goldene Regel* für das Weltverhältnis des Menschen oder für den Prozeß der Assimilierung von Umwelt und Leiblichkeit könnte folgendermaßen formuliert werden: "Handle so, daß die

menschlichen Institutionen der Entfaltung und Erhaltung der eigenen Leiblichkeit des Menschen in einer Weise dienen, daß auf der einen Seite der *Eigenwert* der vormenschlichen Welt soweit wie möglich erhalten bleibt, rekonstituiert und gefördert wird, und daß auf der anderen Seite das spezifisch menschliche Leben in schöpferischer *Autonomie* ermöglicht ist”⁵.

- b) Geht es darum, insbesondere die Auswirkungen auf die menschliche Leiblichkeit und auf die Lebensfähigkeit der nichtmenschlichen Natur zu beziehen, so ergibt sich die Doppelregel: “Handle so, daß die Kontingenz, Vorläufigkeit und Anfälligkeit des Menschen als menschliche Wirklichkeiten und menschliche Werte bei allen Maßnahmen und Institutionen berücksichtigt bleiben und nicht übersprungen werden”.
 - c) “Handle so, daß die Lebensbedürfnisse der nichtmenschlichen Natur als Erfahrungsort kontingenter Leiblichkeit des Menschen erhalten und entfaltet werden.” Oder: “Handle so, daß die Instrumente einer befriedigenden und schöpferischen Selbstverwirklichung des Menschen (technische und soziale Institutionen) ihre physischen und biologischen Ressourcen nicht gefährden, sondern gemäß deren Eigensinn auf den Menschen zu beziehen versuchen”. Solche allgemeinen ökologischen Imperative können auf verschiedene Weise formuliert werden, weil sie ein größtmögliches Ausmaß der Integrierung von Teilperspektiven zu erreichen versuchen.
2. Die ökonomische, die soziale und die Sicherheits-Verträglichkeit beruhen auch auf dem Prinzip der konstitutiven Konsistenz, wie es Alan Gewirth (Reason and Morality, 1978) entfaltet hat und wie es in der jüngsten Untersuchung von Klaus Steigleder (1992) vertieft worden ist: “Handle stets in Übereinstimmung mit den konstitutiven Rechten und Pflichten sowohl deiner selbst als auch der Empfänger deiner Handlungen.” Dieses Prinzip wird dadurch bewiesen, daß zu den Voraussetzungen, daß der Mensch überhaupt handeln kann, stets hinzugehört, daß in irgend einer Weise kommunikative Verpflichtungen eingegangen werden. Das Mitgesetztsein von ursprünglichen Freiheiten und Pflichten in einem gefüllten Handlungsbegriff nachzuweisen, gehört zu den fundamentalen Aufgaben einer rationalen Ethik. An dieser Stelle sei angemerkt, daß auch die theologische Ethik auf eine solche Rationalität verpflichtet ist, das heißt, sie muß als autonome Ethik konzipiert werden. Theologische Kriterien, wie z. B. Geschöpflichkeit oder Gottebenbildlichkeit des Menschen, können nur dann einen Sinn ergeben, wenn ihre rationale Geltung erwiesen ist, bevor sie überhaupt theologisch interpretiert werden.
 3. Alle Verträglichkeitskriterien sind formal noch einmal auf die Problemlösungsregel zurückzuführen und in ihr zu begründen: “Handle so, daß die Probleme, die durch eine Problemlösung entstehen, nicht größer sind als die Probleme, die gelöst werden.”

⁵ Vgl. Mieth 1990; daraus auch die folgenden Formulierungsvarianten.

5 Literatur

- Backhaus, H. (1989): Ökologische Aspekte und Sicherheitsfragen bei der Freilandanwendung von genetisch modifizierten Organismen in der Landwirtschaft. In: Berichte über Landwirtschaft, 201. Sonderheft, S 463-475
- Centesimus Annus. Apostolische Sozialenzyklika 1991
- Gewirth, A. (1978): Reason and Morality. The University of Chicago Press, Chicago
- Holling, C. S. (Hrsg.) (1980): Adoptive Environmental Assessment and Management. Chichester, New York
- Krohn, W., Weyer, J. (1990): Die Gesellschaft als Labor. Risikotransformation und Risikokonstitution durch moderne Forschung. In: Halfmann, J., Japp, K. P. (Hrsg.): Riskante Entscheidungen und Katastrophenpotentiale. Westdeutscher Verlag, Opladen, S. 89-122
- Mieth, D. (1990): Die ethische Dimension der Umwelterziehung. Karlsruher pädagogische Beiträge 22, S. 47-72
- Mieth, D. (1993): The release of microorganisms – ethical criteria. In: Wöhrmann, K., Tomiuk, J. (Eds.): Transgenic Organisms, Risk Assessment of Deliberate Release. Birkhäuser, Basel, S. 245-256
- Mieth, D. (1994): Ethische Evaluierung der Biotechnologie. In: Schell, T. v., Mohr, H. (Hrsg.): Biotechnologie - Gentechnik: eine Chance für neue Industrien. Springer, Berlin, S. 505-530
- Schell, T. v. (1994): Die Freisetzung gentechnisch veränderter Mikroorganismen. Ein Versuch interdisziplinärer Urteilsbildung. Attempto, Tübingen
- Schell, T. v., Mohr, H. (Hrsg.) (1994): Biotechnologie - Gentechnik. Eine Chance für neue Industrien. Springer, Berlin
- Skorupinski, B. (1996): Gentechnik für die Schädlingsbekämpfung. Eine ethische Bewertung der Freisetzung gentechnisch veränderter Organismen in der Landwirtschaft. Enke, Stuttgart
- Stanger, A. (1992): Zur ethischen Beurteilung der Möglichkeiten und Auswirkungen der Gentechnologie in der Landwirtschaft am Beispiel der Herbizidresistenz in der Pflanzenproduktion. Biol. Dissertation, Tübingen, S 328 f., S 333
- Steigleder, K. (1992): Die Begründung moralischen Sollens. Studien zur Möglichkeit einer normativen Ethik (Ethik in den Wissenschaften, Bd. 3). Attempto, Tübingen

Gentechnik und Lebensmittel

Klaus-Dieter Jany

Einleitung

Lebensmittel und Essen dienen mehr als nur der Nahrungszufuhr: sie sind auch Ausdruck von Kultur und Tradition. Heute verkörpern Lebensmittel in zunehmendem Umfang Lebensstil und Prestige. Mit dem Umgang und dem Verzehr unserer Nahrungsmittel haben wir uns einen großen Erfahrungsschatz angeeignet. Darüber hinaus besitzen Lebensmittel eine uns bekannte Entstehungstradition, und wir glauben, mit den Herstellungsverfahren vertraut zu sein. Vor diesem Hintergrund soll nun die Gentechnik in den Lebensmittelbereich eingeführt werden. Als eine unbekante, neue Technik erscheint sie vielen als unheimlich. Und darüber hinaus besitzen wir für die neuen "gentechnischen" Produkte keine Erfahrungswerte. Dies erzeugt Unbehagen und Verunsicherung. Dabei wird übersehen, daß Herstellung und Verarbeitung der uns so vertrauten Lebensmittel einem ständigen Wandel unterliegen. Nicht nur ernährungsphysiologische Erkenntnisse, soziologische, ökonomische Veränderungen und technische Entwicklungen haben ihren Anteil daran, sondern auch Verbraucherwünsche. Unsere Lebensmittel sollen immer schöner, wertvoller, besser ... kurz: genußvoller und gesünder werden. Gleichzeitig sollen sie aber immer frischer, sicherer, haltbarer und billiger werden. Hier wird die Natur überfordert, und die Lebensmitteltechnik und -verarbeitung muß nachhelfen.

Gentechnik und Züchtung

Mikroorganismen, Pflanzen und Tiere werden seit Jahrtausenden zum Wohle und Nutzen des Menschen eingesetzt und optimiert, wobei gerade der weite Bereich der Gewinnung und Veredelung von Lebensmitteln und Genußstoffen im Vordergrund stand und noch steht. Heute werden diese biologischen Systeme sehr bewußt und zielgerichtet in ihren genetischen Eigenschaften verändert. Seit einigen Jahren werden die klassische Züchtung von Pflanzen und die Stammoptimierung von Mikroorganismen durch ein neues Hilfsmittel – **die Gentechnik** – unterstützt. Die Gentechnik stellt die Methoden zur Auswahl geeigneter Zuchtlinien und Stämme, zur Erforschung und Kartierung von Merkmalen (Genen) sowie zur Isolierung und Übertragung einzelner Gene bereit. Die Gentechnik bedeutet die Übertragung definierter einzelner Gene in das neue Erbgut und eine *in vitro* Rekombination von genetischem Material (Nossal et al. 1992).

Bei der Züchtung, die auf der sexuellen Vermehrung basiert, wird das gesamte Erbgut, die Genome, der Eltern neu gemischt und in den Nachkommen vereinigt. Gewünschte und unerwünschte Merkmale werden auf sie übertragen. Die unerwünschten, mitunter auch bedenklichen Eigenschaften müssen in zeitaufwendigen Rückkreuzungen wieder entfernt werden. Für die Kreuzungen können nur artgleiche oder nahe verwandte Organismen verwendet werden, da Kreuzungsbarrieren den freien Genaustausch verhindern. Bei der sexuellen Vermehrung sind grundsätzlich keine molekularen Kenntnisse über genetische Eigenschaften der Organismen vonnöten, und in der Regel ist nichts über die molekularen Vorgänge auf der DNA-Ebene bei der Neukombination der Erbanlagen bekannt. Traditionell werden Veränderungen im Genom auch durch mutagene Substanzen oder Strahlung erzwungen. Die Ergebnisse dieser genetischen Veränderungen lassen sich weder voraussehen noch lassen sich ihre Auswirkungen abschätzen. Dennoch bestehen kaum Ängste oder Befürchtungen bezüglich möglicher Risiken bei dieser Art der Genmanipulation und den entsprechenden "Freisetzungen". Die Erfahrung zeigt uns doch, oder wir glauben doch zu wissen, daß die konventionellen Züchtungsverfahren keine Risiken für Mensch und Umwelt bergen (Ebersdobler et al. 1995).

Die Gentechnik unterstützt die Züchtung, aber sie ist nicht identisch mit ihr, noch wird sie die Züchtung ersetzen. Für den Einsatz der Gentechnik ist es notwendig, ausgehend von einem sichtbaren (bekanntem) Merkmal, zunächst das entsprechende Gen (DNA-Stück) zu identifizieren und es zu isolieren und zu charakterisieren (Genisolierung). Anschließend ist die DNA zu vermehren (Klonierung), das Gen in den gewünschten Organismus einzuschleusen (Gentransfer, Transformation) und dort zur Ausprägung seiner Funktion zu bringen (Genexpression). Um seine Funktionsfähigkeit zu ermöglichen, wird das Gen in seiner Regulationsregion an den Wirtsorganismus angepaßt, und für die Erkennung des transformierten Wirtes, des gentechnisch veränderten Organismus (GVO), wird es mit einem Markergen versehen. Das so modifizierte Genkonstrukt wird dann je nach Wirtsorganismus mehr oder minder gezielt übertragen. Die verwendete Transfermethode richtet sich nach dem Organismus, wobei hauptsächlich die Plasmid-induzierte¹ und die direkte Genübertragung² angewandt wird. Mit dem Gentransfer erhält der GVO somit gezielt die neue gewünschte Information. Da die in der DNA verankerte genetische Information grundsätzlich von allen Lebewesen verstanden wird, ist der Gentransfer nicht auf bestimmte, verwandte Organismen beschränkt, sondern erlaubt die Übertragung von Merkmalen frei von Kreuzungsbarrieren. Somit kann, anders als in der konventionellen Züchtung, auch artübergreifend genetische Information weitergegeben werden. Mit der Gentechnik werden keine neuen Organismen, geschweige denn

¹ Plasmid: Kleines, ringförmiges, selbstreproduzierendes, extrachromosomales DNA-Molekül

² Genübertragung; Gentransfer bezeichnet hier die Übertragung von Erbinformationen (Genen) mit Hilfe von Plasmiden (Vektoren) oder durch physikalische Methoden (z. B. Partikelbeschuß).

Monster, geschaffen, sondern nur wenige gut charakterisierte Gene dem Empfängerorganismus hinzugefügt. Gegenwärtig steht die Übertragung artfremder Gene noch im Vordergrund, jedoch werden mit zunehmendem Wissen immer mehr artgleiche Gene in die gentechnischen Veränderungen (An- bzw. Abschalten von Genen) einbezogen werden. Die Gentechnik eröffnet der Züchtung **neue und zielgerichtete** Wege zur Gewinnung von Nutzorganismen (Jany und Greiner 1998). Die Gentechnik ist per se weder gut noch schlecht.

Lebensmittelsicherheit

Alle transgenen Pflanzen und die daraus gewonnenen Erzeugnisse werden umfassend und intensiv einer staatlichen Sicherheitsbewertung unterzogen. Erst wenn die Unbedenklichkeit für Mensch und Umwelt auf wissenschaftlicher Basis festgestellt wurde, dürfen Pflanzen frei angebaut und ihre Erzeugnisse frei in den Verkehr gebracht werden. Bislang wurden noch keine neuen Pflanzensorten und keine Lebensmittel so umfassend untersucht wie die gentechnisch modifizierten. Insbesondere stellen Lebensmittel aus transgenen Pflanzen hinsichtlich Allergien die bestuntersuchten und sichersten Erzeugnisse dar. Im Gegensatz zu den traditionellen Verfahren ist bei der Gentechnik das neu eingeführte Protein bekannt und sein allergenes Potential überprüft worden. Die gegenwärtig in der EU zugelassenen Erzeugnisse, sei es aus herbizidtoleranten Sojabohnen, Raps oder insektentolerantem Mais, entsprechen den traditionellen Produkten. Sie sind genauso sicher und gesund wie diese; es besteht kein neues oder anderes Gefährdungspotential (Lebensmittelchemische Gesellschaft 1994, Hammes und Hertel 1997).

Anwendungsbereiche

Heute werden nahezu alle Nutzorganismen in einer Kombination von Gentechnik und klassischen Methoden bearbeitet. Transgene Tiere jedoch werden voraussichtlich in den nächsten 20 Jahren keine Bedeutung für die Lebensmittelproduktion erlangen.

Lebensmittelverarbeitung

- Fermentative Gewinnung von Hilfs- und Zusatzstoffen durch gentechnisch veränderte Mikroorganismen und Zellkulturen (gentechnisch veränderte Organismen, GVO). Aus GVO oder den Fermentationsbrühen werden Enzyme, Geschmacksverstärker, Süßstoffe, Aromen, Vitamine, Hormone und Dickungsmittel isoliert;

- Herstellung von GVO (Milchsäurebakterien, Hefen, filamentöse Pilze) als Starter- und Schutzkulturen. Diese GVO werden in der Milch-, Fleisch-, Obst- und Gemüseverarbeitung, im Brau- und Backgewerbe sowie bei Fein- und Frischkostprodukten eingesetzt oder sollen dort eingesetzt werden.

Landwirtschaftliche Urproduktion

- Züchtung von transgenen Pflanzen mit neuen Resistenzen gegenüber Herbiziden, Virus-, Pilz- und Insektenbefall sowie mit Systemen zur Erhöhung der Lagerfähigkeit oder Qualitätsverbesserung landwirtschaftlicher Erzeugnisse;
- Züchtung transgener Tiere sowie Diagnostik und Genomanalyse bei Nutztieren.

Lebensmittelüberwachung

- Kontrolle der Prozeßtechnik, der Hygiene und Qualität von Lebensmitteln sowie Nachweis von gentechnisch veränderten Lebensmitteln.

Entsprechend den Anwendungsbereichen und den gesetzlichen Vorgaben werden drei Kategorien von gentechnisch veränderten Lebensmitteln unterschieden:

1. **Das Lebensmittel ist selbst der lebende GVO:** Tomate, Kürbis, Melone, Raps, Mais, Sojabohne, Kartoffel.
2. **Das Lebensmittel enthält lebende GVO:** Joghurt mit Milchsäurebakterien.
3. **Das Lebensmittel enthält isolierte oder verarbeitete Produkte aus GVO, aber nicht die lebenden GVO selbst:** Enzyme, Aminosäuren, Vitamine, Zucker, Stärken, Öle
4. **oder inaktivierte GVO:** Tomatenketchup, Kartoffelpüree, Fruchtmarmeladen, pasteurisierter Joghurt, Bier, Brot

Verbreitung neuartiger Lebensmittel

In Deutschland besitzt die Gentechnik im Agrar- und Lebensmittelsektor noch keine große praktische Relevanz. Aber die Entwicklungen sind sowohl im EU-Raum als auch weltweit bereits so weit fortgeschritten, daß in naher Zukunft verstärkt Erzeugnisse aus GVO oder mit lebenden GVO auf den Markt gelangen werden. Die Methoden der Gentechnik sind etabliert, und sie werden weltweit eingesetzt. Aufgrund der engen internationalen Handelsverflechtungen und der Etablierung eines gemeinsamen europäischen Marktes wird sich kein EU-Mitgliedsland gentechnisch gewonnenen Rohstoffen, Hilfsstoffen und Lebensmitteln entziehen können. Es stellt

sich somit kaum noch die Frage, ob wir die Gentechnik anwenden oder nicht anwenden wollen. Für die Agrar- und Lebensmittelwirtschaft stellt sich vielmehr die Frage nach dem verantwortungsvollen Umgang mit dieser neuen Technik.

In der Europäischen Union sind keine Lebensmittel, die aus GVO bestehen oder solche enthalten, auf dem Markt, wohl aber in den USA und in Kanada. In EU-Mitgliedsstaaten und somit auch in Deutschland sind Lebensmittel, bei deren Verarbeitung Enzyme und Zutaten aus GVO verwendet worden sind, auf dem Markt. Einige aus transgenen Pflanzen isolierte Produkte haben in Großbritannien die Zulassung erhalten. Produkte aus transgenen Sojabohnen, Raps und transgenem Mais dürfen EU-weit vermarktet werden.

Pflanzen

Gegenwärtig sind in den USA 35 transgene Pflanzen nach eingehender Prüfung zugelassen worden, und ein großer Teil davon steht im gewerbsmäßigen Anbau (Tab. 1).

Tab. 1: In den USA zugelassene transgene Pflanzen

Pflanze/Frucht	Verändertes Merkmal	Firma
Tomate	Reife/Lagerfähigkeit	Calgene
	Verzögerte Reifung	DNA Plant Technology
	Verzögerte Reifung	Monsanto
	Verzögertes Weichwerden	Zeneca
	Modifizierte Fruchtreifung	Agritope
Mais	Herbizidtoleranz (Glufosinat)	AgrEvo
	Herbizidtoleranz (Glyphosat)	Monsanto
	Herbizidtoleranz (Glyphosat)	Dekalb Genetics
	Insektentoleranz (Bt-Toxin)	Ciba-Geigy
	Insektentoleranz (Bt-Toxin) männlich-steril	Monsanto, Northrup K. Plant Genetics
Raps	Herbizidtoleranz (Glufosinat)	AgrEvo
	Herbizidtoleranz (Glyphosat)	Monsanto
	männlich-steril	Plant Genetics
Raps-Canola	Fettsäurespektrum (C12)	Calgene
Baumwolle	Herbizidtoleranz (Bromoxynil)	Calgene
	Herbizidtoleranz (Sulfonylharnstoff)	Dupont
Kartoffel	Insektentoleranz (Bt-Toxin)	Monsanto
Sojabohne	Herbizidtoleranz (Glyphosat)	Monsanto
Kürbis	Virustoleranz	Asgrow Seed

In der Europäischen Union dürfen noch keine transgenen Pflanzen für landwirtschaftliche Zwecke angebaut werden und noch kann ihr ökologisches und ökonomisches Potential nicht genutzt werden. Allein der Import von Sojabohnen, Mais und Raps ist für Verarbeitungszwecke erlaubt.

In Zukunft werden Qualitätsverbesserungen und Veränderungen der Zusammensetzung von Speichersubstanzen pflanzlicher Produkte sowie Resistenzen gegenüber Streßsituationen an Bedeutung gewinnen. Mit neuen Erkenntnissen über die Genregulation und über nutzbare Gene werden zusätzliche Organismen gentechnisch "gezüchtet" werden, bei denen Gene, die von der Pflanze selbst oder ihren nahen Verwandten stammen, benutzt und entsprechend der naturbedingten Situation an- bzw. ausgeschaltet werden. Die Effizienz und der zielgerichtete Einbau von Genen wird in Zukunft noch verbessert werden. Es kann angenommen werden, daß innerhalb der nächsten 20-30 Jahre kaum noch neue Nutzpflanzensorten auf den Markt kommen werden, die nicht in irgendeiner Weise mit der Gentechnik in Berührung gekommen sind (Brandt 1995).

Mikroorganismen (vgl. Hammes 1997)

Mikroorganismen dienen bereits im Rahmen traditioneller Verfahren der Herstellung und Veredelung von Lebensmitteln. Milchsäurebakterien, Hefen und Schimmelpilze besitzen eine große Bedeutung als Starterkulturen. Für die Lebensmittelproduktion gentechnisch veränderte Pilze, Hefen und Bakterien wurden bereits im Labor erprobt, wurden aber für die Lebensmittelproduktion noch nicht in Verkehr gebracht.

In der fermentativen Verarbeitung von Milch zu Joghurt, Kefir, Dickmilch und Käseprodukten haben Milchsäurebakterien großes Interesse für gentechnische Veränderungen gefunden. Hohe wirtschaftliche Verluste treten immer wieder durch Phageninfektionen bei Fermentationen auf. Es handelt sich hierbei um eine Infektion der Lebensmittelkulturen durch eine besondere Art von Viren. Diese Infektion kann zum Mißlingen des Reifungsprozesses führen.

In der Fleischwirtschaft werden Starterkulturen vorwiegend für die Rohwurstreifung eingesetzt. Erste GVO wurden entwickelt. Hier wurden Gene für die Bildung bestimmter Enzyme wie Proteinasen, Lipasen, Katalasen, Nitratreduktasen und Aromastoffe in die Organismen eingeführt, oder es wurden Gene für die Synthese von Mykotoxinen und Antibiotika eliminiert.

Der Einsatz gentechnisch veränderter Hefen ist in Großbritannien für das Back- und Braugewerbe zugelassen. Für die Backindustrie wurde eine Hefe entwickelt, die bei der Teigführung kontinuierlich CO₂ entwickelt und dadurch die Gehzeit verkürzt. Bei dieser Hefe kommt es nicht mehr zu der sonst üblichen Verzögerung der CO₂-Produktion nach Verbrauch der Glucose im Teig. Durch die gentechnische

Veränderung wird die Repression von maltoseabbauenden Enzymen in Gegenwart von Glucose aufgehoben. Beispiele für gentechnisch veränderte Hefen sind in Tab. 2 aufgezeigt.

Tab. 2: Gentechnisch veränderte Hefen im Back- und Braugewerbe

Zielgen	Effekt
<i>Backhefe:</i>	
Amylase	größeres Brotvolumen
Thermo-Amylase	verbesserte Lagerfähigkeit des Brotes
Glucoamylase	besser gehender Teig, Verarbeitungshilfe
Hemicelluase	Abbau von Zellwand-Kohlehydraten
Lipase	Geschmacksoptimierung
Maltozymase	süßer Teig ohne Zuckerzusatz
<i>Bierhefe:</i>	
α -Acetolactatdecarboxylase	Verkürzung der Lagerzeit
Glucoamylase, Amylase	Prozessierhilfe, Light-Biere
Glucanase	Verbesserung der Filtrierbarkeit
Proteinase	Schaumstabilität

Gewinnung von Enzymen mit Hilfe von Mikroorganismen (vgl. Jenny Lind und Simpson 1996)

Gentechnisch modifizierte Mikroorganismen werden in vielfältiger Weise zur umweltschonenden und kostengünstigen Produktion von Enzymen und Zusatzstoffen eingesetzt. Mehr als 35 Enzyme aus GVO finden bereits in den unterschiedlichsten Lebensmittelverarbeitungsbranchen Anwendung.

Enzyme stellen als Proteine direkte Genprodukte dar. Daher können alle lebensmitteltechnologisch relevanten Enzyme recht einfach und kostengünstig aus bzw. mit GVO gewonnen werden. In Tab. 3 sind einige Einsatzbereiche der Enzyme aufgezeigt.

Tab. 3: Enzyme in der Lebensmittelverarbeitung

Einsatzbereich	Enzyme
Bier und Wein	Amylasen, Glucanasen, Pektinasen, Xylanasen
Stärke	Amylasen, Glucoamylase, Pullanasen, Glucose-Isomerase
Frucht- und Gemüsesäfte	Pektinasen, Cellulasen, Arabinasen, Glucose-Oxidase
Back- und Teigwaren	Amylasen, Glucanasen, Xylanasen, Glucosidasen, Proteinase
Fleisch- und Wurstwaren	Proteinase, Peptidasen, Glucoseoxidase
Milchprodukte	Proteinase (Chymosin), Lactase, Lipase

Die aus GVO gewonnenen Enzyme sind Substitute für die bisher aus konventionellen Produktionsorganismen isolierten Substanzen. Die Enzyme sind hinsichtlich Wirkungsweise und Struktur identisch mit den konventionell gewonnenen Substanzen. In Zukunft werden jedoch neue, für die jeweilige Lebensmittelmatrix und das jeweilige Verfahren gentechnisch optimierte Enzyme eingesetzt werden. Erste Ansätze sind hier für Waschmittelenzyme gemacht worden. Nach Einschätzung von Enzymherstellern sollen noch in diesem Jahrhundert mehr als 80 Prozent der Enzyme mit GVO gewonnen werden.

Zusatzstoffe

Zusatzstoffe werden in der Lebensmittelverarbeitung als Geschmacksverstärker, Süßstoffe, Aminosäuren, Vitamine, Aromen, Farbstoffe, Konservierungsmittel, Verdickungsmittel und Emulgatoren eingesetzt. Klassische Verfahren sollen durch die Verwendung von GVO effektiver und rentabel gestaltet werden. Da die meisten Zusatzstoffe nicht wie Enzyme direkte Genprodukte, sondern Endprodukte komplexer Stoffwechselwege darstellen, ist die Optimierung der Organismen schwieriger als bei der Enzymsynthese. Die fermentative Gewinnung von Zusatzstoffen mit GVO hat gegenwärtig nur bei wenigen Produkten eine wirtschaftliche Bedeutung. Mit Hilfe der Gentechnik ist es z. B. gelungen, die Synthese von Vitamin C ausgehend von Glucose mit einem einzigen Mikroorganismus zu bewerkstelligen. Hierdurch konnten vier chemische Prozeßstufen in der konventionellen Vitamin C-Produktion ersetzt werden. Die Synthese von Vanillin und des pflanzlichen proteinogenen Süßstoffs Thaumatin mit GVO sind möglich. Weit fortgeschritten sind gentechnische Modifizierungen von Mikroorganismen zur optimierten Aminosäuresynthese.

Chancen der Gentechnik

Im Gegensatz zum Medizin- und Pharmabereich findet die Gentechnik im Lebensmittelsektor kaum Akzeptanz; mehr als 80 Prozent der deutschen Verbraucher lehnen sie ab. Ein Nutzen der Gentechnik ist in unserer Überflußgesellschaft für Konsumenten kaum erkennbar oder nachvollziehbar, zumal qualitativ hochwertige und preisgünstige Lebensmittel in mehr als ausreichenden Mengen jederzeit verfügbar sind. Qualitativ hochwertige Lebensmittel, eben gesunde und sichere, werden als selbstverständlich und beinahe als naturgegeben angesehen (Koschatzky und Maßfeller 1994). Die Anstrengungen der Landwirtschaft für die Bereitstellung von hochwertigen Rohstoffen und die Erzeugung von sensorisch ansprechendem, gesundem Obst und Gemüse werden kaum beachtet. Viel zu häufig wird vergessen, daß wissenschaftlicher und technischer Fortschritt die vielfältige Produktion von hochwertigen, sicheren und dabei preisgünstigen Lebensmitteln erst ermöglichte. Unmittelbarer Nutzen wird sich für uns alle aus den Möglichkeiten zur Verbesserung der ernährungsphysiologischen Wertigkeit von Nahrungsmitteln und der Entwicklung neuer, verbesserter diätetischer Lebensmittel sowie der Reduzierung gesundheitlicher, durch mikrobielle Infektionen verursachter Risiken ergeben. Daneben eröffnet die Verwendung von transgenen Organismen Chancen zur Umweltentlastung in Landwirtschaft und Lebensmittelproduktion, zur ökonomischeren Nutzung unserer natürlichen Ressourcen sowie zum verbesserten Erhalt von wertgebenden Inhaltsstoffen bei der Verarbeitung von Rohstoffen. In der nachfolgenden Tabelle (Tab. 4) sind die Chancen der Gentechnik zusammengefaßt, wobei einige der Aspekte bereits nutzbringend umgesetzt worden sind.

Die Gentechnik unterstützt die klassische Pflanzenzüchtung zur Verbesserung der Produktivität und Ertragssicherung, zur Erhöhung der Widerstandsfähigkeit gegenüber viralen oder pilzlichen Erkrankungen und zur Toleranz gegenüber Schadinsekten. Neben den rein agronomischen Merkmalen werden gezielt Inhaltsstoffe verändert, einerseits wegen ihrer ernährungsphysiologischen Bedeutung und des vorbeugenden Gesundheitsschutzes (Reduktion von Herz-Kreislaufkrankungen, Krebsprävention und Reduktion von Lebensmittelallergien) und andererseits aufgrund ihrer Bedeutung als nachwachsende Rohstoffe (Fasern, Öl, Stärken) im Hinblick auf die Erschließung neuer Einnahmequellen landwirtschaftlicher Betriebe.

Tab. 4: Chancen der Gentechnik im Agrar- und Lebensmittelsektor

<p>Umsetzung ernährungswissenschaftlicher Erkenntnisse</p> <ul style="list-style-type: none"> • Optimierte Zusammensetzung von Makro- und Mikronährstoffen • Verbesserter Erhalt von wertgebenden Inhaltsstoffen • Erhöhung des Ballaststoffgehaltes • Änderungen im Fettsäuremuster • Erhöhung des Gehaltes an natürlichen Antioxidantien und Vitaminen • Eliminierung antinutritiver Substanzen <p>Ausschaltung toxischer oder hygienischer Risiken im Produkt oder im Herstellungsverfahren</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reduzierung von natürlich vorkommenden Toxinen • Hemmung des Wachstums von pathogenen Keimen • Reduzierung von mikrobiologischen Risiken <p>Entwicklung hypoallergener und diätetischer Lebensmittel</p> <p>Verbesserung und Erweiterung von sensorischen Eigenschaften</p> <p>Verbesserte Haltbarkeit und Lagerfähigkeit von Lebensmitteln</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unterdrückung der Fettoxidation • Unterdrückung des Zellwandabbaus • Hemmung des mikrobiellen Verderbs • Minderung von Nachernteverlusten <p>Ressourcen- und Ertragssicherung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ausbildung von Resistenzen gegen Krankheitsbefall • Verbesserte oder veränderte Rohstoff- und Reststoffverwertung <p>Entlastung der Umwelt</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verringerung des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln • Verringerung des Energie- und Wasserverbrauchs • Verringerung von "Abfallstoffen" und Lösungsmitteln <p>Verfahrensoptimierung – Kosteneinsparung – Wettbewerbsfähigkeit</p>
--

Produktionssteigerungen sind grundsätzlich nicht nur negativ zu beurteilen. Wir müssen uns mit dem Gedanken vertraut machen, daß in 50 Jahren die doppelte Anzahl von Menschen (ca. 10 Milliarden) ernährt werden muß. Die Anbaufläche kann nicht beliebig gesteigert werden. Deshalb müssen bereits heute Verfahren zur Produktionssteigerung und -sicherung unter umweltschonenden Bedingungen entwickelt werden. Hierzu kann die Gentechnik zumindest teilweise beitragen, indem sie gemeinsam mit der konventionellen Züchtung z. B. transgene Pflanzen liefert, die primär höhere Erträge erbringen oder resistent gegen Schadinsekten, Virus- und Pilzkrankungen usw. sind und somit auf gleicher Anbaufläche höhere Erträge gewährleisten. Allerdings müssen, wie es auch bereits geschieht, hier besonders die

traditionellen Nahrungsmittelpflanzen der Drittweltländer wie Reis, Mais, Hirse, Hülsenfrüchte usw. in die Untersuchungen einbezogen werden. Gelingt es, mit Lebensmitteln aus transgenen Pflanzen z. B. Vitaminmangelerkrankungen in bestimmten Regionen zu reduzieren, so bietet hier die Gentechnik einen direkten Nutzen für die betroffene Bevölkerung. Dieser Weg wird z. B. in Indonesien mit transgenem Reis, der Vitamin-A-Vorstufen im Korn zu synthetisieren vermag, und allergievermindertem Reis in Japan untersucht (Matsuda et al. 1996).

Weiteren unmittelbaren Nutzen bietet die Gentechnik durch die Reduzierung von mikrobiologischen Risiken bei der Verarbeitung und der direkten Wachstums- hemmung von pathogenen Keimen in Lebensmitteln. Genauso positiv kann die Minderung von natürlich vorkommenden Toxinen oder unerwünschten Inhaltsstoffen (Proteasen-Inhibitoren, Lektinen, Nitrat, Oxalat) in pflanzlichen Produkten durch gentechnische Eingriffe gesehen werden. Eine verbesserte Haltbarkeit oder Lager- fähigkeit von Obst und Gemüse durch Unterdrückung des Zellwandabbaus, der Fettsäureoxidation oder der Verzögerung des mikrobiellen Verderbs zur Minderung von Nachernteverlusten sind Anwendungsgebiete der Gentechnik. Dies wird gerade bei der oft geschmähten "Anti-Matsch-Tomate", der Flavr-Savr™ Tomate, deutlich. Auf dem amerikanischen Markt ist sie, obwohl teurer als konventionelle Tomaten, ein Verkaufserfolg. Diese Tomate kann reif und wohlschmeckend geerntet werden und trotzdem noch in einem ansehnlichen Zustand zum Verbraucher gelangen. Die künstliche Nachreifung der häufig grün geernteten konventionellen Tomate entfällt somit.

Der Einsatz von GVO und speziellen, gentechnisch erzeugten Enzymen ermöglicht einerseits in schonenden und milden biotechnischen Verfahren einen verbesserten Erhalt von empfindlichen, wertgebenden Inhaltsstoffen während der Rohstoffver- arbeitung, und andererseits erlaubt er die Gewinnung neuer spezieller Mikronährstoffe, z. B. für Säuglingsnahrung. Die Entlastung der Umwelt wird ganz deutlich bei der Gewinnung von Enzymen mit Hilfe von gentechnisch veränderten Mikroorganismen. Im Vergleich zur konventionellen Produktion sind Einsparungen an Primärenergien und bei der Abfallentsorgung enorm; Reduzierungen um mehr als 90 Prozent sind keine Ausnahmen.

Methan ist einer der "Ozonkiller", und jede Verringerung der Methanfreisetzung ist für den Umweltschutz positiv zu werten. Mit transgenen Pflanzen sowie mit der Verringerung des Milchviehbestandes läßt sich die Methanbildung in der landwirt- schaftlichen Produktion signifikant reduzieren.

Gerade bei der Gewinnung von Enzymen aus GVO können Umweltbelastungen durch feste und flüssige Abfallstoffe sowie durch Einspeisung von Primärenergie um bis zu 90 Prozent reduziert werden. Der gewerbsmäßige Anbau von herbizid- oder insektentoleranten gentechnisch veränderten Pflanzen in den USA hat gezeigt, daß

sich insgesamt die Menge der ausgebrachten Pflanzenschutzmittel verringern ließ. Ob sich diese Ergebnisse so auf Europa übertragen lassen, kann gegenwärtig noch nicht beantwortet werden.

Die Gentechnik wird häufig nur in Verbindung mit Verfahrensoptimierungen, Rationalisierungen und Gewinnsteigerung gesehen. Zweifellos sind diese Punkte Triebkräfte für den Einsatz gentechnischer Verfahren; aber Produktverbesserung, Kostenreduzierung und Wettbewerbsfähigkeit sollten in einem immer enger werdenden weltumspannenden Angebotsmarkt die richtige Beachtung finden. Nicht verkannt werden sollte, daß die deutsche Lebensmittelwirtschaft ca. 530.000 Personen beschäftigt und 1996 einen Umsatz von 224 Mrd. DM erzielte. Im Vergleich mit anderen Wirtschaftszweigen steht sie damit an dritter Stelle des verarbeitenden Gewerbes, noch vor der Chemie. Allerdings sind im Vergleich zu anderen Wirtschaftszweigen in der Agrarwirtschaft und im Lebensmittelgewerbe die Gewinnmargen gering.

Die kommerzielle Entwicklung der Gentechnik im Lebensmittelbereich läßt sich gegenwärtig nur schwer prognostizieren. Für die Europäische Union wird der mit transgenen Pflanzen und Pflanzenschutzmitteln erzielte Umsatz auf 210 Mill. US \$ geschätzt, während in den USA im Jahr 2000 ein Umsatz von 2 Mrd. US \$ erwartet wird. Insgesamt wird weltweit eine Umsatzsteigerung auf 4 bis 6 Mrd. US \$ vermutet. Im Lebensmittelbereich wird ein Umsatz von 34 Mrd. US \$ weltweit angenommen.

Bei den gegenwärtig auf dem Markt befindlichen Produkten der ersten Generation haben die Verbraucher keinen unmittelbaren persönlichen Vorteil oder Nutzen. Der direkte Nutzen liegt vorwiegend bei den Produzenten der GVO und den Anwendern der GVO und der daraus gewonnenen Erzeugnisse. Produzenten von GVO verbessern ihre Wettbewerbsfähigkeit und sichern sich Absatzmärkte für ihre Produkte.

Mögliche Gefährdungspotentiale

Gentechnisch hergestellte Lebensmittel sind a priori nicht unsicherer und bergen keine höheren oder andersartigen Risiken als konventionell gewonnene Lebensmittel. Auch unterscheiden sich die gegenwärtig auf dem Markt befindlichen Erzeugnisse nicht von unseren traditionell hergestellten Lebensmitteln. Gesundheitliche Gefährdungen können sich prinzipiell aus dem gentechnischen Verfahren und/oder dem Verzehr solcher Lebensmittel, ökologische Risiken durch die Freisetzung von GVO ergeben. Die Risikobetrachtungen können nicht einheitlich für jedes Lebensmittel oder jeden Organismus durchgeführt werden. Die Sicherheitsbewertung muß in einer Einzelfallbetrachtung vorgenommen werden (Report of a WHO Workshop 1993). Mögliche Gefährdungspotentiale lassen sich gegenwärtig nur aus Analogien

zu konventionell gezüchteten Organismen ableiten. Als Quellen für Risikopotentiale können angesehen werden:

- Die Organismen, die als Spender oder Empfänger der genetischen Information dienen, insbesondere wenn sie noch keine sichere Tradition im Agrar- oder Lebensmittelsektor aufweisen. Hier wären z. B. Übertragungen von pathogenen Eigenschaften, allergenen Proteinen oder Toxinen möglich.
- Die gentechnische Modifizierung, die Markergene, der Integrationsort, die Anzahl der aufgenommenen Genkopien und der Gentransfer.
- Die Produkte aus der gentechnischen Modifizierung. Hier könnten selten Gefährdungen vom eigentlichen Genprodukt ausgehen. Häufiger könnten sie ausgehen von Begleitsubstanzen, die aus Positionseffekten herrühren, oder von stoffwechselphysiologischen Veränderungen im transgenen Organismus, die einen Einfluß auf die Verdaulichkeit und die Bioverfügbarkeit von Mikro- oder Makronährstoffen ausüben.

Im Vergleich zu konventionell gewonnenen Enzymen wird mit dem höheren Reinheitsgrad der aus GVO gewonnenen Enzyme generell der Eintrag von zusätzlichen Substanzen mit einem möglichen Potential zum Auslösen von Allergien und Intoleranzen erniedrigt. Aus GVO gewonnene Enzyme können wie alle anderen klassisch gewonnenen Proteine grundsätzlich ein allergenes Potential aufweisen, wobei gentechnisch hergestellte Proteine bzw. Enzyme allgemein kein höheres Risiko darstellen. Allerdings können neue Lebensmittelallergien durch den häufigeren und umfangreicheren Einsatz von Enzymen für bestimmte Personengruppen nicht ausgeschlossen werden. Lebensmittelallergien sind aber grundsätzlich kein gentechnikspezifisches Risiko. Die Verdaulichkeit gentechnisch hergestellter Proteine ist nicht anders als die der entsprechenden konventionell gewonnenen.

Im Rahmen der Sicherheitsbewertung von Organismen wird berücksichtigt, ob der DNA-Spender und/oder DNA-Empfänger bereits eine lange und sichere Tradition in der Lebensmittelgewinnung besitzt. In den USA wurde der Begriff "GRAS" (*Generally Recognized As Safe*) geprägt, der sich sowohl auf Einzelsubstanzen, Organismen und ganze Lebensmittel bezieht. Erhält in den USA ein Produkt den GRAS-Status, so kann davon ausgegangen werden, daß von ihm keine Gefährdung ausgeht. Die Begriffe STIFF und STIHN werden fast ausschließlich in Europa benutzt. STIFF bezieht sich auf Fermentationsorganismen und steht für *Safe Tradition In Food Fermentation*. STIHN wird für pflanzliche und tierische Produkte bzw. Organismen verwendet und bedeutet *Safe Tradition In Human Nutrition*.

Die Bedenken hinsichtlich der Lebensmittelsicherheit eines gentechnisch veränderten Mikroorganismus betreffen vor allem dessen Fähigkeit, in Konkurrenz zur natürlichen Darmflora zu treten und den menschlichen Darm zu besiedeln. Eine intakte Darmflora unterdrückt normalerweise die Ansiedlung von verzehrten

Mikroorganismen. Eine negative Wirkung auf die Zusammensetzung der Darmflora könnte jedoch der breite Einsatz von gentechnisch veränderten, Bakteriostatika ausscheidenden Schutzkulturen haben.

Die Entwicklung eines Toxinbildners oder Pathogens durch den gentechnischen Eingriff bzw. die Inaktivierung oral aufgenommener Antibiotika bei Verwendung von Antibiotikaresistenzgenen als Selektionsmarker können als Risiken diskutiert werden (Tab. 5).

Tab. 5: Potentielle Risiken von Markergenen

<p>Markergene</p> <ul style="list-style-type: none">AntibiotikaresistenzHerbizidtoleranzMetabolische Gene <p>Potentielle Risiken</p> <ul style="list-style-type: none">Genaustausch mit DarmfloraInaktivierung von AntibiotikaGenprodukt = AllergenGenprodukt = Toxin <p>aber:</p> <p>Antibiotikaresistenz-Gene stammen von Mikroorganismen, und sie sind in der Umwelt weit verbreitet.</p> <p>Mit dem Verzehr von frischem Obst und Gemüse werden antibiotikaresistente Mikroorganismen aufgenommen.</p>
--

Im Ernährungsbereich werden jedoch in der Regel Organismen eingesetzt, die eine lange und sichere Tradition in der Lebensmittelproduktion besitzen und somit als unbedenklich gelten. Werden solche Organismen als Spender- und Empfängerorganismen verwendet, so ist es sehr wahrscheinlich, daß die gentechnische Veränderung wieder zu einem sicheren Organismus führt. Enthalten Lebensmittel Genprodukte der Antibiotikaresistenzgene in ihrer enzymatisch aktiven Form, so ist es vorstellbar, daß im Magen-Darmtrakt kurz vor oder nach der Mahlzeit zu therapeutischen Zwecken oral aufgenommene Antibiotika inaktiviert werden. Allerdings sind die Bedingungen im Darmtrakt für die enzymatische Inaktivierung sehr ungünstig. Die Enzyme benötigen ATP³ als Energieträger und einen schwach alkalischen pH-Wert zur Entfaltung ihrer Aktivität. Im Magen kommt zwar ATP vor, aber das saure

³ ATP (Adenosintriphosphat) ist ein Molekül, das im Organismus die Funktion eines Energieträgers besitzt.

Magenmilieu behindert sehr stark die enzymatische Wirkung. Im Dünn- und Dickdarm liegen optimale pH-Bedingungen vor, aber nicht das notwendige ATP. Zusätzlich sind die Genprodukte der Antibiotika-Resistenzgene empfindlich gegenüber dem proteolytischen Angriff der Verdauungsenzyme, so daß die Inaktivierung von oral aufgenommenen Antibiotika durch gentechnisch veränderte Organismen keinen bedenklichen Umfang erreichen wird.

Im Zusammenhang mit dem Verzehr von Lebensmitteln, die mit Hilfe der Gentechnik hergestellt wurden, wird der Gentransfer auf Mikroorganismen der menschlichen Darmflora und auf die Mucosaepithelzellen des menschlichen Darms diskutiert. Der Gentransfer auf die Darmepithelzellen ist nur von geringer Bedeutung, da es sehr unwahrscheinlich ist, daß mit der Nahrung aufgenommene Gene den Darm vollkommen intakt erreichen und die zur Expression benötigten Regulationssequenzen aufweisen. Die Arbeiten von Doerfler und Schubert (1994) zeigen zwar, daß mit der Nahrung aufgenommene DNA nicht vollständig hydrolysiert wird und teilweise in Zellen eintreten kann, aber auch die Autoren kommen zu dem Schluß, daß hier kein besonderes neues Risiko von rekombinierter DNA gegenüber "klassischer" DNA vorliegt. Außerdem wäre eine Etablierung der Gene, falls sie intakt und mit den entsprechenden Regulationssequenzen übertragen werden, aufgrund der ständigen Abschilferung der Epithelzellen sehr unwahrscheinlich.

Von größerer Bedeutung ist der Transfer von DNA auf Mikroorganismen der Darmflora. Bei Verzehr von gentechnisch veränderten, lebenden Mikroorganismen besteht die Möglichkeit eines Gentransfers. Die Wahrscheinlichkeit eines Gentransfers ist beim Verzehr von unverarbeiteten (rohen) Lebensmitteln aus transgenen Pflanzen geringer, da bis zum Zeitpunkt der Exposition die verzehrte DNA durch die Aktivität von Verdauungsenzymen weitgehend abgebaut wird. Selbst wenn intakte Gene aus den verzehrten transgenen Pflanzen auf Mikroorganismen der Darmflora übertragen werden sollten, ist die Expression dieser Gene unwahrscheinlich, da die pflanzlichen Regulationssequenzen des übertragenen genetischen Materials in den Mikroorganismen der Darmflora keine Funktion ausüben.

Die Wahrscheinlichkeit eines Gentransfers ist gering einzuschätzen, wenn hochverarbeitete Lebensmittel verzehrt werden, da die DNA der GVO durch den Verarbeitungsprozeß weitgehend abgebaut oder entfernt wird. Außerdem ist zu berücksichtigen, daß wir täglich beträchtliche Mengen an DNA (je nach Ernährungsgewohnheiten 1 bis 3 Gramm) verzehren und sich die Genübertragungsraten bei *in vivo* und *in vitro* rekombinierter DNA nicht unterscheiden. Bisher durchgeführte Untersuchungen zum Transfer plasmidcodierter Resistenzfaktoren im Magen-Darmtrakt weisen darauf hin, daß dieser Transfer ein äußerst seltenes Ereignis ist. Dies wird auch dadurch bestätigt, daß beim Verzehr von Frischobst und -gemüse, d. h. gentechnikfreier Produkte, eine Vielzahl lebender antibiotikaresistenter Mikro-

organismen aufgenommen wird, ohne daß bisher negative Auswirkungen bekannt geworden sind.

Bei Pflanzen können Gene über Pollenflug oder Insekten auf nahe verwandte Arten oder Gattungshybride übertragen werden. Auf Feldern und angrenzenden Flächen, auf denen die transgene Pflanze und die traditionelle Kulturpflanze oder eine korrespondierende Wildpflanze zeitgleich blühen, ist die Übertragung des neueingeführten Gens in die Wildpopulation nicht auszuschließen. Unter Selektionsdruck kann sich das "Fremdgen" etablieren. So ist beim Raps die Übertragung des BASTA-Resistenzgens auf nahe verwandte Kreuzblütler bereits nachgewiesen worden (Gressel und Kleifeld 1994). Ähnliches könnte auch bei Zuckerrüben in der Nähe von Saatzuchtstationen stattfinden. Im kommerziellen Anbau zur Zuckergewinnung ist das Auskreuzen unwahrscheinlich, da hier die Zuckerrüben nicht bis zur Blüte auf dem Feld bleiben. Keine Auskreuzung wird bei Mais, Kartoffeln und Sojabohnen in Europa auftreten, denn hier fehlen nahe verwandte Wildformen. Dennoch bleibt bei unseren Kulturpflanzen das Problem der Auskreuzung fremder Gene in die Kulturen des ökologischen Landbaus bestehen. Der Gentransfer in die nicht modifizierten Pflanzen wird sich auch bei hinreichend großen Mantelsaaten nicht verhindern lassen. DNA ist ein natürlicher Bestandteil unseres Lebensraumes und alle Organismen müssen sich weiterhin mit Fremd-DNA auseinandersetzen.

Gefährdungen gehen im allgemeinen nicht von der gewünschten Veränderung, sondern von unerwarteten Nebeneffekten (Positionseffekten⁴, pleiotropen Effekten⁵) des gentechnischen Eingriffs aus. Mit den heutigen Kenntnissen über die Organisation und Struktur des Genoms und den Techniken zur gentechnischen Veränderung von Organismen lassen sich weder die Integrationsorte noch die Zahl der eingebauten Genkopien steuern. Insertierte Genkopien können Einfluß auf umgebende Genabschnitte nehmen und somit unvorhersehbare Folgen nach sich ziehen. Unerwartete Folgen des Eingriffs ins Genom sind übrigens nicht auf gentechnische Verfahren beschränkt, sondern können auch bei der klassischen Züchtung auftreten; die potentiellen Risiken sind bei der Anwendung der Gentechnik die gleichen wie bei der klassischen Züchtung (z. B. Anhäufung von Toxinen oder antinutritiven Faktoren, Verminderung wertgebender Inhaltsstoffe, veränderte Bioverfügbarkeit von Mikro-, Makronährstoffen und Toxinen). Da die Ergebnisse bei der klassischen Stammoptimierung meist zufällig und im Vergleich zur gentechnischen Optimierung weitaus weniger kontrollierbar sind, sollte man konsequenterweise zur Verringerung unerwarteter Folgen die Stammoptimierung auf gentechnische Methoden umstellen, weil durch das gezieltere Vorgehen die Veränderungen auf DNA-Ebene bekannt sind, wodurch zusätzliche Sicherheit gewonnen werden kann.

⁴ Positionseffekt: Die Wirkung eines Gens wird durch den Ort der Integration im Genom beeinflusst.

⁵ Pleiotroper Effekt: Von einem Gen gehen mehrere Wirkungen aus.

Lebensmittelallergien werden häufig in Zusammenhang mit der Gentechnik gebracht. Sie sind jedoch nicht unmittelbare Folge der Anwendung gentechnischer Verfahren im Lebensmittelbereich. Lebensmittelallergien und -intoleranzen traten lange vor Einführung der Gentechnik auf, und der Anteil der Personen, die an solchen Allergien leiden, wird auf 1-5 Prozent geschätzt. Da Allergien in der Bevölkerung offensichtlich zunehmen, gewinnt das Thema Lebensmittelallergien und Gentechnik zunehmende Brisanz. Lebensmittelallergien werden von Kritikern häufig zur Ablehnung der Gentechnik herangezogen, zumal keine Vorhersagen zum allergenen Potential von Proteinen bzw. Enzymen gemacht werden können – oder gar auf einzelne Personengruppen abgestimmt werden können. Zwar gibt es gewisse, gemeinsame strukturelle und physiko-chemische Merkmale für hochimmunogene Proteine; diese sind jedoch nur als Hinweise anzusehen. Nicht jedes Protein, das diese Merkmale aufweist, führt zu einer Lebensmittelallergie. Und umgekehrt können Proteine ohne diese Merkmale Allergien auslösen. Gerade für Untersuchungen zu Allergien im allgemeinen und zu dem allergenen Potential von Proteinen bzw. Enzymen im besonderen besteht noch ein sehr großer Forschungsbedarf. Proteine und andere hochmolekulare Inhaltsstoffe von nahezu allen unseren traditionellen pflanzlichen und tierischen Lebensmitteln können, meist bei vorgeprägten, sensibilisierten Personen, Allergien hervorrufen (Lehrer et al. 1996, Eisenbrand et al. 1996).

Proteinen kommt die Hauptbedeutung bei der Auslösung von Allergien zu. Daher ist bei der Darstellung neuer Proteine in Pflanzen oder neuer Enzyme in Mikroorganismen durch gentechnische Verfahren zunächst grundsätzlich von einem Risikopotential zur Etablierung von Lebensmittelallergien auszugehen. Jedoch bedingt das gentechnische Verfahren allein keine Änderung des allergenen Potentials eines Proteins. Löst der Verzehr eines Proteins aus einem Lebensmittel bekanntermaßen keine Allergie aus, so wird es auch nach Übertragung seines Gens in einen anderen Organismus nicht zur Auslösung einer Allergie führen. Enzyme, die traditionell in der Lebensmittelverarbeitung eingesetzt werden und nicht zu Allergien führen, bergen auch nach ihrer Gewinnung aus GVO kein neues allergenes Risiko (Fuchs und Astwood 1996). Durch die Gentechnik lassen sich nun jedoch auch Enzyme herstellen, deren Gewinnung zuvor ökonomisch nicht vertretbar war. Hierdurch kann es zu einem vermehrten Einsatz von neuen Enzymen kommen, wodurch das Auftreten neuer Lebensmittelallergien nicht auszuschließen ist. Hiermit muß sogar gerechnet werden. Auch wenn Enzyme nicht unter die Novel Food-Verordnung und ihre Kennzeichnungsregeln fallen, so wäre eine Kennzeichnung von bestimmten Enzymen für Allergiker sinnvoll.

Mit der Übertragung von "fremden" Genen in Nutzpflanzen wird es einem Allergiker erschwert, seine Allergien auf ein bestimmtes Lebensmittel zurückzuführen. Ein Erdnußallergiker z. B. wußte, daß er Erdnüsse und Erdnußprodukte meiden muß. Er

kann dieses Protein jedoch nicht mehr erkennen, wenn es in einem atypischen, nun gentechnisch gewonnenen Lebensmittel auftritt; fatale Auswirkungen sind für ihn die Folge! Hier ist zu fordern, daß Genprodukte von Organismen, die bekanntermaßen Allergien hervorrufen, umfangreichen immunologischen Untersuchungen zu unterwerfen sind. Selbst wenn die Untersuchungen keine Hinweise auf ein besonderes allergenes Potential erbringen, sollte für überempfindliche Personen aufgrund des geringen Wissens über Allergien ein Hinweis auf die Anwesenheit dieses Proteins im Lebensmittel erfolgen.

Die Ablehnung gentechnischer Verfahren im Agrar- und Lebensmittelsektor ist wahrscheinlich weniger auf gentechnikspezifische Gründe zurückzuführen, sondern ist im Kontext von falschen Vorstellungen über gentechnisch hergestellte Lebensmittel zu suchen. Vermutlich beruht sie auf einer Verunsicherung über die Auswirkungen der für den Verbraucher undurchschaubaren Technik und einem Unbehagen angesichts der vermehrten industriellen Verarbeitung von Lebensmitteln.

Gesundheitsgefährdende Lebensmittel dürfen nicht in den Verkehr gebracht werden. Nicht nur die Lebensmittelhersteller sollten hier in die Verantwortung genommen werden, sondern auch der Staat, der einem vorbeugenden Gesundheitsschutz seiner Bürger verpflichtet ist. Aussagen zu theoretisch möglichen Gefährdungspotentialen von GVO oder den daraus gewonnenen Produkten gibt es viele, aber bislang konnten auf der Basis wissenschaftlich belegbarer Fakten keine gentechnikspezifischen gesundheitlichen Risiken durch die neuartigen Lebensmittel ausgemacht werden. Da aber kaum Erfahrungen mit gentechnisch erzeugten Lebensmitteln vorliegen, wird in der breiten Öffentlichkeit erwartet, daß diese neuartigen Lebensmittel einer umfassenden Sicherheitsbewertung unterzogen werden. Hierbei sollen jedoch nicht nur die Produkte mit lebenden GVO, sondern auch isolierte Produkte aus GVO in die Risikobewertung einbezogen werden. Die Sicherheitsbewertung kann nicht nach einem einheitlichen Schema durchgeführt werden; Umfang und Kriterien sind für eine isolierte Einzelsubstanz anders als für ein komplexes GVO-Lebensmittel. Die Kriterien für die Sicherheitsbewertung müssen wissenschaftlich fundiert sein und einheitlich definiert werden. Die Durchführung der Sicherheitsbewertung muß in allen EU-Staaten nach strengen und gleichen Maßstäben erfolgen und ihr Ergebnis muß wissenschaftlich nachvollziehbar sein. Die Sicherheitsbewertung soll, wie vorgesehen, von unabhängigen Institutionen durchgeführt werden.

Gesetzliche Regelungen

In Deutschland ist das Inverkehrbringen von Lebensmitteln grundsätzlich nicht genehmigungspflichtig. Der Inverkehrbringer muß die gesetzlichen Vorgaben des

Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetzes (LMBG) beachten und einhalten. Dies gilt auch für gentechnisch hergestellte Lebensmittel.

Die Novel Food-Verordnung regelt das Inverkehrbringen neuartiger Lebensmittel und neuartiger Lebensmittelzutaten einheitlich in der Europäischen Union. Hiermit werden einerseits gleiche Bewertungsmaßstäbe für die gesundheitliche Unbedenklichkeit der Produkte angewandt und ein hoher vorbeugender Verbraucherschutz gewährleistet sowie andererseits Wettbewerbsverzerrungen innerhalb der Gemeinschaft vermieden.

Die Regularien der Novel Food-Verordnung können in den Anwendungsbereich, das Verfahren zum Inverkehrbringen (Notifizierung, Genehmigung) und die Etikettierung untergliedert werden.

Der Anwendungsbereich der Novel Food-Verordnung bezieht sich auf Lebensmittel und Lebensmittelzutaten, die in der EU noch nicht in nennenswertem Umfang für den menschlichen Verzehr verwendet wurden und zusätzlich unter definierte Gruppen von Erzeugnissen fallen. Hier werden unter neuartigen Lebensmitteln eine breite Palette unterschiedlichster Produkte zusammengefaßt. In Deutschland werden fast ausschließlich nur gentechnisch hergestellte Lebensmittel als neuartig angesehen. Die Novel Food-Verordnung stellt aber kein Gesetzeswerk speziell für gentechnisch gewonnene Lebensmittel dar. Neuartige Lebensmittel und Lebensmittelzutaten dürfen nur dann in Verkehr gebracht werden, wenn nachgewiesen ist, daß sie

- keine Gefahr für den Verbraucher darstellen,
- keine Täuschung des Verbrauchers bewirken und
- sich von traditionellen Produkten, die sie ersetzen sollen, nicht so unterscheiden, daß ihr normaler Verzehr Ernährungsmängel für den Verbraucher mit sich brächte.

Die ersten beiden Kriterien entsprechen dem allgemeinen Lebensmittelrecht, neu ist die ernährungsphysiologische und -medizinische Bewertung der Lebensmittel. Die gesundheitliche Unbedenklichkeit der Lebensmittel steht im Vordergrund. Es ist ohne Bedeutung, ob die Lebensmittel oder Lebensmittelzutaten mit der Gentechnik in Berührung gekommen sind oder nicht. Gesundheitsgefährdende Lebensmittel dürfen nicht in den Verkehr gebracht werden.

Zur Abschätzung und Abwehr dieser prinzipiell möglichen Gefährdungen wurden Konzepte zur Prüfung der gesundheitlichen Unbedenklichkeit von Lebensmitteln, die selbst den GVO darstellen, solche enthalten oder daraus isolierte Produkte aufweisen, von verschiedenen nationalen und internationalen Gremien und Organisationen erarbeitet. Als gemeinsames Schlüsselement für die Sicherheitsbewertung dient das von der OECD formulierte Prinzip der substantiellen Äquivalenz. Substantielle Äquivalenz bedeutet in diesem Zusammenhang,

- a) daß der vergleichbare traditionelle Organismus oder das vergleichbare traditionelle Erzeugnis als Grundlage zum Vergleich des transgenen Organismus oder des daraus gewonnenen Erzeugnisses herangezogen werden kann, und
- b) daß der neue Organismus oder die daraus gewonnenen Produkte sich nicht wesentlich hinsichtlich ihrer Zusammensetzung, ihres Nährwertes, ihres Stoffwechsels, ihres Verwendungszweckes sowie ihres Gehaltes an unerwünschten Stoffen von dem traditionellen Vergleichsprodukt unterscheiden.

In der Novel Food-Verordnung sind die Kriterien für die Etikettierung festgelegt; nicht geregelt ist, wie gekennzeichnet werden muß. Der Inverkehrbringer hat hier einen großen Spielraum in seiner Terminologie. Verbraucher müssen durch eine entsprechende Kennzeichnung informiert werden, wenn die neuartigen Erzeugnisse ein verändertes allergenes Potential aufweisen oder wenn gegen sie ethische Bedenken bestehen könnten.

Grundsätzlich müssen alle Lebensmittel und Lebensmittelzutaten, die lebende gentechnisch veränderte Organismen darstellen oder solche enthalten, gekennzeichnet werden. Hier wurde die Ausnahmeregelung für agronomische Merkmale gestrichen. Somit müssen insektentolerante Kartoffeln oder virusresistente Gurken, wenn sie auf den gemeinsamen europäischen Markt kommen sollten, als GVO gekennzeichnet werden.

Ebenso müssen Erzeugnisse gekennzeichnet werden, die sich von einem vergleichbaren traditionellen Lebensmittel unterscheiden (Artikel 8, Absatz 1).

Hiermit wird eine sowohl verfahrens- als auch produktspezifische Kennzeichnung vorgeschrieben; sie kommt der notwendigen Verbraucherinformation näher als die alleinige verfahrensspezifische Etikettierung. Der Verbraucher erfährt somit nicht nur, mit welchem Verfahren die Veränderung herbeigeführt wurde, sondern auch, welche Auswirkung sie auf das Produkt hat. Diese Kennzeichnung ist informativer. Der Verbraucher erfährt mehr als nur mit der Etikettierung "Mit Gentechnik". Insbesondere erhalten Allergiker eine Information über das eingeführte Protein bzw. darüber, aus welchem Organismus es stammt. Damit können sie das Produkt, genau wie die klassischen Erzeugnisse, meiden. Kennzeichnung hat weder etwas mit einer Auslobung bestimmter Erzeugnisse noch mit der Diffamierung bestimmter Techniken oder bestimmter Lebensmittel gemein, sondern sie soll lediglich dem Verbraucher eine freie Kaufentscheidung ermöglichen.

In der Präambel zur Novel Food-Verordnung wird ausdrücklich daraufhin gewiesen, daß auch eine Kennzeichnung derart erfolgen kann, daß das Lebensmittel oder die Zutat kein neuartiges Erzeugnis im Sinne der Verordnung darstellt. Somit ist eine Kennzeichnung "Gentechnikfrei" möglich. Durch die beiden Möglichkeiten der Etikettierung einschließlich der Option, Lebensmittel aus dem ökologischen Landbau

zu kennzeichnen, haben Verbraucher eine größtmögliche Entscheidungsfreiheit in der Auswahl ihrer Lebensmittel.

Ausblick

Gegenwärtig besteht Mißtrauen sowohl hinsichtlich der Unbedenklichkeit gentechnisch modifizierter Lebensmittel als auch gegenüber der Landwirtschaft und den Lebensmittelverarbeitern. Eine öffentliche, sachgerechte und wissenschaftlich fundierte Diskussion über Chancen und Risiken kann das Mißtrauen gegenüber der Gentechnik abbauen. Alle gesellschaftlichen Gruppen sind hier gefordert. Pauschalisierungen und Verniedlichungen sind fehl am Platze; Ehrlichkeit und Aufrichtigkeit sind notwendig, um neues Vertrauen zu schaffen. In dem Dialog darf jedoch nicht das Produkt "Gentechnik" umworben und verkauft werden, sondern die Fakten müssen offen dargelegt und Vor- und Nachteile abgewogen werden. A priori sind gentechnisch modifizierte Lebensmittel nicht unsicher oder bergen grundsätzlich keine höheren Gefährdungspotentiale als konventionell gewonnene Lebensmittel. Durch ein neues Risikobewußtsein werden Lebensmittel einer umfassenden Sicherheitsbewertung unterzogen, und in Zukunft kann, gerade durch die Gentechnik, mit noch besseren und sichereren Lebensmitteln, als wir sie bereits jetzt haben, gerechnet werden. Für eine gesunde und bedarfsgerechte Ernährung ist aber gerade in unseren Industrieländern das richtige Eß- und Ernährungsverhalten entscheidend.

Literatur

- Brandt, P. (1995): Transgene Pflanzen – Herstellung, Anwendung, Risiken und Richtlinien. Birkhäuser Verlag, Basel
- Doerfler, W., Schubbert, R. (1997): Fremde DNA im Säugersystem. Dt. Ärztebl. 94, A3465-3470
- Eisenbrand, G., Aulepp, H., Dayan, A. D., Elias, P. S., Grunow, W., Ring, J., Schlatter, J. (Eds.) (1996): Food allergies and intolerances. Symposium Deutsche Forschungsgemeinschaft. VCH, Weinheim
- Ebersdobler, H. F., Hammes, W. P., Jany, K. D. (Hrsg.) (1995): Gentechnik und Ernährung. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart
- Fuchs, R. L., Astwood, J. A. (1996): Allergenicity assessment of foods derived from genetically modified plants. Food Technol. 50, 83-88
- Gressel, J., Kleifeld, Y. (1994): Can wild species become problem weeds because of herbicide resistance? *Brachypodium ditachyon*: a case study. Crop protection 18, 563-566

- Hammes, W. P. (1997): Grundlagen der Lebensmittelverarbeitung. In: Gassen, H. G., Hammes, W. P. (Hrsg.): Handbuch Gentechnologie und Lebensmittel. Behr's Verlag, Hamburg, Kapitel 2
- Hammes, W. P., Hertel, Ch. (1997): Aspekte der Sicherheitsbeurteilung gentechnisch veränderter Mikroorganismen. Ernährung /Nutrition 21, 436-443
- Jany, K.-D., Greiner, R. (1998): Gentechnik und Lebensmittel. Berichte der Bundesforschungsanstalt für Ernährung (BFE-R-98-1), Karlsruhe
- Jennylynd, J., Simpson, B. K. (1996): Application of enzymes in food processing. Crit. Rev. Sci. Nutri. 36, 437-463
- Koschatzky, K., Maßfeller, S. (1994): Gentechnik und Lebensmittel. Möglichkeiten, Risiken und Akzeptanz gentechnischer Entwicklungen. Verlag TÜV Rheinland, Köln
- Lebensmittelchemische Gesellschaft – Fachgruppe in der GDCh (1994): Gentechnologie – Stand und Perspektiven bei der Gewinnung von Rohstoffen für die Lebensmittelproduktion. Behr's Verlag, Hamburg
- Lehrer, S. B., Horner, W. E., Reese, G. (1996): Why are some proteins allergenic? Implication for Biotechnology. Crit. Rev. in Food Sci. Nutri. 36, 553-564
- Matsuda, T., Nakase, M., Adachi, T., Nakamura, R., Tada, Y., Shimada, H., Takahashi, M., Fujimura, T. (1996): Allergenic proteins in rice: Strategies for reduction and evaluation. In: Eisenbrand, G., Aulepp, H., Dayan, A. D., Elias, P. S. Grunow, W., Ring, J., Schlatter, J. (Eds.): Food allergies and intolerances: Symposium der Deutschen Forschungsgemeinschaft. VCH, Weinheim, New York, 161 -169
- Nossal, G. J. V., Coppel, R. L. (1992): Thema Gentechnik – Eine lebensverändernde Wissenschaft. Spektrum Akad. Verlag, Heidelberg
- Report of a WHO Workshop (1993): Application of the principles of substantial equivalence to the safety evaluation of foods or food components from plants derived by modern biotechnology. Geneva

Risikowahrnehmung und Risikobewertung von Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen

Beatrix Tappeser

In China wurde Anfang der 90er Jahre die erste transgene Pflanze auf kommerzieller Basis angebaut. Hierbei handelte es sich um transgenen virusresistenten Tabak. 1996 nahm dieser Tabak den ersten Platz unter den kommerziell angebauten transgenen Pflanzen ein. Eine Million oder 35 % der Gesamtanbaufläche transgener Pflanzen wurde von Tabak eingenommen. Insgesamt wurden 1996 weltweit auf ca. 2,75 Mill. Hektar transgene Pflanzen angebaut. 1997 waren dies bereits 12,7 Mill. Hektar. Die Hauptanbauländer waren die USA (64 % oder 8,1 Mill. ha), China (14 % oder 1,8 Mill. ha), Argentinien (11 % oder 1,4 Mill. ha), Kanada (10 % oder 1,3 Mill. ha) sowie Australien (weniger als 0,5 % oder 50.000 ha) und Mexiko (weniger als 0,25 % oder 30.000 ha).

Auf 54 % der weltweiten Fläche wurden herbizidresistente Pflanzen angebaut, auf 31 % insektenresistente und auf 14 % virusresistente Pflanzen. Veränderungen von Pflanzeninhaltsstoffen spielten nur bei weniger als 1 % der transgenen Pflanzen eine Rolle (James 1997).

Daraus läßt sich ableiten, daß die erste Kommerzialisierungswelle schon begonnen hat. Das Schwergewicht liegt in den USA und Kanada einerseits und in China sowie Argentinien andererseits. Die wichtigsten Pflanzen sind Soja, Mais, Tabak, Baumwolle, Raps und Tomate (in dieser Reihenfolge). Vor diesem Hintergrund sollte eigentlich davon ausgegangen werden, daß eine ausreichende ökologische Datenbasis zur Verfügung steht, die das ökologische Risiko einschätzbar macht. Die Realität sieht leider anders aus.

1 Ökologische Begleitforschung

Purrington und Bergelson (1995) untersuchten die bei der US APHIS (Animal Plant Health Inspection Service) beantragten und genehmigten Deregulierungsanträge (Kommerzialisierung) für transgene Pflanzen. Sie stellten fest, daß die von den APHIS-Richtlinien selbst geforderten Daten bezüglich des Vergleichs mit der nicht-transformierten Linie (nicht gentechnisch veränderte Ausgangslinie) in bezug auf ökologische Kriterien sehr lückenhaft beantwortet waren. Teilweise unberücksichtigt oder nur unzureichend analysiert blieben die Fitness möglicher Kreuzungsprodukte,

Samenausbreitung, Konkurrenzstärke, geographische Bandbreite und einige weitere Parameter. In den wenigsten Fällen lagen dem geforderten Vergleich eigene, vollständige experimentelle Untersuchungen zugrunde. Die herangezogenen experimentellen Daten resultierten daneben teilweise aus Versuchsanordnungen, die Aspekte wie Positionseffekte¹, Inzuchtdepression² oder die Tatsache, daß die eigentlichen kommerziellen Linien nicht mit den getesteten identisch waren, unberücksichtigt ließen.

Snow und Moran-Palma, zwei von der amerikanischen Umweltbehörde unterstützte Wissenschaftler, haben 1995 eine Studie bei der EPA vorgelegt, in der sie angesichts der in den USA angelaufenen Kommerzialisierung noch einmal zum Innehalten aufrufen, da nach ihrer Meinung die wesentlichen Risikofragen nicht geklärt sind.

Dazu zählen sie:

- Gentransfer durch Pollenflug auf verwandte Pflanzen und Weitergabe von Transgenen, die die Fitness der Wildpflanzen erhöhen,
- Resistenzentwicklung bei Unkräutern, pflanzlichen Krankheitserregern (Pathogenen) und Schadinsekten (Beispiel: Bt-Pflanzen, vgl. Kapitel 3.1),
- Ungewünschte Effekte auf Nichtzielorganismen wie z. B. Bestäuber, räuberische Insekten und seltene Arten durch inklonierte Gifte.

Unterstützt wird ihre Aussage durch eine Analyse der amerikanischen Freisetzungsversuche von Margret Mellon und Jane Rissler.

Diese kommentieren ihre Analyse mit dem Schlußsatz: "Die Freisetzungsversuche ermöglichen keine Beweisführung für die Sicherheit der Versuche, sondern sind eher ein Beweis für die Tatsache, daß, wenn man nicht hinsieht, man auch nichts findet" (Mellon und Rissler 1995). Auch Sandermann et al. (1997) stellen fest, daß die weltweiten Freisetzungsversuche, davon mehr als 1.200 mit Basta-resistenten Pflanzen (Stand 1996), nicht ökologisch ausgelegt waren und keine Daten zur Lebenszeit von Transgenen im Boden oder über Raten des horizontalen Gentransfers erbracht hätten. Einem Forschungsantrag, der sich mit der Ermittlung von Transferraten unter Selektionsdruck befassen wollte, wurde die Förderung versagt.

¹ Wirkungen, die aufgrund der räumlichen Anordnung von Gensequenzen auf dem langen Erbfaden hervorgerufen werden. Da die Integration der Transgene in den gentechnisch veränderten Pflanzen meist zufällig erfolgt, muß mit ganz unterschiedlichen Positionseffekten gerechnet werden.

² Schwächung der Leistungsfähigkeit von Pflanzen durch Kreuzung von eng verwandten Pflanzen.

Evaluation amerikanischer Freisetzungsversuche

(Mellon und Rissler 1995)

seit 1987:

- ca. 2.000 Freisetzungen
- 269 abschließende Reports liegen dazu vor – 139 sind der Öffentlichkeit zugänglich
- die 85 aktuellsten Abschlußberichte wurden analysiert

Problem der Verunkrautung: keine eigenständigen Experimente

- 86 % – allgemeine Anmerkungen
- 14 % – keine Erwähnung

Problem der Auskreuzung:

- 24 Berichte bezogen sich auf Nutzpflanzen mit wilden Verwandten in den USA
- 23 Berichte haben das Problem des Pollenflugs nicht angesprochen

Problem der Entstehung von neuen Viren:

- 19 Berichte betrafen virusresistente Pflanzen, in keinem Fall wurden spezifische Experimente oder wenigstens ein Monitoring durchgeführt
- 17 Berichte haben die Problematik nicht erwähnt

Problem der Auswirkungen auf Nichtzielorganismen:

- 15 Berichte betrafen insektenresistente Pflanzen
- in keinem Bericht wurden mögliche Wirkungen auf Nichtzielorganismen auch nur erwähnt.

Die bereits stattfindende oder anstehende Kommerzialisierung verschiedener transgener Pflanzen wird zu einer Vielzahl neuer Interaktionsmöglichkeiten transgener Pflanzen mit verschiedenen Ökosystemen führen. Da außerdem für verschiedene Pflanzen (in Europa u. a. Raps, Zuckerrübe) die Annahme eines biologischen Containments, d. h. die Begrenzung der Pflanzen und der neuen Erbanlagen auf die Anbaufläche, vollständig unrealistisch scheint, stellt sich die Frage nach den ökologischen Langzeitwirkungen mit neuer Schärfe. Snow und Moran-Palma (1997) haben für die transgenen Nutzpflanzen eine Einteilung in verschiedene Risikokategorien vorgeschlagen. Diese Risikokategorien orientieren sie an den Möglichkeiten der Pflanzen, selber zu verwildern und/oder Artverwandte in einem gegebenen Ökosystem zu haben, mit denen Hybridisierungen möglich sind. Danach teilen Snow und Moran-Palma die Pflanzen in drei Kategorien ein: Hochrisikopflanzen, Pflanzen mit mittlerem Risiko, Pflanzen mit geringem Risiko (siehe Abb.).

Risikokategorien für Pflanzen
(nach Snow und Moran-Palma 1997)

- **high risk**
Pflanzen, die selber verwildern oder leicht mit wilden Verwandten hybridisieren
- **medium risk**
Hybridisierung mit wilden Verwandten möglich
- **low risk**
keine Auskreuzung, keine wilden Verwandten in einem gegebenen Ökosystem

Im folgenden werden einige der häufigsten transgenen Nutzpflanzen – bezogen auf ihre Biologie und Auskreuzungsmöglichkeiten – vorgestellt, und es wird eine Zuordnung zu den von Snow und Moran-Palma gewählten Risikokategorien vorgenommen.

2 Wirtspflanzen-spezifische Aspekte

2.1 Raps

Obwohl Raps in den USA, in Kanada und in Europa bereits Vermarktungsgenehmigungen besitzt, zeigt sich mittlerweile, daß die Risikoaspekte weder im Vorfeld angemessen untersucht noch im Rahmen der Genehmigungsverfahren hinreichend geprüft wurden.

Verwilderungspotential von Raps

Crawley und Brown (1995) haben einige Untersuchungen zum Verwilderungspotential von Raps im Rahmen von englischen Freisetzungsversuchen durchgeführt. Sie kommen bei ihrer Untersuchung von Rapspopulationen zu dem Schluß, daß diese typischerweise ohne Störungen des Bodens nach wenigen Jahren absterben. In deutlichem Gegensatz hierzu muß in Deutschland von einer Einbürgerung dieser Art ausgegangen werden (Adolphi 1995). Auch Adler et al. (1993) stellten für die USA fest, daß Raps häufiger verwildert und teilweise auch als Unkraut einzustufen ist.

Neben methodischer Kritik (s. a. Weber 1995a), die an den Versuchen der Arbeitsgruppe Crawley geübt werden kann,³ weisen die unterschiedlichen Daten für Deutschland und England aber auch darauf hin, daß Verallgemeinerungen für ver-

³ So wurden mit den Mitteln der Statistik einzelne, besonders robuste Nachkommen der transgenen Pflanzen "weggerechnet", obwohl gerade in der Biologie z. B. von solchen Einzelfällen Gründereffekte für neue Populationen ausgehen können.

schiedene Länder, Ökosysteme und klimatische Bedingungen nicht zulässig sind. Diese Erkenntnis ist mindestens so alt wie die ökologische Wissenschaft selbst und wird doch gerade im Rahmen von Vermarktungsgenehmigungen immer wieder ignoriert.

Auskreuzungsmöglichkeiten

Auch die Hybridisierungsmöglichkeiten von Raps mit einer Reihe von Wildkräutern und verwandten Nutzpflanzenarten wurden deutlich unterschätzt.

Neben fehlenden Untersuchungen sind mögliche Ursachen hierfür, daß Hybridisierungen in Zusammenhang mit der spezifischen Erbausstattung und den Umweltparametern variieren. Auch das Versuchsdesign kann zu völlig unterschiedlichen Einschätzungen der Hybridisierungsraten führen, wie dies Klinger et al. (1992) bereits für *Raphanus sativus* (Radieschen) zeigten. Für insektenbestäubte Arten scheint zudem das Sehvermögen der Bestäuber einen entscheidenden Einfluß zu haben. So kann es vorkommen, daß die potentielle relative Hybridisierungswahrscheinlichkeit mit zunehmender Entfernung steigt.

Jorgensen & Andersen (1994) untersuchten in Freilandversuchen Hybridisierungen zwischen Winter- und Sommerraps (*Brassica napus*) einerseits und Rübsen oder Stoppelrüben (*Brassica campestris*, synonym: *B. rapa* ssp. *sylvestris*) andererseits. Es wurden jeweils die Samen von *Brassica campestris* geerntet, gekeimt und die Keimlinge untersucht. Bei einem Verhältnis von 1:1 zwischen *B. napus* und *B. campestris* waren 13 % der Keimlinge des Winterrapses und 9 % der Keimlinge des Sommerrapses aus Kreuzungen hervorgegangen. Wurden Einzelpflanzen von *B. campestris* in die Rapsfelder eingebracht, waren im Winterrapsfeld 93 % der Keimlinge und im Sommerrapsfeld 56 % der Keimlinge der Rübsen hybridisiert. Bei einer Samenanalyse aus einer wilden Unkrautpopulation von *B. campestris* in Winterraps waren 60 % hybridisiert.

In Folgeversuchen kamen Mikkelsen et al. (1996) zu dem Ergebnis, daß transgener herbizidtolanter Raps unter Freilandbedingungen spontane Hybriden mit *B. campestris* bildet und diese schon in der ersten Rückkreuzungsgeneration zu herbizidtoleranten unkrautartigen Pflanzen mit dem äußeren Erscheinungsbild von *B. campestris* führen. Das im Gegensatz zu früheren Annahmen derart rasche Auftreten fruchtbarer Hybriden und die Einwanderung des Herbizidtoleranz vermittelnden Gens in eine Unkrautpflanze legt eine rasche Verbreitung von Transgenen aus Raps in verwandte Wildpopulationen nahe.

Die Möglichkeit, daß Raps auch mit *B. juncea* (Sareptasenf) unter Freilandbedingungen Kreuzungsprodukte bildet, ist ebenso gegeben wie die Möglichkeit der Bildung einer zweiten Nachkommengeneration (Scheffler und Dale 1994). Des weiteren ist für andere Brassicaceen wie *B. oleracea* (Kohl), *B. nigra* (Schwarzer

Senf), *Hirschfeldia incana* (Grausenf), *Raphanus raphanistrum* (Hederich), *Diplotaxis erucoides* (raukenähnlicher Doppelsame), *Diplotaxis muralis* (Mauersenf) eine Rückkreuzungsmöglichkeit in Betracht zu ziehen, wenngleich teilweise die Hybridisierungen bisher nur unter artifiziellen Bedingungen beobachtet werden konnten (Mayer et al. 1995, Eckelkamp et al. 1997). Dies galt allerdings vor den Versuchen von Jorgensen auch für die Rübsen.

Nach oben korrigiert werden mußte auch die Ausbreitungsdistanz für Pollen: bei größeren Rapsfeldern sind über 2 km zu veranschlagen (Timmons et al. 1995).

Gerade Ruderalflächen⁴ mit potentiellen Hybridisierungspartnern für Raps befinden sich häufig in der Nähe von Äckern. Darunter sind auch geschützte Flächen. Die Möglichkeit der Ausbreitung von Transgenen kann hier im Falle der künstlichen Herbizidresistenz durch Verdriftung (Windabtrag) der Herbizide in solche Flächen und einen hierdurch entstehenden Selektionsdruck weiter gesteigert sein.

Raps ist eine bedeutende Quelle für Pollen und Nektar sowie eine Nahrungspflanze für viele Wildtiere. Hierdurch ergeben sich eine große Anzahl von Interaktionsmöglichkeiten mit der Fauna, die einzelfallspezifisch Risikopotentiale wie z. B. die Gefährdung geschützter Arten beinhalten können. Alle diese Wechselwirkungen sind bisher kaum untersucht.

In allen gängigen Risikoabschätzungen bleibt zudem die Tatsache unberücksichtigt, daß mittlerweile gleichzeitig die gleichen Pflanzen mit unterschiedlichen neuen Erbanlagen getestet werden und daß deren Kommerzialisierung geplant ist. So muß damit gerechnet werden, daß verwilderter Raps, aber auch die Verwandten des Rapses in Zukunft möglicherweise verschiedene Herbizidresistenzgene aufweisen und gleichzeitig Virus- oder Pilzresistenzen tragen. Dies könnte dazu führen, daß diese Pflanzen als Ackerunkräuter nur noch schwer zu bekämpfen sind und sie in Lebensgemeinschaften mit anderen Wildpflanzenarten auf nicht bewirtschafteten Flächen einen deutlichen Fitnessvorteil haben und so zur Verdrängung und weiteren Artenverarmung führen.

Raps würde nach der Einteilung von Snow und Moran-Palma in Europa der Hochrisikokategorie zuzuordnen sein.

2.2 Mais

Im Gegensatz zum Raps hat der Mais in Europa keine freilebenden Kreuzungspartner. Dennoch ist anzumerken, daß unklar ist, ob Maissamen winterhart sind oder

⁴ Ruderalflächen: Schuttplätze, Wegeränder.

nicht; in den USA wurden schon Durchwuchsprobleme⁵ beobachtet (Société Anonyme Ciba-Gigy 1994). Außerdem bildet die Art an Schuttstellen, Straßenrändern sowie Industrie- und Gewerbeflächen unbeständige Vorkommen (Adolphi 1995). Zukünftige gentechnische Veränderungen, die möglicherweise die Kältetoleranz der Art betreffen (Mayer et al. 1995) könnten hier eine neue Einschätzung nötig machen.

Die Speicherproteine der Maiskörner stellen eine Quelle transgener Proteine dar, die im Hinblick auf mögliche Nicht-Ziel-Effekte untersucht werden müssen, vor allem, da transgener Pollen des windblütigen Maises zur Befruchtung anderer Maispflanzen führen kann. Experimentelle Daten zu Nicht-Ziel-Effekten auf z. B. andere Organismen wie die pflanzenfressende Wildtierpopulation wurden bisher nicht systematisch erhoben. Auch eine mögliche Beeinflussung der allergenen Eigenschaften von Maispollen muß in Betracht gezogen werden (s. a. Weber 1995b). Mais dürfte im Moment in Europa – bezogen auf seine Auskreuzungsmöglichkeiten – der geringsten Risikostufe zuzuordnen sein

2.3 Kartoffeln

Kartoffeln sind selbst- und insektenbefruchtet. Bestäuber sind Schwebfliegen, Solitärwespen und Wildbienen (Bücking et al. 1993). Obgleich Hybridisierungen mit verwandten Wildarten derzeit in Deutschland im Gegensatz zu Südamerika als sehr unwahrscheinlich gelten, wurden unter artifiziellen Bedingungen zumindest bei Befruchtung von *Solanum nigrum* (schwarzer Nachtschatten) sterile Beeren beobachtet (McPartlan und Dale 1994, Eijlander und Stiekema 1994 in Mayer et al. 1995). Die Möglichkeit weiterer Hybridisierungen z. B. mit *Solanum nitidibaccatum* sollten nach Mayer et al. (1995) überprüft werden.

Für das Ausbreitungs- bzw. Verwilderungspotential von Kartoffeln muß angemerkt werden, daß auf Kartoffelfeldern die Zahl auskeimender Kartoffelsamen im Folgejahr durchaus beträchtlich sein kann, auch können Durchwuchskartoffeln, wenngleich meist ein kurzfristiges Phänomen, an bis zu fünf aufeinanderfolgenden Jahren vorkommen (Love 1994, Perombelon & Lowe 1971, beide in Mayer et al. 1995). Zu prüfen bleibt auch, ob pleiotrope⁶ Effekte oder Effekte des Transgens diese Eigenschaften beeinflussen. So wurde herausgefunden, daß die regenerierten Kartoffeltransformanten im besten Fall 82 % Übereinstimmung, im schlechtesten Fall nur 18 % Übereinstimmung mit ihren Elternlinien zeigen (bezogen auf UPOV⁷-

⁵ Als Durchwuchspflanzen werden solche Pflanzen bezeichnet, die aus im Boden verbleibenden Samenkörnern in der nächsten Vegetationsperiode auskeimen und dann die auf dem Feld stehenden anderen Kulturen stören.

⁶ Unter pleiotropen Effekten versteht man die Auswirkungen eines (Trans)Gens auf mehrere Eigenschaften der manipulierten Pflanze.

⁷ UPOV = Union de protection des obtentions végétales. Internationales Abkommen zum Schutz von Pflanzensorten.

Kriterien). Auch Dale & McPartlan (1992) beobachteten pleiotrope Effekte bei Kartoffeln. Wenn diese die Ausbreitungsorgane betreffen, so können hierdurch entscheidende risikorelevante Eigenschaften wie etwa Keimungsverhalten von Samen oder Überdauerungsverhalten bzw. Streßtoleranz der Fortpflanzungsorgane beeinflußt sein (Mayer et al. 1995).

Kartoffeln müßten nach unserer Einschätzung aufgrund der vegetativen Fortpflanzung und des Problems der Durchwuchskartoffeln an der Grenze zwischen niedrigem und mittlerem Risiko eingeordnet werden.

2.4 Zuckerrüben

Ähnlich wie beim Raps sind für Zuckerrüben in Europa Verwandte vorhanden, mit denen die Möglichkeit der Hybridisierung gegeben ist. Das "Center of Origin" liegt in Europa. Wie von Haas und Weber (1993) dargelegt, kommt es bei den in der Regel zweijährigen Kulturformen immer wieder zu Schossern, die bereits im ersten Jahr blühen. Außerdem ist die Möglichkeit der Hybridisierung mit Wildrüben, verwilderten Kulturrüben und anderen Betarüben gegeben, da sie innerhalb ihrer Art keine Kreuzungsbarrieren besitzen. Somit ist ein Genfluß zwischen Wildrüben und Kulturformen in beide Richtungen möglich (Bartsch et al. 1996), und ein Auskreuzen transgener Eigenschaften kann nicht verhindert werden. Vor allem bei der Saatgutgewinnung ist zu beachten, daß der Pollen dieser windblütigen Art über mehrere Kilometer und zu einem geringen Teil auch von Insekten transportiert werden kann. Samen können außerdem bis zu 10 Jahre im Boden überdauern, was entsprechende Monitoring-Zeiträume bei einer Freisetzung erfordert (Haas und Weber 1993). Bartsch et al. (1996) stellen zudem fest, daß in verschiedenen Jahren die transgenen virusresistenten Rüben unterschiedliche Konkurrenzkraft zeigten. So wurde 1994 auch in Abwesenheit eines entsprechenden Selektionsdrucks gegenüber der adäquaten Kontrolle keine verringerte Kompetitivität gefunden. Die gegenüber einer herkömmlichen virustoleranten Sorte reduzierte Konkurrenzkraft (mit und ohne Selektionsdruck durch Virusbefall) wird auf deren größere Heterozygotität⁸ zurückgeführt – ein Unterschied, der also durch weitere züchterische Bemühungen in Richtung Hohertragssorte ausgeglichen werden dürfte. Zwar erwarten die Autoren von der Virusresistenz keine Gefährdung von Wildpopulationen, weisen aber darauf hin, daß mögliche pleiotrope Effekte des Genkonstruktes bisher nicht aus dieser Richtung betrachtet wurden und weitere Untersuchungen notwendig sind.

Raybould et al. (1996) weisen zusätzlich darauf hin, daß die Populationsstruktur wilder Rüben (*B. vulgaris* ssp. *maritima*) stark durch Gründereffekte und Samen-transport über weite Strecken gekennzeichnet sein dürfte, so daß bei Freisetzungen

⁸ Ungleicherbigkeit, d. h. Erbanlagen, die von unterschiedlichen Elternpflanzen stammen.

möglicherweise lokale Populationen mit hoher Transgenfrequenz in größerer Entfernung entstehen können. Sie raten daher bei einem Monitoring zu großräumiger Untersuchung.

Einflüsse auf die vielfältigen Wildtierpopulationen, die sich z. B. von Rübenresten nach der Ernte miternähren, gibt es unseres Wissens nach bisher nicht.

Zuckerrüben müßten aufgrund ihrer Auskreuzungsmöglichkeiten in die Hochrisikogruppe eingeordnet werden.

3 Die wichtigsten Eigenschaftsveränderungen

Herbizidresistenz, Insektenresistenz und Virusresistenz sind die wichtigsten Strategien, die mit Hilfe gentechnischer Ansätze verfolgt werden. Diese Strategien sollen im folgenden unter Risikoaspekten kurz analysiert werden. Allerdings beschränken sich die Eigenschaftsveränderungen transgener Pflanzen nicht auf die geplanten Veränderungen durch die Transgene. Indirekte Effekte, die durch den Ort der Integration des neuen Genkonstrukts bewirkt werden (Positioneffekte), und Wirkungen des Transgens auf andere Substrate (z. B. enzymatische Veränderung bestimmter Zellinhaltsstoffe) als die geplanten (= pleiotrope Wirkungen), führen zu teilweise überraschenden Effekten. All dies wirkt sich nicht nur auf der Ebene der Einzelpflanze aus, sondern beeinflußt selbstverständlich auch die Lebensgemeinschaften und bio-geochemischen Kreisläufe, in die diese Pflanzen eingebettet sind.

3.1 Insektenresistenz

Gerade für die künstliche Widerstandsfähigkeit gegenüber Schädlingen (Pathogenresistenz) wird von vielen Autoren, darunter Miller (1993), eine besondere Notwendigkeit einer sorgfältigen ökologischen Betrachtung gesehen. Da das Transgen möglicherweise für die Pflanze bzw. verwandte Wild- oder Unkräuter limitierende ökologische Faktoren beeinflußt, können Ausbreitungs-, Invasions- oder Unkrautpotential dieser Pflanzen erhöht werden. Miller (1993) weist ebenso darauf hin, daß derartige gentechnische Veränderungen zur Störung symbiontischer Lebensgemeinschaften im Wurzelbereich führen können.

Bt-Endotoxin enthaltende Pflanzen

Insektentoxische Proteine von *Bacillus thuringiensis* (Bt) werden derzeit mit gentechnischen Mitteln in eine Reihe wichtiger Nutzpflanzen integriert, welche teilweise schon das Vermarktungsstadium erreicht haben (Mais, Kartoffeln, Baumwolle). Im Gegensatz zur herkömmlichen Anwendung von Dauerpräparaten (Sporen) dieser Bakterien bringt die Anwendung transgener insektenresistenter Pflanzen eine

ganze Reihe von Risiken mit sich, die keineswegs durch die Erfahrungswerte sicherer herkömmlicher Bt-Anwendung abgedeckt sind.

Die Rolle von Bt im Ökosystem ist trotz verschiedener Theorien hierzu bisher vollkommen ungeklärt (Mayer et al. 1995). Eine sinnvolle Analyse möglicher ökologischer Effekte der Freisetzung transgener insektenresistenter Pflanzen mit entsprechenden Giftgenen ist daher beträchtlich erschwert.

Prominentester Kritikpunkt ist zunächst die hohe Wahrscheinlichkeit für eine rasche Resistenzentwicklung bei den zu bekämpfenden Schadinsekten (möglicherweise auch bei bisher sekundären Schädlingen) (u. a. Wigley et al. 1994, Alstad und Andow 1995).

Während die Sporenpräparationen durch Umwelteinflüsse nur eine zeitlich eng begrenzte Wirkungsdauer besaßen, ist bei transgenen Pflanzen von einer weitaus größeren Wirkungsdauer auszugehen, da die Gifteiwieße ständig in der Pflanze gebildet werden und auf die Insekten einwirken können. Zudem ist es teilweise erklärtes Ziel, die ökologisch bedeutsame, strenge Spezifität der Toxinwirkung zu verbreitern. Bisher hat nur ein Schädling, die Kohlschabe (*Plutella xylostella*), unter Freilandbedingungen Resistenz entwickelt (Tabashnik 1994, Bauer 1995). Unter Laborbedingungen konnten sehr viel häufiger Resistenzentwicklungen registriert werden. Die Ergebnisse einer Reihe dieser Studien basieren auf Experimenten mit gereinigtem Toxin und sind damit eher auf transgene Bt enthaltende Pflanzen, aber nicht auf konventionelle Bt-Präparationen anwendbar. Kürzlich publizierte Ergebnisse zur Häufigkeit von resistenzvermittelnden Erbanlagen bei bestimmten Schädlingen unterstreichen die Bedenken einer raschen, durch transgene Pflanzen ausgelösten Resistenzentwicklung bei Schadinsekten. Gould et al. (1997) fanden heraus, daß *Heliothis virescens*, der Baumwollrüssler, eine Allelfrequenz von $1,5 \times 10^{-3}$ aufweist. Alle Schätzungen, die bisher den Kalkulationen zur Resistenzentwicklung zugrunde gelegt wurden, haben einen solchen Wert als absolute Höchstgrenze angenommen. Da *Heliothis virescens* sehr empfindlich auf das *Bacillus-thuringiensis*-Endotoxin reagiert, errechneten die Autoren eine Zeitspanne von ca. 10 Jahren, bis nach ihrer Einschätzung *H. virescens* in transgenen Baumwollpflanzungen zu einem ernsthaften Problem werden. Bei dieser Schätzung wurde bereits einbezogen, daß 4 % der Anbaufläche als Rückzugsgebiet für empfindliche Organismen mit nicht transgener Baumwolle bepflanzt werden.

Andere Schädlinge wie der Baumwollkapselbohrer (*Helicoverpa zea*) und der Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*) reagieren allerdings unempfindlicher auf Bt-Endotoxin. Bei gleicher Allelfrequenz rechnen die Autoren hier mit einer Resistenzentwicklung innerhalb von 3-4 Jahren.

Um eine solche schnelle Resistenzentwicklung aufzuhalten, wird erwogen, mehrere unterschiedliche Toxingene in die Pflanzen zu klonieren. Diesem Ansatz liegt die

Annahme zugrunde, daß zur Resistenzbildung voneinander unabhängige Mutationen notwendig sind.

Allerdings fanden Tabashnik und Mitarbeiter (1997), daß in einem Stamm von *Plutella xylostella* ein autosomal rezessiv vererbtes Gen eine hohe Resistenz gegen vier verschiedene Toxine vermittelt. Damit ist auch diese Strategie in Frage gestellt.

Auch in diesem Zusammenhang läßt sich nur mit gewisser Verwunderung konstatieren, daß essentielle Versuche erst nach den Vermarktungsgenehmigungen stattfanden bzw. abgeschlossen wurden. Die bereits vorhandenen zahlreichen Indizien wurden in den Vermarktungsgenehmigungen nicht berücksichtigt bzw. als nicht relevant eingestuft. So sieht die EU-Kommission in der Resistenzentwicklung kein ökologisches Problem, da ja weiterhin chemische Insektizide zur Verfügung stünden. Im Gegensatz zur amerikanischen Genehmigungsbehörde hat sie denn auch eine Genehmigung ohne zeitliche Befristung und ohne Auflagen ausgesprochen.⁹

Ein anderer Aspekt sind Non-Target-Effekte, d. h. beispielsweise die Schädigung von Nützlingen oder die Beeinflussung von Bodentieren oder Bodenprozessen.

Tapp und Stotzki (1995) stellten fest, daß Bt-Toxine, obgleich dies von Proteinen im allgemeinen nicht erwartet wird, durch die Bindung an Tonpartikel außerordentliche Persistenz im Boden aufweisen. So können vollkommen neue Organismengruppen mit vergleichsweise hohen Dosen des Toxins konfrontiert werden. Stotzki stellte darüber hinaus fest, daß die synthetischen Endotoxinmoleküle der transgenen Pflanzen im Vergleich zum nativen Protein aus den Bakterien eine höhere Persistenz und Stabilität aufweisen (mündliche Äußerung, Ifgene-Kongreß Oktober 96, Dornach, Schweiz). Donegan et al. (1995) weisen darauf hin, daß die Non-target-Effekte der Bt-Gifteweiße bisher nicht vollständig bewertet wurden, obgleich einige solcher Effekte bekannt sind. Dazu zählen eine erhöhte Sterblichkeit und reduzierte Fruchtbarkeit von solchen Insekten, die als Nichtzielorganismen erhöhten Konzentrationen des Gifteweißes ausgesetzt wurden. Sie untersuchten erstmals auch mögliche Effekte von transgener Baumwolle mit einem Bt-Gifteweiß auf die Bodenmikroflora. Sie stellten eine vorübergehende Steigerung der Gesamtzahl von Bodenbakterien und -pilzen fest, was vielleicht mit einer Reduktion bakterien- oder pilzfressender Mitglieder der Bodenkleinstlebewesen korreliert, die auf das Toxin empfindlich reagieren. Zusätzlich weisen ihre Ergebnisse auch auf eine Veränderung der Zusammensetzung der Bodenmikroorganismen hin. Dies könnte für die Nährstoffaufnahme und die Bodenfruchtbarkeit durchaus bedeutsam sein. Diese von ihnen beobachteten Effekte in Modellsystemen führen sie nicht nur auf das Transgen selbst zurück, sondern vermuten pleiotrope Effekte oder Positionseffekte. Daraus

⁹ Die Genehmigung der Environmental Protection Agency für den insektenresistenten Mais der Novartis ist auf 5 Jahre befristet und fordert die Entwicklung von Resistenzmanagementplänen.

folgt auch, daß Tests mit gereinigtem Toxin *nicht* ausreichen, um die Wirkungen transgener Pflanzen zu erfassen.

Darüber hinaus können, wie bereits von Mayer et al. (1995) dargelegt, Veränderungen am Gifteiß während des Herstellungsprozesses in der Pflanzenzelle, Abbau-Produkte des Gifteißes in der transgenen Pflanze und die Bildung verkürzter, möglicherweise bereits aktivierter Toxine eine umfassende Neubewertung des toxikologischen und ökotoxikologischen Potentials dieser Giftstoffe notwendig machen. Diese Tatsachen wurden bisher nicht ausreichend berücksichtigt.

Vorveröffentlichungen von Untersuchungen aus der Schweiz ergeben zudem alarmierende Auswirkungen auf weitere Glieder der Nahrungskette. Florfliegen, die sich von Maiszünslerlarven ernähren, welche durch die Bt-Endotoxin enthaltenden Maispflanzen vergiftet wurden, sterben in zwei von drei Fällen ebenfalls ab. Selbst der Genuß von Insekten, die das Toxin zwar aufgenommen haben, aber dadurch nicht geschädigt wurden, führt zum Tod der Florfliegen. Florfliegen sind natürliche Gegenspieler des Maiszünslers.

Weitere Ansätze

Noch im Experimentierstadium befinden sich Ansätze, die z. B. über die Einklonierung von Proteinase-Inhibitoren insektentoxische Eigenschaften auf die Pflanzen übertragen wollen. Diese Inhibitoren hemmen einen Teil der nahrungsabbauenden Enzyme. Die aufnehmenden Schädlinge können die Nahrung nicht mehr nutzen und sterben in der Folge ab. Allerdings besitzen die so veränderten Pflanzen dieses Potential nicht nur gegenüber Schädlingen, sondern auch gegenüber Nützlingen. Diese Überlegungen führten eine Arbeitsgruppe um Pham-DelÉgue am INRA (Institut Nationale de la Recherche Agronomique) in Frankreich zu Versuchen mit Bienen. Die Aufnahme von auch für die Bienen schädlichen Proteinase-Inhibitoren führte zu einer um 15 Tage verkürzten Lebensdauer und bereits nach 15 Tagen zu deutlichen Einschränkungen des Geruchssinnes der Bienen. Sie waren nicht mehr in der Lage, die für sie wichtigen nektarproduzierenden Pflanzen zu identifizieren.

3.2 Herbizidresistenz

Zunächst ist in Zusammenhang mit der Herbizidresistenz (Widerstandsfähigkeit gegenüber Pflanzenbehandlungsmitteln) festzustellen, daß diese Technik zu einem vermehrten Einsatz entsprechender Herbizide bei den betreffenden Pflanzen führen wird, da Totalherbizide¹⁰ bisher nicht oder kaum in den entsprechenden Kulturen eingesetzt werden konnten. Zudem wurden diese Herbizide bisher nicht auf Pflanzen bzw. Pflanzenteile appliziert, die für den Verzehr gedacht sind. Aus ökologischen

¹⁰ Totalherbizide zeichnen sich dadurch aus, daß sie fast alle grünen Pflanzen abtöten.

Gesichtspunkten ist die Herbizidresistenz auf jeden Fall eine Entwicklung in die falsche Richtung, auch wenn mehr als 30 Prozent aller weltweit stattfindenden Freisetzungsversuche herbizidresistente Pflanzen betreffen.

Das Herbizid Bromoxynil (für entsprechend resistente Baumwollpflanzen und Tabak bestehen bereits Zulassungen) steht beispielsweise im Verdacht, Entwicklungsstörungen bei Säugetieren sowie Krebs zu verursachen, und ist dazu noch stark fischgiftig (The Gene Exchange 1995).

Ganz aktuell wurde die Nachricht verbreitet, daß in Australien ein wichtiges Unkraut (rye-grass) gegen Glyphosat eine Resistenz entwickelt habe (New Scientist 6.7.1996, GID 114, 1996). Dies ist eine weitere Bestätigung des Kritikpunktes, daß der Einsatz der Herbizide zu Resistenzentwicklungen führen werde und sich damit die Giftspirale in der Landwirtschaft immer schneller drehen werde. Monsanto (Hersteller von Glyphosat) hatte bisher immer die Einschätzung vertreten, daß im Zusammenhang mit dem Einsatz von Glyphosat eine Resistenzentwicklung nicht zu erwarten sei.

Schwieriger ist allgemein die Bewertung von Rückständen, Verunreinigungen und Umwandlungsprodukten der Herbizide. Eine Palette von Stoffwechselprodukten mit unterschiedlicher Persistenz kann entstehen, die eine Gefährdung für das als Trinkwasser verwendete Grundwasser und somit für die menschliche Gesundheit darstellen können. Dröge et al. (1992) zeigten, daß das Herbizid L-Phosphinotricin (Wirkstoff von Basta) in transgenen Pflanzen anders verstoffwechselt wird als in nicht transformierten Pflanzen. Sandermann (1994) weist auf die relativ hohe Persistenz des Basta-Metaboliten MPP und die im Produkt zu 50 % enthaltene D-Isomere (spiegelbildliche) Form hin, welche in Pflanzen nur schwer abgebaut wird. Ahmad et al. (1995) untersuchten die Einflüsse von Phosphinotricin (= Wirkstoff von Basta) auf Phytopathogene und ihre Antagonisten und mußten feststellen, daß teilweise selektiv Antagonisten geschädigt werden, während die Pathogene nicht beeinflusst wurden. Damit drohen Verschiebungen der Organismenpopulationen im Wurzelbereich, die u. a. einen erhöhten Befall mit pathogenen Pilzen zur Folge haben können. Dies ließe sich nur mit erhöhtem Aufwand an Fungiziden bekämpfen. In diesem Zusammenhang bestehen deutliche toxikologische und ökotoxikologische Bewertungslücken.

Hinzu kommt, daß anscheinend nach neueren Erkenntnissen mit einer gegenüber früheren Annahmen erhöhten Aufwandmenge des Herbizids bei der Anwendung in Mais- und Zuckerrübenkulturen gerechnet werden muß (Lechner et al. 1996, Märländer 1996).

Zur ökologischen Bewertung muß noch angefügt werden, daß beispielsweise BASTA-resistente Pflanzen durchaus nicht nur agronomisch genutzte Flächen beeinflussen können: Verdriftungseffekte bei der Ausbringung der Herbizide oder auch die

Anwendung an Verkehrswegen könnten hier Trittsteine für eine Beeinträchtigung auch anderer Systeme schaffen (Mayer et al. 1995).

3.3 Virusresistente Pflanzen

Virale Pflanzenkrankheiten sind ein spezielles Problem des monokulturellen Anbaus, die teilweise zu dramatischen Ernteaussfällen führen. Da es für diese Pflanzenkrankheiten keine direkten chemischen Bekämpfungsstrategien gibt, sind sehr früh in der Entwicklung gentechnische Ansätze erprobt worden, die das Ziel "Virusresistenz" hatten. Hierzu bedient man sich unterschiedlicher viraler Sequenzen, die in das Pflanzengenom eingebracht werden. Der wichtigste Ansatz ist die Klonierung viraler Hüllproteingene. Sehr früh wurde die Befürchtung geäußert, daß die ständige Bildung von Hüllproteinen in Pflanzenzellen dazu führen kann, daß weitere infizierende Viren verwandter oder nicht verwandter Arten in diese fremden Hüllproteine verpackt werden (= heterologe Enkapsidierung) und dadurch neue Übertragungswege und/oder ein verändertes Wirtsspektrum ermöglicht werden. Mittlerweile liegen eine Reihe von empirischen Daten vor, die genau diese Befürchtung bestätigen, und zwar zwischen Viren derselben Virusgruppe (Farinelli et al. 1992, Lecoq et al. 1993, Maiss et al. 1994) wie auch zwischen Viren verschiedener Gruppen (Wintermantel und Schoelz 1996).

Auch Rekombinationen zwischen den klonierten viralen Genen und infizierenden Viren konnten gezeigt werden. Die Rekombinationen führten u. a. zu einer Veränderung der Krankheitssymptome, zu einer Erweiterung des Wirtsspektrums und zu einer Steigerung der Virusfitness (Gal et al. 1992, Schoelz und Wintermantel 1993, Maiss et al. 1997, Allison 1997).¹¹ Transgene virusresistente Pflanzen haben in den USA und in China bereits Vermarktungsgenehmigungen erhalten (Tabak, Kürbis und Kartoffeln), ohne daß die wesentlichen Risikofragen geklärt sind. Auch hier gilt, daß gerade in den letzten zwei bis drei Jahren die diskutierten Risikoszenarien zunehmend durch empirische Daten bestätigt wurden.

3.4 Pleiotrope Effekte und genetische Stabilität

Die ökologisch relevanten Eigenschaften der transgenen Pflanzen können unter anderem auch durch genetische Instabilität oder durch Positions- bzw. Pleiotropieeffekte, welche vielfach dokumentiert sind, beeinflusst werden (u. a. Buiatti und Bogani 1995, Meyer 1992, Rogers und Parkes 1995).

Umwelteinflüsse können die Genexpression beeinflussen, auch bei als zunächst für stabil gehaltenen Zuchtlinien können Instabilitäten der transgenen Expression auftreten (Dale et al. 1994, Broer et al. 1992). Bekanntestes Beispiel sind die

¹¹ Für eine detaillierte Übersicht siehe Eckelkamp et al. (1997) und Weber et al. (1998).

gentechnisch veränderten Petunien, die 1989/90 bei Köln freigesetzt wurden. Diese sollten eine neue Blütenfarbe bilden. Doch ca. 50 % der ins Feld ausgepflanzten Petunien blieben weiß. Zurückgeführt wurde dies auf die große Hitze, die in diesem Sommer herrschte. Die Wärme hatte offensichtlich dazu geführt, daß die neuen Erbanlagen abgeschaltet wurden (Meyer et al. 1992). Dies ist auch eine mögliche Erklärung für das Versagen der insektenresistenten Baumwolle im Jahr 1996, da es in Texas einen heißen Sommer gab.

Penaloza-Vazques et al. (1995) stellten fest, daß das Antibiotikaresistenz-Markergen Hygromycinphosphotransferase zu einer Herbizidresistenz gegen Glyphosat (Glyphosat ist der Wirkstoff von Round up) führen kann. Dies muß ganz eindeutig als pleiotroper Effekt charakterisiert werden.

Die bereits beschriebenen Petunien, die zur neuen Farbgebung ein Maisgen erhalten hatten, sind auch durch eine veränderte Wüchsigkeit (mehr Blätter und Triebe), geringere Fruchtbarkeit und höherer Widerstandsfähigkeit gegenüber einem pilzlichen Krankheitserreger aufgefallen. Diese Eigenschaftsveränderungen sind wahrscheinlich ebenfalls auf pleiotrope Effekte oder Positionseffekte zurückzuführen.

Die erstmals 1997 kommerziell angepflanzte Glyphosat-resistente Baumwolle zeigte ein gleichermaßen überraschendes Verhalten. Auf einem Teil der Anbauflächen bildeten sich deformierte Baumwollkapseln, die vor der Reife abgeworfen wurden (Fox 1997).

Ein weiteres Beispiel sind die von Linder und Schmitt (1995) beobachteten Einflüsse auf das Keimungsverhalten, die bei transgenem, in seiner Fettsäurezusammensetzung verändertem Raps auftraten. Hier zeigten die Samen eine stark erhöhte Samenruhe, so daß hierdurch möglicherweise ein erhöhtes Unkrautpotential entsteht. Sie plädieren aufgrund ihrer Ergebnisse auch bei Freisetzungsversuchen gleicher Pflanzen mit untereinander ähnlichen Genkonstrukten für eine "case by case" Bewertung.

4 Risikoanalyse neuartiger gentechnischer Ansätze in der Pflanzenzucht: Pflanzen für die chemische und pharmazeutische Industrie

Zunehmende Aufmerksamkeit erlangen Ansätze, die Pflanzen für ganz neue Zielsetzungen nutzen möchten. Dazu gehört ihr Einsatz als chemische Produktionsstelle für therapeutisch wertvolle Eiweiße oder solche Proteine, die für die chemische Industrie interessant sind.

In beiden Fällen wird in der Regel stillschweigend vorausgesetzt, daß Betrachtungen zur Nahrungsmittelsicherheit obsolet sind, da diese Pflanzen nicht im Nahrungsmittelsektor verwendet werden sollen. Dies wäre eine sehr kurzschlüssige Betrachtung.

tungsweise, die von einer Kompartimentierung der Natur ausgeht, die nicht den vorfindlichen Gegebenheiten entspricht. Zudem wird Nahrungsmittelsicherheit meist nur im Hinblick auf den Menschen verstanden. Diese Pflanzen sind aber für viele Tiere Nahrungsquelle.

Interaktionen über Nahrungsketten finden auf mehreren Ebenen statt. Freilebende Tiere wie Rehe, Hasen, Kaninchen, Vögel oder Reptilien können direkt an den Nutzpflanzen partizipieren – sei es während des Wachstums oder nach der Ernte. Verschiedene Nützlinge, aber auch Schädlinge aus den Stämmen der Wirbellosen ernähren sich während des Wachstums und der Blüte von Pflanzensäften, Blättern, Samen oder Früchten und dienen dann wiederum als Nahrungsquelle für größere Mitglieder der Wildfauna.

4.1 Gene farming

Unter dem Stichwort “gene farming” in Pflanzen werden z. B. Vorhaben verfolgt wie die Herstellung von menschlichen Antikörpern (Hein et al. 1991, Whitlam 1995), Impfstoffen auf der Basis von bakteriellen Antigenen wie Cholera toxin (Hein et al. 1996), Enterotoxinen von *E. coli* (Haq et al. 1995) oder viralen Untereinheiten von human- oder tierpathogenen Viren (Arntzen 1997, Dalsgaard et al. 1997). Dazu gehören auch Vorhaben zur Produktion von Leu-Enkephalin in transgenen Raps- oder Arabidopsispflanzen. Die Enkephaline gehören zur Gruppe der endogenen Morphine, die im menschlichen Gehirn gebildet werden. Endorphine sind Peptide. Nach Pschyrembel (Klinisches Wörterbuch, 257. Auflage, 1994) sind sie beteiligt an: Steuerung vegetativer Funktionen über die Aktivierung endorphiner Neuronen, wobei Endorphine als Neurotransmitter, Neuromodulatoren oder Hormone wirken können. Dadurch steuern sie u. a. die Verarbeitung sensorischer Afferenzen, die Regulation der Körpertemperatur, Antrieb und Verhalten oder die Darmbewegungen.

Daraus geht hervor, daß die einzelnen Endorphine an der Regulation komplexer Verhaltensmuster und physiologischer Reaktionen beteiligt sind. Dies gilt nicht nur für den Menschen, sondern auch für alle Säugetiere. Weiterhin wäre zu prüfen, ob und welche Wirkungen Enkephalin auf andere Wirbeltiere hat.

Wie z. B. soll ausgeschlossen werden, daß kleine Mengen Enkephalin über den Honig in die menschliche Nahrungskette gelangen? Raps ist eine der wichtigsten Bienenweiden, Rapshonig wird vielfach auch anderen Honigen beigemischt, die nicht in solch großen Mengen gewonnen werden können. Auch der Versuch, über von außen induzierbare Promotoren die Expression zu steuern, bietet keine Sicherheit, da die DNA ein sehr dynamisches Molekül ist, das im Laufe des Lebenszyklus eines Organismus immer wieder Veränderungen erfährt. Zusätzlich dient die sexuelle Reproduktion der für die Evolution so wichtigen Variation von Genotypen, die natürlich auch Transgene und ihre Regulation miteinschließen wird.

Hormone und Neurotransmitter wirken in kleinen Konzentrationen und werden häufig nur an den Orten gebildet, an denen sie wirken, und werden zudem sehr schnell wieder abgebaut.

Auch Interferone sind hochwirksame Modulatoren im Immunsystem, die in komplexer Weise in unterschiedliche vernetzte Regelkreise integriert werden. Eine unkontrollierte Zufuhr könnte zu schweren Nebenwirkungen führen.

Antikörper sind hochspezifische Proteine, die für die Neutralisierung und Eliminierung körperfremder Proteine und krankheitserregender Keime zuständig sind. Antikörper sind aus hochkonservierten und hochvariablen Anteilen zusammengesetzt.

Ein nicht korrekt erfolgtes Processing¹², welches die dreidimensionale Struktur und Seitengruppenbesetzung mit umfaßt, kann zur Anti-Antikörperbildung führen (Ma und Hein 1996) Dies könnte zu einer langfristigen Schwächung des menschlichen (und tierischen?) Immunsystems führen oder Autoimmunreaktionen provozieren.

Mit diesen Beispielen ist die Problematik nur kurz angerissen, die entsteht, wenn mit der Einklonierung von hochwirksamen Substanzen, die in Regulationskreisläufen von Mensch und Tier eine wichtige Rolle spielen, eine Verbreitung dieser Substanzen in das Pflanzenreich hinein geschieht. Wie werden sich die Hasen verhalten, die enkephalinhaltige Samen fressen? Welche Wirkungen hat Humaninterferon auf kleine Nagetiere?

4.2 Nachwachsende Rohstoffe für die chemische Industrie

Ganz ähnliche Problemfelder ergeben sich, wenn Pflanzen gezielt für die Grundstoffproduktion in der chemischen Industrie modifiziert werden sollen. Die Nutzung von Pflanzenteilen und Pflanzenresten durch andere Mitglieder eines Ökosystems bzw. die Wirkungen der Transgene auf diese Mitnutzer kann dabei gar nicht angemessen berücksichtigt werden, da deren Zahl so groß und die Wechselwirkungen so wenig bekannt sind, daß eine Prognose nicht möglich sein wird. Herkömmliche Züchtungen bewegen sich im Spektrum der Möglichkeiten einer Art. Konzentrationsverschiebungen einzelner Inhaltsstoffe können dabei zwar in extremem Ausmaß erzielt werden, was Probleme verursachen kann, aber es entstehen keine neuen, in dieser Art bisher nicht anzutreffenden Inhaltsstoffe. Die koevolutive Anpassung der Tierwelt an die vorherrschende Nahrungsquelle, die im Extremfall die Anpassung an eine einzige Pflanzenart bedeutet, umfaßt im tierischen Organismus die Bildung der notwendigen enzymatischen Ausstattung zur Verstoffwechslung der pflanzlichen Nahrung. Inwieweit dies die problemlose Verstoffwechslung von Inhaltsstoffen

¹² Processing nennt man Veränderungen an Eiweißen nach dem Ablesen und der daraus resultierenden Abfolge von Aminosäuren in der das Eiweiß aufbauenden Aminosäurekette. Diese Veränderungen geschehen oft zellspezifisch. Sie umfassen die selektive Abspaltung einzelner Aminosäuren, die Besetzung mit Zuckerresten oder die dreidimensionale Faltung der Aminosäurekette.

zuläßt, die in extremem Maße *nicht* für eine Nahrungsnutzung gedacht sind, ist mindestens zweifelhaft.

Insgesamt werden in der Euphorie über diese neuen Möglichkeiten, die als eine besonders billige Möglichkeit zur Produktion von wertvollen Rohstoffen angesehen werden und nach Meinung vieler Beteiligter auch Tierschutzprobleme vermeiden helfen (Cramer et al. 1996), die vielfältigen Vernetzungen und koevolutiven Zusammenhänge, in die die Ausgangsorganismen in der Regel eingebettet sind, weitgehend außer Acht gelassen. Hier fehlt bereits eine Risikowahrnehmung. Es fehlt auch die Sensibilität für den Umstand, daß zunehmend konkurrierende Ansprüche an das insgesamt begrenzte ackerbauliche Potential die prioritäre Aufgabe des Anbaus, nämlich die Nahrungsmittelversorgung, partiell zurückdrängen.

5 Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Unter Umweltschutzgesichtspunkten und im Kontext ökosystemarer Zusammenhänge zeichnen sich die gentechnischen Ansätze vor allem dadurch aus, daß sie in der Regel

- Ein-Punkt-Lösungen darstellen, die den Netzwerkcharakter interagierender Lebensgemeinschaften nicht berücksichtigen,
- kurzfristige Problemlösungen im Rahmen einer industriell organisierten Landwirtschaft versuchen,
- wesentliche Probleme der derzeitigen ackerbaulichen Praxis der Industrieländer wie Bodenerosion, Bodenbelastung und Gewässerbelastung durch Nährstoff- und Pestizideintrag nicht wesentlich beseitigen
- und den bereits dramatischen Verlust an Arten- und Sortenvielfalt eher verschärfen als aufhalten.

Es steht zu befürchten, daß durch die fehlende Berücksichtigung von Laufmascheneffekten und sekundären Wirkungen eine weitere Destabilisierung bereits gestörter Ökosysteme erfolgt, die langfristig noch größere Probleme als bisher zu generieren verspricht. Zusätzlich liegt eine Gefahr darin, daß durch die fast ausschließliche Konzentration auf diese Ansätze weltweit die Vielfalt von Arten und Ökosystemen zurückgeht und das Wissen über andere, regional entwickelte und angepaßte Bewirtschaftungsformen verlorengeht, die zusammen Grundvoraussetzungen sind, um langfristig flexible Anpassungen auf sich ändernde Umweltbedingungen zu sichern.

6 Literatur

- Adler, L. S., Wickler, K., Wyndham, F. S., Linder, C. R., Schmitt, J. (1993): Potential for persistence of genes escaped from canola: germination cues in crop, wild, and crop-wild hybrid *Brassica rapa*. *Functional Ecology* 7, 736-745
- Adolphi, K. (1995): Neophytische Kultur- und Anbaupflanzen als Kulturflüchtlinge des Rheinlandes. *Nardus Naturwissenschaftliche Arbeiten, Regionale Darstellungen und Schriften, Bd. 2. Galunder, Wiehl*
- Ahmad, I., Bissett, J., Malloch, D. (1995): Influence of the bioherbicide phosphinothricin on interactions between phytopathogens and their antagonists. *Canadian Journal of Botany* 73, 1750-1760
- Allison, R. F. (1997): RNA recombination in viral protein mediated virus resistant transgenic plants. OECD workshop: Potential ecological impact of transgenic plants expressing viral sequences 24-26 April 1997, Agricultural Biotechnology Center, Gödöllő, Hungary, 11
- Alstad, D. N., Andow, D. A. (1995): Managing the evolution of insect resistance to transgenic plants. *Science* 268, 1894-1896
- Arntzen, C. J. (1997): High-tech herbal medicine: Plant-based vaccines. *Nature Biotechnology* 15, 221-222
- Bartsch, D., Schmidt, M., Pohl-Orf, M., Haag, C. and Schuphan, I. (1996): Competitiveness of transgenic sugar beet resistant to beet necrotic yellow vein virus and potential impact on wild beet populations. *Mol. Ecol.* 5, 199-205
- Bauer, L. S. (1995): Resistance: A threat to the insecticidal crystal proteins of *Bacillus thuringiensis*. *Florida Entomologist* 78, 3, 414-443.
- Broer, I., Droge, W., Hillemann, D., Neumann, K., Walter, C., Pühler, A. (1992): Instability of herbicide resistance in transgenic suspension cultures and plants. In: Casper, R., Landsmann, J. (Hrsg.): Proceedings of the second international symposium on the biosafety results of field tests of genetically modified plants and microorganisms, BBA, Goslar, Braunschweig, 230-6
- Bücking, E., Jäger, M., Tappeser, B. (1993): Die Lysozymkartoffel – Ökologische und gesundheitliche Auswirkungen. *Öko-Institut e. V, Freiburg*
- Buiatti, M. und Bogani, P. (1995): Physiological complexity and plant genetic manipulation. *Euphytica* 85, 135-147
- Cramer, C. L., Weissenborn, D. L., Oishi, K. K., Grabau, E. A., Bennett, S., Ponce, E., Grabowski, G. A., Radin, D. N. (1996): Bioproduction of human enzymes in transgenic tobacco. In: Collins, G. B. (Ed.), *Academy of Sciences, New York*
- Crawley, M. J., Brown, S. L. (1995): Seed limitation and the dynamics of feral oilseed rape on the M 25 motorway. *Proc. R. Soc. Lond. B.* 259, 49-54
- Dale, P. J., McPartlan, H. C. (1992): Field performance of transgenic potato plants compared with controls regenerated from tuber discs and shoot cuttings. *Theor. Appl. Genet.* 84, 585-591
- Dale, P. J., Scheffler, J. A., Irwin, J. A. (1994): The transition from small-scale field release of transgenic crop plants to their widespread use in agriculture. In: Jones, D. D. (Ed.): Proceedings of the 3rd International Symposium on: The Biosafety

- Results of Field Tests of Genetically Modified Plants and Microorganisms. University of California, Oakland USA.
- Dalsgaard, K., Uttenthal, A., Jones, T. D., Xu, F., Merryweather, A., Hamilton, W. D. O., Langeveld, J. P. M., Boshuizen, R. S., Kamstrup, S., Lomonosoff, G. P., Porta, C., Vela, C., Casal, J. I., Meloen, R. H., Rodgers, P. B. (1997): Plant-derived vaccine protects target animals against a virus disease. *Nature Biotechnology* 15, 248-252
- Donegan, K. K., Palm, C. J., Fieland, V. J., Porteous, L. A., Ganio, L. M., Schaller, D. L., Bucuo, L. Q., Seidler, R. J. (1995): Changes in levels, species and DNA fingerprints of soil microorganisms associated with cotton expressing the *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* endotoxin. *Applied Soil Ecology* 2, 111-124
- Dröge, W., Broer, I., Pühler, A. (1992): Transgenic plants containing the phosphinotricin-N-acetyltransferase gene metabolize the herbicide L-phosphinotricin (glufosinate) differently from untransformed plants. *Planta* 187, 142-151
- Eckelkamp, C., Mayer, M., Weber, B. (1997): BASTA-resistenter Raps. Vertikaler und horizontaler Gentransfer unter besonderer Berücksichtigung des Standortes Wölfersheim-Melbach. Werkstattreihe 100, Öko-Institut e.V., Freiburg
- Eckelkamp, C., Jäger, M., Weber, B. (1997): Risikoüberlegungen zu transgenen virusresistenten Pflanzen. UBA Texte 59/97, Umweltbundesamt Deutschland (Hrsg.)
- Farinelli, L., Malnoe P., Collet, G. F. (1992): Heterologous encapsidation of potato virus Y strain O (PVYo) with the transgenic coat protein of PVY strain (PVYN) in *Solanum tuberosum* cv. bintje. *Bio/Technology* 10, 1020-1025
- Fox, J. L. (1997): Farmers say Monsanto's engineered cotton drops bolls. *Nature Biotechnology* 15, 1233
- Gal, S., Pisan, B., Hohn T., Grimsley, N., Hohn, B. (1992): Agroinfection of transgenic plants leads to viable cauliflower mosaic virus by intermolecular recombination. *Virology* 187, 525-533
- Gould, F., Anderson, A., Jones, A., Sumerford, D., Heckel, D. G., Lopez, J., Micinski, S., Leonard, R., Laster, M. (1997): Initial frequency of alleles for resistance to *Bacillus thuringiensis* toxins in field populations of *Heliothis virescens*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 94, 3519-3523
- Haas, V., Weber, B. (1993): Gutachten zum Freisetzungsantrag: transgene Zuckerrüben. Öko-Institut e. V., Freiburg
- Haq, T. A., Mason, H. S., Clements, J. D., Charles, J. A. (1995): Oral Immunization with a recombinant bacterial antigen produced in transgenic plants. *Science*, 268, 714 f.
- Hein, M. B., Tang, Y., McLeod, D. A., Janda, K. D., Hiatt, A. (1991): Evaluation of Immunoglobulins from Plant Cells. *Biotechnol. Prog.* 7, 455-461
- Hein, M. B., Yeo, T. C., Wang, F., Sturtevant, A. (1996): Expression of cholera toxin subunits in plants. In: Collins, G. B. (Ed.), *Academy of Sciences, New York*

- James, C. (1997): Global status of transgenic crops in 1997. ISAAA – The International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications 5
- Jorgensen, R. B., Andersen, B. (1994): Spontaneous hybridization between oilseed rape and trans-inactivation phenomena. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant. Molec. Biol.* 44, 53-76
- Klinger, T., Arriola, P. E., Ellstrand, N. C. (1992): Crop-weed Hybridization in Radish (*Raphanus sativus*): Effects of Distance and Population Size. *American Journal of Botany* 79 (12), 1431-1435
- Lechner, M., Hurler, K., Petersen, J., Kemmer, A. (1996): Untersuchungen mit BASTA in Glufosinat-ammonium resistentem Mais – Vegetationsmanagement und Wirkung gegen Unkräuter. *Z. PFLKrankh. PFLSchutz, Sonderh.* XV, 181-191
- Lecoq, H., Ravelonandro, M., Wipf-Scheibel, C., Monsion, M., Raccach, B., Dunez J. (1993): Aphid transmission of a non-aphid-transmissible strain of zucchini yellow mosaic potyvirus from transgenic plants expressing the capsid protein of plum pox potyvirus. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 6, 403-406
- Linder, C. R., Schmitt, J. (1995): Potential persistence of escaped transgenes: Performance of transgenic oil-modified Brassica seeds and seedlings. *Ecol. Applications* 5 (4), 1056-1068
- Love, S. L. (1994): Ecological risk of growing transgenic potatoes in the United States and Canada. *American Potatoe Journal* 71, 647-658
- Ma, J. K. C., Hein, M. B. (1996): Antibody production and engineering in plants. In: Collins, G. B. (Ed.), *Academy of Sciences, New York*
- Maiss, E., Koenig R., Lesemann, D. E. (1994): Heterologous encapsidation of viruses in transgenic plants and in mixed infections. *Proceedings of the 3rd international symposium on the biosafety results of field tests of genetically modified plants and microorganisms.* In: Jones, D. D. (Ed.) Oakland, California, 129-139
- Maiss, E., Varrelmann, M., DiFonzo, C., Raccach, B. (1997): Risk assessment of transgenic plants expressing the coat protein gene of plum pox potyvirus (PPV). *OECD workshop: Potential ecological impact of transgenic plants expressing viral sequences*, 23
- Märländer, B. (1996): Haben gentechnisch veränderte Herbizid-resistente Zuckerrübensorten landeskulturellen Wert? – Zur Frage der Rentabilität von Applikationssystemen nicht selektiver Herbizide. *Zuckerindustrie* 121, Nr. 8, 602-608
- Mayer, M., Wurtz, A., Julien, R., Roller, G., Tappeser, B. (1995): Anforderungen an die Überwachung von Freisetzungen gentechnisch veränderter Pflanzen und Mikroorganismen als Landesaufgabe im Rahmen des Vollzugs des Gentechnikgesetzes. *Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung, Sachsen-Anhalt.*
- McPartlan, H. C., Dale, P. J. (1994): An assessment of gene transfer by pollen from fieldgrown transgenic potatoes to non-transgenic potatoes and related species. *Transgenic. Res.* 3, 216-225
- Mellon, M., Rissler, J. (1995): Transgenic crops: USDA data on small-scale tests contribute little to commercial risk assessment, *Bio/Technology* 13, 96

- Meyer, P., Linn, F., Heidmann, I., Meyer, H., Niedenhof, I., Saedler, H. (1992): Endogenous and environmental factors influence 35S promotor methylation of am maize A1 gene construct in transgenic petunia and its colour phenotype: *Plant J.* 4, 89-100
- Mikkelsen, T. R., Andersen, B., Jorgensen, R. B. (1996): The risk of crop transgene spread. *Nature* 380, 31
- Miller, R. M. (1993): Nontarget and ecological effects of transgenically altered disease resistance in crops – possible effects on the mycorrhizal symbiosis: *Mol. Ecol.* 2, 327-335
- Penaloza-Vázquez, A., Oropeza, A., Mena, G. L., Bailey, A. M. (1995): Expression of the hygromycin B phosphotransferase gene confers tolerance to the herbicide glyphosate. *Plant Cell Reports* 14, 482-487
- Perombelon, M. C. M., Lowe, R. (1971): Bacterial soft rot and blackleg of potato. *Annual Report of the Scottish Horticultural Research Institute*, 50-51
- Pschyrembel *Klinisches Wörterbuch* (1994) 257., neu bearb. Aufl., Berlin, New York, de Gruyter
- Purrington, C. B., Bergelson, J. (1995): Assessing weediness of transgenic crops: industry plays plant ecologist. *TREE* 10, 340-341
- Raybould, A. F., Goudet, J., Mogg, R. J., Gliddon, C. J., Gray, A. J. (1996): Genetic structure of a linear population of *Beta vulgaris* ssp. *maritima* (sea beet) revealed by isozyme and RFLP analysis. *Heredity* 76, 111-117
- Rogers, H. J., Parkes, H. C. (1995): Transgenic plants and the environment. *Journal of Experimental Botany* 46, 467-488
- Sandermann, H. (1994): Biochemische Aspekte. In: *Verfahren zur Technikfolgenabschätzung des Anbaus von Kulturpflanzen mit gentechnisch erzeugter Herbizidresistenz*, Heft 6, "Nutzpflanzen mit künstlicher Herbizidresistenz: Verbessert sich die Rückstandssituation?" Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung
- Sandermann, H. J., Rosenbrock, H., Ernst, D. (1997): Horizontaler Gentransfer bei Herbizid-Resistenz? Der Einfluß von Genstabilität und Selektionsdruck. In: Brandt, P. (Hrsg.): *Zukunft der Gentechnik*. Birkhäuser, Basel
- Scheffler, J. A., Dale, P. J. (1994): Opportunities for gene transfer from transgenic oilseed rape (*Brassica napus*) to related species. *Transgenic Res.* 3, 263-278
- Schoelz, J. E., Wintermantel, W. M. (1993): Expansion of viral host range through complementation and recombination in transgenic plants. *The Plant Cell* 5, 1669-1679
- Snow, A., Moran-Palma, P. (1995): *Ecological Risks of Cultivating Transgenic Plants*. Paper submitted to the US Environmental Protection Agency September 1, 1995
- Snow, A. A. and Moran-Palma, P. (1997): Commercialization of transgenic plants: Potential ecological risks. *BioScience* 47, 86 -96
- Société Anonyme Ciba-Geigy (1994): Application for placing on the market a genetically modified plant (maize protecting itself against corn borers), according to part C of directive 90/220/EC and Commission Decision 92/146/EC

- Tabashnik, B. E. (1994): Evolution of resistance to *Bacillus thuringiensis*. *Annual Review of Entomology* 39, 47-79
- Tabashnik, B. E. (1997): Seeking the root of insect resistance to transgenic plants. *PNAS* 94, 3488-3490
- Tapp, H. and Stotzky, G. (1995): Dot blot enzyme-linked immunosorbent assay for monitoring the fate of insecticidal toxins from *Bacillus thuringiensis* in soil. *Applied and Environmental Microbiology* 61 (2), 602-609
- The Gene Exchange (1995): EPA Approves Limited Use of Bromoxynil. 5 (4), 1
- Timmons, A. M., O'Brien, E. T., Charters, Y. M., Dubbels S. J., Wilkinson, M. J. (1995): Assessing the risk of wind pollination from fields of genetically modified *Brassica napus* ssp. *oleifera*. *Euphytica* 85 (1-3), 417-423
- Weber, B. (1995a): Überlegungen zur Aussagekraft von Risikoforschung zur Freisetzung transgener Pflanzen. In: Albrecht, S., Beusmann, V. (Hrsg.): *Ökologie transgener Nutzpflanzen*. Campus Verlag, Frankfurt am Main
- Weber, B. (1995b): Naturwissenschaftliche Begründung zu einzelnen Punkten der Klage gegen die Freisetzung gentechnisch veränderter herbizidresistenter Maispflanzen in Renningen. *Öko-Institut e.V., Freiburg*
- Weber, B. E. G., Eckelkamp, C., Jäger, M. (1998): Ökologische Risiken gentechnisch veränderter virusresistenter Pflanzen. In: *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie* 28
- Whitelam, G. C. (1995): The production of recombinant proteins in plants. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 68, 1-9
- Wigley, P. J., Chilcott, C. N., Broadwell, A. H. (1994): Conservation of *Bacillus thuringiensis* efficacy in New Zealand through the planned deployment of Bt genes in transgenic crops. *Biocontrol Science and Technology* 4, 527-534
- Wintermantel, W. M., Schoelz, J. E. (1996): Isolation of recombinant viruses between cauliflower mosaic virus and a viral gene in transgenic plants under conditions of moderate selection pressure. *Virology* 223, 156-164

Gentechnik aus der Sicht von Schülerinnen und Schülern

Gerhard Keck

1 Zielsetzung der Studie¹

Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg haben stets darauf hingewiesen, daß eine Technikpolitik gegen den Willen der Betroffenen zu Reibungsverlusten, wenn nicht gar zu ökonomischen Fehlentwicklungen führen kann (vgl. Kliment et al. 1994). Das Wissen um die Wahrnehmungsmuster der Bevölkerung zur Gentechnik und ihren möglichen Anwendungsfeldern erhält damit für die gesellschaftliche Beurteilung der Voraussetzungen und Folgen der Gentechnik eine zentrale Bedeutung. Technikakzeptanz hat entscheidenden Einfluß auf die soziale Diffusion und wirtschaftliche Durchsetzung neuer Technologien. In diesem Kontext mag das vielfach gängige Stereotyp der technikfeindlichen deutschen Jugend alarmierend klingen. Um die Frage, ob es sich bei der Technikfeindlichkeit der Deutschen – und speziell bei den Jugendlichen – um eine Tatsache oder um ein Phantom handelt, ist in den letzten Jahren innerhalb der Sozialwissenschaften teilweise heftig gestritten worden. Die Datenlage ist immer noch zu unsicher, um in diesem Streit eine eindeutige Antwort zu finden.² Entsprechende Untersuchungen sind also vonnöten.

Der Frage, ob sich in der deutschen Bevölkerung ein sozial und kognitiv gefestigtes Einstellungsmuster zur Gentechnik identifizieren läßt, ist die Akademie nachgegangen und hat den Forschungsverbund “Chancen und Risiken der Gentechnik aus der Sicht der Öffentlichkeit” ins Leben gerufen.³ An der Schnittstelle unterschiedlicher sozialwissenschaftlicher Ansätze sind die Einstellungen, Wertorientierungen und Kommunikationsmuster zum Thema “Gentechnik und Öffentlichkeitsarbeit” untersucht worden. Die in diesem Beitrag beschriebene Studie ist ein Teilprojekt in diesem Forschungsverbund und beschäftigt sich mit dem Bereich “Schule”. Warum ist die Einstellungsmessung zur Gentechnik in diesem Bereich notwendig? Die

¹ Eine ausführliche Darstellung der Studie findet sich in: Keck, G.: Einstellung zur Gentechnik bei Schülerinnen und Schülern. Arbeitsbericht Nr. 108 der Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, Stuttgart 1998.

² Zur Frage, ob die Deutschen technikfeindlich sind vgl. Jaufmann und Kistler (1988), Renn und Zwick (1997) und speziell zur Einstellung bei der Jugend vgl. Jaufmann et al. (1989). Bezüglich der Gentechnikeinstellung siehe Kliment et al. (1994).

³ Der Forschungsverbund wurde vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie gefördert.

Gründe sind vielschichtig. Einen zentralen Bedeutungsaspekt von Schule unterstreicht die folgende These: Schule als *die* entscheidende sekundäre Sozialisationsinstanz übt Einfluß aus in dem Lebensabschnitt von der Jugend bis hin zum zwanzigsten Lebensjahr, der auch als “formative years” bezeichnet wird (Inglehart 1979:297). Hierin werden – glaubt man der Sozialisationshypothese von Inglehart – grundlegende soziale und politische Werthaltungen verinnerlicht. Die Beeinflussungen in späteren Lebensabschnitten prägen einen Menschen bei weitem nicht so stark wie die in den “formative years” (Generationeneffekt). Demzufolge untersuchen wir mit den Schülerinnen und Schülern⁴ Gesellschaftsmitglieder, die quasi gerade eine nachhaltige Weichenstellung erfahren. In diesem Prozeß der Sozialisation übernimmt Schule zentrale Aufgaben, indem sie Kognitionen vermittelt (Qualifikationsfunktion) und auf die Persönlichkeitsbildung der Sozialisanden einwirkt (Integrationsfunktion). Sie ist darüber hinaus Austragungsort von Emotionen. Vor diesem Hintergrund besteht das Anliegen meiner Untersuchung darin, schrittweise bei Schülern erstens den Kenntnisstand zur Gentechnik zu erfragen und zweitens die Einstellungen zur Gentechnik zu erheben und im Lichte sozialpsychologischer Konzepte zu interpretieren. Dabei wird analysiert, wie im Schulsystem Einstellungen ursächlich entstehen und von welchen Faktoren sie beeinflußt werden. Im Verlauf schulischer Sozialisation stehen drei mögliche Einflußpfade im Vordergrund:

- An der Entwicklung von Einstellungen und Weltbildern von Schülern wirken kognitiv kompetente Erwachsene (Lehrer) mit, die über eigene Einstellungen und Weltbilder verfügen.
- Neben dem reinen Wissensstoff werden – in einem Beziehungsgeflecht bestehend aus Lehrern, Schülern und Eltern – auch Bewertungsmaßstäbe vermittelt.
- Losgelöst von sachlichen schulspezifischen Zielen können Schüler in Aktivitäten mit Gleichaltrigen (Peergroups) zu kohärenten Einstellungsmustern gelangen.

Konkret untersuche ich sowohl die jeweilige persönliche Einstellung der Befragten als auch das Bild der Schüler bezüglich der Gentechnikeinschätzung ihrer Lehrer. Schließlich ist noch die von den Schülern wahrgenommene Tendenz des Unterrichtsgegenstand der Untersuchung. Die Leitfrage des Forschungsvorhabens lautet: Welches sind aus der Sicht der Schüler und Lehrer die bedeutsamen Faktoren bei der Bildung oder Veränderung von Einstellungen gegenüber der Gentechnik? Das bedeutet, daß wir herausfinden müssen, welche individuellen Ressourcen (Technikbilder, Naturbilder, Risiko- und Nutzenabwägungen usw.) aktiviert werden, wenn diese Bevölkerungsgruppen eine Meinung bzw. Einstellung zur Gentechnik entwickeln. Die Studie will Einstellungen nicht nur beschreiben, sondern darüber hinaus

⁴ Nachfolgend spreche ich aus Gründen der besseren Lesbarkeit anstatt von Schülerinnen und Schülern zumeist von Schülern. Es sind stets damit auch Schülerinnen gemeint. Gleiches gilt für die Lehrer. Eine Ausnahme mache ich dort, wo die Ergebnisse geschlechtsspezifisch beleuchtet werden. In diesem Fall wird explizit darauf hingewiesen, welches Geschlecht gerade gemeint ist.

zu deren Erklärung beitragen und herausarbeiten, worauf Unterschiede in der Gentechnikbewertung zurückzuführen sind.

Neben der Frage nach den Ursachen für eine bestimmte Einstellung zur Gentechnik interessiert mich die Rolle der Sozialisationsinstanz "Schule" bei der Entstehung und Veränderung von Einstellungen. Die entscheidenden Fragen, die es daher zu untersuchen gilt, lauten: Wie wirkt die Einflußgröße "Schule"? Beziehen die Schüler ihre Bewertungsressourcen aus dem Unterricht und ggf. direkt von ihren Lehrern, die ebenfalls eine individuelle Haltung gegenüber diesen Technologien einnehmen und Schüler dadurch – bewußt oder unbewußt – beeinflussen können? Auf der Basis dieser Fragen wurden für die Studie die folgenden Arbeitshypothesen formuliert:

Hypothese 1: Unterschiedliche Fachlehrer äußern unterschiedliche Meinungen bzw. Bewertungen zur Gentechnik. Die Lehrer naturwissenschaftlicher Fächer stehen der Gentechnik weniger kritisch gegenüber als die Lehrer geisteswissenschaftlicher Fächer.

Hypothese 2: Die Meinungen der Lehrer haben Effekte auf die Einstellungen der Schüler.

Hypothese 3: Bezüglich der (Gen)Technikeinstellung gibt es auffällige Unterschiede zwischen Mädchen und Jungen.⁵

Nachfolgend werde ich zuerst die Methode der Studie vorstellen und dann einige wesentliche Ergebnisse beschreiben. Im Anschluß daran werden die Ergebnisse hinsichtlich ihrer jeweiligen Einflußstärken auf die Bildung bzw. Veränderung von Gentechnikeinstellungen statistisch überprüft. Im letzten Teil des Aufsatzes erfolgt eine Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse.

2 Untersuchungsdesign und Methode

Im Rahmen einer Querschnittuntersuchung sind in den Regierungsbezirken Stuttgart und Tübingen 410 Schülerinnen und Schüler an 11 verschiedenen, zufällig ausgewählten Schulen befragt worden. Es galt, (Aus)Bildungsbereiche zu untersuchen, die heuristisch eine inhaltliche Verbindung mit dem Themenfeld "Gentechnik" vermuten lassen: Altenpflege, Landwirtschaft und Sozialpädagogik (in den beruflichen Schulen) sowie Ernährungswissenschaft, Betriebswirtschaft und Technik (in den Gymnasien)⁶. Die in den Schulen per Zufallsstichprobe ermittelten Schulklassen

⁵ Im Zuge seiner Untersuchung der "Bestimmungsgründe für Technikakzeptanz" hat Erwin K. Scheuch konstatiert, daß Frauen doppelt so häufig zum Technik-Skeptizismus neigen wie Männer, was er in den "traditionellen Leitbildern männlicher und weiblicher Lebensführung" (Scheuch 1990:114) ursächlich begründet sieht.

⁶ Eine prospektive gründliche Prüfung der aktuellen Lehrpläne für Baden-Württemberg hat gezeigt, daß die Unterrichtung von gentechnischen Themen im Gymnasium erst ab der Klassenstufe 11 erfolgt.

wurden vollständig erhoben (mehrstufiges Auswahlverfahren). Insgesamt wurden Schüler in verschiedenen Schulen befragt, an denen unterschiedliche Fächer von unterschiedlich qualifizierten Lehrern unterrichtet werden. Hinzu kommt, daß es sich gelegentlich um (fast) reine Mädchen- oder Jungenklassen handelt.

Parallel dazu hat eine Untersuchung bei 51 Lehrerinnen und Lehrern stattgefunden. Es handelt sich größtenteils um diejenigen Lehrer, die zur selben Zeit die ausgewählten Schulklassen unterrichtet hätten. Die Lehrerbefragung kann aufgrund der geringen Fallzahl lediglich explorativen Charakter haben.⁷ In beiden Erhebungen wurde als Befragungsinstrument ein umfangreicher standardisierter Fragebogen eingesetzt.

Die Befragung ist nicht repräsentativ für das gesamte Bundesgebiet. Die Grundgesamtheit setzt sich zusammen aus den Regionen Stuttgart und Neckar-Alb (mit den Regierungsbezirken Stuttgart und Tübingen). Die Ergebnisse sind höchstens generalisierbar für dieses Gebiet und für die beiden untersuchten Schultypen mit ihren speziellen Bereichen.

3 Deskriptive Ergebnisse

3.1 Segen-Fluch-Indikator

In der bekannten Allensbach-Frage, ob Gentechnik eher als Segen oder eher als Fluch wahrgenommen wird, fallen in unserer Studie 8,4 % der Antworten auf "eher ein Segen", während 18,6 % in der Gentechnik "eher einen Fluch" sehen. 58,4 % der Schülerinnen und Schüler entscheiden sich für "gleichermaßen Segen wie Fluch". 14,6 % kreuzen "weder noch" an. Das unterschiedliche Antwortverhalten von Jungen und Mädchen kommt in der Segens-Alternative deutlich zum Ausdruck. Die Quote derjenigen, die im Kontext von Gentechnik eher an einen Segen denken, ist bei den Jungen um ein etwa 3-faches höher als bei den Mädchen ($p < .01$, $N = 399$, Cramers $V = .17$).

3.2 Gentechnik im Alltag

Exakt zwei Drittel der Befragten sind der Meinung, sie hätten im täglichen Leben "eher selten" oder "gar nie" mit gentechnischen Produkten oder Anwendungen zu tun.⁸ Dies ist umso erstaunlicher, zumal die Antworten zu einem Zeitpunkt abgegeben wurden, als gerade die ersten Schiffe mit transgener Soja aus den USA in

⁷ Das bedeutet, daß ich die Ergebnisse der Lehrerbefragung nicht auf einem höheren statistischen Abstraktionsniveau weiterführen will, da ich die Daten nicht zuverlässig interpretieren könnte.

⁸ Es treten hier keine geschlechtsspezifischen Unterschiede auf.

deutschen Häfen eingelaufen waren. Die Verbraucherschützer und Umweltschutzorganisationen hatten schon im Vorfeld darauf hingewiesen, daß in mehreren tausend Lebensmitteln transgene Soja enthalten sein wird.

3.3 Subjektives und objektives Wissen über Gentechnik

Insgesamt sind lediglich 0,7 % der Befragten der Meinung, über Gentechnik “sehr gut Bescheid” zu wissen, 28,5 % wissen “eher gut Bescheid”, 70,3 % wissen “eher schlecht” oder “sehr schlecht Bescheid”. Bei der Ermittlung von objektivem Wissen über Fragen zur Gentechnik haben wir insgesamt acht Wissensfragen zusammengefaßt und in einem sog. Wissensindikator abgebildet.⁹ Die Fragen wurden nicht der schwierigen Terminologie der Molekularbiologie oder der Biochemie entlehnt; sie wurden in einer einfachen Sprache verfaßt und erforderten keine speziellen biologischen Kenntnisse. Bei der Auswertung konnten wir feststellen, daß die Befragten – objektiv gesehen – insgesamt über Gentechnik eher schlecht Bescheid wissen: Auf einer Neun-Punkte-Skala mit den Endpunkten “0” für “sehr schlecht Bescheid wissen” und “8” für “sehr gut Bescheid wissen” liegt ein arithmetisches Mittel von 3,2 und ein Median von 3,0 vor (bei einem Skalenmittelpunkt von “4”).

Für objektives Gentechnikwissen konnten wir sowohl (1) geschlechtsspezifische Unterschiede ($\eta^2 = .20$) und besonders (2) schulspezifische Unterschiede ($\eta^2 = .35$) als auch (3) einen Zusammenhang mit Gentechnikinteresse ($\gamma = .24$) feststellen.¹⁰ Konkret bedeutet dies: Jungen wissen tendenziell besser über Gentechnik Bescheid als Mädchen (ad 1); der höchste Wissensstand zu Gentechnik ist jeweils in den Klassenstufen 13 der unterschiedlichen Gymnasien sowie im Berufsschulbereich “Landwirtschaft” vorhanden (ad 2); je stärker das Interesse an Gentechnik ist, desto größer ist tendenziell auch das jeweilige objektive Gentechnikwissen (ad 3).

3.4 Informationsquellen zu Gentechnik und deren Glaubwürdigkeit

Das Vertrauen in die öffentliche Kontrolle und die Beherrschung von Risiken und die damit verknüpfte Glaubwürdigkeit von Organisationen und Institutionen ist ein entscheidendes qualitatives Merkmal der Risikowahrnehmung. Die folgenden Zahlen geben Aufschluß über die Frage nach Vertrauen und Glaubwürdigkeit verschiedener Institutionen im Kontext von Gentechnik: *Naturwissenschaftler* genießen die höchste Glaubwürdigkeit mit 81,5 %. Dann folgen *Lehrer der Fächer Biologie und Chemie* (69,5 %) und *Umweltschützer* (52,0 %). *Sozialkunde- und Religionslehrer* (41,4 %) sowie *Sozialwissenschaftler* (35,4 %) liegen im mittleren Bereich, während *Indu-*

⁹ Dabei wurde über alle Fälle das Auftreten der richtigen Antworten gezählt.

¹⁰ Die Unterschiede sind jeweils hochsignifikant: $p < .01$.

strievertreter (6,0 %) und *Politiker* (5,5 %) mit deutlichem Abstand die letzten Plätze belegen.

Bei "Politik" und "Industrie" gehen die Befragten eindeutig auf Distanz. Wenn man sich verdeutlicht, daß "Glaubwürdigkeit" nicht nur für Kompetenz und Evidenz, sondern darüber hinaus auch für Fairness steht, ist dies ein klares Indiz für den Vertrauensverlust traditioneller Autoritäten und ein Indiz für Systemverdrossenheit. Mit Blick auf das gute Abschneiden von Lehrern naturwissenschaftlicher Fächer ist es im Hinblick auf didaktische und emotionale Gesichtspunkte sinnvoll, die reflektierende und bewertende Thematisierung der Gentechnik nicht nur in den Fächern Ethik und Sozialwissenschaften, sondern auch in den naturwissenschaftlichen Fächern anzusiedeln.

3.5 Schulische Beschäftigung mit Gentechnik

Insgesamt antworten 48 % der Befragten auf die Frage, ob an der jetzigen Schule Gentechnik schon einmal behandelt wurde, mit "ja". Am stärksten wird die Thematisierung von Gentechnik im Fach Religion (31 %) wahrgenommen, gefolgt von Biologie (27 %). Alle übrigen Fächer liegen unter 10 %. Unter "sonstige Fächer" kommt noch am stärksten Ernährungsökologie (6 %) zum Ausdruck. Hierzu muß allerdings berücksichtigt werden, daß dieser Prozentsatz über alle Schularten ermittelt wurde, also auch über Bereiche, in denen Ernährungsökologie gar nicht unterrichtet wird (technisches Gymnasium, Wirtschaftsgymnasium und landwirtschaftliche Berufsschule).

3.6 Äußerungen verschiedener Fachlehrer gegenüber Gentechnik

Nach den Wahrnehmungen der Schülerinnen und Schüler haben sich die Religionslehrer am stärksten zu Gentechnik geäußert (über 30 %), gefolgt von den Biologielehrern (ca. 26 %). Mit deutlichem Abstand folgen Deutsch- und Ethiklehrer (ca. 12 %) sowie Chemie- und Physiklehrer (10 %). Die Schüler sollten darüberhinaus angeben, welche Bedeutung ihre jeweiligen Lehrer der Gentechnik beimessen. Danach ist Gentechnik (indirekt gemessen durch die Wahrnehmung der Schüler¹¹) in erster Linie für

- Biologielehrer wichtig (79,0 %), modern (82,7 %) und wissenschaftlich (85,4 %),
- Chemie- und Physiklehrer modern (87,8 %) und wissenschaftlich (82,9 %),
- Deutsch- und Ethiklehrer gefährlich (83,0 %), risikoreich (85,1 %) und unnatürlich (62,5 %) und für

¹¹ Als Meßinstrument haben wir bipolare Sieben-Punkte-Skalen zugrunde gelegt. Der Wert "4" markiert jeweils den Skalenmittelpunkt. Die Werte, die links und rechts vom Mittelpunkt liegen, wurden jeweils zusammengefaßt.

- Religionslehrer risikoreich (91,2 %) und unnatürlich (84,9 %).

Wir haben diesen Daten die direkten Antworten der Lehrer (aus dem Lehrerfragebogen) gegenübergestellt und konnten feststellen, daß die von den Schülern perzipierten Einstellungen ihrer Lehrer und die tatsächlichen Einstellungen der Lehrer stark übereinstimmen.

Auf einer nächsten Stufe wurde ebenfalls nach der perzipierten Gentechnikeinstellung der jeweiligen Fachlehrer gefragt. Dabei habe ich aus den entsprechenden Item-Batterien aggregierte Einstellungsskalen gebildet. Der Skalenendpunkt "1" würde "extrem positiv" bedeuten, der Wert "91" "extrem negativ"; der Skalenmittelpunkt liegt bei "46". Demnach bewerten die Lehrer der naturwissenschaftlichen Fachbereiche Biologie, Chemie und Physik nach Einschätzung ihrer Schüler die Gentechnik eher positiv, während die Lehrer der Fachbereiche "Deutsch/Ethik" und "Religion" eher in die negative Richtung tendieren. Die Ergebnisse belegen die Arbeitshypothese 1. Auffällig ist, wie dicht die Mittelwerte der Fächer desselben Bereichs beieinanderliegen.

Tabelle 3.6: Perzipierte Gentechnikeinstellungen der jeweiligen Fachlehrergruppen

	arithm. Mittel	Median	N
Biologielehrer	38,8	39,0	98
Chemie-/Physiklehrer	38,3	38,0	41
Deutsch-/Ethiklehrer	54,0	54,5	46
Religionslehrer	54,4	54,0	121

Mit dem Auseinanderklaffen der von den Schülern perzipierten Einstellungen ihrer naturwissenschaftlichen und geisteswissenschaftlichen Lehrern drängt sich die Frage auf: Welchen Effekt hat diese Kluft auf die Einstellungen der Schüler? Neutralisieren sich die Meinungen bzw. Äußerungen der jeweiligen Fachlehrer oder glaubt man diesbezüglich eher der einen oder der anderen Aussage? Auf diese Frage gibt der nächste Abschnitt eine Antwort.

3.7 Hat sich die Meinung zu Gentechnik geändert, seit dieses Thema im Unterricht behandelt wurde?

Um zu überprüfen, ob sich die Meinungen der Lehrer quasi neutralisieren, wenn sie in unterschiedliche Richtungen gehen, haben wir die Gruppe der Schüler, die eine Bewertung der Gentechnik ausschließlich durch ihre Biologielehrer wahrgenommen haben, getrennt von den übrigen Schülern betrachtet. Gleiches haben wir jeweils für Schüler unternommen, die ausschließlich Äußerungen durch ihre Chemie-, Deutsch-/

Ethik- bzw. Religionslehrer erfahren haben. Die Merkmalsgruppen, die im einzelnen gebildet wurden, zeigt die folgende Tabelle 3.7:

Tabelle 3.7: Gruppenspezifische Gentechnikeinstellungen auf der Basis einer 97-Punkte-Likert-Skala¹²

Gruppe	arithm. Mittel	Median	N
1: Schüler, die weder durch Biologie-, noch durch Chemie- Deutsch- (bzw. Ethik-) oder Religionslehrer eine Äußerung zu Gentechnik erfahren haben	54,7	55,0	179
2: Schüler, die von allen 4 Lehrergruppen Äußerungen zu Gentechnik erfahren haben	55,0	51,0	9
3: Schüler, die ausschließlich von Biologielehrern Äußerungen zu Gentechnik erfahren haben	52,1	51,5	44
4: Schüler, die ausschließlich von Chemielehrern Äußerungen zu Gentechnik erfahren haben	60,9	67,0	7
5: Schüler, die ausschließlich von Deutsch- oder Ethiklehrern Äußerungen zu Gentechnik erfahren haben	57,5	57,0	10
6: Schüler, die ausschließlich von Religionslehrern Äußerungen zu Gentechnik erfahren haben	54,0	54,0	59
7: Schüler, die entweder von Lehrern der Fächer Biologie oder Chemie Äußerungen zu Gentechnik erfahren haben	52,4	51,0	111
8: Schüler, die entweder von Lehrern der Fächer Deutsch/Ethik oder Religion Äußerungen zu Gentechnik erfahren haben	53,4	53,0	130

Ist die Gentechnik-Einstellung der Schüler abhängig davon, ob sich Lehrer aus naturwissenschaftlichen Fachgebieten oder aus geisteswissenschaftlichen Bereichen zu Gentechnik geäußert haben? Die Tabelle gibt Aufschluß: Wir erhalten weitgehend konstante Ergebnisse über alle Gruppen hinsichtlich des arithmetischen Mittels und des Medians (lediglich die Gruppe derjenigen, die ausschließlich von ihren Chemielehrern Äußerungen zu Gentechnik erfahren hat, weicht etwas von den anderen

¹² Zu diesem Zweck haben wir, basierend auf einem semantischen Differential mit 16 bipolaren Items, eine bipolare 97-Punkte-Skala gebildet. Die Skalen wurden zusammengefaßt, indem die Werte der einzelnen Sieben-Punkte-Skalen addiert wurden. Um Endpunkte von "1" und "97" zu erhalten, haben wir von den Scores jeweils den Betrag "15" subtrahiert.

Ergebnissen ab). Die Mediane bewegen sich – mit Ausnahme der Chemiegruppe – in einem Skalenwert-Intervall von 51,0 bis 57,0. In diesem Bereich liegt auch die überwiegende Anzahl der Fälle. Das bedeutet, bei einem Skalenmittelpunkt von “49” (“1” bedeutet “extrem positive Einstellung” und “97” steht für “extrem negative Einstellung”), daß alle Gruppen die Gentechnik (als Globalindikator) tendenziell eher negativ wahrnehmen. Am negativsten ist die Gentechnik-Einstellung bei Schülern, die das Thema “Gentechnik” ausschließlich durch Lehrer des Fachgebiets *Chemie* erfahren haben. Diese Auswertung stützt sich allerdings auf lediglich sieben Fälle. Aber im großen ganzen haben die einzelnen Fächer keine besonderen Auswirkungen auf die Gentechnik-Einstellungen – jedenfalls nicht in der Form, daß Schüler tendenziell positive oder negative Gentechnikbewertungen ihrer Lehrer annehmen. Wir können somit die Arbeitshypothese 2, wonach die jeweiligen Fachlehrer die Einstellungen der Schüler in bestimmte Richtungen lenken, verwerfen.

3.8 Gentechnik-Einstellung in Abhängigkeit der verschiedenen Schularten

Wir konnten feststellen, daß die Gruppen “Altenpflege”, “Landwirtschaft” und “Sozialpädagogik” trotz unterschiedlicher Alters- und Geschlechtsverteilung eine nahezu identische Gentechnik-Einstellung aufweisen.¹³ SchülerInnen im Bereich “Altenpflege” sind im Durchschnitt wesentlich älter als die Schüler in anderen Bereichen (67 % sind älter als 30); im Bereich “Landwirtschaft” überwiegen eindeutig die jungen Männer (mit 79 %). Für Schüler aus den Bereichen “Altenpflege” und “Sozialpädagogik” können die Inhalte des Unterrichts so gut wie keine Rolle spielen, da in einem Fall (Altenpflege) lediglich 2 von 28 SchülerInnen meinen, sie hätten Gentechnik im Unterricht behandelt, während im anderen Fall (Sozialpädagogik) überhaupt niemand diese Thematik im Unterricht wahrgenommen hat. Im Unterschied dazu der Bereich “Landwirtschaft”: Hier antwortet knapp ein Drittel der Befragten (31 %) mit “ja” auf die Frage, ob Gentechnik im Unterricht behandelt wurde. Auch in den gymnasialen Bereichen ließen sich keine nennenswerten Unterschiede bezüglich der Meinung zur Gentechnik feststellen. Für alle Bereiche aus beruflicher Schule und Gymnasium können wir konstatieren, daß insgesamt – ohne nennenswerte spezifische Unterschiede – die Einstellung zur Gentechnik eher negativ verläuft.¹⁴

3.9 Akzeptanz verschiedener gentechnischer Anwendungsbereiche

Bei der Untersuchung von Gentechnikakzeptanz haben wir nach Anwendungsgebieten sowie nach Objektklassen getrennt. Dabei wurde deutlich, daß *gentherapeutische*

¹³ Hier haben wir ebenfalls eine bipolare 97-Punkte-Skala zugrunde gelegt.

¹⁴ Die Mediane bewegen sich zwischen 50,0 (niedrigster Wert, Wirtschaftsgymnasium) und 56,0 (höchster Wert, Ernährungswissenschaftliches Gymnasium), bei einem Skalenmittelpunkt von “49”.

Anwendungen zur Behandlung von Krankheiten (Krebs, AIDS) sowohl nach Meinung der Schüler (88 %) als auch der Lehrer (78 %) akzeptabel sind und aktiv unterstützt werden sollten. Eindeutige Zustimmung beider Personengruppen findet sich auch für gentechnische Anwendungen zur Aufklärung von kriminalistischen Tatbeständen ("genetischer Fingerabdruck"). Ganz anders hingegen sieht das Antwortverhalten im Fall der Anwendungen an Tieren aus. Ganz gleich, ob Nutztiere (Tiere, die für die menschliche Ernährung genutzt werden) oder Versuchstiere ("Labormaus") gentechnisch behandelt werden sollen: die überwiegende Mehrheit der Befragten findet, solche Verfahren seien inakzeptabel und sollten ihrer Meinung nach verboten werden. Die strikte Ablehnung findet sich bei Schülern zu ca. 80 % und bei Lehrern zu ca. 90 %. Die Anwendung von Gentechnik im Bereich der Nutzpflanzen wird ebenfalls negativ bewertet. Während diesbezüglich Schüler eher dagegen sind, sprechen sich Lehrer eindeutig dagegen aus. Die Ablehnung gentechnischer Anwendungen an Tieren wird in den Hintergrund gedrängt, wenn es darum geht, der Humanmedizin zum Durchbruch zu verhelfen.

4 Determinanten der Einstellungen zur Gentechnik

Nachdem ich die wichtigsten Ergebnisse in Typen und Häufigkeitsauszählungen beschrieben habe, sollen im folgenden mögliche Einflüsse und Zusammenhänge statistisch überprüft werden. Zu Beginn der statistischen Auswertungen geht es darum, die sowohl theoretisch als auch statistisch bedeutsamen Bedingungen (Variablen) von Einstellungen zu Gentechnik (nachfolgend GT genannt) zu identifizieren. Zu diesem Zweck habe ich einige Variablengruppen gebildet und mittels Regressionsrechnungen die jeweilige Stärke ihrer Einflüsse auf die GT-Einstellung überprüft.

Getestet wurden zwei Modelle: Im ersten Modell habe ich einen Akzeptanz-Indikator (AK) zugrunde gelegt, der die Akzeptanz von Gentechnik und dabei speziell die Objektklassen "Nutzpflanzen, Nutztiere und Mikroorganismen" abbildet¹⁵ und somit einen eher kognitiven Indikator darstellt.

Im zweiten Modell habe ich auf einen Indikator vertraut, der seinem Wesen entsprechend eher affektiv-emotional ist und aus einem semantischen Differential (SD) abgeleitet wurde. Die Gegenüberstellungen lauten: Gentechnik ist ... "positiv – negativ", "schädlich – nützlich", "gefährlich – sicher", "moralisch – unmoralisch" usw.

¹⁵ Die Dimensionen "Anwendungsbereich: Gesundheit" bzw. "Objektklasse: Mensch" hatten einen geringeren Anteil erklärter Varianz und wurden daher nicht berücksichtigt.

Als nächster Schritt wurden die möglichen Bedingungen von "GT-Einstellung" aufgelistet. In dieser Liste finden sich diejenigen Größen wieder, die sich erstens als signifikant ergaben und zweitens die höchsten Regressionswerte aufwiesen. Herausgefallen sind alle schulspezifischen Variablen wie z. B. GT-Unterrichtung und Äußerungen von Lehrern. Dies gilt sowohl für quantitative als auch für qualitative Aspekte. Diese Erkenntnis korrespondiert mit den Ergebnissen aus Kapitel 3.7. Dort wurde bereits deutlich, daß die wahrgenommenen Meinungen unterschiedlicher Fachlehrer als qualitative Aspekte keine spürbaren Auswirkungen auf die GT-Einstellungen der Schüler hatten. Auch Klassenarbeiten zu Themen der GT bleiben ohne nennenswerte Auswirkungen auf das Einstellungsmuster. Das heißt: Diejenigen Variablen, die mich unter der theoretischen Fragestellung dieser Studie ganz speziell interessiert haben, können hier kaum etwas zu der Erklärung von Einstellungsbildung oder -veränderung gegenüber der GT beitragen. Für diese Variablen läßt sich statistisch kein Zusammenhang mit der "GT-Einstellung" nachweisen.

Es zeigt sich in dieser Tabelle, daß der wichtigste Prädiktor (unabhängige Variable x zur Vorhersage der abhängigen Variable y) für die GT-Einstellungsbildung (y) im *SD-Modell* die Variable "Gentechnik und Moral"¹⁶ (x_1) ist. In diesem Fall liegt auch ein hoher bivariater Zusammenhang vor: $r = -.66$. Es folgen die Einflüsse von "Hoffnungen bzgl. GT"¹⁷ (x_2) und "Befürchtungen bzgl. GT"¹⁸ (x_3). Die mathematischen Vorzeichen der Beta-Werte von x_1 und x_3 sind negativ. Das ist in beiden Fällen plausibel, denn je stärker behauptet wird, daß GT unmoralisch ist, desto negativer fällt die Einstellung gegenüber dieser Technologie aus. Und je stärker Befürchtungen gegenüber negativen Technikfolgen wahrgenommen werden, desto negativer ist die Einstellung. Hoffnungen bezüglich der GT hingegen bewegen sich im Einklang mit der GT-Einstellung: Je größer die subjektive Wahrscheinlichkeit positiver GT-Folgen ist, desto positiver ist die Einstellung.

¹⁶ Der Variablen liegt folgende Fragestellung zugrunde: "Stellen Sie sich einmal vor, Sie sitzen bislang unbeteiligt in einem Zugabteil mit einigen Personen, die über das Thema Gentechnik diskutieren. Und einer dieser Fahrgäste äußert sich lauthals: "Gentechnik ist unmoralisch." Halten Sie seine Aussage "für richtig, für eher richtig, für eher falsch oder für falsch?"

¹⁷ Dahinter verbergen sich positive Auswirkungen von GT, verbunden mit unterschiedlichen Graden von Eintrittswahrscheinlichkeit.

¹⁸ Die Basis sind negative Auswirkungen von GT, verbunden mit subjektiven Eintrittswahrscheinlichkeiten.

Tabelle 4: Einfluß verschiedener Faktoren auf GT-Einstellung (abhängige Variable). Ausgewiesen sind die bivariaten Korrelationskoeffizienten (Pearsons r) und die standardisierten Regressionskoeffizienten (β) als Zusammenhangsmaße zwischen abhängiger und unabhängiger Variable am Beispiel zweier multipler linearer Regressionen

Faktoren				GT-Einstellung					
				semantisches Diff. (SD)			Akzeptanz-Ind. (AK)		
x				r	β		r	β	
1	Gentechnik und Moral			-,66	-,43	**	-,39	-,16	**
2	Hoffnungen bzgl. GT			,48	,31	**	,38	,23	**
3	Befürchtungen bzgl. GT			-,48	-,29	**	-,38	-,26	**
4	Technikoptimismus						,37	,15	*
5	Umweltbewußtsein						-,23	-,13	*
6	Politische Orientierung						,18	,19	**
7	Technikrisikowahrnehmung						-,16	-,12	*
Multiples R ²					,58			,46	

** $p < ,01$, * $p < ,05$

Im *AK-Modell* konnten sieben Bedingungen der GT-Einstellungsbildung identifiziert werden. Und zwar in folgender Reihenfolge: Stärkster Prädiktor ist “Befürchtungen bzgl. GT” (x_3), vor “Hoffnungen bzgl. GT” (x_2), den beiden Variablen “Politische Orientierung” (x_6) und “Gentechnik und Moral” (x_1), dann folgen “Technikoptimismus” (x_4), “Umweltbewußtsein” (x_5) und “Technikrisikowahrnehmung” (x_7).

Negative Beta-Vorzeichen haben x_1 und x_3 (wie oben schon interpretiert) sowie x_5 und x_7 . “Umweltbewußtsein” und “Technikrisikowahrnehmung” stehen in einer negativen Beziehung zur GT-Einstellung. Das heißt je bedeutsamer diese Variablen sind, desto negativer ist die GT-Einstellung.

Im Regressionsmodell mit der größeren Varianzerklärung, dem *SD-Modell* (mit 58 %), ist die Variable “GT und Moral” die zentrale Größe. Eine Korrelationsmatrix mit den Variablen x_1 bis x_7 hat gezeigt, daß “Moral” bereits in den Größen “Hoffnungen bzgl. GT” ($r = ,37$) und “Befürchtungen bzgl. GT” ($r = -,30$) aufgeht. Die geringe Korrelation von “Hoffnungen bzgl. GT” und “Befürchtungen bzgl. GT” ($r = -,11$) macht noch einmal deutlich, daß GT nicht pauschal positiv oder negativ gesehen, sondern kritisch und differenziert beurteilt wird.

Drei entscheidende Faktoren markieren somit das Regressionsmodell: die Moral, positive Hoffnungen und negative Befürchtungen. Alle drei Faktoren haben direkte Einflüsse auf die GT-Einstellung, gemessen als Stärke der Einstellung. Die von uns

identifizierten Haupteinflussfaktoren sind eng an die Einstellung angelehnt, die Korrelationswerte überraschen deshalb nicht.

Inhaltlich läßt sich das Modell folgendermaßen deuten: Die Wahrnehmung von Gentechnik hängt mit einer moralischen Bewertung der GT eng zusammen. Die Schüler orientieren sich an Hoffnungen (gemessen als positive probabilistische Vorstellungen), die sie mit der GT verbinden. Nach dem gleichen Prinzip verhält sich die GT-Einstellung im Hinblick auf negative Vorstellungen: Überwiegen die Befürchtungen, die an GT-Folgen geknüpft sind, dann fällt die GT-Wahrnehmung negativer aus.

5 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

Die Jugendlichen in der Region Stuttgart/Neckar-Alb stehen der Gentechnik nicht fundamental feindlich gegenüber. Allerdings kann man auch nicht von einer positiven Gentechnikaufnahme bei den Jugendlichen sprechen. Der überwiegende Teil der in meiner Studie befragten Schülerinnen und Schüler steht der Gentechnik *ambivalent* gegenüber und nimmt diese Technologie als *janusköpfig* wahr.

Entsprechend der Arbeitshypothese 3 haben wir in den meisten Fällen hochsignifikante Unterschiede ($p < .01$) zwischen Mädchen und Jungen feststellen können. Es ist allerdings plausibel, daß diese geschlechtsspezifischen Unterschiede in den jeweils unterschiedlichen Einstellungen zur Technik im allgemeinen begründet liegen. Sinnfragen der Technik durchlaufen bei Mädchen selektive Filter in einer anderen Richtung als bei Jungen und werden demnach anders bewertet. Die statistischen Kennzahlen Cramers V, Eta und Gamma deuten allerdings darauf hin, daß die inhaltlichen Zusammenhänge zwischen "Geschlecht" und den Variablen der (Gen-)Technikeinstellung in den meisten Fällen eher gering ausfallen. Insgesamt hat "Geschlecht" nur einen kleinen Einfluß auf die Gentechnikeinstellung. Dies gilt auch für den "Schultyp".

Desweiteren befindet sich meine Studie im Einklang mit der mehrfach empirisch bestätigten Hypothese, daß differenzierte Bewertungsmuster bei unterschiedlichen gentechnischen Anwendungen vorherrschen (vgl. Hampel et al. 1997). Folgerichtig erfahren bestimmte Anwendungsfelder wie z. B. Gentechnik in der Landwirtschaft und Ernährung eine breite ablehnende Haltung, wohingegen andere Bereiche wie z. B. Medizin oder Pharmazie positiv von den Schülern bewertet werden. Die Befürchtung eines Mißbrauchs der Gentechnik wurde von den Befragten (in der *offenen Frage* des Fragebogens) nicht explizit geäußert. Wir müssen allerdings davon ausgehen, daß solche Befürchtungen in den häufig gefallenen Nennungen "Manipulation", "Klonen" oder "Züchtung" latent vorhanden sind.

Die Schüler nehmen ihre naturwissenschaftlichen und nicht-naturwissenschaftlichen Lehrer unterschiedlich wahr. Den Einstellungen der Lehrer aus den Fachgebieten Religion, Ethik und Deutsch werden von ihren Schülern in Bezug auf die Gentechnik die Attribute "risikoreich" und "gefährlich" zugeschrieben, während Einstellungen der Biologie-, Chemie- oder Physiklehrer mit den eher positiv besetzten Attributen "modern" und "wissenschaftlich" assoziiert werden.

Einflüsse durch die Fachlehrer bleiben weitgehend aus. Das haben sowohl Überprüfungen, die auf wahrgenommenen Gentechnikeinstellungsänderungen der Schüler basieren, als auch objektive Einstellungsindikatoren gezeigt. Damit bleibt es (in der Logik dieser statistischen Interpretation) relativ unbedeutend, ob die Lehrer nun positiv oder negativ über Gentechnik berichten.

Wider vielen Erwartungen können Unterschiede in der Gentechnikbewertung weder auf objektiv abgefragtes Gentechnikwissen noch auf per Selbsteinschätzung erfragtes, subjektives Gentechnikwissen direkt zurückgeführt werden. Dies korrespondiert mit den Erkenntnissen einer europäischen Forschungsgruppe (Biotechnology and the European Public Concerted Aktion Group 1997), die zeigen konnte, daß eine Vertiefung von naturwissenschaftlich-technischem Gentechnikwissen bei den Betroffenen zwar zu dezidierten Urteilen führt, nicht jedoch zu einer anderen Gentechnikeinstellung. Auch Interesse für die Themen der Gentechnik bildet nach den Ergebnissen dieser Studie keine Basis für bestimmte Ausprägungen der Einstellung zur Gentechnik. Nicht einmal das wahrgenommene Risiko(management) vermag die Bewertung von Gentechnik entscheidend zu beeinflussen. Von den Schülern werden auch keine volkswirtschaftlichen Kosten-Nutzen-Rechnungen zugrunde gelegt (Beispiel "Arbeitsplätze").

Nach den Erkenntnissen dieser Studie sind "moralische Erwägungen" eine zentrale Einflußgröße zur Vorhersage von Gentechnikeinstellung. Aus der Sicht der befragten Schülerinnen und Schüler bedeutet dies: Die affektive wie kognitive Beurteilung von Gentechnik ist in erster Linie eine ethisch-moralische Angelegenheit.¹⁹

Das legt den Schluß nahe, daß individuelle moralische (Vor)Einstellungen gegenüber der Gentechnik darüber entscheiden, welche Informationen zur Gentechnik überhaupt verarbeitet werden (selektive Wahrnehmung). Dagegen kann die Hypothese verworfen werden, daß Informationen und die gezielte schulische Vermittlung von Gentechnikwissen die Einstellung zur Gentechnik verändern werden.

Die Invarianz der Einstellung gegenüber der schulischen Vermittlung darf nicht fehlinterpretiert werden. Die Schule kann die Entwicklung moralischer Urteilsfähigkeit gefördert haben, ohne daß sich dies direkt auf die Einstellung zur Gentechnik

¹⁹ Anders ist das bei der Erklärung von Gentechnik-*Interesse*. Hierzu dominiert das Interesse an naturwissenschaftlichen Themen als erklärende Variable eindeutig über das Interesse an geisteswissenschaftlichen Themen.

ausgewirkt hat. Aus diesem Grunde erscheint es mir wichtig, das Themenfeld "Gentechnik" weiterhin im Unterricht zu behandeln. Erstens erlaubt die wahrgenommene Glaubwürdigkeit von Lehrerinnen und Lehrern der naturwissenschaftlichen Bereiche eine kompetente Wissensvermittlung über Gentechnik in Biologie und Chemie. Zweitens unterstreicht die Verbindung zwischen Gentechnik und Moral die Relevanz des Themas für geisteswissenschaftliche Fächer. Die Komposition beider Aspekte ist ein eindeutiges Votum für eine fächerübergreifende Behandlung des Themas "Gentechnik" in der Schule.

6 Literatur

- Biotechnology and the European Public Concerted Action Group (1997): Europe ambivalent on biotechnology, *Nature*, 387, 26 June, pp. 845-847.
- Hampel, J., Keck, G., Peters, H. P., Pfenning, U., Renn, O., Ruhrmann, G., Schenk, M., Schütz, H., Sonje, D., Stegat, B., Urban, D., Wiedemann, P. M. und Zwick, M. M. (1997): Einstellungen zur Gentechnik. Tabellenband zum Biotech-Survey des Forschungsverbunds "Chancen und Risiken der Gentechnik aus der Sicht der Öffentlichkeit", Arbeitsbericht Nr. 87 der Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, Stuttgart.
- Inglehart, R. (1979): Wertewandel in den westlichen Gesellschaften: Politische Konsequenzen von materialistischen und postmaterialistischen Prioritäten. In: Klages, H. und Kmiecik, P. (Hrsg.): Wertewandel und gesellschaftlicher Wandel. Campus, Frankfurt a. Main, S. 279-316.
- Jaufmann, D. und Kistler, E. (1988): Sind die Deutschen technikfeindlich? Leske und Budrich, Opladen.
- Jaufmann, D., Kistler, E. und Jansch, G. (1989): Jugend und Technik. Wandel der Einstellungen im internationalen Vergleich. Campus, Frankfurt a. Main.
- Keck, G. (1998): Einstellung zur Gentechnik bei Schülerinnen und Schülern. Arbeitsbericht Nr. 108 der Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, Stuttgart.
- Kliment, T., Renn, O. und Hampel, J. (1994): Chancen und Risiken der Gentechnologie aus der Sicht der Bevölkerung. In: Schell, Th. von und Mohr, H. (Hrsg.): Biotechnologie - Gentechnik. Eine Chance für neue Industrien. Springer-Verlag, Heidelberg, S. 558-583.
- Renn, O. und Zwick, M. M. (1997): Risiko- und Technikakzeptanz. Springer-Verlag, Heidelberg.
- Scheuch, E. K. (1990): Bestimmungsgründe für Technikakzeptanz. In: Kistler, E. und Jaufmann, D. (Hrsg.): Mensch - Gesellschaft - Technik. Leske und Budrich, Opladen, S. 101-139.

Erfahrungen mit der Unterrichtseinheit: “Moderne Biotechnologie in der Pflanzenproduktion: Grünes Gold der Zukunft?”

Thomas von Schell und Birgit Poggendorf

Im Rahmen des Naturklassenzimmers auf der Landesgartenschau 1996 in Böblingen beteiligte sich die Akademie für Technikfolgenabschätzung an der Entwicklung und Durchführung einer Unterrichtseinheit zum Thema “Moderne Biotechnologie in der Pflanzenproduktion”. Im Naturklassenzimmer wurde neben unserer Unterrichtseinheit ein vielfältiger Themenbogen für alle Schultypen und alle Altersstufen angeboten. Den Schülerinnen und Schülern¹ wurde es ermöglicht, ein besseres Verständnis dafür zu entwickeln, “wie vielfältig und einmalig, aber auch empfindsam gegenüber Eingriffen des Menschen die Natur sein kann” (aus dem Veranstaltungsfaltblatt).

1 Zielgruppe und Thema

Die Einheit wurde für Schüler ab Klasse 7 aller Schultypen konzipiert, in der sie einen spezifischen Anwendungsbereich der Biotechnologie kennenlernten. Sie probierten selbst in einem Versuch eine Methode der In-vitro-Vermehrung von Pflanzen aus, der in der Schule fortgesetzt werden konnte. Zuvor erhielten die Klassen eine kurze Einführung in die Bio- und Gentechnik. Es wurde ein Videofilm mit unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden für die Klassen 7-8 und ab Klasse 9 gezeigt. Die Schwerpunkte des Films boten Informationen zur Biotechnologie in der Pflanzenzüchtung und zu ethischen Aspekten. Zusätzlich wurde Unterrichtsmaterial für Lehrer für die Vorbereitung zur Verfügung gestellt, in dessen Mittelpunkt der Versuch im Naturklassenzimmer stand.²

Als Versuchspflanzen für den Vermehrungsversuch wurden Usambaraveilchen ausgesucht. Die Versuchsdurchführung wird in den zwei auf Seite 75 abgebildeten Schemata zusammengefaßt (eine genaue Darstellung kann der Handreichung entnommen werden, siehe Literaturhinweis in Fußnote 2):

¹ Im folgenden wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit nur von “Schülern” bzw. “Lehrern” gesprochen. Es sind damit auch Schülerinnen bzw. Lehrerinnen gemeint.

² Akademie für Technikfolgenabschätzung (Hrsg.): Grünes Gold der Zukunft? Biotechnologie in der Pflanzenproduktion. Eine Handreichung für Lehrer. Stuttgart, 1996

Graphik: Schematische Darstellung der *in-vitro*-Vermehrung von Pflanzen

Graphik: Präparieren der Usambaraveilchenblätter

2 Zeitlicher Verlauf

Nach den theoretischen Vorgaben der Unterrichtseinheit, die in keinem Fall in der Praxis eingehalten werden konnte (siehe "Bilanz"), standen für die gesamte Einheit maximal 90 Minuten zur Verfügung. Als Einführung sollte der Film 20 Minuten dauern mit einer anschließenden 10minütigen Auswertung von Arbeitsblättern zum Film. Für die eigentliche Versuchsdurchführung waren maximal 60 Minuten eingeplant.

3 Ziele

Folgende Ziele verfolgte die Unterrichtseinheit:

Sachkompetenz: Es wurde über Möglichkeiten der Pflanzenvermehrung informiert, die handlungsorientiert mit Hilfe einer In-Vitro-Technik durchgeführt wurde.

Methodenkompetenz: Bei der Anwendung einer Methode der Biotechnologie sollten die Schüler folgende Aspekte beachten: genaues und steriles Arbeiten, genaues Beobachten, Auswerten und Protokollieren.

Ethisch-moralische Kompetenz: Die Filmauswertung sollte sich mit folgenden Fragen beschäftigen, um Denkanstöße zu geben:

Ist es vertretbar, Pflanzen und andere Lebewesen "beliebig" zu manipulieren? Nach welchen Kriterien sollten Grenzen gezogen werden? Wie steht es mit der Sozial- und Umweltverträglichkeit?

4 Bilanz

Von April bis Oktober 1996 nahmen über 800 Schüler und Schülerinnen (34 Klassen) der Jahrgangsstufe 7 bis 13 teil. Das Spektrum reichte von einer 9. Klasse Hauptschule bis zum Leistungskurs von Gymnasien. Die Betreuung erfolgte durch zwei Examenskandidatinnen der Pädagogischen Hochschule Heidelberg³ sowie punktuell zur Vertiefung spezifischer Themen durch Mitarbeiter der Akademie.

³ Frau Mirela Rancinger und Frau Melanie Roth

4.1 Beurteilung aus der Sicht der Teilnehmenden

Die Schüler waren größtenteils zufrieden und interessiert. Durch die intensive Betreuung war es möglich, auf die spezifischen Bedürfnisse der Schultypen und Jahrgangsstufen einzugehen. Die Mehrzahl der Lehrer bestätigten, daß das Niveau ihrer Klasse angemessen war und sie den Versuch in der Schule wiederholen wollten. Dieser sei mit der aufwendigen Vorbereitung etwas zu zeitintensiv für den normalen Unterricht, könne aber gut in Projekttag eingebracht werden. So könnten z. B. fächerübergreifend im Technikunterricht die Materialien (z. B. der Steriltunnel) hergestellt, im Chemieunterricht der Versuch bzw. die Nährlösungen vorbereitet und im Biologieunterricht der Aufbau von Pflanzen behandelt werden (mikroskopische Untersuchungen des Blattinneren, Behandlung der Vorgänge bei der Vermehrung usw.). Es bot sich auch an, die geschichtliche Entwicklung der Biotechnik zu behandeln. Als ausgesprochen wichtig empfanden die Lehrer eine Verbindung zur Ethik, die in dieser Unterrichtseinheit aus zeitlichen Gründen nicht angeboten werden konnte. Hier fehle es an geeigneten Unterrichtskonzepten, die ethische Überlegungen adäquat mit der naturwissenschaftlichen Grundlage verknüpfen. Dabei böten die Lehrpläne genügend Möglichkeiten für den fächerübergreifenden Unterricht. Zum Beispiel könne man stärker denn je Fachleute einbeziehen (leider ohne Honorare).

Die Erfolgsquote des Vermehrungsversuches (ca. 20 % der Keimlinge wuchsen an) wurde als zu gering eingestuft; viele Ansätze verschimmelten. Bei Erfolg wurde das Ergebnis jedoch als sehr beeindruckend bezeichnet und die Motivation der Schüler sei nicht mehr zu bremsen gewesen. Viele Lehrer besorgten sich deshalb auch die Chemikalien zur Fortsetzung des Versuches in der Schule, wobei die notwendigen Chemikalien und Geräte (als Erstanschaffung) als sehr teuer beurteilt wurden.

4.2 Beurteilung aus der Sicht der Betreuerinnen

Die Filme wurden aus verschiedenen Sequenzen der Reihe "Genzeiten" des Hessischen Rundfunks zusammengeschnitten. Die Betreuerinnen kritisierten hierzu folgende Punkte:

Der Filminhalt umfaßte einen weitaus größeren Themenbereich, als es die Thematik bzw. der Versuch verlangten. Ein Problem lag in den fachspezifischen Ausdrücken und Fremdwörtern sowie den rasch aufeinanderfolgenden thematischen und inhaltlichen Sequenzen. Vor allem wenn die Schüler zum ersten Mal mit der Thematik konfrontiert wurden, schalteten sie leicht ab, anstatt daß der Film für den Versuch motivierte. Man muß dabei allerdings bedenken, daß das tatsächliche Leistungsniveau häufig geringer ausfällt, als es entsprechend einer Altersstufe und damit eines bestimmten Entwicklungsstandes von Pädagogen erwartet wird. Es stellt sich von daher die Frage, ob ein derartiger Film auf technische und methodische Aspekte der

Pflanzenvermehrung reduziert werden sollte und gesellschaftliche sowie ethische Aspekte entfallen sollten?

Als weitere Probleme im Unterricht (bzw. Eindrücke aus dem Unterricht) wurden folgende Punkte benannt:

- Meistens waren die Schüler und teilweise auch die Lehrer unzureichend vorbereitet. Die vorab verschickten Unterrichtsmaterialien wurden im Vorfeld kaum eingesetzt (das Naturklassenzimmer wurde in der Regel als Ausflug angesehen).
- Bestimmte Vorkenntnisse und eine gewisse Praxis im Umgang mit Geräten und Chemikalien sind Grundvoraussetzungen, um die Thematik wie auch den Versuch kognitiv zu erfassen. Klasse 7 erschien den Betreuerinnen zu früh, da die Schüler zum einen noch keinen Chemieunterricht hatten und zum anderen in den meisten Fällen dem Vorgang einer In-Vitro-Vermehrung (wie wird aus einem Blattstück eine Pflanze?) nicht folgen konnten. Der Versuch übte zwar den Reiz des Besonderen aus, doch der Sinn und Zweck des Versuchs wurde nicht nachvollzogen. Auch die Hauptschulklasse (Klasse 9, als einzige dieses Schultyps) war mit der Thematik und dem Versuch überfordert. Teilweise gab es Verständnisprobleme mit den Arbeitsblättern und -anweisungen.
- Häufig wurde der Zeitmangel beklagt: die Konzentrationsfähigkeit der Schüler wurde in der Regel überfordert. Die Vielzahl von Arbeitsblättern, die auf eine Vertiefung des Themas abzielten, konnten nicht eingesetzt werden. Im Vordergrund des Unterrichts standen die Erläuterungen für den Versuch.
- Ethische Aspekte wurden aufgrund von Zeitmangel bzw. fehlender Strukturelemente im Unterrichtskonzept, aber auch wegen unzureichender Vorbereitung seitens der Klassen kaum angesprochen.
- Die Resonanz war im großen und ganzen von allen Seiten her positiv. Das Interesse galt seitens der Schüler eher dem Versuch, weniger jedoch dem Thema "Bio- und Gentechnik". Positiv wurde die Möglichkeit zur Fortsetzung des Versuchs in der Schule angesehen. Der Versuch ist als Motivation im Kontext der Themenstellung aber auf jeden Fall geeignet und zu empfehlen, allerdings nur für Projekttag o. ä.

5 Fazit

- Falls ein derartiger Unterricht zukünftig in einer ähnlichen Veranstaltung wie im Naturklassenzimmer einer Landesgartenschau durchgeführt werden soll, müssen die hierfür spezifischen Umstände berücksichtigt werden: (1) In der Regel wird der Besuch als Klassenausflug angesehen, d. h. die Schüler sind eher auf

Vergnügen, denn auf Arbeit eingestellt. (2) Das Zeitkontingent ist begrenzt. Eine Vertiefung des Themas sollte in der Schule vorgenommen werden. Im Naturklassenzimmer sollte sinnvollerweise nur der Versuch im Mittelpunkt stehen.

- Die Thematik und der Versuch sollten erst ab Klasse 8 für Realschulen und Gymnasien angeboten werden. Für Hauptschulen muß der Versuch mit den jeweiligen Vorkenntnissen der Schüler abgestimmt werden. Die vorgefertigten Arbeitsblätter und Arbeitsanweisungen müssen dem jeweiligen Klassenniveau angepaßt werden.
- Das Unterrichtskonzept eignet sich weniger für den “Unterrichtsalltag”, besser für Projekttag.
- Das Unterrichtskonzept bietet Anreize und Ansätze für den fächerübergreifenden Unterricht. Allerdings muß es in ein geeignetes Gesamtkonzept, das gemeinsam von den beteiligten Fachlehrern zu entwickeln wäre, eingebunden werden.
- Filmausschnitte aus Fernsehsendungen, die eine Einführung in die Gesamtproblematik zum Ziel haben, sind selten geeignet. Der Einsatz muß sehr sorgfältig mit einem Gesamtkonzept des fächerübergreifenden Unterrichts abgestimmt werden. Spezifische Fachausdrücke sind (nicht nur in den Filmen) zu vermeiden. Beispielsweise sind eingeblendete Interviews mit Fachexperten auf ihre Allgemeinverständlichkeit hin zu prüfen. Abstrakte Animationen und Modelle sollten nicht verwendet werden.
- Eine ethische und eine politische Reflexion des Themas Biotechnologie/Gentechnik bedarf des Verständnisses technischer und biologischer Grundlagen, die durch den Versuch und das Unterrichtskonzept vermittelt werden können. Diese Unterrichtseinheit muß aber dringend durch entsprechende Konzepte seitens des Ethik- bzw. Politikunterrichts erweitert und ergänzt werden, damit die einzelnen Fächer miteinander verzahnt werden können.

Leitideen für die Behandlung wissenschaftsethischer Themen in der Schule am Beispiel “Gentechnik bei Pflanzen”

Julia Dietrich

Aufgabe dieses Textes ist es, drei Leitideen für die Behandlung wissenschaftsethischer Themen in der Schule vorzuschlagen. Diese Leitideen sind im Rahmen eines derzeit noch laufenden Forschungsprojekts entwickelt worden und werden hier zum ersten Mal zusammenhängend vorgestellt. Es handelt sich dementsprechend um eine erste Fassung, die noch weiter ausgeführt werden muß und in der viele Diskussionspunkte zugunsten des Gesamtumrisses nicht ausgeführt werden können. Es erscheint dennoch bzw. gerade deshalb gerechtfertigt, sie im Rahmen einer Fortbildungsveranstaltung für Lehrer und Lehrerinnen bzw. im Rahmen der daraus hervorgegangenen Publikation zu veröffentlichen, denn nur in der Diskussion mit den Praktikern und Praktikerinnen kann ihre Praxisrelevanz hergestellt bzw. überprüft und verbessert werden. Kritik, Anregungen bzw. Kommentare sind daher höchst willkommen.¹

Es soll zunächst der Forschungskontext, dem die Leitideen entstammen, genannt werden (1.), um sie anschließend in ihrem Anwendungsbereich und ihrer Leistungsfähigkeit zu bestimmen und vor allem auch einzugrenzen (2.). Die Leitideen werden dann anhand des konkreten Beispiels “Gentechnik bei Pflanzen” vorgestellt (3.) und abschließend in einer tabellarischen Übersicht zusammengefaßt (4.). Wer einen konkreteren und stärker praxisbezogenen Einstieg wählen möchte, kann auch zunächst Kapitel 3. und 4. lesen und dann die Kapitel 1. und 2. bzgl. der theoretischen Rückbindung und Eingrenzung der Leitideen anschließen.

1 Forschungskontext

Die Leitideen basieren auf der Arbeit des Projekts “Schule Ethik Technologie” (SET), das am Zentrum für Ethik in den Wissenschaften der Universität Tübingen angesiedelt ist und vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie gefördert wird.² Unter der Leitung von Prof. Dr. Reiner Wimmer geht das Projekt der Frage nach, wie Schülerinnen und Schüler ein ausgewogenes

¹ Kritik, Anregungen und Kommentare können an folgende Adresse gerichtet werden: Julia Dietrich, SET, Zentrum für Ethik in den Wissenschaften, Keplerstr. 17, 72074 Tübingen.

² Förderzeitraum 1.5.1996 bis 30.4.1999; Förderkennzeichen PI 1451.

und reifes Technologieverständnis, das ethische Urteils- und Handlungskompetenzen umfaßt, entwickeln können. Es besteht aus zwei Forschungsbausteinen:

Der Forschungsbaustein "Wissenschaftsethik" beschäftigt sich mit theoretischen und konzeptionellen Fragen der Behandlung wissenschaftsethischer Themen in der Schule und hier insbesondere im Ethikunterricht. Er soll damit seitens der Wissenschaftsethik einen konzeptionellen Beitrag zur Entwicklung einer Didaktik der Wissenschaftsethik leisten und damit ganz generell einen Transfer zwischen Wissenschaftsethik und Didaktik fördern. Die Leitideen wurden im Rahmen dieses eher theoretisch ausgerichteten Forschungsbausteins erarbeitet, wobei aber ihre Praxisrelevanz durch einen schulpraktischen Modellversuch hergestellt bzw. überprüft werden konnte:

Im Rahmen des Forschungsbausteins "Modellversuch" wurde zusammen mit der an der Pädagogischen Hochschule Heidelberg angesiedelten Arbeitsgruppe "Valuing in Technology" (Leitung: Prof. Dr. Michael Schallies) im Schuljahr 1997/98 ein schulpraktischer Modellversuch an 10 allgemeinbildenden Schulen des Rhein-Neckar-Dreiecks durchgeführt. Hier wurde unter Berücksichtigung der Leitideen der Frage nachgegangen, welche konkreten didaktischen, strukturellen und institutionellen Bedingungen für die Entwicklung eines ausgewogenen und reifen Technologieverständnisses im Rahmen der Schule gegeben sein müssen (vgl. hierzu die Beispiele einer methodisch-didaktischen Umsetzung in Abschnitt 3.).³

Der Ausgangspunkt der Leitideen ist die Überlegung, daß die Förderung ethischer Urteils- und Handlungskompetenz zum allgemeinbildenden Auftrag der Schulen gehört und daß die Förderung ethischer Urteils- und Handlungskompetenz im Umgang mit Wissenschaft und Technik hierin eingeschlossen ist: Weil wir in einer technisierten Lebenswelt leben, ist der Umgang mit Wissenschaft und Technik von jedem und jeder gefordert und stellt in seinem Alltagsbezug keinen Spezialfall mehr dar, der den allgemeinbildenden Auftrag der Schulen sprengen würde.

An diese Überlegung schließt sich die Frage an, welche Aspekte ethischer Urteils- und Handlungskompetenz für den Umgang mit moderner Wissenschaft und Technik besonders wichtig und dementsprechend in der Schule zu fördern sind. Diese Frage muß nicht unbedingt schon voraussetzen, daß es eine "neue Ethik" für den Umgang mit Wissenschaft und Technik geben müsse, sondern kann, bescheidener, auch dar-

³ Eine weitergehende Darstellung des Modellversuchs sprengt den Rahmen dieses Textes, der sich auf die Vorstellung der Leitideen konzentriert. Zu den didaktischen Grundlagen der Zusammenarbeit mit den Schulen siehe aber: Wellensiek, Anneliese: Entwicklung moralischer Urteils- und Handlungsfähigkeit im Bereich neuer Technologien. In: Schallies, Michael/Wachlin, K. D. (Hrsg.): Biotechnologie und Gentechnik. Neue Technologien verstehen und beurteilen. Berlin u. a.: Springer. S. 55-67 (1999). Schallies, Michael/Wellensiek, Anneliese (1995): Biotechnologie/Gentechnik. Implikationen für das Bildungswesen. Arbeitsbericht Nr. 46 der Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, Stuttgart. Die Betreuung der am SET-Modellversuch beteiligten Schulen erfolgte in der Regel durch: Julia Dietrich M.A. (SET Tübingen), Frank-Thomas Hellwig M.A. (SET Tübingen), Anja Lembens (SET Heidelberg) und Dr. Anneliese Wellensiek (AG VIT/SET Heidelberg).

auf abzielen, für den Umgang mit Wissenschaft und Technik besonders wichtige Urteils- und Handlungsstrukturen als solche zu konturieren und akzentuieren. Es ist naheliegend, hierzu auch diejenige akademische Disziplin zu befragen, die sich hauptamtlich mit ethischen Problemen von Wissenschaft und Technik beschäftigt, nämlich die Wissenschaftsethik. Die Leitideen stellen den Versuch dar, Erkenntnisse der Wissenschaftsethik als Antwort so zu formulieren, daß sie für die didaktische Diskussion greifbar und operationalisierbar werden und Konsequenzen für die Gestaltung von Schule allgemein, von Aus- und Fortbildungsveranstaltungen, von Lehrplänen oder, wie hier fokussiert, von Unterrichtskonzeptionen generieren können. Gerade deshalb aber ist es von besonderer Wichtigkeit, ihren Anspruch und ihre Leistungsfähigkeit genau zu bestimmen und einzugrenzen.

2 Anwendungsbereich

Die Beantwortung der Frage, welche Urteils- und Handlungskompetenzen aus Sicht der Wissenschaftsethik für die Schule besonders wichtig sind, muß die Funktion berücksichtigen, in der die Wissenschaftsethik hier auftritt, nämlich ihre Funktion als Bezugswissenschaft einer schulischen Thematik (2.1). Außerdem muß sie dem Gegenstandsbereich der Wissenschaftsethik angemessen sein (2.2) sowie der inneren Struktur der Wissenschaftsethik gerecht werden (2.3). Hieraus ergeben sich verschiedene Probleme bzw. Anforderungen an diese Antwort, welchen mit der Form der Leitideen Rechnung getragen werden soll und die, zusammengenommen, den Anwendungsbereich dieser Leitideen begrenzen (2.4).

2.1 Die Wissenschaftsethik als Bezugswissenschaft

Die Didaktik geht der Frage nach: “Wer soll warum, wozu, was und wie lernen und lehren?”.⁴ Bei der Beantwortung dieser Frage rekurriert sie auf verschiedene Bezugswissenschaften wie z. B. die Fachwissenschaften, ohne daß diese ein “Beantwortungsmonopol” erlangen würden: Die Erkenntnisse und Strukturen einer Bezugswissenschaft können nicht einfach “ungebrochen” auf Schule und Bildung übertragen werden, sondern müssen mit Erkenntnissen und Zielformulierungen aus dem Bereich der Moralpsychologie bzw. Entwicklungspsychologie und der allgemeinen Pädagogik (die wiederum letztlich auf allgemeinethischen und anthropologischen Überlegungen aufbaut) abgewogen werden. Eine einzelne Bezugswissenschaft ist so gesehen stets eine notwendige, nie aber eine hinreichende Bedingung für die Entwicklung ihrer Didaktik. Insofern nun die Wissenschaftsethik als Bezugswissen-

⁴ Vgl.: Lemmermöhle, Doris (1998): Didaktik! Wozu? In: Nyssen, Elke/Schön, Bärbel (Hrsg): Perspektiven für pädagogisches Handeln. Eine Einführung in Erziehungswissenschaft und Schulpädagogik. 2. Aufl. – Weinheim u. a.: Juventa. S. 259-289. Hier: S. 261.

schaft einer Didaktik des Umgangs mit Wissenschaft und Technik auftritt, bedeutet dies, daß auch ihre Rolle begrenzt ist: Sie kann zwar sagen, was bzw. welche Kompetenzen ihrer Ansicht nach auf der Basis des derzeitigen Forschungsstands gelernt und gelehrt werden sollten, aber in welchem Umfang dies z. B. tatsächlich in einen Lehrplan integriert werden kann, muß mit den Erfordernissen und Wichtigkeiten anderer Themengebiete abgeglichen werden. Die Wissenschaftsethik kann auch – z. B. durch Identifikation von Verantwortlichkeiten – Hinweise darauf geben, von wem und warum der angegebene Wissens- bzw. Kompetenzbereich gelernt und gelehrt werden sollte. Aber sie besitzt nicht die notwendige psychologisch-pädagogische Kompetenz, um anzugeben, wie dies auch möglichst erfolgreich umgesetzt werden kann. Es ist daher genau genommen auch nicht möglich, aus bestimmten Strukturen der Wissenschaftsethik, z. B. aus ihrer Interdisziplinarität, unmittelbar auf einzelne methodisch-didaktische Maßnahmen zu schließen, in diesem Fall z. B. auf fächerübergreifenden Unterricht. Denn ob “Interdisziplinarität” am besten auf der Basis eines primär disziplinenübergreifenden oder gerade auf der Basis eines streng disziplinar geschulten Denkens geübt werden kann, ist eine eigene Fragestellung.⁵ Insgesamt läßt sich der Beitrag der Wissenschaftsethik zu ihrer Didaktik wohl am ehesten als Beitrag zur Zielformulierung charakterisieren: Wissenschaftsethik kann einen Forschungsstand (bezüglich ethischer Problemfelder, Wissensbeständen und Kompetenzen) angeben, den sie für derart essentiell hält, daß er im Rahmen des allgemeinbildenden Auftrags der Schule umgesetzt werden sollte. Es liegt aber nicht in ihrer Kompetenz zu sagen, in welchem Umfang und mit welchen konkreten methodisch-didaktischen Instrumenten dies unter Berücksichtigung entwicklungspsychologischer Prozesse auch erreicht werden kann und sollte.

2.2 Zum Gegenstandsbereich der Wissenschaftsethik

Für die Entwicklung einer Didaktik des Umgangs mit Wissenschaft und Technik im allgemeinen muß geklärt werden, welches der spezifische Gegenstandsbereich der Wissenschaftsethik ist und inwiefern er unter Umständen durch die Bereiche anderer, verwandter Disziplinen ergänzt werden muß. Dabei fällt zunächst einmal auf, daß der Begriff der Wissenschaftsethik in vielfältiger Weise benutzt wird und daß er zwar stets in bezug zu Bereichsethiken wie Technikethik oder Medizinethik gesetzt, zugleich aber von ihnen abgegrenzt wird, ohne daß das proprium der Wissenschaftsethik eindeutig bestimmt wäre. In Auseinandersetzung mit verschiedenen Definitionen soll hier deshalb der Versuch einer klareren Bestimmung des Gegenstandsbereichs der Wissenschaftsethik unternommen und eine spezifische Problemkonstellation als Gegenstand der Wissenschaftsethik hervorgehoben werden.

⁵ Gleichwohl ist es plausibel zu argumentieren, daß Strukturen und Erkenntnisse der Wissenschaftsethik gewisse Methoden zumindest unterstützen und andere nicht, insofern das Verhältnis von Inhalt und Methodik nicht völlig beliebig ist.

Von den verschiedenen Bedeutungen von "Wissenschaftsethik", die z. B. Hegselmann⁶ bzw. Krüger⁷ nennen, lassen sich zunächst vier zentrale Bedeutungen von "Wissenschaftsethik" hervorheben⁸: Unter "Wissenschaftsethik" kann, erstens, das Berufsethos bzw., genauer, die Reflexion auf das Berufsethos der Wissenschaftlerin bzw. des Wissenschaftlers verstanden werden: So haben Forschende dafür Sorge zu tragen, daß ihre Forschungsergebnisse unter Einhaltung der Rahmenbedingungen für Wissenschaftlichkeit zustandegekommen sind. Die Aufgabe einer Wissenschaftsethik als Reflexion auf diese Regeln wäre der Aufweis, die Prüfung und die unter Umständen notwendige Änderung oder auch die Erweiterung solcher Regelungen z. B. um den Aspekt der wissenschaftlichen Verantwortung.⁹

Mit "Wissenschaftsethik" kann aber auch, zweitens, eine Ethik des Experiments gemeint sein und ist dann eine andere Bezeichnung für Forschungsethik. Hierunter fällt z. B. die Problematik von Tier- oder Menschenversuchen, aber auch die Frage, anhand welcher Kriterien Forschungsprioritäten gesetzt werden. Als Beispiele aus dem Bereich der "Grünen Gentechnik" wären die Fragen zu nennen, ob Freisetzungsversuche mit gentechnisch veränderten Pflanzen ethisch zu rechtfertigen sind und ob zunächst die gentechnische Veränderung von Mais (eines Nahrungsmittels) oder von Tabak (eines Genußmittels) erforscht werden sollte.

Mit "Wissenschaftsethik" wird aber auch, drittens, die Beschäftigung mit der eher wissenschaftstheoretisch orientierten Frage bezeichnet, ob und inwiefern Wissenschaft für wissenschaftsexterne Folgen ihres Tuns Verantwortung tragen muß. So wäre die Frage zu stellen, ob und inwiefern Forschende, die zur Entdeckung des Gens für das Reifungsenzym der Tomate beigetragen haben, dafür (mit-)verantwortlich sind, daß diese Entdeckung die Entwicklung einer "Anti-Matsch-Tomate" ermöglichte, die trotz mancher Bedenken auf dem Markt eingeführt wird.

Unter "Wissenschaftsethik" kann außerdem, viertens, die ethische Beurteilung der gesellschaftlichen Folgen eines Forschungszweiges wie z. B. der "Grünen Gentechnik" verstanden werden. Sie würde dann auch konkrete Fragen der Umsetzung wissenschaftlicher Erkenntnisse behandeln, wie z. B. die Frage der Kennzeichnungspflicht gentechnisch veränderter und/oder mit Hilfe von Gentechnik hergestellter Nahrungsmittel.

⁶ Hegselmann, Rainer (1991): Wissenschaftsethik und moralische Bildung. In: Lenk, Hans (Hg.) (1991): Wissenschaft und Ethik. Stuttgart: Reclam. S. 215-232.

⁷ Krüger, Lorenz (1985): Ethik der Wissenschaft – was könnte das sein? Ein Plädoyer für einige Unterscheidungen. In: Baumgartner, Hans Michael/Staudinger, Hansjürgen (Hg.) (1985): Entmoralisierung der Wissenschaften? Physik und Chemie. München u.a.: Fink/Schöningh. S.88-91.

⁸ Vgl. hierzu auch: Wimmer, Reiner: Die Rolle der Wissenschaftsethik im Ethikunterricht. In: Schallies, Michael/Wachlin, K. D. (Hrsg.): Biotechnologie und Gentechnik. Neue Technologien verstehen und beurteilen. Berlin u.a.: Springer. S. 69-76 (im Erscheinen).

⁹ Vergleiche z. B.: Nida-Rümelin, Julian (1996b): Wissenschaftsethik. In: Ders. (Hg.) (1996): Angewandte Ethik. Die Bereichsethiken und ihre theoretische Fundierung. Ein Handbuch. Stuttgart: Kröner. S.778-805.

Natürlich ließen sich der sprachlichen Klarheit zuliebe die genannten vier Aspekte unterschiedlich benennen, und es wäre eine (bloße) Frage der Definition, welcher davon mit "Wissenschaftsethik" betitelt würde. Von der Sache her aber ist zu überlegen, daß es vielleicht kein Zufall ist, daß der Begriff "Wissenschaftsethik" in dieser vielfältigen Weise benutzt wird bzw. ob er nicht auf eine fünfte, von Hegselmann und Krüger nicht als solche unterschiedene Problemkonstellation hinweist, die alle vier Aspekte umfaßt. In öffentlichen Debatten wird der Begriff "Wissenschaftsethik" nämlich häufig in einem allgemeineren Sinne benutzt, nämlich dann, wenn es um die Beurteilung einer Forschungsentwicklung als solcher geht, wobei unter "Entwicklung" hier nicht allein das Ergebnis, sondern der gesamte Prozeß von der Forschung bis hin zum Entstehen konkreter Anwendungsmöglichkeiten oder Produkte gemeint ist. Fragen des Berufsethos, der Forschungsethik, der Folgenverantwortung und der Anwendung stehen dann in einem direkten Zusammenhang: Für eine Befürwortung oder eine Ablehnung einer Forschungsentwicklung in diesem Sinne ist es nämlich sowohl von Relevanz, ob die beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ihren berufsethischen Verpflichtungen nachgehen bzw. nachgehen können, als auch von Relevanz, ob forschungsethische Fragen beantwortet oder offen sind. Und die Frage, ob Wissenschaft ihre Folgen bedenken muß oder nicht, ist genauso zu beantworten wie die Frage, welche Lebensbereiche durch die Entwicklung in welcher Form beeinflußt werden und wie die entsprechenden Veränderungen zu bewerten sind. So ist eine Beurteilung der "Grünen Gentechnik" (als Forschungsentwicklung) darauf angewiesen, daß z. B. die empirischen Ausgangsdaten bezüglich der Auskreuzungswahrscheinlichkeit gentechnisch veränderter Pflanzen wissenschaftlich sauber ermittelt wurden und daß nachteilige Effekte genauso gründlich erforscht werden wie vorteilhafte. Eine Beurteilung wird auf der Basis der Überlegung, daß ein Ziel nicht alle Mittel rechtfertigt, die forschungsethischen Fragen miteinbeziehen müssen, ob und für wen Freisetzungsversuche riskant sind oder nicht, ob wir über genügend Wissen verfügen, um Risiken seriös bestimmen zu können, und, falls Risiken benennbar sind, ob diese Risiken so hoch sind, daß sie die ganze weitere Forschung in Frage stellen oder nicht. Sie muß klären, wer die Verantwortung für den Forschungs- und Verwendungsprozeß trägt und die je individuellen wie gesellschaftlichen Folgen einer weiteren Forschung und ihrer technischen Umsetzung eruieren und bewerten. Wenn es also um die Bewertung einer gesamten Forschungsentwicklung von der wissenschaftlichen Grundlagenforschung bis hin zu konkreten Anwendungsmöglichkeiten geht, sind die genannten vier Aspekte nicht zu trennen und bilden eine zusammenfassende Problemkonstellation. Den Begriff "Wissenschaftsethik" für diese Problemkonstellation zu benutzen, hat ein starkes Argument für sich: Er stellt einen Sinnzusammenhang von Wissenschaft her, der in der Aufgliederung der vier genannten Aspekte zu verschwinden droht, nämlich den, daß die Erkenntnissuche von Wissenschaft, indem sie selbst Praxis ist, immer auch in einem allgemeineren, über die Wissenschaft hinausgehenden lebenspraktischen

Kontext steht. Erkenntnissuche allein reicht zum Überleben nicht, und deshalb wird ein Zuwachs an Erkenntnis immer auch als ein potentieller (ethisch relevanter) Zuwachs an Orientierungs- und Handlungsspielraum gedeutet und/oder auch in diesen umgesetzt werden. Umgekehrt kann beim Gebrauch einer Technik ihr Ursprung in wissenschaftlicher Erkenntnissuche nicht unterschlagen werden, insofern nämlich ihre spezifische Ausrichtung, ihre Ausnutzung und ihre Beherrschbarkeit das Wissen um ihre wissenschaftlichen Grundlagen voraussetzt. Daß Erkenntnissuche und Lebensgestaltung nicht voneinander abgekoppelt werden können – dieser Zusammenhang scheint mir in der letztgenannten, allgemeinen Redeweise von “Wissenschaftsethik” anvisiert bzw. vorausgesetzt zu sein. Da er für das Selbstverständnis der Wissenschaften eine fundamentale Rolle spielt (vgl. hierzu auch Abschnitt 3.1a), möchte ich vorschlagen, den Begriff der “Wissenschaftsethik” auf diese umfassende Problemkonstellation zu beziehen und die von Hegselmann und Krüger genannten Einzelaspekte dieser Problemkonstellation im Sinne von Binnendifferenzierungen mit eigenen Bezeichnungen zu belegen.¹⁰

Unter “Wissenschaftsethik” soll also im folgenden die ethische Reflexion auf eine Forschungsentwicklung (als Praxiszusammenhang von Forschung, Forschungsergebnis und technischer Anwendung) verstanden werden. Unter Verwendung von Otts Bestimmung von “Wissenschaft” ließe sich auch formulieren: Wissenschaftsethik ist die ethische Reflexion auf Wissenschaft als “die je geschichtlich und sozial situierte Verbindung von empirischer Forschung mit theoretischer Argumentation und technologischen Anwendungsbezügen”¹¹. Dies impliziert, daß sich die konkreten Anwendungsfälle der Wissenschaftsethik in einem ständigen Wandel befinden. Dabei wird insbesondere ein bestimmtes Stadium der Forschung auch politisch virulent, nämlich jenes, in dem sich die Forschung als lebens- bzw. gesellschaftsgestaltende abzeichnet und die Frage aufwirft, ob man sie in dieser Rolle befürworten kann oder nicht. Wissenschaftsethisch relevant sind damit alle wissenschaftsinternen und wissenschaftsexternen individuellen, sozialen und institutionellen ethischen Probleme, die unmittelbar (und nicht erst durch eine technisierte Lebenswelt vermittelt) auf den Prozeß der Weiterentwicklung von Wissenschaft zurückzuführen sind.

So gekennzeichnet wird verständlich, warum Wissenschaftsethik in gewisser Weise “quer” zu anderen Bereichsethiken wie Technik- oder Medizinethik steht. Während letztere sich von den Ergebnissen eines Forschungsprozesses bzw. von einem bestimmten (wissenschaftlich-technisch geprägten) Praxisfeld her definieren, bezieht sich Wissenschaftsethik auf den Gesamtprozeß einer Entwicklung und auf dessen Gestaltungsmacht. Sie wird sich daher den Forschungsstand der angesprochenen

¹⁰ Die Bezeichnungen “Berufsethik” und “Forschungsethik” sind schon gängig; neu zu benennen wäre der Aspekt einer wissenschaftstheoretischen Reflexion auf die Zuschreibbarkeit von Verantwortung und die Folgenreflexion.

¹¹ Ott, Konrad (1997): *Ipsa facto. Zur ethischen Begründung normativer Implikate wissenschaftlicher Praxis*. Frankfurt am Main: Suhrkamp. Hier: S. 102.

Bereichsethiken zunutze machen können und müssen, ohne daß dieser für die Behandlung der spezifisch wissenschaftsethischen Problematik ausreichen könnte (noch aber in Wissenschaftsethik aufginge). Darüber hinaus muß sie eigene Argumentationsformen entwickeln, wie es z. B. seitens des VDI mit der Unterscheidung von technikinduzierter und probleminduzierter Bewertung, die nur unter Einbezug des lebenspraktischen Horizonts von Wissenschaft Sinn ergibt, geleistet wurde.¹²

2.3 Zur inneren Struktur der Wissenschaftsethik

Als Teil der sogenannten “Angewandten Ethik” ist Wissenschaftsethik an die Fundamentelethik zurückgebunden – und damit z. B. auch an deren Debatte bezüglich der Begründbarkeit von ethischen Normen. Alle Diskussionen, wenn nicht Streitigkeiten der Fundamentelethik wirken unmittelbar in die Wissenschaftsethik hinein, so daß die häufig gestellte Frage, “was denn *die* Wissenschaftsethik dazu sage” nur mit einer Übersicht über die verschiedenen Ansätze und Argumentationslinien, nicht aber mit einem seitens des oder der Fragenden oft erhofften inhaltlichen Konsenses, d. h. einer eindeutigen normativen Vorgabe beantwortet werden kann. Abgesehen davon, daß es auch diskussionswürdig ist, ob bzw. inwiefern Schule konkrete normative Vorgaben geben darf, ist mit Blickrichtung auf die Entwicklung einer Didaktik festzuhalten, daß von einem wissenschaftsethischen Forschungsstand nicht Konsense hinsichtlich normativer Vorgaben erwartet werden dürfen, sondern bestenfalls Konsense hinsichtlich der Voraussetzungen, Strukturen und Argumentationslinien einer ergebnisoffenen Debatte – nicht mehr, aber auch nicht weniger.¹³

2.4 Zusammenfassende Bestimmung des Anwendungsbereichs

Die Beantwortung der Frage, welche Urteils- und Handlungskompetenzen aus Sicht der Wissenschaftsethik besonders relevant sind, ist also mit drei Rahmenbedingungen bzw. Problemen konfrontiert: Erstens ist herauszustellen, daß die Beantwortung nur ein Beitrag zu einer umfassenden didaktischen Zielformulierung sein kann (und nicht schon diese selbst) und darüber hinaus keine unmittelbare Anleitung zu ihrer Umsetzung darstellt. Zweitens ist die Beantwortung auf eine bestimmte Klasse von Problemen beschränkt, wobei sie aber zugleich, soll sie auch zukünftig von Relevanz sein, unabhängig von konkreten Problemstellungen sein muß, da sich diese im Rahmen der Wissenschaftsethik ständig wandeln. Außerdem muß sie, drittens, der

¹² Verein Deutscher Ingenieure (Hg.) (1991): Technikbewertung – Begriffe und Grundlagen. Erläuterungen und Hinweise zur VDI-Richtlinie 3780. Zu beziehen über: VDI-Hauptgruppe. Postfach 101139, Graf-Recke-Straße 84; 40239 Düsseldorf. Tel. 0211/6214-0. Siehe auch Anm. 22.

¹³ Insofern es sich bei der Ethik um eine philosophische, radikalem Zweifel verpflichtete Disziplin handelt, ist die Offenheit der ethischen Debatte kein Manko, sondern von struktureller Art und unerlässlich.

inneren Pluralität der Wissenschaftsethik gerecht werden. Es muß also eine Grundstruktur für die Behandlung wissenschaftsethischer Themen in der Schule gefunden werden, die diesseits der binnenphilosophischen Dissense liegt und von spezifischen inhaltlichen Problemen unabhängig ist.

Dieser komplexen Anforderung soll die Formulierung von drei Leitideen gerecht werden, die auf drei fundamentalen Prämissen der wissenschaftsethischen Debatte bezüglich Wissenschaft, Ethik und Interdisziplinarität beruhen. Das heißt: Als "Leitideen" stellen sie, erstens, einzelne Beiträge für eine Zielformulierung, aber weder eine umfassende didaktische Zielvorgabe noch methodisch-didaktische Anleitungen dar. Die Leitideen formulieren seitens der Wissenschaftsethik wünschenswerte Ziele der schulischen Bildung, geben aber nicht vor, wie sie an die konkrete Unterrichtssituation angepaßt werden können und welche Auswahl an Methoden zu ihrer Umsetzung geeignet sind. Die Leitideen machen aber, zweitens, allgemeine Strukturen wissenschaftsethischer Debatten explizit, die unabhängig von bestimmten Problemstellungen sind und quasi eine Art von "Minimalkomplexität" einer jeden wissenschaftsethischen Problematik darstellen. Genau genommen kennzeichnen sie deshalb auch noch keine spezifischen Urteils- oder Handlungskompetenzen, sondern eine Problemstruktur, zu deren Bewältigung dann spezifische Urteils- und Handlungskompetenzen vonnöten sind. Sie stellen kein Urteilsbildungsmodell dar, sondern ein Problemstrukturierungsmodell, von dem ein Urteilsbildungsmodell in einem ersten Schritt der Situationsanalyse ausgehen sollte.¹⁴ Dieses Problemstrukturierungsmodell ist zunächst einmal, wie gesagt, nicht auf den gesamten Bereich der sog. "Angewandten Ethik" und auch nicht auf alle Themen des Umgangs mit Wissenschaft und Technik anwendbar, sondern nur auf die wissenschaftsethische Problemkonstellation im oben dargestellten Sinne. Für die Entwicklung einer Didaktik bzw. für die Unterrichtsgestaltung im Bereich "Wissenschaft und Technik" in einem allgemeinen Sinne wären also genaugenommen noch weitere ethische Disziplinen wie z. B. Technik-, Medizin- oder Bioethik als Bezugswissenschaften heranzuziehen. Die Leitideen beruhen, drittens, auf fundamentalen, den Dissensen vorausliegenden Voraussetzungen der Wissenschaftsethik bezüglich Wissenschaft, Ethik und Interdisziplinarität, so daß dasjenige, was für die Wissenschaftsethik konsensfähige Voraussetzung ist, als aussagekräftiger Beitrag für die didaktische Zielvorgabe dient.¹⁵

¹⁴ Es stellt einen eigenen, zukünftigen Arbeitsschritt dar, die Leitideen mit verschiedenen Urteilsbildungsmodellen über den Schritt der Situationsbeschreibung zu vermitteln.

¹⁵ Was denjenigen die Grundlage entzieht, die aus der Offenheit philosophischer Diskurse deren praktische Irrelevanz folgern.

3 Die Leitideen

Die ganz einfache Ausgangsüberlegung ist die, daß die Behandlung wissenschaftsethischer Themen auf einer bewußten Reflexion auf “Wissenschaft” (3.1), “Ethik” (3.2) und (ihre) “Interdisziplinarität” (3.3) aufbauen sollte. Die daraus resultierenden drei Leitideen werden jeweils in ihren Implikationen allgemein erläutert und am Beispiel der Thematik “Gentechnik bei Pflanzen” näher konkretisiert (a). Anschließend wird ein Beispiel einer methodisch-didaktischen Umsetzung im Rahmen des SET-Modellversuchs angeführt, das ausschließlich der weiteren Veranschaulichung der jeweiligen Leitidee dient und, wie unter 2. dargestellt, keineswegs als eine direkte Vorgabe verstanden werden darf (b).¹⁶ Auch an dieser Stelle ist noch einmal zu betonen, daß zugunsten einer Skizze des Gesamtentwurfs viele Einzelaspekte nicht ausgeführt werden können.

Die Leitideen sollen als “Faustregeln” für die inhaltliche Konzeption von Unterricht brauchbar sein. Die konkrete Überlegung des oder der Lehrenden bei der Unterrichtsplanung könnte hier sein:

“Wenn ich ein wissenschaftsethisches Thema behandeln und dabei eine für die Urteilsbildung angemessene Komplexität erreichen will, muß ich bei der Unterrichtsplanung mindestens die drei Dimensionen ,Wissenschaft‘, ,Ethik‘ und ,Interdisziplinarität‘ mit ihren Teilaspekten berücksichtigen.”

Die Leitideen sollen dergestalt als “Checkliste” gebraucht werden können, um ein Unterrichtskonzept auf inhaltlich “blinde Flecken” hin zu überprüfen oder um es aus didaktischen Gründen bewußt und gezielt selektiv zu gestalten.

3.1 Erste Leitidee: Schule soll das Verständnis eines nicht-reduzierten Wissenschaftsbegriffs fördern.

a) Die in Abschnitt 2. vorgeschlagene Gegenstandsbestimmung von Wissenschaftsethik hat den praktischen Sinnzusammenhang des Forschungsprozesses, seiner Resultate sowie seiner technischen Anwendungen betont bzw. vorausgesetzt. Wissenschaft wurde dabei als Praxis betrachtet und damit als legitimer Gegenstand ethischer Reflexion behandelt. Dies ist keineswegs selbstverständlich, sondern die Konsequenz aus einer wissenschaftstheoretischen Auseinandersetzung, die Kurt Bayertz als Auseinandersetzung mit dem von ihm so genannten “Neutralitätsargument”¹⁷ rekonstruiert: Das Neutralitätsargument möchte zeigen, daß Wissenschaft moralisch neutral ist und nur bzw. erst ihre Anwendung einer moralischen Bewertung

¹⁶ Zu den didaktischen Grundlagen des Modellversuchs siehe Anm. 3.

¹⁷ Bayertz, Kurt (1991): Wissenschaft, Technik und Verantwortung. In: Ders. (Hg.) (1991): Praktische Philosophie. Grundorientierungen angewandter Ethik. Reinbek: Rowohlt. S. 173-209. Hier: S. 174.

unterliegen kann. Zugunsten dieser These argumentiert es, daß Wissenschaft kein Handeln sei, sondern eine Erkenntnissuche, deren Ergebnisse wahr oder falsch, nicht aber gut oder böse sein können. Dieses Argument kann nach Bayertz entschärft bzw. in seiner Wirksamkeit eingegrenzt werden, wenn expliziert wird, daß unter “Wissenschaft” hier allein ein deskriptives Aussagensystem (d. h. die Resultate eines Forschungsprozesses) verstanden wird, nicht aber der Forschungsprozeß selbst. Demgegenüber arbeitet Bayertz den Charakter der Wissenschaft als Forschungsprozeß (und damit als Handlung), als Produktivkraft und als Rationalitätstypus heraus. Andere Autoren und Autorinnen heben andere Aspekte hervor, deren Ver- bzw. Abgleich ein umfängliches wissenschaftstheoretisches Unterfangen wäre und hier nicht möglich, aber vielleicht auch nicht notwendig ist. Allen Ansätzen gemeinsam ist nämlich, daß sie unter “Wissenschaft” zwar auch das deskriptive Aussagensystem fassen, aber dergestalt darüber hinausgehen, daß sie “Wissenschaft” im Sinne von “Wissenschaft betreiben” auch als eine Form des Handelns begreifen, das als solches selbstverständlich Gegenstand ethischer Reflexion sein kann bzw. dann sogar sein muß. Für eine Didaktik wissenschaftsethischer Fragen ist somit, vor einem Vergleich der verschiedenen Ansätze, quasi negativ festzuhalten, daß aus Sicht der Wissenschaftsethik der Begriff der Wissenschaft nicht auf den Aspekt “Aussagensystem” reduziert werden darf, sondern auch Handlungsaspekte umfassen sollte.

Um den Handlungscharakter von Wissenschaft hervorzuheben, kann z. B. der Prozeß der (individuellen) Forschung mit seinen wissenschaftlichen, psychischen, materiellen und historischen Rahmenbedingungen selbst fokussiert oder die Organisation dieser Handlungsform in Institutionen in den Mittelpunkt gestellt werden.¹⁸ Für den Bereich der “Grünen Gentechnik” bzw. das konkrete Beispiel der FlavrSavr-Tomate wären also natürlich die empirischen Grundlagen der gentechnischen Veränderung der Tomate anzuführen. Darüber hinaus aber könnte der Bereich “Wissenschaft als Forschungsprozeß” deutlich werden, indem man z. B. die Frage aufwirft, wie, von wem und unter welchen (Arbeits-)Bedingungen eigentlich das Gen, das für die Reifungsenzyme zuständig ist, identifiziert wurde. Die Beantwortung dieser Frage würde das Zustandekommen der Forschungsentscheidung, den Forschungsverlauf und die Forschungsstrategie, aber auch die individuelle Situation der am Forschungsprozeß Beteiligten umfassen. Dieses Stück Wissenschaftsgeschichte würde überleiten zur Verdeutlichung des Aspekts “Wissenschaft als Institution”, insofern er die institutionellen Rahmenbedingungen des Forschungsprozesses und der Anwendung seiner Ergebnisse anvisiert. Hier könnten dann rechtliche Fragen wie die nach der Kennzeichnungspflicht und ökonomische Zusammenhänge wie die zwischen Forschung, Pestizidherstellung und Saatgutverkauf zur Sprache kommen, womit

¹⁸ Die Auswahl dieser Aspekte orientiert sich an den Ausführungen von: Düwell, Marcus (1998): Ethik in den Wissenschaften als interdisziplinäres Forschungsunternehmen. Unveröff. Vortrag im Rahmen der LehrerInnenfortbildungsreihe “Ethische Probleme der Biotechnologie und der Gentechnik” des SET-Modellversuchs, 15.1.1998.

zugleich eine Debatte über die wissenschaftsexternen Folgen dieser Entwicklung eingeleitet würde.

Angesichts der Machtlosigkeit, die viele Schüler und Schülerinnen gegenüber “der Wissenschaft” empfinden (“Die machen doch eh’, was sie wollen!”) erscheint es von besonderer Bedeutung, den Handlungsaspekt von “Wissenschaft” herauszuarbeiten, um entsprechend den Handlungspielraum zur Mitgestaltung wissenschaftlicher Prozesse sichtbar werden zu lassen. Wer Wissenschaft als etwas Unveränderbares empfindet, wird kaum zu einer ethischen Reflexion zu motivieren sein – zu Recht, ist doch allein das Veränderbare ein sinnvoller Gegenstand der Ethik.

b) Die Mehrdimensionalität von Wissenschaft muß im Rahmen der schulischen Bildung nicht unbedingt Gegenstand einer expliziten wissenschaftstheoretischen Reflexion sein, die dann hauptsächlich auf die Oberstufe beschränkt wäre. In bezug auf den allgemeinbildenden Auftrag aller Schulformen ist zu betonen, daß sie auch als konkrete Erfahrung und auf diese Weise auch jüngeren Altersstufen bzw. auch im Rahmen anderer Schularten vermittelt werden kann: Im Rahmen des Modellversuchs wurde zwischen zwei achten Klassen einer Realschule eine Arbeitsgemeinschaft gegründet, die zum Ziel hatte, den Besuch bei einer im Bereich der Gentechnik tätigen Firma zu planen. Die Schüler und Schülerinnen selbst kamen auf die Idee, die Firma nicht quasi touristisch zu besichtigen, sondern sie sich für ein offenes Experiment zunutze zu machen, dessen Ausgang auch für die Lehrenden nicht 100 %ig sicher war. Die Firma hatte nämlich einen Kit zum Test der Aktivität des Immunsystems entwickelt, und da die Schüler und Schülerinnen im Fach “Biologie” das Thema “Immunsystem” behandelt hatten, kamen sie auf die Idee zu testen, ob verschiedene Ernährungsweisen einen Einfluß auf das Immunsystem haben (im Fach “Mensch und Umwelt” wurde daraufhin begleitend das Thema “Ernährung” behandelt). In mehreren Unterrichtsstunden wurde von den Schülern und Schülerinnen im Zusammenarbeit mit dem SET-Team und den beiden beteiligten Fachlehrerinnen folgender “Versuchsaufbau” geplant: Sie teilten sich in drei Gruppen ein, die sich für die Dauer von zwei Wochen jeweils unterschiedlich ernährten: Eine Gruppe ernährte sich “gesund” (ernährungsphysiologisch ausgewogen), eine weitere wie bisher unter zusätzlicher Einnahme eines Immunstimulans und eine dritte “ungesund” (Süßigkeiten, Fertiggerichte, kein Obst und Gemüse). Vor und nach der “Diät” wurde Blut abgenommen und bei der Firma auf die Aktivität der Immunabwehr hin getestet. Vom Einholen des Einverständnisses der Eltern über die Suche nach einer ärztlichen Praxis zur Blutabnahme bis hin zur Erarbeitung von Ernährungsplänen und zur Reflexion darüber, welche Bedingungen gegeben sein müssen, damit das Experiment wirklich aussagefähig wird, wurden mit Hilfe der Fachlehrerinnen alle Schritte von den sehr engagierten Schülern und Schülerinnen selbst übernommen. Darüber hinaus wurden sie seitens der Fachlehrerinnen angehalten, Arbeitshypothesen über den Ausgang des Experiments zu bilden und ihre Ernährung zu protokollieren, um die

Ergebnisse später erklären zu können. Eine Unterrichtsstunde wurde der Diskussion darüber gewidmet, welche Folgen das Experiment haben könnte und daß die Teilnahme an dem Experiment absolut freiwillig war; so sollte auch ein Abbruch des Experiments keinem sozialen Druck unterliegen. Die Übergabe der Blutproben an die Firma wurde dann jeweils zu einem fast ganztägigen Besuch bei ihr genutzt, bei dem die Schüler und Schülerinnen sehen konnten und erklärt bekamen, wie ihre Proben weiterverarbeitet wurden, sowie mit erklärender Anleitung der Firmenmitarbeiter bzw. -mitarbeiterinnen verschiedene, für die Gentechnik zentrale Labortechniken durchführen durften.¹⁹

Natürlich erfüllte dieses Experiment wissenschaftliche Kriterien nicht in einem strengen Sinn: Die Gruppe der Probanden bzw. Probandinnen war sehr klein (8 Schüler bzw. Schülerinnen) und daher keineswegs repräsentativ, und der Zeitraum der Diät war zu kurz, um die Variable "Ernährung" wirklich isoliert zu testen. Aber es wurden doch sehr viele Aspekte von "Wissenschaft" konkret erfahrbar: Die Schüler und Schülerinnen lernten Grundlagen des Forschungsprozesses kennen, zu denen nicht nur empirische Voraussetzungen (Kenntnisstand, aus dem eine Fragestellung erwächst), wissenschaftliches Denken (Konstruktion eines Experiments, Aufstellen von Hypothesen) und forschungsethische Gesichtspunkte ("informed consent" der Probanden und Probandinnen), sondern auch handwerkliches Können (Protokollieren) und psychische Fähigkeiten (Disziplin und Kondition) gehörten. Im Kontakt mit den Verantwortlichen und Mitarbeitern bzw. Mitarbeiterinnen sowie der Firma insgesamt lernten sie u. a. einerseits, daß Wissenschaft von konkret faßbaren Personen betrieben wird und andererseits auch in Form von Institutionen organisiert ist – die, wie im Falle von Wirtschaftsunternehmen wie diesem, ein ökonomisches Interesse haben können.

3.2 Zweite Leitidee: Schule soll eine bewußte Anwendung ethischer Reflexion fördern.

a) In Analogie zu einem bewußten Verständnis von Wissenschaft und ihren Kompetenzen gehört zu einer wissenschaftsethischen Debatte ein bewußtes Verstehen von "Ethik" und ihren Kompetenzen. Mit anderen Worten: Es muß geklärt sein und unterschieden werden können, welcher Art ethische Probleme im Vergleich zu empirischen Problemen sind und wie sie jeweils gelöst werden können.

Die Wissenschaftsethik geht der Sache nach durchgängig von der in der "Allgemeinen Ethik" üblichen Unterscheidung von "Moral" und "Ethik" aus. Mit "Moral"

¹⁹ Das Ergebnis des Experiments war, daß die Schüler und Schülerinnen, die ein Immunstimulans genommen hatten, eine mäßige Steigerung der Immunabwehr aufwiesen, während eine Schülerin, die sich gezielt gesund ernährt hatte, noch eine wesentlich stärkere Steigerung aufwies. Rätselhaft war der Spitzenwert der Steigerung der Immunabwehr bei einem Schüler, der sich ungesund ernährt hatte, was Anlaß zu vielen Spekulationen gab.

werden dabei die tatsächlich vorhandenen, handlungsleitenden Normen und Werte bezeichnet, mit "Ethik" der Versuch, diese Normen und Werte bewußt zu formulieren, zu prüfen und argumentativ zu begründen. Mit diesem Reflexionsschritt wird zugleich von der moralischen Ausgangssituation abstrahiert und nach allgemeinen Kriterien zur Beurteilung von Handlungen oder zur Gestaltung von Lebensformen gesucht. Die Pointe dieser Unterscheidung ist, daß unter "Ethik" nicht schon eine bestimmte Position oder Wertung zu verstehen ist, sondern eine Reflexion auf die Legitimität von Handlungen oder auf die Angemessenheit von Lebensformen, die prinzipiell ergebnisoffen ist. Es ist ein weit verbreitetes Mißverständnis zu meinen, "Ethik" müsse von vorneherein immer ablehnend "gegen" etwas sein. Wenn Ethiker und Ethikerinnen auch häufig diese Rolle einnehmen oder in diese Rolle geraten, so ist doch festzuhalten, daß ethische Reflexion ebensogut auch zu einer nunmehr begründeten und differenzierten Toleranz oder sogar zu einem Gebot der Förderung einer Entwicklung führen kann.

Der Unterschied zwischen empirischen und ethischen Fragen läßt sich anhand zweier Fragen aus dem Bereich der "Grünen Gentechnik" verdeutlichen, die in der öffentlichen Debatte häufig unselig verquickt werden: Die Frage, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, daß eine gentechnisch veränderte Pflanze auskreuzt, ist eine empirische Frage und kann nur auf der Basis molekularbiologischer und ökologischer Kenntnisse und Verfahren beantwortet werden. Unabhängig von ihrer Beantwortung ist die Frage zu klären, welches bzw. ein wie hohes ökologisches Risiko beim Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen sich selbst und anderen zumutbar ist. Ihre Beantwortung setzt Kriterien für die Zumutbarkeit voraus, die in einer ethischen Debatte über die (auf Normen und Werte basierenden) Ziele des Handelns zu formulieren und zu begründen sind. Das heißt: Daß ich weiß, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, reicht noch nicht für die Beantwortung der Frage aus, ob ich diese Wahrscheinlichkeit tolerieren will oder nicht bzw. ob ich sie anderen zumuten darf oder nicht. Und umgekehrt: Dem, der nach der Zumutbarkeit fragt, ist nicht mit der bloßen Nennung der Prozentzahl für eine Wahrscheinlichkeit geholfen, es sei denn, diese beträgt "Null" (eine Antwort, für die die Wissenschaft aber selten garantieren kann).

Wenn oben angeführt wurde, daß in der ethischen Reflexion von der moralischen Ausgangssituation abstrahiert und nach allgemeinen Kriterien zur Beurteilung von Handlungen oder zur Gestaltung von Lebensformen gesucht wird, so ist für die Wissenschaftsethik festzuhalten, daß sie als Teil der sogenannten "Angewandten Ethik" zwar auf fundamentalethische Fragen rekurrieren muß, zugleich aber den Bezug auf eine reale oder realistische Problematik aufrechterhält. Sie begibt sich damit in ein Spannungsfeld zwischen Fundamenteethik und der Lösung eines einzelnen konkreten Problems, dessen Bewältigung besondere und keineswegs gelöste Methodenprobleme der "Anwendung" allgemeiner Prinzipien auf einzelne Frage-

stellungen aufwirft.²⁰ Als Ziel der Didaktik wissenschaftsethischer Themen kann hier nur gelten, dieses Spannungsfeld zu eröffnen (nicht, die Methodenprobleme zu lösen) und tatsächlich einmal reale oder realistische Fragestellungen wie die, ob und warum ich eine FlavrSavr-Tomate (kaufen und) essen würde oder nicht, zu behandeln. Der Versuch, diese Frage begründet zu beantworten, wird letztlich auf allgemeine Werte wie Gesundheit oder (ökonomische) Sicherheit zurückführen, deren begründete Abwägung dann als eine eigene fundamentalethische Problematik in den Blick kommt.

Aus den fundamentalethischen Grundlagen, an die Wissenschaftsethik zurückgebunden ist, erwächst eine weitere Unterscheidung, nämlich die von strebensethischen und sollensethischen Fragen, die jeweils noch einmal im Hinblick auf individual-ethische oder sozialetische Gesichtspunkte unterschieden werden können.²¹ Strebensethische Fragen gehen, in Anlehnung an die aristotelische Tradition, von der Frage aus, wie ein Leben gestaltet werden muß, damit es gelingen bzw. glücken kann. Die Frage nach dem Genuß einer FlavrSavr-Tomate erscheint dann als ein individuelles oder auch soziales Problem der Lebensführung, und es wäre zu fragen, welche Gewichtungen von gesundheitlichen, ökologischen, finanziellen und anderen Aspekten dem Ziel eines gelingenden Lebens angemessen und insofern für ein Individuum oder eine Gruppe "lebbare" sind. Sollensethische Fragen gehen, in der Tradition Kants, von der Idee eines unbedingten Sollens aus, in deren Licht die Frage nach dem Kauf oder Genuß einer FlavrSavr-Tomate keine quasi private Entscheidung über eine Lebensform ist, sondern eine Frage des Erlaubt-, Verboten- oder Geboten-Seins darstellt und einer Abwägung der Rechte und Pflichten der von dieser Entscheidung Betroffenen bedarf. Aus diesem Blickwinkel läßt sich z. B. die Frage der Kennzeichnung gentechnisch veränderter Lebensmittel als eine Frage des Konflikts zwischen Rechten und Pflichten der Verbrauchenden, der Industrie und dem Staat als Gesetzgeber rekonstruieren und diskutieren.

Übernimmt auch die Wissenschaftsethik die Strukturierung ihrer Probleme von den Grundlagen der allgemeinen Ethik, so ist doch außerdem die spezifisch wissenschaftsethische Unterscheidung zwischen technik- und probleminduzierter Bewertung hervorzuheben, die der VDI in einer Richtlinie eingeführt hat und die am Beispiel der FlavrSavr-Tomate von Bender, Platzer und Sinemus ausformuliert und weiterge-

²⁰ Siehe dazu: Nida-Rümelin, Julian (1996a): Theoretische und angewandte Ethik: Paradigmen, Begründungen, Bereiche. In: Ders. (Hg.) (1996): Angewandte Ethik. Die Bereichsethiken und ihre theoretische Fundierung. Ein Handbuch. Stuttgart: Kröner. S. 2-85. Steigleder, Klaus (1989): Probleme angewandter Ethik. In: Concilium, Heft 3, Juni 1989, 25. Jg. S. 242-247.

²¹ Diese Kombination der beiden fundamentalen Unterscheidungen von Strebensethik/Sollensethik und Individualethik/Sozialethik als Grundlage einer Problemstrukturierung wurde eingeführt von: Haker, Hille (1998): Genomanalyse und Gentherapie. Unveröff. Vortrag im Rahmen der LehrerInnenfortbildungsreihe "Ethische Probleme der Biotechnologie und der Gentechnik" des SET-Modellversuchs, 11.2.1998.

führt wurde.²² Die Unterscheidung kann anhand der folgenden zwei Fragen exemplifiziert werden: Welche Chancen und Risiken hat die gentechnische Veränderung von Tomaten? Diese technikinduzierte Frage setzt beim Vorhandensein der Technik als Faktum an und wägt dann zwischen ihren als solche eingestuften Vorteilen (z. B. längere Lagerfähigkeit) und Nachteilen (z. B. Risiko einer Antibiotikaresistenzverbreitung) ab. Das Abwägen von Vor- und Nachteilen setzt aber voraus, daß Vor- und Nachteile als solche erkannt werden bzw. erkennbar sind, das heißt, es setzt Ziele voraus, im Hinblick auf deren Erreichung etwas als Vorteil oder als Nachteil erscheint. Eine längere Lagerfähigkeit ist ein Vorteil in bezug auf das Ziel, Verbrauchern und Verbraucherinnen jederzeit schnittfeste Tomaten bieten zu wollen; das Risiko einer Antibiotikaresistenzverbreitung ist ein Nachteil im Hinblick auf das medizinisch relevante Ziel, wirksame Antibiotika zur Verfügung zu haben. Die probleminduzierte Technikbewertung fragt nun, zur Lösung welcher und wessen Probleme diese Ziele beitragen und welchen ethischen Stellenwert diese Probleme und damit die für die Problemlösung zu erreichenden Ziele haben. Damit können nun auch Alternativen, die der Lösung desselben Problems bzw. der Erreichung desselben Ziels dienen könnten, in den Blick kommen, und es werden weitere Fragen deutlich: Könnte das Problem unter Umständen verhindert werden und damit die Technik überflüssig werden lassen (z. B. durch die Änderung des Verhaltens der Verbrauchenden zugunsten saisongebundener und regionaler Erzeugnisse)? Um wessen Problem handelt es sich (der Verbrauchenden? der Industrie?)? Wer ist von der Lösung des Problems betroffen (allein diejenigen, die das Problem haben?)? Wie sind die Interessen derjenigen, die ihr Problem lösen wollen, und derjenigen, die von der Problemlösung betroffen sind, abzuwägen? Insofern eine probleminduzierte Herangehensweise häufig vernachlässigt wird, ist sie hier als Alternative zu der verbreiteten (und auch in den Lehrplänen dominanten) technikinduzierten Herangehensweise hervorzuheben. Letztlich aber stellen beide Vorgehensweisen gegenseitige Ergänzungen dar bzw. sind unter verschiedenen Voraussetzungen sinnvoll.

b) Das schulische Ziel, ethische Fragestellungen als eigenständige herauszuheben und zu behandeln, ist nun häufig der Schwierigkeit ausgesetzt, daß sie von empirischen Fragestellungen verdrängt werden. Allzuoft ist folgender Diskussionsablauf zu beobachten: Der Ausgangspunkt einer Diskussion ist tatsächlich eine ethische Fragestellung wie z. B. die, ob die Herstellung und Verwendung gentechnisch veränderter Pflanzen erlaubt sein sollte oder nicht. Schnell wird klar, daß man hierzu wissen muß, inwiefern und wozu die freizusetzenden Pflanzen verändert wurden und

²² Dazu: Verein Deutscher Ingenieure (Hg.) (1991): Technikbewertung – Begriffe und Grundlagen. Erläuterungen und Hinweise zur VDI-Richtlinie 3780. Zu beziehen über: VDI-Hauptgruppe. Postfach 101139, Graf-Recke-Straße 84; 40239 Düsseldorf. Tel. 0211/6214-0. Die Unterscheidung wurde am Beispiel der Flavr Savr-Tomate expliziert durch: Bender, Wolfgang/Platzer, Katrin/Sinemus, Kristina (1995): Zur Urteilsbildung im Bereich Gentechnik. Die Flavr Savr-Tomate. In: *Ethica* 3/1995. S. 293-303.

welche Hypothesen darüber bestehen, welche Auswirkungen sie auf das sie umgebende Ökosystem bzw., bei ihrem Verzehr, auf die menschliche Gesundheit haben. Anstatt aber nun die Beantwortung dieser Fragen auf einem allgemeinen Niveau zu belassen, werden weitreichende Kenntnisse aus der Gentechnik, der Ökologie und der menschlichen Physiologie erarbeitet, wobei diese dann aber wiederum noch speziellere Grundlagen der Molekularbiologie voraussetzen.... Und, siehe da, schon ist die zur Verfügung stehende Zeit mit der Aneignung des empirischen Wissens verfliegen, ohne mit der ethischen Debatte im engeren Sinne, z. B. mit einer Kriterienfindung für das Eingehen von Risiken oder mit der Begründung der Abwägung zwischen Interessen, einen Schritt weiter gekommen zu sein. Im Rahmen des Modellversuchs wurde daher mehrmals nicht der reale Forschungsstand, sondern ein Science Fiction Szenario als Ausgangspunkt der ethischen Debatte gewählt. Da in einem solchen Szenario empirische Fragen durch ein "In der Zukunft ist alles möglich" beantwortet werden können, spitzte sich die Diskussion schneller und sehr präzise auf die Frage zu, was aus dem Bereich des Möglichen denn das Gewünschte und Erlaubte sei und wie die Auswahl begründet werden könnte. Dieses Vorgehen hatte jedes Mal den Effekt, daß die Eigenständigkeit dieser Debatte deutlich wurde und die empirischen Fragen ihre unberechtigte Dominanz verloren. Dabei war aber darauf zu achten, daß anschließend auch wieder die realen Möglichkeiten der Einwirkung auf den tatsächlichen Forschungsverlauf und damit die Möglichkeiten zur Beeinflussung der eigenen Zukunft in den Blick geraten konnten, um die ethische Debatte nicht zu einem bloßen Planspiel werden zu lassen.

Natürlich gibt es auch, wenngleich wesentlich seltener "praktiziert", den umgekehrten Verdrängungsmechanismus: Von den ethischen Fragen der konkreten Ausgangsproblematik wird so lange auf allgemeinethische Fragestellungen rekurriert, bis in gleicher Weise die Zeit für die Behandlung des konkreten Falls verstrichen ist und empirische Fragen nicht mehr zum Zuge kommen können. Beide Richtungen der Verdrängung sind insofern berechtigt, als sie dadurch motiviert sind, die Schüler und Schülerinnen möglichst weitgehend zu befähigen, die Voraussetzungen empirischer Forschungsergebnisse und ethischer Urteile selbständig zu verstehen. Daß im schulischen Rahmen, aber auch in der öffentlichen Debatte, in beiden Dimensionen nicht zu einer fachwissenschaftlichen Tiefe gelangt werden kann, wirft ein grundsätzliches Problem einer individuellen und politischen Urteilsbildung unter Einbezug von (letztlich auch wieder falliblem) ExpertInnenwissen auf.²³ Nicht legitim erscheint es aber jedenfalls, ständig den einen Verdrängungsmechanismus über den anderen triumphieren zu lassen und ausschließlich entweder die ethische oder die naturwis-

²³ Die entsprechende metaethische Fragestellung lautet, ob und wie so etwas wie wohlbegründete Entscheidungen ausgewiesen werden können, die zwar nicht letztbegründet, aber auch nicht beliebig sind.

senschaftliche Perspektive zu kurz kommen zu lassen und damit zugleich zu insinuieren, die jeweils andere Perspektive wäre untergeordnet.

Das Lernziel, mit realen oder realistischen Problemen umgehen zu können, wurde im Rahmen des Modellversuchs meistens so angesteuert, daß den Schülern und Schülerinnen die Wahl des Themenbereichs überlassen wurde, daß also Probleme diskutiert wurden, die die Schüler und Schülerinnen auch tatsächlich als solche empfanden und die in diesem Sinne nicht nur real, sondern auch authentisch waren. Diese Vorgehensweise implizierte, daß eine Problematik nicht nur kognitiv verstanden, sondern auch emotional als solche erfahren wurde und damit eine umfassendere Herausforderung darstellte. Hierbei ist darauf zu achten, daß aus der Herausforderung keine Überforderung wird und die Lernchancen, die in einem Schonraum möglich wären, durch eine übermächtige Konfrontation mit einer Problematik verschlossen werden. Die Gefahr einer solchen Überforderung bestand im Rahmen des Modellversuchs immer dann, wenn die Schüler und Schülerinnen noch sehr wenig Erfahrung mit der schulischen Thematisierung authentischer Probleme hatten und dann zusätzlich noch mit neuen Arbeitsformen konfrontiert wurden. Andererseits war bei der Behandlung authentischer Probleme das Engagement der Schüler und Schülerinnen und ihre Bereitschaft, auch arbeitsmethodische Schwierigkeiten zu überwinden, nach Bekunden ihrer Lehrer und Lehrerinnen außergewöhnlich stark und ausdauernd.

Als Beispiel für die konkrete Diskussion strebensethischer und sollensethischer Aspekte kann die Frage genannt werden, die den Ausgangspunkt einer schulinternen Fortbildung für Lehrer und Lehrerinnen zum Thema "Gentechnik und Nahrung" bildete: "Wollen wir in unserer Schulmensa gentechnisch hergestellte bzw. veränderte Lebensmittel zulassen?" Diese Frage, die in bezug allein auf die Lehrer und Lehrerinnen einen eher strebensethischen Charakter hatte, gewann sofort normative Dimensionen, insofern die Lehrer und Lehrerinnen für ihre Schutzbefohlenen, die Schüler und Schülerinnen, advokatorisch mitentschieden.

Den Unterschied von technik- und problemorientierter Bewertung machte sich eine Lehrerin zunutze, die mit ihrer 7. Klasse (Realschulzweig einer Gesamtschule) an einem von der Bundeszentrale für Politische Bildung ausgeschriebenen Schülerwettbewerb zum Thema "Bio- und Gentechnik in Lebensmitteln" teilnehmen wollte. Anstatt die vorgegebene, technikinduzierte Fragestellung, welche Vor- und Nachteile gentechnisch veränderte Nahrung habe, zu benutzen, stellte sie die Frage, was die Schüler und Schülerinnen am liebsten essen würden und welche Rolle in bezug auf dieses "Problem" bzw. diesen Verwendungszusammenhang gentechnisch veränderte Lebensmittel hätten.

3.3 Dritte Leitidee: Schule soll Interdisziplinarität fördern.

a) Die Reflexion auf Wissenschaft und auf Ethik hat gezeigt, daß Wissenschaftsethik immer ein interdisziplinäres Unternehmen ist, das Geistes-, Sozial- und Naturwissenschaften sowie Normativität und Empirie miteinander verbindet. Hinzu kommt, daß in den meisten Fällen nicht nur eine einzige naturwissenschaftliche Disziplin relevant ist, sondern daß verschiedene und zum Teil recht unterschiedliche Disziplinen beteiligt sind. So sind für den Bereich der "Grünen Gentechnik" sowohl die Molekularbiologie (Grundlagen und Verfahren der Gentechnik) als auch die Ökologie (Wirkung gentechnisch veränderter Pflanzen auf ein Ökosystem) bzw. die Physiologie des Menschen (Wirkung des Verzehrs gentechnisch veränderter Pflanzen auf die Gesundheit) einschlägig, und alle drei treten dann in ein interdisziplinäres Verhältnis zur Ethik. Mag also Interdisziplinarität im Rahmen anderer schulischer Themen aus Gründen der Motivation, der Anschaulichkeit oder des Alltagsbezugs eingesetzt und in diesem Sinne instrumentalisiert werden können, so ist sie hier eine Struktur der Thematik selbst und steht nicht zur Disposition.

Interdisziplinarität kann sich auf zwei Ebenen auswirken, wobei im Regelfall beide gleichzeitig virulent werden: Interdisziplinär kann das Denken einer einzigen Person sein oder aber das Verhältnis zweier disziplinär geschulter Personen oder Gruppen zueinander. Zu letzterem gehört der Umgang mit einer hierarchischen Struktur, nämlich das aus der Interdisziplinarität resultierende ExpertInnen-LaiInnen-Verhältnis. Das interdisziplinäre Setting ist dabei dadurch gekennzeichnet, daß jeder zugleich Experte bzw. Expertin (im eigenen Fachgebiet) und Laie bzw. Laiin (im Fachgebiet des bzw. der anderen) ist. Diese Struktur besteht im Bereich der "Grünen Gentechnik" natürlich einerseits zwischen den Angehörigen der vier eben genannten Disziplinen Molekularbiologie, Ökologie, Physiologie und Ethik, aber darüber hinaus auch zwischen allen vier Gruppen auf der einen Seite und den Verbrauchenden auf der anderen Seite, die sich entscheiden müssen, ob sie z. B. eine gentechnisch veränderte Tomate kaufen wollen oder nicht. Im Rahmen der durch das Verhältnis Lehrende-Lernende geprägten Schule gewinnt diese Konstellation natürlich eine besondere Brisanz: Eine interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Fachlehrern bzw. Fachlehrerinnen führt dazu, daß neben die gewohnte Rolle als Experte bzw. Expertin, die sie gegenüber den Schülern und Schülerinnen einnehmen, die des Laien bzw. der Laiin gegenüber dem Kollegen bzw. der Kollegin tritt. Und nicht selten kann bei einer interdisziplinären Thematik ein Schüler bzw. eine Schülerin nicht nur Experte bzw. Expertin gegenüber anderen Schülern bzw. Schülerinnen, sondern auch gegenüber einem Lehrer bzw. einer Lehrerin werden. Dies stellt sicherlich eine Herausforderung an das traditionelle Selbstverständnis von Schülern bzw. Schülerinnen und Lehrer bzw. Lehrerinnen dar und muß eigens geübt werden.

b) An einem Gymnasium wurde in Stufe 13 seitens zweier Fachlehrerinnen ein Leistungskurs Biologie mit einem Grundkurs Ethik abgestimmt. Die inhaltliche

Abstimmung bestand darin, daß der Lk Biologie die naturwissenschaftlichen Grundlagen der Gentechnik behandelte und dabei auch ihre ethischen Fragen ansprach, während der Gk Ethik die Aufgabe hatte, der Debatte zugrundeliegende allgemeine Fragen wie z. B. die des Mensch-Natur-Verhältnisses zu behandeln. Diese Vorgehensweise entsprach in besonderer Weise der Idee einer "Ethik *in* den Wissenschaften", insofern nämlich die ethische Debatte in der Naturwissenschaft selbst verankert und nicht an das Fach "Ethik" delegiert wurde. Letzteres hatte vielmehr die Aufgabe, allgemeine ethische Grundlagen, die das Fach "Biologie" tatsächlich sprengen würden, zur Verfügung zu stellen. Organisatorisch stellte sich das Problem, daß zwischen beiden Kursen nur eine gemeinsame Schnittmenge an Schülern bzw. Schülerinnen von ca. einem Drittel bestand, das sozusagen in den vollen Genuß des interdisziplinären Settings kam. Es wurde deshalb noch eine kursübergreifende Arbeitsgruppe gegründet, die sich mit der Planung des Unterrichts und einer schulöffentlichen Veranstaltung, nämlich einer Podiumsdiskussion, beschäftigte und der Schüler und Schülerinnen beider Kurse angehörten. Wechselweise wurden auch einzelne Stunden des Biologie- bzw. Ethikunterrichts zur Planung dieser Veranstaltung herangezogen, so daß auch die der Schnittmenge nicht angehörigen Schüler und Schülerinnen in den Prozeß mit einbezogen wurden.²⁴ Auf diese Weise wurde in dreifacher Weise der Umgang mit dem ExpertInnen-LaiInnen Verhältnis erprobt, nämlich zum einen im Umgang der Schüler und Schülerinnen untereinander, zum anderen im Umgang mit den zur Podiumsdiskussion eingeladenen Experten und Expertinnen, aber dann auch in der Zusammenarbeit mit ihren jeweiligen Fachlehrerinnen. Diese standen wiederum selbst in einem Expertinnen-Laiinnen Verhältnis zueinander und erfuhren ihre jeweilige Fachkompetenz auf neue Art und Weise: Die Biologielehrerin kam zu der expliziten Erkenntnis, daß sich aus ihrem empirischen Wissen keine unmittelbaren Konsequenzen für die Begründung einer ethischen Bewertung ergaben, so daß ihr die Eigenständigkeit der ethischen Fragen und damit auch des Fachs ihrer Kollegin klarer bewußt wurden. Umgekehrt erfuhr die Ethiklehrerin die Notwendigkeit, sich auf empirische Debatten ein- und auf die Arbeit ihrer Kollegin verlassen zu müssen, wenn der Bereich allgemeiner ethischer Fragen in Richtung konkreter Entscheidungsfindung überschritten werden sollte.

²⁴ Es soll nicht verhehlt werden, daß die Zusammenarbeit von beiden Kolleginnen zwar als äußerst bereichernd, aber im Hinblick auf die organisatorischen Schwierigkeiten, die durch das Kurssystem bei der Koordination der Schüler und Schülerinnen entstanden, auch als sehr anstrengend empfunden wurde.

Tabellarische Übersicht

Leitidee	Erläuterung	Inhaltliches Beispiel aus dem Bereich "Gentechnologie bei Pflanzen"	Didaktisch-methodisches Beispiel aus dem Modellversuch des Projekts SET
1. Schule soll das Verständnis eines nicht-reduzierten Wissenschaftsbegriffs fördern.	Wissenschaft als Aussagensystem/ empirisches Wissen	Verstehen der gentechnischen Veränderung der FlavrSavr-Tomate	Informationsmaterial verschiedener Quellen
	Wissenschaft als methodische Suche nach Erkenntnis/Forschungsprozeß: <ul style="list-style-type: none"> wissenschaftliches Arbeiten psychische und materielle Bedingungen wissenschaftlichen Arbeitens Geschichte/Verlauf 	Von wem, wie und unter welchen (Arbeits-)Bedingungen wurde das Gen, das für die Reifungsenzyme zuständig ist, identifiziert?	(Fächerübergreifendes) Durchführen eines (echten) Experiments: Wie verändert sich mein Immunsystem bei bestimmten Ernährungsweisen?
	Wissenschaft als Institution: Forschungspolitik ökonomische Interessen rechtliche Regelungen	Forschungsentscheidungen; ökonomischer Zusammenhang von Forschung, Pestizidherstellung und Saatgutverkauf; Kennzeichnungspflicht	"Hospitantz" bei einem Industrieunternehmen (keine touristische Besichtigung)
2. Schule soll eine bewußte Anwendung ethischer Reflexion fördern.	Ethik als Ebene der Reflexion (Abgrenzung zu empirischem Wissen)	Welches bzw. ein wie hohes ökologisches Risiko beim Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen ist zumutbar? (Nicht: Wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit, daß eine gentechnisch veränderte Pflanze auskreuzt?)	z. B. Diskussion anhand von Science Fiction

	Reale oder realistische Probleme lösen können	Mögliche Alltagssituation: Ich muß mich entscheiden, ob und warum ich Tomatenmark aus gentechnisch veränderten oder aus konventionellen Tomaten kaufen soll.	Schüler und Schülerinnen setzen sich ihre Unterrichtsziele selbst bzw. bestimmen mit.
	strebensethische Aspekte (Wie gestalte ich mein Leben? Wie gestalten wir unser Leben?)	Welche Gewichtungen treffe ich in der Abwägung von Gesundheit, Ökologie, finanziellen Möglichkeiten, Komfort?	Frage einer schulinternen Fortbildung für Lehrer und Lehrerinnen: Wollen wir in unserer Schulmensa gentechnisch hergestellte bzw. veränderte Lebensmittel zulassen?
	sollensethische Aspekte (Was soll ich tun? Was sollen wir tun?)	Rechte/Pflichten der Industrie, der Verbrauchenden, des Staates	
	Bewertungsstrategien: technik- versus probleminduziert	Welche Chancen und Risiken hat die gentechnische Veränderung von Tomaten? Oder aber: Welche und wessen Probleme soll die gentechnische Veränderung von Tomaten lösen?	Wettbewerb: Vor- und Nachteile gentechnisch veränderter Nahrung. Oder aber: Was und wie esse ich am liebsten und wie schneiden gentechnisch veränderte Lebensmittel dabei ab?
3. Schule soll Interdisziplinarität fördern.	fächerübergreifendes Denken und Arbeiten	Zusammenspiel der Molekularbiologie und der Ökologie mit der ethischen Diskussion	Ein Lk Biologie wird mit dem Gk Ethik abgestimmt.
	ExpertInnen-LaiInnen-Verhältnis	Auf welcher Informationsgrundlage entscheiden sich Verbraucher bzw. Verbraucherinnen zum Kauf (oder nicht)?	Schüler bzw. Schülerinnen halten sich gegenseitig Referate; Organisieren einer Podiumsdiskussion durch die Schüler bzw. Schülerinnen

6 Literaturverzeichnis

- Bayertz, K. (1991): Wissenschaft, Technik und Verantwortung. In: Ders. (Hrsg.) (1991): *Praktische Philosophie. Grundorientierungen angewandter Ethik*. Rowohlt, Reinbek, 173-209
- Bender, W., Platzer, K., Sinemus, K. (1995): Zur Urteilsbildung im Bereich Gentechnik. Die Flavr Savr-Tomate. *Ethica* 3/1995, 293-303
- Düwell, M. (1998): Ethik in den Wissenschaften als interdisziplinäres Forschungsunternehmen. Unveröff. Vortrag im Rahmen der LehrerInnenfortbildungsreihe "Ethische Probleme der Biotechnologie und der Gentechnik" des SET-Modellversuchs, 15.1.1998
- Haker, H. (1998): Genomanalyse und Gentherapie. Unveröff. Vortrag im Rahmen der LehrerInnenfortbildungsreihe "Ethische Probleme der Biotechnologie und der Gentechnik" des SET-Modellversuchs, 11.2.98
- Hegselmann, R. (1991): Wissenschaftsethik und moralische Bildung. In: Lenk, H. (Hrsg.) (1991): *Wissenschaft und Ethik*. Reclam, Stuttgart, 215-232
- Krüger, L. (1985): Ethik der Wissenschaft – was könnte das sein? Ein Plädoyer für einige Unterscheidungen. In: Baumgartner, H. M., Staudinger, H. (Hrsg.) (1985): *Entmoralisierung der Wissenschaften? Physik und Chemie*. Fink/Schöningh, München, 88-91
- Lemmermöhle, D. (1995): Didaktik! Wozu? In: Nyssen, E., Schön, B. (Hrsg.): *Perspektiven für pädagogisches Handeln. Eine Einführung in Erziehungswissenschaft und Schulpädagogik*. Juventa, Weinheim, 259-289
- Nida-Rümelin, J. (1996a): Theoretische und angewandte Ethik: Paradigmen, Begründungen, Bereiche. In: Ders. (Hrsg.) (1996): *Angewandte Ethik. Die Bereichsethiken und ihre theoretische Fundierung. Ein Handbuch*. Kröner, Stuttgart, 2-85
- Nida-Rümelin, J. (1996b): Wissenschaftsethik. In: Ders. (Hrsg.) (1996): *Angewandte Ethik. Die Bereichsethiken und ihre theoretische Fundierung. Ein Handbuch*. Kröner, Stuttgart, 778-805
- Ott, K. (1997): *Ipsa facto. Zur ethischen Begründung normativer Implikate wissenschaftlicher Praxis*. Suhrkamp, Frankfurt am Main
- Schallies, M., Wellensiek, A. (1995): *Biotechnologie/Gentechnik. Implikationen für das Bildungswesen. Arbeitsbericht Nr. 46 der Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg*, Stuttgart
- Steigleder, K. (1989): Probleme angewandter Ethik. In: *Concilium*, Heft 3, Juni 1989, 25. Jg., 242-247
- Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.) (1991): *Technikbewertung – Begriffe und Grundlagen. Erläuterungen und Hinweise zur VDI-Richtlinie 3780. Zu beziehen über: VDI-Hauptgruppe. Postfach 101139, Graf-Recke-Straße 84; 40239 Düsseldorf. Tel. 0211/6214-0*
- Wellensiek, A.: Entwicklung moralischer Urteils- und Handlungsfähigkeit im Bereich neuer Technologien. In: Schallies, M., Wachlin, K. D. (Hrsg.) (1999): *Biotechnologie und Gentechnik. Neue Technologien verstehen und beurteilen*. Springer, Berlin, 55-67

Wimmer, R.: Die Rolle der Wissenschaftsethik im Ethikunterricht. In: Schallies, M., Wachlin, K. D. (Hrsg.) (1999): Biotechnologie und Gentechnik. Neue Technologien verstehen und beurteilen. Springer, Berlin, 69-76

Weiterführende Literatur

zusammengestellt von Frank-Thomas Hellwig

- Altner, G. (1994): Ethische Aspekte der gentechnischen Veränderung von Pflanzen. Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung, Berlin (=Verfahren zur Technikfolgenabschätzung des Anbaus von Kulturpflanzen mit gentechnisch erzeugter Herbizidresistenz; 17)
- Bayrhuber, H., Lucius, E. R. (1992): Biotechnik im Biologieunterricht. In: Riquarts, K. et al. (Hrsg.): Naturwissenschaftliche Bildung in der Bundesrepublik Deutschland. Band 4: Aktuelle Entwicklungen und fachdidaktische Fragestellungen in der naturwissenschaftlichen Bildung. IPN, Kiel, 243-275
- Becktepe, C., Jacob, S. (Hrsg.) (1993): Genüsse aus dem Gen-Labor? Neue Techniken, neue Lebensmittel. Die Verbraucherinitiative, Bonn
- Bender, W., Platzer, K., Sinemus, K. (1995): Zur Urteilsbildung im Bereich Gentechnik. Die Flavr-Savr-Tomate. *Ethica* 3/3, 293-303
- Brandt, P. (1997): Gentechnik in der Lebensmittelherstellung. In: Ders. (Hrsg.): Zukunft der Gentechnik. Birkhäuser, Basel, 153-165
- Breyer, H. (1997): Die Novel-Food-Verordnung. Ein Schlupfloch für Gentech-Lebensmittel. In: Wechselwirkung 19/86, 29-33
- Daele, W. van den, Pühler, A., Sukopp, H., Bora, A., Döbert, R. (1994): Bewertung und Regulierung von Kulturpflanzen mit gentechnisch erzeugter Herbizidresistenz (HR-Technik). Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung, Berlin (=Verfahren zur Technikfolgenabschätzung des Anbaus von Kulturpflanzen mit gentechnisch erzeugter Herbizidresistenz; 18)
- Gentechnik und Lebensmittel. Stellungnahme der Senatskommission für Grundsatzfragen der Genforschung und der Senatskommission zur Beurteilung der gesundheitlichen Unbedenklichkeit von Lebensmitteln vom 1. März 1996. In: Deutsche Forschungsgemeinschaft, Senatskommission für Grundsatzfragen der Genforschung (Hrsg.): Genforschung – Therapie, Technik, Patentierung. VCH, Weinheim (1997), 6-20 (=Mitteilung; 1)
- Hammer, K. (1998): Genbanken und pflanzliche Biodiversität. In: Kunst- und Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.): Gen-Welten. Kunst- und Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland, Bonn, 131-137
- Körtner, U. H. J. (1997): Ethische Aspekte der Gentechnik. Zur ethischen Beurteilung der Chancen und Risiken gentechnischer Verfahren im Bereich der Pflanzen- und Tierzucht sowie der Lebensmittelerzeugung. *Ethica* 5/4, 339-359
- Mendel, R. R. (1994): Transgene Pflanzen. Gegenwärtiger Stand und Perspektiven. In: Lebensmittelchemische Gesellschaft, Fachgruppe in der GDCH (Hrsg.): Gentechnologie. Stand und Perspektiven bei der Gewinnung von Rohstoffen für die Lebensmittelproduktion, Behr's : Hamburg, 55-63

- Mieth, D. (1994): Ethische Evaluierung der Biotechnologie. In: Schell, T. von, Mohr, H. (Hrsg.): *Biotechnologie - Gentechnik. Eine Chance für neue Industrien*. Springer, Berlin, 505-530
- Nevers, P. (1992): *Gentechnik in der Pflanzenzüchtung. Darstellung, Sozialverträglichkeit, Umweltverträglichkeit, ethische Position*. Evangelischer Presseverband für Bayern, München (= Zukunft aktuell)
- Röbbelen, G. (1994): Beiträge der Biotechnologie zur Verbesserung von Qualitäts- und Leistungseigenschaften landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. In: Schell, T. von, Mohr, H. (Hrsg.): *Biotechnologie - Gentechnik. Eine Chance für neue Industrien*. Springer, Berlin, 201-214
- Schallies, M., Wellensiek, A. (1995): *Biotechnologie/Gentechnik. Implikationen für das Bildungswesen*. Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, Stuttgart (=Arbeitsbericht; 46)
- Schell, T. von (1998): Zur Freisetzung gentechnisch veränderter Pflanzen. In: *Kunst- und Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.): Gen-Welten. Kunst- und Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland, Bonn, 109-116*
- Seiler, A. (1997): Saatgut als Technologieträger und Vehikel rechtlicher Ausschließlichkeitsansprüche. In: *Wechselwirkung 19/86, 22-27*
- Skorupinski, B. (1996): *Gentechnik für die Schädlingsbekämpfung. Eine ethische Bewertung der Freisetzung gentechnisch veränderter Organismen in der Landwirtschaft*. Enke, Stuttgart
- Spelsberg, G. (1998): Vom Kleinversuch zur globalen Freisetzung. Der kommerzielle Anbau gentechnisch veränderter Nutzpflanzen hat begonnen. In: *Wechselwirkung 17/74, 28-31*
- Streinz, R. (1994): Rechtliche Probleme der Novel-Food-Verordnung. Anwendungsbereich und Kennzeichnung. In: *Lebensmittelchemische Gesellschaft, Fachgruppe in der GDCH (Hrsg.): Gentechnologie. Stand und Perspektiven bei der Gewinnung von Rohstoffen für die Lebensmittelproduktion*. Behr's, Hamburg, 169-188
- Uhrig, H., Salamini, F. (1997): Perspektiven der Gentechnik in der Pflanzenzüchtung. In: *Brandt, P. (Hrsg.): Zukunft der Gentechnik*. Birkhäuser, Basel, 75-92

Adressen

Julia Dietrich

Zentrum für Ethik in den
Wissenschaften
Keplerstr. 17
D-72074 Tübingen
Tel.: (07071) 29-77986

Frank-Thomas Hellwig

Zentrum für Ethik in den
Wissenschaften
Keplerstr. 17
D-72074 Tübingen
Tel.: (07071) 29-77986

Prof. Dr. Klaus-Dieter Jany

Bundesforschungsanstalt für Ernährung
Forschungszentrum Karlsruhe
Bau 325
D-76344 Eggenstein-Leopoldshafen
Tel: (07247) 82-3605

Gerhard Keck

Akademie für Technikfolgen-
abschätzung in Baden-Württemberg
Industriestr. 5
D-70565 Stuttgart
Tel.: (0711) 9063-176

Prof. Dr. Dietmar Mieth

Zentrum für Ethik in den
Wissenschaften
Keplerstr. 17
D-72074 Tübingen
Tel.: (07071) 29-77981

Dr. Albrecht Müller

Akademie für Technikfolgen-
abschätzung in Baden-Württemberg
Industriestr. 5
D-70565 Stuttgart
Tel.: (0711) 9063-236

Dr. Thomas von Schell

Akademie für Technikfolgen-
abschätzung in Baden-Württemberg
Industriestr. 5
D-70565 Stuttgart
Tel.: (0711) 9063-227

Dr. Beatrix Tappeser

Öko-Institut e. V.
Postfach 6226
D-79038 Freiburg
Tel: (0761) 45295-0

Präparieren der Usambara-Veilchen-Blätter

Geräte:

- Steriltunnel
- Kartuschenbrenner
- Skalpell
- Pinzette
- Petrischale (steril)
- Becherglas
- Tesakrepp-Streifen
- Folienschreiber (wasserfest)

Substanzen:

- Sagrotan-Pumpspray
- Usambara-Veilchen-Blätter
(steril im abgedeckten Becherglas)
- Petrischale mit sterilem Nährboden
(MS/BAP) mit Deckel

Durchführung:

