

BARBARA SKORUPINSKI

Die Freisetzung von gentechnisch veränderten Organismen als Strategie der biologischen Schädlingsbekämpfung: Aspekte ihrer ethischen Bewertung

I. EINLEITUNG

Die gesellschaftliche Debatte um die Freisetzung von gentechnisch veränderten Organismen (GVO), insbesondere im Zusammenhang mit der landwirtschaftlichen Nutzung, ist nach wie vor geprägt von weit auseinanderliegenden Pro- und Contra-Positionen. Es verbinden sich mit der Verwendung gentechnischer Methoden in der Landwirtschaft sowohl Hoffnungen und Erwartungen auf der einen als auch Befürchtungen auf der anderen Seite. Letztere beziehen sich auf die Realistik der Ziele und auf die Risikopotentiale von Freisetzung und Kommerzialisierung der Organismen.

Die innerwissenschaftliche wie die gesellschaftliche Debatte über bio- bzw. gentechnische Innovationen machen deutlich, daß sich Fragen der Verantwortung stellen. Diese Verantwortungsprobleme übersteigen aber ersichtlich einzelwissenschaftliche Kompetenzen. Die Abwägung zu erwartender Nutzen gegen mögliche Risiken muß auf der Basis des verfügbaren Fachwissens erfolgen. Die Formulierung und Begründung von Kriterien, anhand derer Abwägungen vorgenommen werden, gehören zum Gegenstandsbereich der Ethik.

Um zu fundierten Aussagen zu kommen, muß eine ethische Bewertung in bezug auf wissenschaftlich-technische Innovationen etwas in besonderer Weise leisten, was der zunehmenden methodischen Spezialisierung und Isolierung von Teildisziplinen entgegenläuft, nämlich eine umfassende Zusammensicht der Ergebnisse und Problemlösungsansätze verschiedener Wissensgebiete.

Im folgenden sollen kurz die wichtigsten Schritte zu einer ethischen Bewertung der Anwendung von gentechnisch veränderten Organismen in der Landwirtschaft beschrieben werden. Als Fallbeispiel wurde die Freisetzung und Kommerzialisierung von gentechnisch veränderten

Mikroorganismen und Pflanzen ausgewählt, die Toxine der Bakterienart *Bacillus thuringiensis* produzieren¹. Präparate auf der Basis dieser Bakterien werden in der Landwirtschaft seit mehreren Jahrzehnten erfolgreich für die Bekämpfung von Schadinsekten eingesetzt. Die Besonderheit der Bekämpfung mit *Bacillus thuringiensis* liegt darin, daß ein spezifisches Wechselverhältnis zwischen pathogenen Bakterien und ihren Wirten ausgenutzt wird. Die Bakterien produzieren Toxinkristalle, die jeweils gegen eine Reihe von Schadinsektenarten wirken, so daß schädigende Auswirkungen auf die umgebende Tierwelt und die menschliche Gesundheit, wie sie von den chemischen Insektiziden bekannt sind, vermieden werden können².

Vor zehn Jahren wurde damit begonnen, die Toxingene zu untersuchen. Inzwischen sind eine Fülle solcher Gene bekannt, die je nach Homologiegrad in Klassen und Unterklassen eingeteilt werden³.

Neben der Suche nach weiteren, neuen Toxingenen mit noch nicht bekannten Eigenschaften werden gentechnisch Veränderungen an diesen Genen vorgenommen. Die Bakterien selbst werden verändert, um die Wirkung von *Bacillus thuringiensis* zu beeinflussen. Außerdem werden

¹ Diese Überlegungen entstammen einem Forschungsprojekt zur ethischen Bewertung gentechnischer Strategien in der Landwirtschaft, dessen Ergebnisse demnächst als Buch veröffentlicht werden. Die folgenden Ausführungen werden sich an der sogenannten induktiven Methode interdisziplinärer Urteilsbildung orientieren. Diese Methode nimmt ihren Ausgang von den in der Literatur benannten Forschungs- und Entwicklungszielen und ihren Begründungen. Die möglichen Folgen der Anwendung der fraglichen Strategie sind zu analysieren bzw. die Grenzen einer Folgenprognose sind zu verdeutlichen. Im Sinne einer Erweiterung von Perspektiven werden weitere alternative Problemlösungen einbezogen und der Blick auf die landwirtschaftlichen Rahmenbedingungen erweitert. Ausgehend von dem relevanten Sachstand wird für Kriterien und Vorzugsregeln für eine ethische Urteilsbildung argumentiert und ein Ergebnis begründet.

² Aloysius Krieg, *Bacillus thuringiensis*, ein mikrobielles Insektizid, Grundlagen und Anwendung, Berlin, 1986; Amos Navon, Control of Lepidopteran Pests with *Bacillus thuringiensis*, in: Philip F. Entwistle, Jenny S. Cory, Mark J. Bailey, Stephen Higgs (Hrsg.) *Bacillus thuringiensis*, An Environmental Pesticide: Theory and Practice, Chichester 1993, 126–146; Brigitte Keller und Gustav-Adolf Langenbruch, Control of Coleopteran Pests with *Bacillus thuringiensis*, in: Philip F. Entwistle, Jenny S. Cory, Mark J. Bailey, Stephen Higgs (Hrsg.), *Bacillus thuringiensis*, An Environmental Pesticide: Theory and Practice, Chichester, 1993, 171–192.

³ Jerald S. Feitelson, Jewel Payne, Leo Kim, *Bacillus thuringiensis*, Insects and Beyond, in: Bio/Technology, 10 (1993) 271–275; Didier Lereclus, Armelle Delécluse, Marguerite-M. Lecadet, Diversity of *Bacillus thuringiensis* Toxins and Genes, in: Philip F. Entwistle, Jenny S. Cory, Mark J. Bailey, Stephen Higgs (Hrsg.), *Bacillus thuringiensis*, An Environmental Pesticide: Theory and Practice, Chichester 1993, 37–69.

die Toxingene in Bakterien und in Pflanzen kloniert, die dann in der Schädlingsbekämpfung eingesetzt werden sollen⁴.

II. METHODE DER INTERDISZIPLINÄREN ETHISCHEN URTEILSBILDUNG

Für die interdisziplinäre ethische Urteilsbildung wurde ein »induktives« Vorgehen gewählt. Der Begriff »induktiv« wird hier nicht in dem Sinn verstanden, wie er in der Wissenschaftstheorie und in der Logik gebraucht wird. Ebenso wenig ist damit gemeint, daß die Vorfindlichkeit bestimmter moralischer Überzeugungen und Handlungsziele schon deren Geltung implizieren würde. Vielmehr wird mit dem »induktiven« Vorgehen die Erhebung des ethisch relevanten Sachstands ausgehend von der biologischen Fachkompetenz bezeichnet, und nicht umgekehrt, die vorrangige Formulierung von Kriterien und Normen, um diese auf komplexe Probleme anzuwenden. Die in den Forschungsbeiträgen enthaltenen Bewertungen, Maßstäbe und Sinnziele werden erhoben und in eine vergleichende und kritische Relation zueinander gesetzt. Insbesondere ist das Wechselverhältnis zwischen ethischen und Sachfragen zu untersuchen. Erst an einem späteren Zeitpunkt im Verfahren wird eine ethische Kriteriologie eingeführt⁵.

Die »induktive« Methode beinhaltet sowohl auf der Ebene der naturwissenschaftlichen Fragen als auch auf der Ebene der ethischen Problemstellungen die Integration von Teilperspektiven der fachwissenschaftlichen Forschung. Bereits auf der Ebene der Sachfragen ist eine interdisziplinäre Herangehensweise erforderlich. Die Ergebnisse aus Molekularbiologie, Genetik, Entomologie, Ökologie, Evolutionsbiologie und die landwirtschaftlichen Fachfragen sind miteinander ins Verhältnis zu setzen. Auch

⁴ Wendy Gelernter, George E. Schwab, Transgenic Bacteria, Viruses, Algae and other Microorganisms, as *Bacillus thuringiensis* Delivery Systems, in: Philip F. Entwistle, Jenny S. Cory, Mark J. Bailey, Stephen Higgs (Hrsg.), *Bacillus thuringiensis*, An Environmental Pesticide: Theory and Practice, Chichester, 1993, 89–104; Susan Ely, The Engineering of Plants to Express *Bacillus thuringiensis* Delta-Endotoxins, in: Philip F. Entwistle, Jenny S. Cory, Mark J. Bailey, Stephen Higgs (Hrsg.), *Bacillus thuringiensis*, An Environmental Pesticide: Theory and Practice, Chichester, 1993, 105–124.

⁵ Die Bedeutung eines solchen Verfahrens für die angewandte ethische Beurteilung komplexer Problemlagen, wie die Einführung bio- bzw. gentechnologischer Innovationen, die dazu gehörigen Arbeitsschritte und das Verhältnis zu fundamentalemethischem Argumentieren wurden insbesondere von Mieth ausgeführt. Vgl. Dietmar Mieth, The Release of Microorganisms – Ethical Criteria, in: Klaus Wöhrmann/ Jürgen Tomiuk (Hrsg.), *Transgenic Organisms, Risk Assessment and Deliberate Release*, Basel, 1993, 245–256.

für die ethischen Problemstellungen bedeutet die Integration von Teilperspektiven eine Erweiterung des Fragebereichs: es sind nicht nur Risiko- bzw. Sicherheitsfragen zu bewerten, sondern es ist eine Bewertung von Zielen, Folgen und Alternativen zu leisten.

III. ERHEBUNG DES RELEVANTEN SACHSTANDS: FORSCHUNGSZIELE, FOLGENPROGNOSE, ALTERNATIVE PROBLEMLÖSUNGEN

1. Forschungs- und Entwicklungsziele

Begründungen für den Einsatz von gentechnisch veränderten Organismen für die biologische Schädlingsbekämpfung setzen in der Regel bei deren ökologischer Verträglichkeit an. Besonders die Umwelt- und Gesundheitsschäden durch chemische Insektizide und die schnelle Entstehung von Resistenz werden als Motive genannt, biologische Methoden bzw. gentechnisch veränderte Organismen für die biologische Bekämpfung einzusetzen. In allen Argumentationen wird implizit die normative Vorannahme deutlich, daß der Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umwelt geboten sei und Anstrengungen unternommen werden sollen, diesen zu gewährleisten. Im Gegensatz zur Bekämpfung mit chemischen Insektiziden werden die Vorteile der biologischen Mittel in deren Spezifität, schneller biologischer Abbaubarkeit und möglicher Vermeidung von Resistenzenzinstehung gesehen. Demgegenüber deuten Forschungs- und Entwicklungsziele eher in die Richtung, daß zugunsten einer optimierten Anwendung die angegebenen Vorteile eingeschränkt werden. Die wichtigsten Forschungs- und Entwicklungsziele sind:

- An *Bacillus thuringiensis* selbst die Erweiterung des Wirtsspektrums und die Verstärkung der toxischen Wirkung⁶.
- Die Übertragung der Toxingene auf Bakterien, die in Lebensräumen vorkommen, die von *Bacillus thuringiensis* nicht besiedelt werden⁷.
- Die Übertragung der Toxingene auf Nutzpflanzen, so daß diese selbst insektizide Wirkung haben⁸.

Bei den Mikroorganismen beschränken sich Experimente derzeit auf wenige Arten. Die Anzahl der mit *Bacillus thuringiensis* erfolgreich

⁶ Wendy Gelernter und George E. Schwab (Anm. 4).

⁷ Wendy Gelernter und George E. Schwab (Anm. 4).

⁸ Susan Ely (Anm. 4).

transformierten Nutz- und Zierpflanzenarten hat indessen fünfzig überschritten⁹.

Unhinterfragt werden in den Forschungsansätzen bzw. ihren Begründungen die Gegebenheiten einer konventionellen Lebensmittelproduktion implizit oder explizit zur Voraussetzung gemacht. Die Gesichtspunkte Praktikabilität und Rentabilität rücken in den Vordergrund. Dies führt zu widersprüchlichen Bewertungen von wichtigen Eigenschaften der biologischen Agenzien. So wird das enge Wirtsspektrum unter ökologischen Gesichtspunkten als Vorteil betont, unter Gesichtspunkten der Praktikabilität wird es als Nachteil benannt. Auch in der Frage der Inaktivierung der Präparate durch UV und der biologischen Abbaubarkeit geraten ökologischer Vorteil und Nachteil für die Anwendung in Widerstreit. Erkennbar richten sich alle gentechnischen Forschungs- und Entwicklungsziele an Praktikabilität und Rentabilität aus, und die Kriteiologie, anhand derer die biologischen Agenzien ursprünglich als vorteilhaft betrachtet wurden (Umweltverträglichkeit, Reversibilität der Anwendung, angepaßte Ausnutzung ökosystemarer Prozesse) tritt in den Hintergrund. Eine solche Charakterisierung von Forschungs- und Entwicklungszielen beinhaltet keineswegs eine moralische (Ab-)Wertung. Wohl aber darf es als ethisch relevant bezeichnet werden, wenn derartige implizite Vorannahmen deutlich werden¹⁰.

Die Frage ist nun *zunächst*, ob auch die gentechnisch veränderten Organismen gegenüber den chemischen Insektiziden die vorteilhaftere Lösung darstellen, oder ob die gentechnischen Veränderungen an den Organismen ihre ökologische Verträglichkeit konterkarieren.

2. Mögliche Folgen von Freisetzung und Kommerzialisierung: Grenzen der Prognostizierbarkeit

Eine Analyse der möglichen Folgen des Einsatzes von gentechnisch veränderten Organismen, die *Bacillus thuringiensis*-Toxingene exprimieren, hat grundsätzlich zwei Ansatzpunkte: Folgen können erwünscht sein oder unerwünscht. Die erste Kategorie, die erwünschten Folgen, sind die zu erreichenden Ziele, im gegebenen Fall: die Anwendung der Organismen im Sinne einer umweltverträglicheren Landwirtschaft.

⁹ Susan Ely (Anm. 4).

¹⁰ M. E. nach könnte es sich hier um eine vorgeschobene Argumentation handeln, die das positive »Image« einer »angepaßten Ausnutzung ökologischer Gleichgewichte« nutzt, diese aber mit den Zielen von Forschung und Entwicklung systematisch unterläuft.

Als am wenigsten im Sinne einer umweltverträglichen Landwirtschaft wird offensichtlich die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln im konventionellen Anbau gesehen, dies motiviert die Suche nach alternativen Lösungen. Pflanzenschutzmittel bringen bei Produktion und Anwendung Gefahren mit sich, die die menschliche Gesundheit als akute und chronische Schäden und die Tier- und Pflanzenwelt in verschiedenster Weise (z. B. durch die Vernichtung von natürlichen Feinden, Kontamination von Grund- und Oberflächenwasser u.s.w.) beeinträchtigen¹¹. Ob diese Gefährdungen durch die geltenden Gesetze wirksam vermieden werden können, ist umstritten¹². Die gentechnisch gestützte biologische Schädlingsbekämpfung soll zur Vermeidung dieser Gefahren beitragen. Zu untersuchen ist nicht nur, ob dieses Ziel mit den gegebenen Mitteln zu erreichen ist, sondern weiterhin, ob damit verbundene mögliche unerwünschte Folgen und Nebenfolgen legitimiert werden können. Die Beurteilung der unerwünschten Folgen und Nebenfolgen (hinsichtlich ihrer Prognostizierbarkeit und ihrer Relevanz) hat Konsequenzen für ein gebotenes Handeln unter Verantwortungsgesichtspunkten.

Eine Prognose möglicher unerwünschter Folgen der Freisetzung und Kommerzialisierung von gentechnisch veränderten Mikroorganismen und Pflanzen, die *Bacillus thuringiensis*-Gene exprimieren, bzw. die Beschreibung von Szenarien können aufgrund der bekannten Eigenschaften der Elternorganismen und der Erfahrungen mit bisher erfolgten Freisetzungen versucht werden. Das Verhalten eingeführter Pflanzenarten (»Exoten«) in einem für sie neuen Habitat kann als Analogiebeispiel für mögliche Auswirkungen der Verwilderung transgener Pflanzen herangezogen werden, wobei die Begrenzungen der Aussagefähigkeit zu beachten sind¹³.

Zusammenfassend läßt sich sagen:

Unerwünschte Folgen der Freisetzung von gentechnisch veränderten Organismen, die *Bacillus thuringiensis*-Gene exprimieren, werden hauptsächlich auf ökosystemarer Ebene erwartet. Aufgrund der Vielzahl der

¹¹ Rat der Sachverständigen für Umweltfragen, Umweltprobleme der Landwirtschaft, Stuttgart / Mainz 1985.

¹² Rolf Diercks, Alternativen im Landbau, eine kritische Gesamtbilanz, Stuttgart 1986

¹³ James M. Tiedje, Robert K. Colwell, Yaffa L. Grossmann, Robert E. Hodson, Richard E. Lenski, Richard N. Mack, Philip J. Regal, The Planned Introduction of Genetically Engineered Organisms: Ecological Considerations and Recommendations, in: Ecology, 70 (1989) 289–315; Philip Regal, The True Meaning of »Exotic Species« as a Model for Genetically Engineered Organisms, in: Experientia, 49 (1993) 225–234; Marc Williamson, Invaders, Weeds and Risks from Genetically Manipulated Organisms, in: Experientia, 49 (1993) 219–224.

möglichen Wechselwirkungen (intragenomisch, intrazellulär, zwischen Organismen und zwischen Populationen und ihrer Umwelt) ist es nur begrenzt möglich, Folgen vorauszusagen bzw. unerwünschte Auswirkungen wie das Abtöten von Nicht-Zielorganismen oder die unkontrollierte Ausbreitung auszuschließen. Dabei unterscheiden sich die Probleme wesentlich, je nachdem, ob man Mikroorganismen oder Pflanzen freisetzt.

a) Mikroorganismen

Mit den gentechnischen Veränderungen (beabsichtigte Wirtsbereichserweiterung, Steigerung der Toxizität) können unerwünschte Veränderungen der Eigenschaften der Organismen verbunden sein. Das Genom von *Bacillus thuringiensis* ist nicht sehr gut bekannt. Eine Ausnahme sind die Toxingene, von denen man weiß, daß das genetische Material vermittelt durch transposable Elemente höchst beweglich ist und durch Umlagerungen eine Vielzahl genetischer Kombinationen möglich sind, die zu neuen Toxinkombinationen mit neuen Wirkungen führen¹⁴. Wenn man dazu in Betracht zieht, daß die Freisetzung der Organismen in die Umwelt eine große Anzahl von Interaktionen mit möglichen Wirtsinsekten nach sich zieht, so führt dies zu der Schlussfolgerung, daß durch gentechnische Veränderungen neue, unvorhergesehene und unerwünschte Wechselwirkungen mit anderen als den Zielorganismen möglich sind, über die noch dazu keine genauen Voraussagen gemacht werden können. Wenn andere Mikroorganismen mit rekombinanten *Bacillus thuringiensis*-Genen freigesetzt werden, verkompliziert sich die Situation weiterhin, da diese wiederum andere Interaktionen eingehen. Eine wichtige Einschränkung für Aussagen über die Auswirkungen gentechnisch veränderter Präparate auf die Umwelt ergibt sich bereits aus der Tatsache, daß die »normale« Rolle von *Bacillus thuringiensis* in der Organismengemeinschaft schlechthin unbekannt ist¹⁵.

¹⁴ Paul Jarrett, Michele Stephenson, Plasmid Transfer between Strains of *Bacillus thuringiensis* infecting *Galleria mellonella* and *Spodoptera littoralis*, in: Appl. Env. Microbiol., 56 (1990) 1808–1814; Bert Visser, Dirk Bosch, Guy Honée, Domain-Function Studies of *Bacillus thuringiensis* Crystal Proteins: A Genetic Approach, in: Philip F. Entwistle, Jenny S. Cory, Mark J. Bailey, Stephen Higgs (Hrsg.), *Bacillus thuringiensis*. An Environmental Pesticide: Theory and Practice, Chichester 1993, 71–88.

¹⁵ Martin P. Meadows, *Bacillus thuringiensis*: Ecology and Risk Assessment, in: Philip F. Entwistle, Jenny S. Cory, Mark J. Bailey, Stephen Higgs (Hrsg.), *Bacillus thuringiensis*. An Environmental Pesticide: Theory and Practice, Chichester 1993, 193–220.

b) Nutzpflanzen

Der Schwerpunkt der Forschung und Entwicklung liegt auf der Züchtung von Nutzpflanzen, denen mit *Bacillus thuringiensis*-Toxingenen die Eigenschaft der Insektentoxizität vermittelt wurde. Fast alle Freisetzungen der letzten Jahre betrafen Pflanzen¹⁶.

Unerwünschte ökologische Auswirkungen der transgenen Nutzpflanzen werden in erster Linie in einer unkontrollierten Ausbreitung von Kreuzungsprodukten zwischen transgenen Pflanzen und wildlebenden Verwandten gesehen, wenn es solche im Freisetzungsbereich gibt. Die unkontrollierte Ausbreitung von Pflanzen mit zusätzlichen Insektenresistenzgenen ist unter der Voraussetzung denkbar, daß für die Hybride eine Insektenresistenz die Überwindung eines limitierenden Faktors für ihre Ausbreitung bedeutet. Dieses Problem wird vor allem dann wichtig, wenn an die Stelle von experimentellen Freisetzungen unter definierten Bedingungen der kommerzielle Gebrauch der Pflanzen tritt¹⁷.

Eine weitere mögliche unerwünschte Auswirkung betrifft die Aufhebung der selektiven Wirkung der Toxine, wenn sie in der Pflanze exprimiert werden. Die Toxine liegen in den Pflanzen in einer anderen Form vor, als in *Bacillus thuringiensis*, so daß sich das Wirkungsspektrum auf unerwartete Weise verändern kann¹⁸. Wenn transgene Pflanzen als Nahrungsmittel verzehrt werden sollen, wird außerdem die Gefahr in Betracht gezogen, daß sich durch den gentechnischen Eingriff ihr Stoffwechsel verändert und gesundheitsschädliche Produkte entstehen. Eine wichtige Frage ist darüber hinaus die nach der allergenen Wirkung der neuen, von den Pflanzen zusätzlich produzierten Proteine¹⁹.

Die bisher angesprochenen Folgeerscheinungen bewegen sich im Bereich der hypothetischen Folgen. Man spricht daher bei der Freisetzung von gentechnisch veränderten Organismen in die Umwelt auch von *hypothetischen* Risiken, obwohl die Verwendung des Risikobegriffs hier nicht korrekt ist. Da, anders als im Risikofall, weder Eintrittswahrscheinlichkeit noch Schadensgröße quantifizierbar sind, sollte bei Freisetzungen von Entscheidungen unter Ungewißheitsbedingungen gesprochen wer-

¹⁶ Susan Ely (Anm. 8).

¹⁷ Jane Rissler, Margaret Mellon, Perils amidst the Promise – Ecological Risks of Transgenic Crops in a Global Market, Union of Concerned Scientists, Cambridge M. A. 1993.

¹⁸ Rebecca Goldberg, Gabrielle Tjaden, Are B. t. k.-Plants really safe to eat? in: Bio/Technology, 8 (1990) 1011–1015.

¹⁹ Department of Health and Human Services, Statement of Policy: Foods Derived from New Plant Varieties, Federal Register, 57 (1992) 22985–23005.

den²⁰. Untersuchungen zu ökosystemaren Prozessen zeigen, daß diesen Ungewißheit als entscheidendes Moment immer inhärent ist²¹. Den Bedenken hinsichtlich der ökosystemaren Auswirkungen der Organismen mit *Bacillus thuringiensis*-Genen könnte ein wesentlicher Anteil ihrer Hypothesizität genommen werden. Das vorliegende Datenmaterial, z. B. zur Rolle von *Bacillus thuringiensis* in seiner natürlichen Umgebung, ist unzureichend. Mehr und besser koordiniertes Wissen, ökologische Begleitforschung bei graduell erfolgenden Freisetzungsexperimenten, würde die Prognosesicherheit verbessern²².

c) Resistenzentwicklungen

Anders als mit den bisher dargestellten hypothetischen Überlegungen verhält es sich indessen mit der Entwicklung resistenter Schadinsekten. Das Eintreten dieser Folgeerscheinung kann als sicher betrachtet werden. Die Entwicklung resistenter Schädlinge, ausgelöst durch starken Selektionsdruck mit den nativen Organismen, konnte weltweit an verschiedenen Orten nachgewiesen werden. Es wurden und werden Konzepte zum Resistenzmanagement entwickelt, die jedoch keine Verhinderung von Resistenzentstehung bewirken können, sie zielen auf eine Verzögerung ab²³. Einige Fragen, die für die Beurteilung des Resistenzproblems entscheidend sind, z. B. das mögliche Ausmaß an Kreuzresistenz und die Vererbungsmodi, sind nur ansatzweise geklärt. Der Erfolg von Strategien des Resistenzmanagements, aber auch der Strategie, bei aufgetretener Resistenz jeweils neue Toxingene in Pflanzen zu klonieren, hängt aber

²⁰ Thomas von Schell, Die Freisetzung gentechnisch veränderter Mikroorganismen, ein Versuch interdisziplinärer Urteilsbildung, Tübingen 1994.

²¹ Holling, C., Adaptive Environment Assessment and Management. International Series of Applied Systems Analysis 3, Chichester u. a. 1980.

²² Die Rede von hypothetischen Folgen impliziert keineswegs eine Relativierung der in Szenarienform beschreibbaren unerwünschten Ereignisse, sondern verweist auf den prognostischen Charakter der Aussagen. Eine im Auftrag der OECD durchgeführte Studie kommt zu dem Ergebnis, daß langfristig Trans-Gene innerhalb von Nutzpflanzenarten und zwischen diesen und verwandten Wildpflanzen weitergegeben werden. Vgl. OECD: Field Release of Transgenic Plants, 196–1992. An Analysis, Paris, 1992. Daß Aussagen über Auswirkungen unsicher sind, verdankt sich außerdem nicht zuletzt einem Mangel an ökologischem Hintergrundwissen, womit nicht nur Begleitforschung, sondern angemessene Voruntersuchungen gemeint sind.

²³ Pamela G. Marrone, Sue C. MacIntosh, Resistance to *Bacillus thuringiensis* and Resistance Management, in: Philip F. Entwistle, Jenny S. Cory, Mark J. Bailey, Stephen Higgs (Hrsg.), *Bacillus thuringiensis*, An Environmental Pesticide: Theory and Practice, Chichester, 221–23, 1993.

von der Beantwortung gerade dieser Fragen ab. Wenn es dazu kommt, daß in signifikantem Ausmaß zwischen verwendeten Toxinen Kreuzresistenz auftritt, so kann dies zur Gefährdung des wichtigsten Agens der biologischen Schädlingsbekämpfung führen²⁴. Dies ist von großer Bedeutung für die Beurteilung unter ethischen Gesichtspunkten. Wenn ökologische Verträglichkeit zugunsten von Effizienzmerkmalen aufgegeben werden soll, so kann sich dies nur durch überzeugende Vorteile legitimieren. Wenn aber die gesteigerte Effizienz zu signifikant beschleunigter Resistenzentwicklung bei den Insekten führt, so ist dies keineswegs als Vorteil zu bezeichnen.

IV. LANDWIRTSCHAFTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN / ERWEITERUNG DES SPIELRAUMS MÖGLICHER ALTERNATIVEN

Im Sinne einer Integration von Einzelperspektiven muß die Verwendung von GVO in der biologischen Schädlingsbekämpfung auf dem Hintergrund der landwirtschaftlichen Rahmenbedingungen und unter Einbeziehung weiterer Problemlösungen beurteilt werden.

Die vergleichende Beurteilung alternativer Pfade läßt als Ergebnis nicht nur »Gewinn« (man entscheidet sich trotz vorhandener Risiken für den erwarteten Nutzen) oder »Verlust« zu (man entscheidet sich wegen der Risiken gegen die Handlungsoption). Vielmehr bietet eine vergleichende Bewertung alternativer Problemlösungsstrategien eine Erweiterung des Entscheidungsspielraums.

Folgende zentrale Punkte sind festzuhalten:

²⁴ Die Problematik der Resistenzentwicklungen beschränkt sich aus der Sicht verantwortungsvollen Handelns nicht auf die Frage des angesichts bestehender Möglichkeiten und Alternativen zu vermeidenden Übels. Da eine Vielzahl von Nutzpflanzenarten mit *Bacillus thuringiensis*-Toxingenen resistent gezüchtet wurden und die Vermarktung von Mais und Kartoffeln 1995 erfolgt ist, liegt die Entwicklung resistenter Schädlinge im Bereich des Erwartbaren. Hier stellen sich Fragen bezüglich der Informationen, die von Saatgutzüchtern bzw. von der Industrie an die Öffentlichkeit weitergegeben werden. Reichen die Informationen aus, um einen verantwortungsvollen Umgang der Landwirte mit dem transgenen Saatgut zu ermöglichen? In wessen Verantwortung fallen Schäden, die durch mangelndes Wissen, fehlerhafte Anwendung zustande kommen? Es gibt zahlreiche Forschungsanstrengungen der Industrie zu Möglichkeiten des Resistenzmanagements, aber nur wenige Veröffentlichungen über diese Arbeiten. Dies kann zu der Situation führen, in der überlegenes Wissen der Industrie und der Saatgutfirmen über die Strategien des Resistenzmanagements und ihre Verfügung über weiteres transgenes Saatgut mit neuen Toxingenen eine Verschärfung der Abhängigkeit der Landwirte von Saatgutfirmen und der agrochemischen Industrie zur Folge hat.

- Die unerwünschte Belastung der menschlichen Gesundheit und der Umwelt mit chemischen Pflanzenschutzmitteln ist ein Teilproblem der Gesamtsituation der Landwirtschaft, die insgesamt als problematisch zu bezeichnen ist. Diese Situation ist gekennzeichnet durch Technisierung und Spezialisierung der Betriebe, begleitet von z. T. irreversiblen Schädigungen des Bodens, des Grund- und Oberflächenwassers und der Verdrängung sowohl von Kulturpflanzensorten als auch von wildlebenden Arten²⁵. Integrierte Landbaumethoden werden im konventionellen Anbau nicht in einem Umfang eingesetzt, daß dies zu einem meßbaren Rückgang des Verbrauchs von Pflanzenschutzmitteln geführt hätte.
- Der Ansatz der gentechnik-gestützten biologischen Schädlingsbekämpfung bietet im Rahmen der konventionellen Hohertragslandwirtschaft eine Teillösung in einem Gesamtproblem. Die Dauerhaftigkeit des Lösungsansatzes ist durch das Problem der Resistenzentwicklungen aber in Frage gestellt.
- Eine ökologisch vorteilhafte Ausnutzung biologischer Gleichgewichte für die Schädlingsbekämpfung ist in den biologischen Anbauformen möglich. Diese Methoden haben nicht die Bekämpfung von Schädlingen, sondern die Vermeidung von Schädlingsbefall zum Ziel. Erreicht wird dies durch die gezielte Ausnutzung biologischer Interaktionen in Agrarökosystemen²⁶.
Durch Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und durch maximale Diversität auf dem Acker sollen Massenvermehrungen spezialisierter Schädlinge vermieden werden. Dies gelingt nicht immer. Wenn Schädlingsbekämpfung notwendig wird, ist im biologischen Landbau die Verwendung von nativen *Bacillus thuringiensis*-Präparaten gestattet.

V. DISKUSSION

IM HINBLICK AUF EINE ETHISCH BEGRÜNDETE URTEILSBILDUNG

1. Ethisch relevante Handlungs- und Entscheidungszusammenhänge

Forschung und Entwicklung im Bereich Gentechnik in der Landwirtschaft findet in arbeitsteilig organisierten Institutionen statt. Die Mög-

²⁵ Rolf Diercks (Anm. 12).

²⁶ Rolf Diercks (Anm. 12), Christian Schüler, Biotechnologie in der Pflanzenzüchtung und ökologischer Landbau, in: Stephan Albrecht (Hrsg.), Die Zukunft der Nutzpflanzen – Biotechnologie in der Landwirtschaft und Pflanzenzüchtung, Frankfurt/M. 1990, 108–116.

lichkeiten der Verantwortungswahrnehmung – im doppelten Sinne des Wortes – für die Folgen des eigenen Handelns, sind durch eben diese Komplexität arbeitsteiliger Handlungsabläufe, durch Rollenverteilung und jeweils begrenzten Einfluß auf Entscheidungen und die Komplexität der Folgen eingeschränkt²⁷. Diese Einschränkungen bedeuten jedoch keineswegs, daß Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen nicht Verantwortungssubjekte wären. Problematisiert wird die Reichweite dieser Verantwortung. Die Folgen der eigenen Tätigkeit, soweit sie überschaubar sind, fallen eindeutig in die Verantwortung des einzelnen. Dies gilt nicht in gleicher Weise für die Folgen, die durch die Interaktionen des komplexen Systems »Institution« verursacht werden. Als Urheber der Entwicklungen in Wissenschaft und Technik und durch ihren Wissensvorsprung darin, die Folgen ihrer Tätigkeit beurteilen zu können, sind Wissenschaftler in besonderer Weise qualifiziert und dazu verpflichtet, zu diesen Entwicklungen Stellung zu beziehen und Verantwortung zu übernehmen. Diese Verantwortung besteht unter Berücksichtigung der genannten Einschränkungen und unter den Bedingungen institutionellen Handelns. Sie bezieht sich auf die *Folgen des Handelns* und auf die *Gestaltung von Institutionen*²⁸.

Für die Bewertung von Zielen, Zwecken und Folgen der Forschung hinsichtlich ihrer Wünschbarkeit besitzen sie dagegen keineswegs mehr Kompetenzen als andere Bürger. Wissenschaftliche und moralische Kompetenz dürfen nicht gleichgesetzt werden.

Dies führt zu einer Erweiterung des Problemhorizonts auf die gesamtgesellschaftliche Kontroverse um die Risiken der Gentechnik bzw. deren Verantwortbarkeit. Die öffentliche Diskussion um die Risiken der Gentechnik hat Gemeinsamkeiten mit Diskussionen, wie sie im Kontext sog. Großtechnologien geführt werden²⁹. Zu diesen zählen die Atomenergie, die chemische Industrie, Ausbau und Vernetzung von Verkehrssystemen u. a. Wichtige Gemeinsamkeiten sind die Steigerung der Geschwindigkeit der technischen Entwicklung, der Zwang zu immer größerer Anpassung

²⁷ Günther Ropohl, Ob man die Ambivalenzen des technischen Fortschritts mit einer neuen Ethik meistern kann? in: Hans Lenk/Matthias Maring (Hrsg.), Technikverantwortung: Güterabwägung – Risikobewertung – Verhaltenskodizes, Frankfurt/M. 1991 47–78, und andere Beiträge in diesem Band.

²⁸ Reiner Wimmer, Die veränderte Wissens- und Handlungssituation in den Wissenschaften vom Leben und die Frage nach der ethischen Verantwortung, Klaus Steigleder/Dietmar Mieth (Hrsg.), Ethik in den Wissenschaften, Ariadnefaden im technischen Labyrinth?, Tübingen, 1989, 230–241.

²⁹ Gotthard Bechmann, Großtechnische Systeme, Risiko und gesellschaftliche Entwicklung, Technik und Gesellschaft, Jahrbuch 6, Frankfurt/M 1992.

durch internationale Konkurrenz, eine Alternativen ausschließende Ressourcenbindung, eine neuartige Verflechtung von Wirtschaft, Wissenschaft und Politik, die Globalisierung der Auswirkungen und deren Ausdehnung in der zeitlichen Dimension: Einwirkung und Auswirkung können räumlich, zeitlich und sozial auseinanderfallen³⁰.

Ob der Gentechnik auch das Potential katastrophaler Folgen eignet, wie dies für andere Großtechnologien zutrifft, ist umstritten. Folgen von Freisetzungen, wie die unkontrollierte Ausbreitung der Trans-Gene, und irreversible Veränderungen von ökosystemaren Prozessen liegen im Bereich des Möglichen. Ob diese aber als Katastrophen zu bezeichnen sind, ist unabhängig von Fragen der Eintrittswahrscheinlichkeit oder ihrer mehr oder weniger großen Hypothesizität – eine Frage der Bewertung dieser Folgen.

Für Diskussionen um Großtechnologien ist es typisch, daß die öffentliche Risikodebatte den Kristallisationspunkt für eine übergeordnete Technologiedebatte bildet. Dies wird auch als ritualisierte Form der Konfliktaustragung bezeichnet³¹. Die Diskussion ist weitgehend davon gekennzeichnet, daß der Begriff des Risikos mit verschiedenen Bedeutungsinhalten verwendet wird. Diese sind eng mit der Risikowahrnehmung verbunden.

Risiko wird häufig, im Sinne der technischen Sicherheitswissenschaft, als Produkt von Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß verstanden. Diese Interpretation findet sich, mit Abwandlungen, in den Argumentationen naturwissenschaftlicher Experten wieder³². Da, wie oben ausgeführt, im Fall der Freisetzung von GVO hier keine eindeutigen Aussagen gemacht werden können, ist es richtiger, von Entscheidungen unter Ungewißheit zu sprechen³³.

Demgegenüber wird in einem in den Sozialwissenschaften dominierenden Sprachgebrauch das Eingehen von Risiken als ein bewußt handelnder Umgang mit Gefahren bezeichnet. Während man ein Risiko handelnd eingeht, sich die Folgen also selbst zuschreiben kann oder muß, kommt

³⁰ Die Analogie zur Kernenergie trifft insofern nicht uneingeschränkt zu, als es sich bei der Gentechnik um eine Querschnittstechnologie handelt.

³¹ *Jobst Conrad und Camilla Krebsbach-Gnath*, Zum gesellschaftlichen Umgang mit technologischen Risiken, *Zeitschrift für Umweltpolitik*, 4 (1980) 821–845.

³² *Roger Hull*, Field Release of Transgenic Plants and Microorganisms: The Past, the Presence and the Future. *Rudolf Casper / Jörg Landsmann (Hrsg.)*, The Biosafety Results of Field Tests of Genetically Modified Plants and Microorganisms, May 11–14, 1992 Goslar, 1–6.

³³ *Thomas von Schell* (Anm. 20).

die Gefahr von außen, und man ist ihr ausgesetzt. Sie ist eigenen Entscheidungen nicht zuzurechnen³⁴. Für die technik-induzierten Risiken läßt sich diese Begriffsbestimmung dahin zuspitzen, daß in zunehmendem Maße Risiken in für die einzelnen nicht kontrollierbare Gefahren rückverwandelt werden. Diese Sichtweise auf die Risikoproblematik findet sich häufig in den Argumentationen von naturwissenschaftlichen Laien.

Auch die Kriterien der Risikobewertung können sich unterscheiden. Während bei naturwissenschaftlichen Experten objektivierende Konzepte dominieren, sind für naturwissenschaftliche Laien oft Faktoren wie Kontrollierbarkeit, Vertrautheit, Grad der Freiwilligkeit, Unmittelbarkeit der Folgewirkung u. a. von großer Bedeutung, die wesentlich mit der subjektiven Befindlichkeit zusammenhängen. Für eine gesellschaftliche Entscheidung sind diese Kriterien nicht weniger bedeutsam als die Sicht der Experten. Sie sind rational vermittelbar, kommunikations- und argumentationsfähig und begründen Argumentationen zur Legitimität und Wünschbarkeit von Entscheidungen, ganz im Gegensatz zu der Ansicht, daß es sich hier vorrangig um irrationale Ängste handeln würde. Technikfolgenabschätzung, insbesondere wenn sie partizipative Elemente beinhaltet, knüpft an die Notwendigkeit an, nicht nur als ein »Instrument der vorverlegten Folgenerkenntnis« durch Früherkennung zur Verantwortbarkeit des wissenschaftlich-technischen Fortschritts beizutragen, sondern auch, im Sinne einer Technikbewertung, unterschiedliche Risikowahrnehmungen und -beurteilungen in einen Diskurs zu bringen.

2. Ethische Kriterien und Vorzugsregeln zur Beurteilung des erhobenen Problembestands

Für eine ethische Bewertung des erhobenen Problembestands im Rahmen der o. g. Handlungs- und Entscheidungszusammenhänge sind Kriterien notwendig. Um diese zu entwickeln, müssen ethische Prinzipien mit empirischen Sachverhalten ins Verhältnis gesetzt werden. Die Konkretisierung ethischer Prinzipien auf bestimmte Fälle bzw. eine Reihe von Fällen, die bestimmte Merkmale gemeinsam haben, führt zu »mittleren« ethischen Kriterien und zur Formulierung von Vorzugsregeln, mit denen

³⁴ Helga Nowotny und Rafael Eisikovici, Entstehung, Wahrnehmung und Umgang mit Risiken, Schweizerischer Wissenschaftsrat (Hrsg.) Forschungspolitische Früherkennung, B/34, Bern 1990.

in der Form von Güterabwägungen Verfahrensmodalitäten zur Umsetzung der Kriterien festgelegt werden. Von mittleren Kriterien³⁵ ist die Rede, wenn weder allgemeine ethische Prinzipien noch kasuistische Einzelurteile gemeint sind. Praktisch sind die mittleren ethischen Kriterien identisch mit dem Begriff der Verträglichkeitskriterien³⁶. Sie haben sowohl einen normativen Gehalt, der von ethischen Prinzipien abgeleitet ist, als auch einen empirischen Bezug, insofern sie auf bestimmte Problemkonstellationen bezogen sind. Durch Veränderung des empirischen Wissens können sich diese Problemkonstellationen ändern und damit auch Hinsicht und Reichweite des normativen Gehalts.

Den Ausgangspunkt der Bewertung bilden zwei ethisch ausweisbare Werte bzw. Schutzgüter: die menschliche Gesundheit und die Umwelt in ihrem Wirkungsgefüge als Lebensgrundlage dieser und zukünftiger Generationen. Diese Werte werden in einem angewandt ethischen Vorgehen nicht weitergehend begründet, ihre Begründungsfähigkeit und Konsensfähigkeit³⁷ wird unterstellt³⁸. Diese Schutzgüter sind mit menschlichem Handeln als individuellem und institutionellem in seinen ökonomischen und sozialen Zusammenhängen ins Verhältnis zu setzen. Dabei kommt der Integration der zeitlichen Dimension, der Erhaltung zukünftiger Handlungsmöglichkeiten, besondere Bedeutung zu.

Auf einer nächsten Konkretisierungsebene liegen die mittleren ethischen (Verträglichkeits-) Kriterien. Dies sind gesundheitliche Verträglichkeit, ökologische Verträglichkeit, ökonomische Verträglichkeit (unter besonderer Berücksichtigung der Nachhaltigkeit) und Sozialverträglichkeit (unter besonderer Berücksichtigung der Demokratieverträglichkeit). Das Kriterium der gesundheitlichen Verträglichkeit besagt, daß eine Technik danach beurteilt werden kann, wie sehr sie der menschlichen Gesundheit förderlich ist bzw. daß sie dieser nicht schadet. Das Kriterium der

³⁵ Auch: mittleren Prinzipien, Prinzipien mittlerer Reichweite, mittleren Axiomen.

³⁶ Vgl. Heimer Hastedt, *Aufklärung und Technik, Grundprobleme einer Ethik der Technik*, Frankfurt/M. 1991.

³⁷ Konsens bezeichnet nicht eine faktisch vorfindliche Mehrheitsmeinung, sondern die zwanglose Zustimmung aller Betroffenen.

³⁸ Eine weitere Begründung erweist sich überdies in dem konkreten wissenschaftlich-technischen Kontext insofern als nicht notwendig, als gezeigt werden konnte, daß in der Diskussion um die Freisetzung von gentechnisch veränderten Organismen und ihre Folgen über diese Schutzgüter kein Dissens besteht. Im Gegenteil, für den Fall der GVO in der Schädlingsbekämpfung wird die Berücksichtigung genau dieser Schutzgüter in der Landwirtschaft als Motiv für die gentechnischen Entwicklungen betont. Dissense bestehen auf der Ebene der Umsetzung, d.h. wie diese Werte am besten geschützt werden können.

ökologischen Verträglichkeit bezieht sich auf Agrar- und Nicht-Agrarökosysteme. Da ökosystemare Prozesse nur begrenzt voraussagbar sind, kommt einer anzustrebenden Fehlerfreundlichkeit im Sinne von Reversibilität große Bedeutung zu. Ökonomische Verträglichkeit bedeutet im Zusammenhang der landwirtschaftlichen Erzeugung, daß eine landwirtschaftliche Strategie daran gemessen werden kann, wie sehr sie der dauerhaften Erhaltung der Voraussetzungen ihrer Produktivität förderlich ist. Die Entfaltung dieser *inhaltlichen* Kriterien hinsichtlich der Sachproblematik ermöglicht eine Beurteilung alternativer Pfade. Das Kriterium der Sozial- bzw. Demokratieverträglichkeit hat eher *prozeduralen* Charakter. Da über die Zumutbarkeit von Risiken bzw. möglichen Folgen von Techniken nicht ohne die Zustimmung der Betroffenen entschieden werden darf³⁹, sind Transparenz und Partizipation zu fordern.

Die Vorzugsregeln geben in Form von Güterabwägungen Anweisungen, wie die Verträglichkeitskriterien umzusetzen sind. Die Regeln:

1. Reversible Folgen sind irreversiblen vorzuziehen,
2. langfristig orientierte Folgenprognosen sind kurzfristigen vorzuziehen,
3. präventive Problemlösungen sind nachträglichen vorzuziehen, u.a. sind in einer Meta-Vorzugsregel zusammenzufassen⁴⁰:

Unter allen relevanten Gesichtspunkten des Schutzes von menschlicher Gesundheit und Umwelt sind immer die Handlungen vorzuziehen, die für die Zukunft die meisten Handlungsoptionen erhalten.

VI. ERGEBNIS

Das Bestreben, chemische Insektizide wegen ihres gesundheits- und umweltschädigenden Potentials partiell bzw. so weit wie möglich durch biologische Agenzien zu ersetzen, ist plausibel. Im Rahmen dieser Bestrebungen wird auch für die Anwendung von GVO argumentiert. Hier zeigen sich Widersprüche zu den faktischen Entwicklungszielen und

³⁹ Günther Ropohl, Das Risiko im Prinzip Verantwortung, Ethik und Sozialwissenschaften, 5/1 (1994) 109–120.

⁴⁰ Die ethische Prämisse, die dieser Regel zugrundeliegt, die Forderung nach Erhalt zukünftiger Handlungsmöglichkeiten, wird hier nicht neu eingeführt. Sie ergibt sich aus der Schutzwürdigkeit von Gesundheit und Umwelt als Bedingung der Möglichkeit langfristigen menschlichen Handelns.

Entwicklungen. Diese orientieren sich an Kriterien der Rentabilität und Praktikabilität und können die besondere ökologische Verträglichkeit der Organismen konterkarieren. Es ist daher unzulässig, sich für die Forschung und Entwicklung an GVO mit dem Appell an die moralische Richtigkeit auf diese ökologische Verträglichkeit zu berufen.

Bei der versuchten Prognose unerwünschter Folgen konnte, neben dem Aufweis der Grenzen der Prognostizierbarkeit, in zwei Typen von Folgen unterschieden werden: hypothetische (z.B. unkontrollierte Ausbreitung und Abtötung von Nicht-Zielorganismen) und sichere (Resistenz bei den Schädlingen).

Unter den Kriterien der gesundheitlichen, der ökologischen und der ökonomischen Verträglichkeit scheint eine Pflanzenproduktion im biologischen Landbau das günstigste Verhältnis zwischen Nutzen und Kosten⁴¹ aufzuweisen⁴². Sowohl die hypothetischen als auch die sicheren unerwünschten Folgen der gentechnisch veränderten Organismen und die Folgen des Einsatzes von chemischen Insektiziden wären zu vermeiden. Sie entspricht auch am besten dem postulierten Sinnziel, einer umweltverträglicheren Schädlingsbekämpfung. Grundsätzlich sollte deshalb eine Weiterentwicklung und ausgedehnte Anwendung biologischer Landbauformen angestrebt werden.

Tabelle 1: Vergleich der landwirtschaftlichen Strategien anhand der mittleren ethischen Kriterien

gesundheitliche Verträglichkeit	ökologische Verträglichkeit	ökonomische Verträglichkeit
Chemische Insektizide stellen in unterschiedlichem Maße ein Gefährdungspotential für die menschliche Gesundheit dar. Insbesondere über langfristige Folgen gibt es nur geringe Kenntnisse.	Chemische Insektizide zeichnen sich nicht durch ökologische Verträglichkeit aus. Ihre schädlichen Auswirkungen sind mannigfaltig und können irreversible Formen annehmen.	Eine konventionelle Hohertragslandwirtschaft, die den Einsatz chemischer Insektizide einschließt, ist der Erhaltung der Voraussetzungen ihrer Produktivität nicht förderlich, sondern langfristig beinträchtigend.

⁴¹ Kosten und Nutzen werden hier qualitativ, nicht quantitativ verstanden.

⁴² Vgl. Tabelle 1. Dieses Ergebnis bezieht sich nicht auf Drittweltländer. Eine entsprechende Abwägung müßte andere politische, soziale und kulturelle Bedingungen mit einbeziehen.

Gentechnisch veränderte *Bacillus thuringiensis*-Präparate sind, wie die nativen Bakterien, opportunistische Krankheitserreger. Transgene Pflanzen können aus verschiedenen Gründen die menschliche Gesundheit beeinträchtigen. Einige davon sind durch gründliche Untersuchungen auszuschließen, andere, wie das allergene Potential, nicht.

Eine gesundheitliche Beeinträchtigung durch Lebensmittel, die im biologischen Anbau erzeugt wurden, ist wenig wahrscheinlich. Allergene Eigenschaften von Pflanzen sind i. d. R. bekannt und von den Betroffenen zu vermeiden.

Die gentechnischen Veränderungen, die an *Bacillus thuringiensis*, bzw. an den Toxingenen vorgenommen werden, zielen durchwegs auf eine Einschränkung der Eigenschaften ab, die ihre ökologische Verträglichkeit bedingen. Unerwünschte Auswirkungen sind nicht auszuschließen und nur in Grenzen prognostizierbar und vermeidbar.

Eine pflanzliche Erzeugung im Rahmen des biologischen Landbaus ist nicht nur bezogen auf das Agrarökosystem, sondern auch für umliegende Kultur- und Naturlandschaft in besonderer Weise ökologisch verträglich.

Der großflächige Anbau bzw. die Freisetzung von GVO mit *Bacillus thuringiensis*-Toxin, mit möglicherweise verringerter Selektivität, führt zur Entwicklung resistenter Schädlinge. Die Dauerhaftigkeit der Bekämpfungsstrategie ist damit in Frage gestellt.

Durch Förderung der Bodenfruchtbarkeit und Vermeidung der Schadstoffbelastung von Boden und Wasser bietet der biologische Landbau eine einzigartige Möglichkeit, Landwirtschaft so zu betreiben, daß die Flächen zukünftigen Generationen in gleicher Weise zur Verfügung stehen. Rentabilität, unter der Umlenkung von Subventionen, konnte im Modell demonstriert werden.

Unter der Voraussetzung der Methoden des integrierten Anbaus oder als Übergangslösung kann es sinnvoll sein, gentechnisch veränderte Organismen für die Schädlingsbekämpfung zu verwenden. Und auch wenn sich eine grundsätzliche Zielkritik mit guten Gründen vertreten läßt, erweist es sich als wichtig, aus der Sicht verantwortbaren

Handelns zu den offenen Fragen von Freisetzungsexperimenten Stellung zu nehmen, da in den letzten Jahren an einer Vielzahl von Orten weltweit Pflanzen und Mikroorganismen mit *Bacillus thuringiensis*-Genen freigesetzt wurden und erste Kommerzialisierungen bereits erfolgt sind.

Angesichts der bestehenden Wissenslücken über die vielfältigen Interaktionen (genetische, physiologische, ökosystemare) muß eine genaue Abklärung der offenen Fragen vor einer Anwendung gefordert werden bzw. kann ein umgekehrtes Vorgehen aus ethischen Gründen kritisiert werden.

Eine sorgfältige Prüfung muß sich an folgenden prozeduralen Kriterien orientieren:

- Einzelfallbetrachtungen sind zur Grundlage von Freisetzungsentscheidungen zu machen. Pauschalisierungen sind beim gegenwärtigen Kenntnisstand nicht vorzunehmen.
- Die Einzelfallbetrachtungen sind experimentell so anzulegen, daß es möglich ist, aus ihren Ergebnissen sinnvolle Aussagen für ökologische Folgen abzuleiten.
- Die offenen Fragen, besonders auf ökologischer Ebene, sind zu klären, soweit dies möglich ist, um den Ungewißheitsgrad der Entscheidungen zu senken.
- Reversible Schritte sind irreversiblen vorzuziehen, wobei darauf zu achten ist, daß jeweils die Problemlösung gewählt wird, die im Falle eines unerwünschten Ausgangs die meisten Lernmöglichkeiten offen läßt.
- Eine Beteiligung der Öffentlichkeit ist vorzunehmen, womit nicht nur Information, sondern Einflußnahme auf Entscheidungen gemeint ist.
- Für den Fall, daß mit Hilfe von gentechnischen Methoden erzeugte Lebensmittel auf den Markt kommen, sind gesundheitliche Risiken, soweit dies möglich ist, auszuschließen. Verbleibende offene Fragen sind zu benennen. Die Öffentlichkeit ist durch eine Kennzeichnung über die gentechnische Erzeugung zu informieren.

Barbara Skorupinski, Dr. rer. nat ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Ethik-Zentrum der Universität Zürich.